

*Emille*, the Journal of the Korean Electro-Acoustic Music Society Volume 22

## 한국전자음악협회 학술지 에밀레 제22권

본 학술지는 한국문화예술위원회 공연예술창작주체지원사업의 지원으로 제작되었습니다.

The publication of this journal is sponsored by the Arts Council Korea, ARKO Partners.



한국문화예술위원회  
Arts Council Korea



## Imprint 출판 정보

### Editor 편집인

Cho, Youngmi 조영미

Lecturer at Kookmin University, Cheonnam University etc. 국민대학교 및 전남대학교 강사

### Editorial Board 편집 위원

Chang, Jaeho 장재호

Composer & Media Artist 작곡가 겸 미디어 아티스트

Cho, Jinok 조진옥

Composer & Lecturer 작곡가 겸 강사

Dudas, Richard 리처드 두다스

Professor of Composition and *EAM* at Hanyang University 한양대학교 음악대학 작곡과 교수 (작곡, 컴퓨터음악)

Ikeshiro, Ryo 료 이케시로

Professor of Sound Art at Citi University of Hong Kong 홍콩성시대학교 사운드아트 교수

Jang, Daehoon 장대훈

Lecturer of Computer Music and Composition at Kookmin University 국민대학교 컴퓨터음악 및 작곡 강사

Jun, Hyunsuk 전현석

Lecturer of Music at Korea National University of Arts 한국예술종합학교 음악원 강사

Kang, Jiyoung 강지영

Lecturer of Pusan National University 부산대학교

Kim, Jun 김준

Professor of Musical Arts and Technology, Dongguk University 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과 교수 (컴퓨터음악)

Lee, Byung-moo 이병무

Professor of Music at Korea National University of Arts 한국예술종합학교 음악원 교수

Lee, Minhee 이민희

Lecturer of Chugye University for the Arts 추계예술대학교

Lindborg, PerMagnus 퍼마그너스 린드보르그

Professor of Creative Media at Citi University of Hong Kong 홍콩성시대학교 크리에이티브미디어 교수

Nam, Sangbong 남상봉

Professor of Music Education at Seoul National University of Education 서울교육대학교 음악교육과 교수

Oh, Yemin 오예민

Professor of Music Technology at Sangmyung University 상명대학교 문화기술대학원 뮤직테크놀로지 교수

Park, Joo Won 박주원

Professor at Wayne State University, Detroit 디트로이트 웨인주립대학교 교수

Park, Tae Hong 박태홍

Professor of Music Composition and Technology at New York University 뉴욕대학교 교수 (컴퓨터음악)

Parks, Kevin 케빈 파크스 (박케빈)

Curator of Music and Recorded Sound Division at the New York Public Library 뉴욕공립도서관 음악 및 녹음사운드 부서 큐레이터

Yi, HyeJin 이혜진

Professor of Composition at Sungshin Women's University 성신여자대학교 작곡과 교수

### Advisory Board 자문 위원

Ahn, Doo-jin 안두진

Professor of Mirae Performing Arts School of Seoul 서울미래예술교육원 교수

Hwang, Sung Ho 황성호

Professor of Composition at Korea National University of Arts 한국예술종합학교 음악원 작곡과 교수

Lee, Donoung 이돈웅

Professor of Composition at Seoul National University 서울대학교 작곡과 교수

Moon, Seong-Joon 문성준

Professor of Composition at Chugye University for the arts 추계예술대학교 작곡과 교수

Lymn, Young-Mee 임영미

Lecturer of Electro-acoustic Music at Hanyang University etc. 한양대학교 강사

© 2024 Korean Electro-Acoustic Music Society

Cover design by Kim, Mi-Kyung

Issued on 28 December, 2024

Published by Lee, Donoung

Printed by Yesol Publishing <http://www.yesolpress.com>

2Fl Haeam B/D, 155 Sinchon-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03766

ISSN no.: 2233-9302

Price: 28,000 KRW

© 2024 한국전자음악협회 <http://www.keams.org/emille/>

표지 도안: 김미경

발행일: 2024년 12월 28일

발행인: 이병무

발행처: 예술출판사 [등록: 제2002-000080호(2002.3.21)]

서울시 서대문구 신촌로 155 해암빌딩 2층 (03766)

국제표준정기간행물번호: 2233-9302

가격: 28,000원

PART I: Selected Papers from KEAMSAC2024

제1부: 2024 한국전자음악협회 연례학술대회 선정논문

Avantaggiato, Massimo Vito	7
Some considerations concerning <i>Crystal World I</i>	
Balighi, Ali	21
The Art and Science of Multichannel Audio in Electroacoustic Music: A Review	
Ballard, Jr. Jack	33
Microtonal Row Composition: Transformations Using Intentional Sonic and Hypersonic Phasing	
Lee, Mei-ling	43
Exploring Data-Driven Instruments in Contemporary Music Composition	
Lee, Sein	51
Thirty Years History of the Seoul International Computer Music Festival	
Uhm, SiHyun/ Jimka, Federico Sangiuliano/ Aharoni, Daniel	65
Transforming Neural Activity into Generative Audio-Visual Art: An Interplay Between Brain Data, Music, and Visuals	

마시모 비토 아반타지아토	
“크리스탈월드I”에 관한 몇가지 고찰	
알리 발리기	
전자음향음악에서 다채널 오디오의 예술과 과학: 논평	
잭 발라드 주니어	
미분음 음열 작곡: 의도적인 음파 및 초음파 위상 조정을 활용한 변형	
메이링 리	
현대 음악 작곡에서 데이터 구동하는 악기 탐구	
이세인	
서울국제컴퓨터음악제의 30 년 역사	
엄시현/ 페데리코 산줄리아노 짐카/ 다니엘 아하로니	
신경활동을 오디오비주얼 예술로 변형하기: 뇌데이터와 음악, 비주얼 간 상호작용	

PART II: Reviews

제2부: 참관기

Lee, Yeji	79
Expanded Narratives of Nature and Humanity Portrayed Through Electronic Music: Review of Seoul International Computer Music Festival 2024	
Park, Soon-Young	85
2024 Electronic Music and the Review in Korea: Review of International Computer Music Conference 2024 and others	

이예지	
전자음악이 그려내는 자연과 인간의 확장된 내러티브: 서울국제컴퓨터음악제 2024 리뷰	
박순영	
한국의 전자음악과 비평 2024: 세계컴퓨터음악컨퍼런스 2024 와 그 외 음악회 리뷰	



# **PART I: Selected Papers from KEAMSAC2024**

---

**제1부: 한국전자음악협회 2024년 연례학술대회 선정 논문**



## Some considerations concerning *Crystal World I*

Massimo Vito Avantaggiato

Conservatorio Cilea di Reggio Calabria, Department of Electroacoustic Composition, Italy

mavantag[at] yahoo.it

<http://massimoavantaggiato.academia.edu/>

This article provides an analysis of the piece *Crystal World I*, written and produced by composer Michael Obst from 1983 to 1985. The paper highlights specific features of this musical work, showcasing its originality and distinctiveness when compared to pieces produced at IRCAM in Paris. Although the «pitch scales» employed in this composition evoke certain works from the structuralist period—such as *Quartetto III* by F. Donatoni (1961) and *Studie II* by K. Stockhausen (1954)—Michael Obst's cycle exhibits remarkable particularities that align with key areas in acoustics, psychoacoustics and perceptual science. These include: the structural integration of envelope features characteristic of Asian instruments, particularly the attack and release phases. Examples range from the soft attack produced by Rotating Sound Plates to the more abrupt attack of the Japanese Mokusho; a compositional trajectory that progresses from bright timbres to darker ones, mirroring the spectral qualities of the instruments; the analysis highlights the compositional techniques used at various levels: from individual sound objects to temporal semiotic units; from textures and gestures at a structural level to overarching macroforms.

*Crystal World I* emerges as a multi-scale composition that offers varying levels of complexity, inviting diverse avenues of investigation. Its distinguishing features include: - The incorporation of ethnic instruments and human voice, reimagined through modern technologies. - The thematic exploration of phase transitions (solid, gaseous, liquid) as a metaphor for the states and transformations of crystals. - The use of combined compositional approaches (*Top-Down* and *Bottom-Up*). - The emancipation of time scales across different levels of the work. - A rich multiplicity of rhythmic figures. - A strong focus on perceptual and grouping criteria, including spatial segmentation processes.

The paper underscores how listener attention is engaged through a variety of structural devices: 1. Microstructural exploration of sounds; 2. Emphasis on intermediate musical structures, such as textures and gestures; 3. Activation of perceptual mechanisms at multiple levels; 4. Temporal and metaphorical interplay between sound objects; 5. Skilled manipulation of rhetorical elements, showcasing the composer's adept sound direction. The perceptual dimension plays a central role in Obst's composition. The climax of *Crystal World I* is defined by the convergence of multiple perceptual mechanisms. These, combined with other simultaneous musical events, create a point of maximum tension, marking the peak of the piece. To support this analysis, sonograms, summary tables and figures are included, offering a comprehensive visualization of the discussion. Additionally, an interview with Michael Obst (conducted on May 8, 2020) enriched both the listening experience and the genetic analysis of the composition.

**Keywords:** Rhythm; Time; Acousmatic; Composition; M. Obst; *Crystal World*

My interest in this electroacoustic work arises from its rich connection to experimental music, particularly through the exploration of several key themes:

1) **Reevaluation of Basic Musical Material:** The composer seeks to reexamine fundamental musical elements, specifically the sounds produced by Asian percussion instruments and the female voice synthesized with Chant, leveraging the possibilities offered by modern technologies.

2) **Differentiation of Timbres:** The work explores the differentiation of various timbres, both individually and in combination. The composer creates intricate arrangements that highlight the unique qualities of each sound, as well as their potential interactions when layered.

3) **Micro-Structural Exploration:** A particular focus is placed on the micro-structural aspects of sound, with a notable emphasis on the construction and evolution of timbre over time, creating a dynamic and evolving sonic landscape.

4) **Use of Reverberation:** The piece incorporates three distinct reverbs, ranging from the least bright to the most

resonant, to shape the spatial and textural qualities of the music. Additionally, precise compositional strategies are employed, including a combination of "bottom-up" and "top-down" approaches to structure.

5) **Macro-Structural Diversity:** On a larger scale, the work embraces a variety of musical forms, which contribute to its overall diversity. For instance, the Fibonacci series governs the macro-form in *Crystal World I* and *III*,

while the "Intermezzo" adopts an "equi-distributed" form, with respect to a central rest.

6) at an intermediate level, **the organization in gestures, textures;** or, again, macro-gestures and micro-textures. Given their structural importance within the first movement, some of these musical situations are examined individually and their functions and peculiarities are described.

7) **Emancipation of Time and Temporal Scales:** The work explores the liberation of time across different levels, allowing for a fluid and dynamic manipulation of temporal structures throughout the piece.

8) **Constructon of Multi-Channel Space:** The composer uses multi-channel technology to create a spatial

projection of sound. In the quadraphonic version of the work, sounds are emitted from various points or multiple locations in the room, enhancing the immersive experience of the piece.

**9) Research on Psycho-Acoustic Effects:** The work delves into the structural use of psycho-acoustic phenomena, such as reverbs and delays and their impact on the overall sound experience. In structuring the piece, the composer adopts a dual approach.

At the micro-structural level, a bottom-up methodology is employed, starting with the definition of a «frequency scale», which is a non-traditional scale based on frequencies settled in a structuralist way (Fig. 1). Simultaneously, a top-down approach governs the overall form and its distribution within panels, which are sections with different metronomes, but with an internal coherence of articulation and musical development (ic Avantaggiato 2014: 5), with the Fibonacci series serving as a guiding framework. This combination allows for precise control of both local and global time scales (Roads 2005: 283-317).

We then turned to a description of the material universe of the piece, focusing on the instruments used and their characteristics.

Our analysis centered on how Obst developed the formal structure of the work, highlighting the elements of continuity with his previous work *Fábrica* (Obst 1997; 55-159). A central aspect of the composition is the composer's attention to the perceptual dimension of the music. The climax of *Crystal World I* exemplifies this, where a series of overlapping perceptual mechanisms - combined with competing events - culminates in a peak of tension, making this section the most intense moment of the piece.

Obst firmly believes that the possibilities offered by modern technologies must be intimately connected with both musical creativity and the listener's perceptual experience.

In our interview, Michael Obst emphasized the importance of the technical dimension in high-quality electroacoustic music. While acknowledging the necessity of technical precision, he also stressed that this is merely the starting point; it is the careful integration of technical considerations with musical thought and perception that leads to a truly successful piece.

The attention paid by the composer to the perceptive dimension is considered central, so much so that even the Climax of *Crystal World I* is characterized by the overlapping of a series of perceptive mechanisms which, together with the corroboration of other events, allow us

to affirm that this section represents the point of maximum tension of the piece, its peak. In our interview Michael Obst declares himself aware that, in quality electro-acoustic work, the technical dimension must play a primary role; but he is also aware that the care of aspects exquisitely technical ones constitute only an initial premise, necessary, but not sufficient for the success of a job. According to the composer, who in his technical activity was supported by the sound engineer Stephan Behrens, the possibilities offered by new technologies cannot be separated from musical thought and musical perception.

## The Mini-structure

In *Crystal World*, Obst delves into the intricate and dynamic sound spectra of Asian instruments and the human voice.

These sounds inspire the composer to explore and expand their potential, shaping a formal development across four sections.

In *Crystal World*, Obst depicts a journey transitioning from sound to noise (Fig. 1).

He meticulously plans not only the set of frequencies to be used but also the nuanced contrasts and relationships among them.

Obst employs four distinct ratios in his compositional approach. Using the first ratio  $\sqrt[5]{2}$ , the octave is divided into five intervals, while the fourth ratio  $\sqrt[4]{2}$  generates sequences of sounds that approach the threshold of noise (Fig. 1).

Across the complete cycle, consisting of four movements, Obst develops a musical concept that can be described as "material".

Ratio: $\sqrt[5]{2}$	Ratio: $\sqrt[4]{2}$	Ratio: $\sqrt[3]{2}$	Ratio: $\sqrt[2]{2}$
100 (hz)	100 (hz)	100 (hz)	100 (hz)
114	107	103,5	101,7
132	114	107	103,5
152	122	110,7	105,3
174	132	114	107
.....	.....	.....	.....
Divide the octave in 5 intervals.	Intervals are slightly larger than a second	Intervals are almost a quarter of a tone	It leads to sounds close to noise

**Figure 1.** Frequencies Ratios and Intervals - Harmonic system in *Crystal World*.



*Crystal World I* exemplifies his penchant for experimenting with percussion sounds and showcasing electronic virtuosity.

However, this virtuosity does not overshadow his pursuit of a delicate balance between a pronounced intellectual dimension and a deeply evocative emotional expression.

### The planning of the cycle

Obst describes the piece, premiered for the first time in Bourges in 1985, as a compact work, inspired by a unitary vision:

I can describe the systematic context regarding sound and structure, the development of sound and motifs, the inclusion of space and timbre in a unified conception. This provides a sensitive arrangement of the material and, hopefully, some continuity of musical expression. (Interview with the composer, May 2020).

Other factors contribute to affirming this unified vision and, in fact, influenced the creation of the cycle:

1. **The Influence of Extra-Musical Data:** The composer sought to describe the world of crystals, using percussion sounds and a synthesized voice with *CHANT*<sup>1</sup> to evoke this imagery.

2. **Development Through «Changes of State»:** A key aspect of the piece is the presentation of the basic material at the beginning, followed by its transformation through «changes of state». This approach allows for variation within the cycle, creating a sense of development and diversity.

3. **Mini-Structural Considerations:** On a mini-structural level, the composer employs a «frequency scale», similar to techniques in previous works such as *Quartetto III* by F. Donatoni and *Studie II* (1954) by K. Stockhausen (Avantaggiato 2014: 4). The composer selects specific frequency sets for each section, which significantly influence the color and texture of each part. This process follows a progression from sound to noise and from bright to dark. Of the four frequency scales used, the one with a ratio of  $\sqrt[4]{2} = 1.017548$  produces smaller interval/frequency differences, intentionally leading to sounds that approach noise.

4. **Organization of Textures and Gestures:** At an intermediate level, the piece is organized into textures and micro-textures, as well as gestures and macro-gestures.

5. **Emancipation of Temporality and Spatial Organization**

Beyond the micro-structural development, the composer also focuses on the segmentation of time and the organization of sound within space. In the quadraphonic version of the piece, attention is given to how sound is spatially distributed, contributing to the overall structure. The final version of the cycle, completed in 1986, consists of three sections and an interlude (Fig. 2). The composer states:

I composed this 45-minute piece from 1983 to 1985, in Cologne and at IRCAM in Paris. The first part was created in 1983 in the electro-acoustic music studio of the Cologne Conservatory using mainly analog studio equipment. I came up with a plan for a whole cycle of pieces, in which each piece could develop and focus on a central theme (Interview with the Composer, June 2020).

Subsections	Instrument	Gesture/Texture	Reverb
0'00''-0'31''	Rin, Keysu, Gong	Gesture + Texture	Room I (Brighter)
0'32''-0'48''	Mokusho	Gesture + Texture	Room II (Intermediate Brilliance)
0'49''-1'32''	Rin, Keysu, Gong	Gesture + Texture	Room I
1'33''-2'17''	Rin, Gong elect. trasf.	Texture	Room III (less bright)
2'18''-2'34''	Soundplate (2'18'' - 2'33''); Glissando Gong (2'31'-2'34'')	Texture + Gesture (Ending Crescendo)	Room I

**Figure 2.** *Crystal World I* - Structure of the Introduction: Instruments; gesture/texture; reverb.

Although the individual pieces in the cycle were composed over different periods and exhibit distinct musical characteristics — such as harmonies, frequency scales and other structural concepts — Obst notes and our analysis confirms, that these elements remain fundamentally consistent throughout all the works.

Crystal World I	Presentation of the original sounds and their spectra.	(1983-85)	13:16
Crystal World II	Combination of instrumental sounds and computerized sounds that simulate the human voice.	(1984-85)	9:33
Intermède (1986)	Exaltation of the percussive dimension of the instruments, extensive use of polyrhythms (sections II and IV). Mirror-shaped section with interlude function	(1985-86)	19:10
Crystal World III	Introduction of the natural attacks of the instruments in a systematic way; consequent re-evaluation and dominance of rhythmic structures.	(1986)	5:07

**Figure 3.** The plan of the work; the durations of the movements with the dates of realization; the contents and characterizing aspects. The overall duration of the cycle is divided almost equally between *Crystal World I* and *II*; the third episode and the *Intermède*.

## The Macro-structures

At the macro-structural level, *Crystal World* presents a wide variety of musical forms, which contributes to the overall diversity of the cycle. These range from the macro-form governed by the Fibonacci series in *Crystal World I* and III, to the "equi-distributed" form centered around a pause in the Interlude (*Intermezzo*).

What is particularly interesting is the contrast between these forms: for instance, the first movement follows the Fibonacci series in the distribution of gestures, textures and subpanels, while the form of the *Intermezzo* is equally distributed and symmetrical.

In the *Intermezzo*, the repetition of arpeggio gestures in sections I, III and V helps the listener become familiar with these gestures.

However, the composer introduces variations for each arpeggio by manipulating factors such as speed, curve slope and frequency scales (Fig. 1).

Similar considerations apply to the polyrhythms in sections II and IV, where accelerated gestures and polyrhythms create perceptually similar events, forming distinct Perceptual Groups.

Furthermore, the *Intermezzo* features formal sections of roughly equal duration, with gestures that accelerate and decelerate in stages.

The Fibonacci series has been widely used in electronic music, with an example being *Stria* by J. Chowning<sup>2</sup>.

Section	Starting time	Duration of the Section	Global Duration (Equi-Distribuzione)
I (Introduction)	0'00"	0'11"	0'11" + 2'10" + 0'13" = 2'35"
II (Specular to Section IV)	0'11"	2'10"	
III (Variation)	2'21"	0'13"	
IV (Specular to Section II)	2'34"	2'26"	2'26" + 0'09" = 2'35"
V (Variation II of the introduction)	5'00"	0'09"	

**Figure 4. Intermezzo:** The 5 panels constituting the interlude: in section I; III; V accumulation processes can be pointed out; while in section II and IV we can point out the presence of polyrhythms. The overall duration of the first three sections of the Interlude is 2'35" (equal to 0'11"+2'10"+0'13") is equal to the sum of the duration of sections 4) and 5).

The Fibonacci series governs both the development and temporal distribution of the panels—Intro, First Variation, Development, Climax, Second Variation and final coda — as well as the duration of individual gestures and events.

The recurrence of the following time durations is notable: 1, 3, 4, 7, 10, 17, 28, 46 and 75 seconds (Fig. 4-5).

CRYSTAL WORLD I (SECTIONS)						
	Intro	I Var.	Development	Climax	II Var	Coda
Section Durations	154	121	210	121	75	120
Sub-section Durations	31+17+44+45+17 (**)	75+46	75+135 (***)	75+46	75	28+92 (****)
Remark (*):	(**) Piccole differenze di durata rispetto a (28+17+46+46+17)		(***) 135 ≈ 1+3+28+28+75			(****) 92 ≈ 17+75

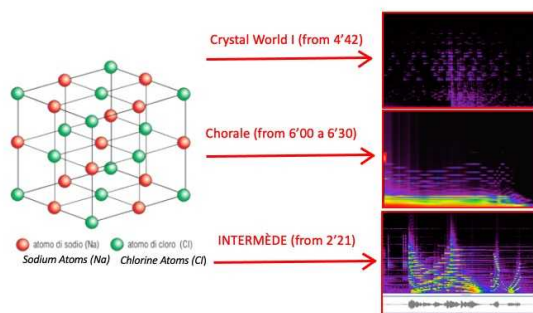
**Figure 5. Crystal World I:** Sections and Sub-Sections in CW I are distributed following a *fiboser distribution*.

Small differences in durations, when compared to this distributive rule, are due to algorithmic rounding, contextual factors and the composer's choices in the piece's development (Fig. 4-5). The macro-temporal relationships in *Crystal World I* are based on the *Golden Ratio*. The first part of the cycle can be divided into multiple subsections, each further divided into individual events, with durations interconnected by these relationships. This structure is not immediately apparent, due to the internal redistribution of the (sub)sections (Fig. 5). Obst employs the Fibonacci series as a macro-temporal distribution criterion, as seen in other historical works such as *Stria* by Chowning.

However, he does not apply this principle uniformly across all sections of the cycle. For example, in the Interlude, a form of equal distribution prevails around a central point. In *Crystal World*, the Golden Section is preceded and anticipated by isolated, repeated low-register sounds at a frequency of 50 Hz. In contrast, *Stria* presents a unique characteristic: the durations of individual sounds are proportional to their frequencies. This is in contrast to much of the music repertoire — including *Crystal World I* — where low-frequency sounds typically drive the motion of the piece and thus have longer durations than higher frequencies.

## The world of crystals: «hyletic universe» and poetic imaginary

The title of the piece refers to the world of crystals, composed of atoms, ions and molecules arranged in distinctive polyhedral and regular structures. The sonograms presented in this article reflect the composer's intention to evoke the intricate distribution of atoms within the lattices that form the crystal (Fig. 6).



**Figure 6.** Depiction of crystal molecules: in the sonograms of the various pieces that make up the cycle, the composer depicts crystal molecules arranged in such a way as to constitute crystalline lattices with meshes of various shapes and sizes.

These visual representations highlight the striations, the varying degrees of regularity in the arrangements and the differing levels of brightness.

### Structures and timbres from dark to light

At a ministructural level<sup>3</sup>, some peculiar compositional choices are highlighted: the path from sound to noise and the use of a "frequency scale"; the consequent use of harmonic fields of different colour(s); the path from warm to cold, from dark to bright (Fig. 5).

The title of the piece refers to the world of crystals which, made up of atoms, ions and molecules, are united and arranged in characteristic polyhedral and regular structures.

The extra-musical idea is the reference to the world described by James Graham Ballard, an intuition that is entirely addressed and resolved on a formal level.

The composer points out that the sounds employed in the piece were unique in their qualities comparable to various manifestations of light – in their reflections and in their “prismatic” spectra<sup>4</sup>, aspects that are reminiscent of the novel by James Graham Ballard entitled *The Crystal World* (1966).

The sonograms presented in this writings testify to the Composer's desire to describe the distribution of the atoms in the lattices that form the crystal (Fig. 6), their striation, their more or less regular arrangement, their different degree of brightness.

With reference to this last point, the author reports that in composing the piece he followed a musical process which, from the beginning to the end of the piece, made use of increasingly brilliant structures and timbres:

In *Crystal World I* includes musical processes which evolve from graphic patterns in combination with sounds of Asian percussion instruments. Due to their complex overtone

structures, the metallic sound character of these instruments very easily produced the visual impressions of light and color in their electronic transformations. Therefore, the compositional strategy followed a musical sound process from the beginning to the end of the piece, using increasingly brighter-sounding structures and timbres (Interview with the composer).

As shown in Figure 7 the series of instruments used by the composer starts from very warm and progresses to extremely aggressive colours.

Instrument	Attack	Release	Colour
Rotating Sound Plate (Java)	Smooth	Very Long Stable overtones	Very warm
Keysu (Japan)	Medium	Medium: the spectra soften during release	Warm
Rîn (Japan)	Medium	Long release. Stable overtones	Bright, rather cold
Glissando Gong (China)	Medium	Short release	Cold, Aggressive
Mokusho (Japan)	Hard	Very short release	Extremely Aggressive

**Figure 7.** Material Universe in *Crystal World*: features of the percussive instruments

### Same Instrument, different sound images

In *Crystal World I*, as well as throughout the entire cycle, certain sound images appear to vanish only to resurface later, often with notable transformations. These changes can include variations in sound speed, amplitude characteristics, envelope shapes and temporal shifts, driven by effects like reverbs and delays.

As a result, the listener becomes immersed in a dynamic, ever-evolving kaleidoscope of sound—plunged into it, left adrift, then drawn back in and guided again.

This cyclical re-presentation of sound images not only serves to anchor the listener's attention, but also mirrors the crystalline structures in our imagination—presented as lattices with repeated and symmetrical forms.

The re-presentation process — an intensification of the déjà-vu effect — is further explored through the transformation of sounds, which evolve over time via various processing techniques. These range from common methods such as sample stretching and filtering, to more radical equalization and even to cutting-edge synthesis techniques for the time, such as F.O.F. synthesis. For example, in “Mokusho”, the composer creates a broader array of sonic images by manipulating various elements, including frequency ranges, registers and micro-temporal properties of the sounds.

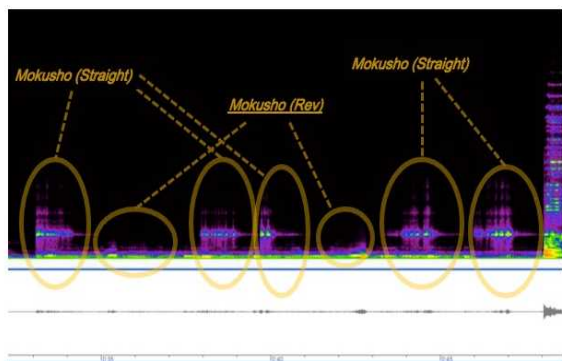


Figure 8. introduction of the Mokusho (sub-section II: 0'32"-0'48")

a) **Introductory Section (up to 2'34"):** The *mokusho* here adopts a mysterious and restrained character, with sparse, fleeting appearances that emphasize a narrow range of repeated frequencies. The section has a static quality, with a delicate, weak rhythm punctuated by rapid repetitions (from 0'34" to 0'48").

The *Mokusho*, a circular block of wood struck with thin wooden sticks, produces a dry, sharp and incisive sound. This is the sound heard between 0'32" and 0'48" in the second sub-section of the Introduction, where the instrument is introduced to the listener for the first time. The dotted lines in Fig. 8 represent both the original version of the *Mokusho* and its reversed counterpart, which generates sounds resembling intermittent bursts.

b) In the section labeled Var. I (from 2'42" to 2'54" and again from 3'15" to 4'32"), the *Mokusho* is assigned a distinct rhythmic motif (Fig. 9), which reappears at the end of *Crystal World I* (from 10'25" to 10'47").

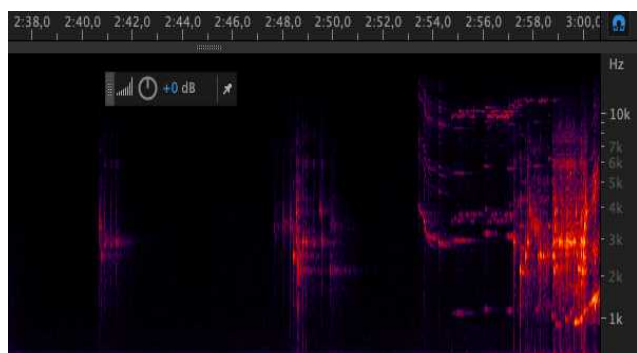


Figure 9. Mokusho: beginning of the section Var. I

c) At the end of the section - between 2'42" and 3'05" - the *Mokusho* is paired with an ascending gong glissando effect, which marks the conclusion of Variation I at 4'32".

d) In the Development section (4'43" to 8'02"), the *Mokusho* is grouped into clusters, creating a dense sound cloud. The original sound re-emerges with a forceful character between 5'22" and 5'42".

e) *Variation II* (10'13" to 11'27") is the fifth section of the piece, leading into the final coda. The *Mokusho* reappears between 10'25" and 10'47", where it repeats certain frequencies in an ostinato pattern.

The rhythmic motif introduced earlier - between 2'42"-2'54" and 3'15"-4'32" is revisited here.

## The «en-temps»<sup>5</sup>

*The Crystal World* by James Graham Ballard becomes the literary expedient to describe the world of crystals through sounds that the composer strives to make current by projecting them, in a sometimes even fetishistic way, into the sonograms (Fig. 6). The reference to extra-musical data is made current:

- by the adoption of the change of state as a tool for musical diversification and development: the original sounds are presented in the Introduction, but transformed later in the piece. Percussion sounds – mostly, but not exclusively used in Eastern ritual traditions, were recorded and then selected by the author;
- by the cyclical nature of gestures and textures, which seem to re-propose, albeit in an always varied way, the lattice structures of crystals;
- from timbral explorations at a micro-structural level, which can also have important reflections on intermediate levels of organization (e.g. the *climax* or *final coda* of the work between 11'22" and 13'12", prominently marked by the spectral exploration of the glissando gong sound);
- organization in textures and gestures - or higher.

## The development strategies

The development techniques employed across all four pieces of the cycle share common characteristics, which can be summarized as follows:

- 1) Cyclical combination of elements, a feature also present in *Fábrica*, a piece composed by M. Obst in 1985 (Obst 1997: 155–159);
- 2) Motivic contrast;
- 3) Use of a distinct «frequency scale» (Fig. 1), which facilitates, among other things, the transition from sound to noise;
- 4) Selection of specific register bands and register shifts, moving from low to high or vice versa;
- 5) Changes of state;
- 6) Increase in structural complexity and density or frequency of sound elements over time;

7) General change in sound, achieved through sound selection and extraction, as well as its arrangement into clusters and the creation of complex polyrhythms;

8) Emancipation of different time scales, from microstructure to macrostructure, with these time scales used either individually or in combination;

9) Dynamic contrast between sections: the composer identifies dynamic variation as the fundamental element driving the piece's development (Interview, May 2020);

10) Change of sound environment, allowing the composer to simulate different scenes, conveying contrasting temporal coordination and spatial orientations;

11) The use of counterpoint lines;

12) The use of timbres;

13) The use of a Multidimensional Rhetoric.

The principle of cyclical combination of elements (Point 1) can also be observed in *Fábrica*, a piece composed prior to *Crystal World I*, as well as in the Intermède. Additionally, lower-order structural elements, such as "motifs," are presented cyclically within *Crystal World I*.

Ex. 1: Examples of motif transformation processes include the acceleration or deceleration of a motif's representation by either increasing the duration of the notes (frequencies) or, conversely, compressing them. For instance, the fast theme introduced at 1'02" reappears at 8'11" but is slowed down to such an extent that it becomes barely recognizable (interview with composer).

The composer describes the structure of the first movement as "cyclical and, in a certain sense, traditional." The "motifs," as Obst refers to them (Point 2), are introduced at the beginning of the piece and evolve throughout, with the varying combinations of different reverberant spaces continually creating fresh musical scenarios. But what does Obst mean by "motifs"?

These can be understood as articulation units or mini-structures characterized by the following features:

- **High combinatorial capacity**, allowing them to interact flexibly with other elements;
- **Relatively short length**, making them concise and adaptable;
- **Repetition of certain pitches**, lending them a distinct identity;
- **Perceptual clarity**, enabling them to form recognizable "figures" or "gestures," though this recognizability is inherently subjective.

Regarding Point (3), it is important to note that the use of frequency scales (Fig. 1) and the harmonic system in *Crystal World I* demonstrates that some composers not only compose sounds but also manipulate the "temporal" differences between them, shaping the way these differences interact.

The composer employs the "change of state"(Point 5) as a tool to guide the piece's development, transitioning from solid to airy and from gaseous to liquid states.

This approach allows Obst to stay true to his extra-musical concept of representing crystals, which can exist in various physical states.

Obst is mindful that the intended listeners may not always be familiar with this type of music. To address this, he employs strategies to familiarize the audience with the new instruments, presenting the original sound material in the first five panels of the introduction (0'00"-2'34").

Obst reflects on the fact that crystalline structures are formed through the gradual solidification of a liquid or the frosting of a gas, a process that can occur both spontaneously in nature or be artificially induced (Niggli 1954: 7). Throughout the cycle, the composer appears to represent these networks and lattices through a precise distribution of frequencies and harmonics over time, emphasizing the atomic structure of the "crystal" through the frequencies employed (Fig. 6).

The Change of State (Point 5) refers to strategies where the transition from an initial state and its subsequent return can signal the passage of time. At the start of *Crystal World I*, Obst introduces Asian instruments that are later transformed through electroacoustic processes (Fig. 3).

At the macrostructural level, the larger shapes, governed by the Fibonacci series (e.g., the first movement), regulate the lengths of sections and subsections within the piece. The study of the shapes of the different panels remains crucial, as, to quote Roads, it provides context for the material and internal structures, making them identifiable (Roads 2005: 290).

Regarding points (9) and (10), the careful and simultaneous use of reverb and amplitude modulation allows the composer to create diverse soundscapes.

The use of dynamic contrast between panels is another method for shaping the formal development of a piece.

Regarding changes in the density or frequency of sound elements over time (Point 6), the author increases the complexity of the structures by:

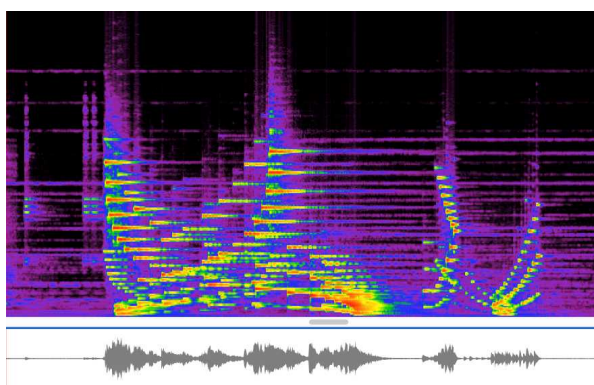


a) Exploring the relationships between order and disorder, a concept closely related to traditional harmony;

b) Investigating horizontal relationships among objects through layering, akin to traditional counterpoint (Emmerson; Landy 2012: 4).

The term "counterpoint" (Point 11) refers to the presence of multiple simultaneous, autonomous melodic lines or profiles, each carrying its own complete meaning when isolated from their polyphonic context, while generally adhering to the harmonic fields established by the composer.

Examples of this can be seen in *Crystal World I* and in the following passages (Fig. 10).



**Figure 10.** Intermède by M. Obst: Sonogram of the central section of the episode.

Despite the variety of processes employed, the five sections that comprise *Crystal World* maintain a cohesive stylistic unity, with no major contrasts emerging, according to the composer (Interview, May 2020).

### The Microstructural Level

At the microstructural level, timbre (Point 12) serves multiple compositional functions: it can color or "colorize" musical structures; integrate or segregate distinct perceptual flows; act as a "sequential glue" to outline and distinguish separate units or sections; and contribute to the shaping of sections that ultimately define the overall musical form. At a micro-structural level, timbre serves various structural functions.

Specifically, it acts as a tool for unifying sections and subsections, or conversely, for segmenting and fragmenting them (Avantaggiato, 2022: 8).

### The use of Reverbs

The use of various psychoacoustic effects, such as reverb, delay and filters (Point 10), enables the composer to simulate different ambiances or scenes, contributing to contrasting temporal and spatial orientations.

In this introductory section, the reverbs are arranged progressively from less bright to brighter (Fig.2). The composer employs three distinct reverbs, each with unique characteristics. These effects first appear in the introduction of *Crystal World I*.

- *Room I*: from 0'00" to 0'31", from 0'48" to 1'32" and from 2'17" to 2'34";

- *Room II*: from 0'31" to 0'48";

- *Room III*: from 1'32" to 2'17".

However, the reverbs are not confined to the introduction; they are also featured throughout the rest of the piece, where *Room I* becomes particularly dominant. Notably, *Room I* defines the final sections of the piece, including the climax and the coda (11'22" - 13'12")

As previously mentioned in Point 8, the use of psychoacoustic effects, such as reverberation, enables the composer to simulate various acoustic environments. This creates a sense of temporal coordination and spatial contrast between the different sections of the piece.

Beyond making the interpenetration of simultaneous sound planes more perceptible — a clear structural function — Obst uses reverberation to revitalize the sound material. In *Crystal World*, there is no evidence of flattening or timbral smearing, which are common issues when this effect is overused.

Instead, the composer skillfully processes sounds with slow attacks and long durations, characteristics that inherently avoid producing undesirable color trails.

In this context, reverberation — especially when applied suddenly — enhances rather than dulls the material, imbuing it with renewed energy. Additionally, reverberation serves a dramaturgical purpose, heightening excitement at critical moments of the narrative. This is particularly evident in the Contrast Section, where multiple reverbs are combined to striking effect:

A structured sound wall followed by a sound collapse made of thousands of percussive sound points. Implementation of a hidden rhythmic section at the end. (Interview with the composer, June 2020).

## ***Crystal World I* and its multidimensional rhetoric**

The question of whether a distinct musical rhetoric exists within the acousmatic genre «*stricto sensu*» is often sidelined or even avoided, largely due to the complexity such a discussion entails. Despite the many valid reasons to analyze sound and music through the lens of rhetoric and composition, this approach is not commonly adopted.

The rhetorical dimension in music operates across multiple levels of a composition: from sound objects to

gestures, from macro-gestures to overall form and even to spatialization (Avantaggiato 2022: 10).

The emergence of this symbolic and rhetorical layer, however, cannot be reduced to the categories explicitly labeled as rhetorical by some analytical theories. Examples of these include Roy's "Relation and Rupture Categories" (Roy, 2003) or the "Temporal Semiotic Units" and "Spatio-Temporal Semiotic Units" proposed by the M.I.M. group (M.I.M. 1996). Particularly M. Obst pay attention to:

- **Temporal associations of sound:** These are influenced both by their semantic meanings (Roy 2004: 358–365) and by their spectro-morphological characteristics (Smalley 1986: 61–93).

- **Space and spatialization:** Temporal associations also arise during the segmentation of space and through spatialization processes. This includes concepts such as the "Temporal Semiotic Unit" (MIM 1986), "Spatio-Temporal Semiotic Units" (MIM), "Spatiomorphology" (Emmerson & Landy 2012: 4) and "Figure d'espace" (Vande Gorne 2002: 9–11).

- **Relationship between reality and imagination:** This dynamic is explored by Lakoff and Johnson (Lakoff and Johnson 1980: 26).

- **Emotional responses:** Listener reactions to musical stimuli are shaped by a network of relations in the interpretation of acousmatic music (Hirst 2003: 4), as well as by social, emotional and meaning-related aspects (Emmerson & Landy 2012: 5).

## **Perception and listeners attention**

The author recognizes that other significant strategies can influence a listener's qualitative perception and response. Listeners' attention is engaged through various structural devices, including:

- exploring sounds at a microstructural level;
- enhancing structural elements such as textures and gestures;
- activating perceptual mechanisms at multiple levels, including good continuation, familiarity, similarity,

proximity and common fate (Meyer 1956; Tenney 1963; Deutsch 1982);

- manipulating temporal and metaphorical relationships between sound objects, skillfully managing the rhetorical dimension with the expertise of a sound director and playwright.

These findings were supported by a study conducted using a questionnaire prepared for students in the electroacoustic music course in Reggio Calabria (Italy) and based on the cited studies by Meyer, Tenney and Deutsch. To ensure reliability and reduce the influence of subjective impressions, we conducted a listener survey based on this questionnaire. Participants were asked to identify various structural strategies used to capture and sustain their attention. The survey results confirmed that composers demonstrate a careful awareness of the listening process, paying close attention to various aspects of each individual sound event.

- **Duration and Sustained Sound:** in cases where long sustained sounds are involved and there is little or no indication of long-term evolution, the listener becomes less aware of time passing. However, if there are no cues or clues in the sound itself to make us aware of its approximate physical duration, the sound in question appears seemingly endless, or even static. Eg. In the final coda the author uses a stretched, prolonged sound of Gong; the listener becomes less aware of time passing because it is concentrated on the internal evolution of sound, with evidence of its partials.

- **Activating synesthetic relationships:** acting on some characteristics of the sound, such as rugosity (Reversed Gong Sounds are here a good example).

- **Working on predictability of events:** events occurring at predictable points in time are more quickly and easily processed by listeners (Huron 2006: 35).

- **Variations in Intensity** can be used to provoke arousal of the listener's attention; the timbre allows to identify a sound; by altering some of its characteristics and with some technical retractions, it allows to hide the original sound, making it more difficult to recognize (Christensen, 1996: 12-16).

- **Perceived Timbre, Pitch, Duration, Amplitude, Space work as articulators of rhythms** [Christensen 1996: 100] and perceived time. Perceived timbre, for example, can help in horizontal organization, influencing the perception of time passing (Hirst 2003: 2) repeated and/or rapid changes in timbre can fragment a sequence; less rapid shifts in timbre can be used to delineate larger horizontal units or phrases

## **One piece, different temporalities**

The focus on different temporal domains, their interplay and their overlaps enables the composer to craft a rich array of perceptual layers, significantly enhancing the quality and overall listening experience. The temporal contexts the composer engages with are multifaceted:

- **Microstructural level:** Timbre serves as a tool for cohesion between subsections or, conversely, as a means of segmentation and fragmentation, creating dynamic contrasts within the composition.

- **Temporal profile manipulation:** The attacks, sustains and releases of oriental percussive instruments and the voice can be modified to generate novel, evolving, or distinctly altered sounds compared to their original forms.

- **Mini-structural level:** The application of a «frequency scale» illustrates that the composer transcends traditional sound creation and frequency arrangement by engaging with the temporal intervals between frequencies, actively shaping them to enhance the compositional narrative.

- **Intermediate level:** Musical discourse is articulated through the interplay of textures and gestures, intermediate states between the two, or even the juxtaposition of macro-gestures and micro-textures, creating intricate structural layers.

- **Psychoacoustic effects:** The use of effects such as reverberation allows the composer to simulate diverse acoustic environments and sonic scenes. These create a sense of temporal coordination and contrasting spatiality, enhancing the perception of distinct sections within the piece. This intricate engagement with temporal domains underscores a deliberate compositional strategy, enriching the auditory experience and providing a multi-dimensional perspective on sound and structure.

• **the simultaneous presence of regular distributions of the sound material**, alternating with other irregular ones, often in acceleration, in the gestures, macro-gestures, in the textures;

• **the distribution of the material and its acceleration or deceleration** also produces different effects on the expectations of the listeners;

• **the coexistence of different arrangements of sounds over time:** from motivic movement to drifting and fractional polyrhythm (Fig. 8) to regular or stochastic intermittencies (0'54" to 2'13"; 8'21 to 8'51": second movement Chorale); from constant slowing down to constant speeding up (0'00" to 0'11": 2'21" to 2'34"; 3'08" to 3'21": third movement) to simple or complicated repeating patterns (1'49" to 2'21"; 2'34" to 5'06": first movement). The appreciation of different temporal dimensions allows us to state that Multi-temporality allows to increase the sense of variation and musical interest for long works.

### The *climax* of the piece: its singularity

The author identifies the macro-gestures between 8'11" and 9'26" and again between 9'27" and 10'12", as the most significant sections of the piece.

The *Golden Ratio* of the first movement is symbolically located at the beginning of the *Climax* section: the ratio between 492 seconds (the overall duration of the piece at 8'12") and 796 seconds (the total duration of the piece, 13'16") yields a value of 0.618, reflecting the *Golden Ratio*. Several factors contribute to the importance of this section.

The instrumental sounds become more challenging to identify as they are stripped of their attacks, resulting in the creation of *Fondu Enchaîné* (Vande Gorne, 2002). These smooth transitions, or fades, are constructed from frequencies that the composer skillfully manipulates, rotating and elongating them to extend the sequence.

This clever use of sound manipulation elevates the section, enhancing its pivotal role in the piece. From 9'27" to 10'01", a second (sub)-section emerges, marked by a series of accumulations (Roy 2004: 358-365) of "Rîn", an instrument known for its luminous sound. Both *Fondu Enchaîné* and accelerated sequences follow a logarithmic profile, with the former being more relaxed and the latter more compressed.

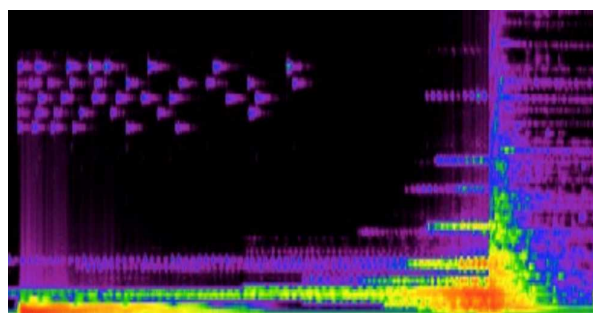


Figure 10. *Crystal World I* : polyrhythm with a log distribution (3'42").

This second section builds on an accumulation process (Roy, 2004: 358-365) with a characteristic logarithmic curve, where the intensity gradually increases through a speeding-up process, extending from 9'27" to 10'12". Together, these two gestures form a macro-gesture, one of the most significant in the entire piece, both in terms of duration and impact. Within this macro-section, various perceptual mechanisms (Meyer, 1956; Tenney, 1963; Deutsch, 1982) converge and recur simultaneously, enriching the listener's experience with complex, interwoven auditory elements.

*Proximity:* Sequences of events occurring in close proximity, with time intervals of less than 1.5 seconds, forming a perceptual group.

*Good continuation:* The transition between the two gestures and their timbral transformation unfolds in a smooth, linear and gradual manner.

*Principle of Similarity:* The presence of perceptually similar events, creating a sense of coherence.



**Common fate:** Events evolve in the same manner and at the same time, characterized by a shared, precise directionality.

These perceptual mechanisms apply not only to the *Fondu Enchaîné*, the first gesture, but also to the subsequent accumulation process (Fig. 11).

Moreover, alongside the rapid acceleration of the material, a second process can be identified: the "unveiling" or "revelation of sound". In this process, the original sound, previously obscured due to the lack of an attack, is succeeded by more recognizable sounds, where the attack becomes perceptible (Fig. 11). The section identified as the *Climax* of the piece is a pivotal moment in which the composer explores the interplay between continuity and discontinuity. By densely layering multiple sounds, the composer allows for the distinction between continuous and discontinuous elements, highlighting the dynamic relationship between these opposing temporal structures.

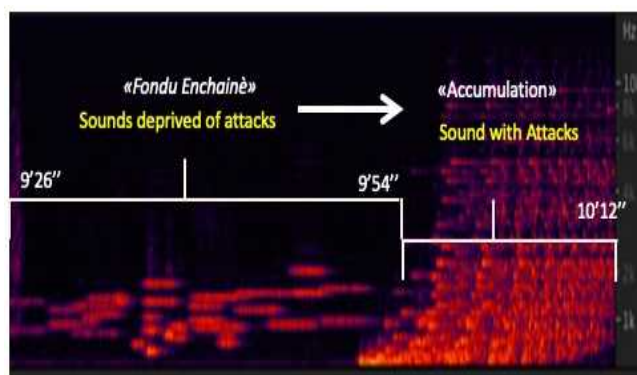


Figure 11. Climax in Crystal World I (9'26'')

The timbral transformation progresses in a smooth, linear fashion, without any abrupt shifts. The ratio between the durations of the two gestures is 0.618, reflecting the influence of the Fibonacci sequence in the distribution of time (see Fig. 11).

## Conclusion

Although the composition of the various sections spanned approximately three years - from 1983 to 1986 (Fig. 1) —the harmonies, frequency scales and other structural concepts (Fig. 2) employed throughout the piece, as reported by Michael Obst and confirmed by our analysis, remain consistent across all sections.

One notable aspect is the use of the Fibonacci series, which serves as a framework to regulate multiple dimensions of the composition, ranging from the duration of events and musical gestures to the overarching macro-structure. This deliberate application of the Fibonacci series connects *Crystal World I* with other significant works in the electroacoustic repertoire, such as *Stria* by J.

Chowning. This study further underscores the centrality of perceptual mechanisms, as described by J. Tenney, Deutsch and Meyer, in structuring and comprehending the piece. Listener attention is engaged through various structural strategies, including:

1. Exploring sounds at a microstructural level.
2. Emphasizing intermediate musical structures, such as textures and gestures.
3. Activating a range of perceptual mechanisms at different levels, including principles like good continuation, familiarity, similarity, proximity and common fate. The recurrence of these perceptual mechanisms highlights the *climax* of the piece, which notably coincides with the beginning of its *golden section*.
4. Establishing temporal and metaphorical relationships between sound objects and skillfully managing the rhetorical dimension, akin to the work of an accomplished sound director.

In this process, Obst engages in what can be described as a «contemplation of the sonic material». This approach facilitates the transition from a phase of "non-industriousness" — a state of potential or quiescence within the original material substrate — to a phase of "industriousness", in which the material is actively realized and articulated.

To achieve this, the composer operates on both a micro-structural level and an intermediate level, organizing the material into gestural and textural structures.

**Acknowledgments.** We would like to express our gratitude to composer Tim McDunn for his valuable revisions to this paper and to students at the Conservatorio Cilea (RC) in Italy for their unwavering support.

## References

- Avantaggiato, Massimo V. (2022). Some Considerations around time in electroacoustic music invisible. In *Proceedings of the Korean Electro-acoustic Music Society's Annual Conference (KEAMSAC 2022)*, 20: 7-14. Seoul: KEAMS.
- Avantaggiato, Massimo V. (2014). Donatoni: a critical reappraisal of Quartetto III. In *Proceedings of the Electro-acoustic Music Studies Network Conference Electroacoustic - Music Beyond Performance*. EMS: Berlin.
- Ballard, J. G. (1985). *The Crystal World*, London: Triad/Panther Books.
- Bregman A./ McAdams S. (1979). Hearing Musical Streams. In *Computer Music Journal* 3/4: 26-60, MIT Press: Massachusetts.

- Christensen, E. (1996). *The Musical Timespace: A Theory of Music Listening*, Aalborg University Press: Aalborg.
- Cook, N. (1998). *Analysing Musical Multimedia*, Oxford University Press: Oxford.
- Deutsch, D. (1982). Grouping Mechanisms in music. In D. Deutsch, Ed. *The Psychology of Music*, 99-134. New York: Academic Press Inc.
- Emmerson, S./ Landy, L. (2012). The analysis of electroacoustic music, the differing needs of its genres and categories. In *Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network Conference*. EMS: Stockholm.
- Hirst, D. (2003). Developing a cognitive framework for the interpretation of acousmatic music. Converging Technologies. In *Proceedings of the Australasian Computer Music Conference 2003*. Melbourne: ACMA.
- Huron, D. (2006). *Sweet Anticipation: Music and the Psychology of Expectation*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Lakoff, G./ JOHNSON M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- McAdams, S. (1993). Recognition of Auditory Sound Sources and Events. In *Thinking in Sound: The Cognitive Psychology of Human Audition*. Oxford: Clarendon Press.
- McGee, R. (2009). *John Chowning: Overview, Techniques and Compositions*, The University of California: Santa Barbara [https://lifeorange.com/writing/ChowningAnalysis\\_McGee.pdf](https://lifeorange.com/writing/ChowningAnalysis_McGee.pdf) Retrieved 12 12, 2024.
- Meyer, L. (1956). *Emotion and meaning in music*. Chicago: University of Chicago Press.
- M.I.M. (1996). *Les Unités Sémiotiques Temporelles – Éléments nouveaux d'analyse musicale*. Marseille: Édition M.I.M. - Laboratoire musique et informatique de Marseille.
- Niggli, P. (1954). *Ordnungsprinzipien der Crystal World*. *Experientia* 10: 193–202, Zürich, <https://doi.org/10.1007/BF02159267>. Retrieved 12 12, 2024.
- Napoletano, E. (2018). *Musica est exercitium arithmeticae. In Xenakis by E. Restagno*, Turin: EDT.
- Obst, M. (1997). *Fábrica: analyse structurelle*. In *Analyse en Musique Electroacoustique*, 155–159. Bourges.
- Roads, C. (2015). *Composing electronic music: a new aesthetic*. Oxford: Oxford University Press.
- Roy, S. (2003). *L'analyse des musiques électroacoustiques: modèles et propositions*. Paris: Editions L'Harmattan.
- Smalley, D. (1986). Spectro-morphology and Structuring Processes. In: Emmerson, S. (eds) *The Language of Electroacoustic Music*. London: Palgrave Macmillan.
- Stedman, D. K. (2012). *Musical Rhetoric and sonic composing processes*, Florida: University of Florida.
- Tenney, J. (1963). Sound Generation by means of a digital computer. In *Journal of Music Theory* 7/1: 24-70. Duke University Press: Durham.
- Thaut, M. (2007). *Rhythm, music and the brain: scientific foundations and clinical applications*, New York: Routledge.
- Thoresen, L. (2007). Spectromorphological Analysis of Sound Objects: an adaptation of Pierre Schaeffer's Typomorphology. In *Organized Sound* 12/2: 129-141, Oxford University Press: Oxford.
- Vande Gorne, A. (2002). L'interprétation Spatiale. Essai de formalisation Méthodologique. In *DEMèter*, Université Lille 3: Lille.
- 
- <sup>1</sup> The theme of crystals has captivated and inspired numerous composers, particularly within the realm of electroacoustic music. This genre frequently delves into abstract and evocative themes, often drawing on natural phenomena, microcosms and the intricate structures of crystals. Crystals, with their symmetrical patterns, transparency and shimmering qualities, have provided a rich source of inspiration for works that seek to mirror these attributes through sound. Several noteworthy electroacoustic compositions reflect this crystalline aesthetic.
- Among them are "Crystal Music" (1983) by Horacio Vaggione, "Crystals" (1999) by Natasha Barrett and "Cristaux Liquides" (1985) by Mario Rodrigue. In "Cristaux Liquides", featured on the album "Alchimie, Electroacoustic Music" (CD IMED, 1994), Mario Rodrigue explores a sonic continuum inspired by the contrasting physical states of crystals. The piece transitions between the solid state, characterized by fixed, crystalline movements (5'58"–6'15") and the liquid state (2'39"–3'26"; 5'35"–5'40"; 8'19"–8'53"), which is evoked through rich, undulating textures. Rodrigue employs counterpoint to convey the dynamic flows and avalanches of color reminiscent of liquid crystals (e.g., 2'25"–2'55"; 3'45"–4'13") (Avantaggiato 2022: 9).
- <sup>2</sup> The «pitch scales» used in *Stria* is based on a pseudo-octave with an interval ratio of 1:1.168 per octave instead of the traditional 1:2. Chowning chose to divide the scale into 9 equal divisions centered at 1000 Hz so that the scale remains somewhat similar to traditional 12-tone equal tempered tuning, but remains different enough so that it will not be interpreted as being simply out of tune. Moreover, the first frequency to occur in the piece is none other than 1618 Hz. Temporal relationships in *Stria* are also based on the Golden Mean. The work can be divided into several sections and each section into several events all with durations related to each other by the Golden Mean. Additionally, the climax of the piece occurs at 0.618 of the entire duration. (McGEE 2009: 14).
- <sup>3</sup> The concept of ministructure; mesostructure and macrostructure are highlighted and explained by C. Roads (Roads 2005: 283-317).
- <sup>4</sup> Since the 17th century, scholars have tried to explain how the external appearance of crystals, called "habit", depended on an internal and ordered distribution of the particles that constituted them.
- The French abbot Renato Giusto Haüy, seeing a cube of pyrite fall and disintegrate into many cubes, formulated the theory according to which the molecules of the crystals were very small polyhedra in contact with each other. Later, another French physicist, Auguste Bravais, hypothesized that the molecules of the crystals were arranged in such a way as to constitute crystalline lattices with meshes of various shapes and sizes. This hypothesis was experimentally verified with the advent of X-rays: the X-rays, in fact, passing through the crystal, form a patch of regular spots on a photographic plate, which correspond to the position of the atoms in the crystal. Since then the name of Bravais has remained particularly linked to the theory of crystal lattices developed in the *Recherches sur la cristallographie* (1849-50), a theory which constitutes the basis of current röntgenographic research on the structure of crystals. <https://www.treccani.it/enciclopedia/auguste-bravais/>

<sup>5</sup> The term "Hors-temps" refers to the time that precedes and shapes the development of a musical piece, guided by the composer's vision. This contrasts with "En-temps," which denotes the sonic manifestation of the work — its translation into performance or its recording onto tape\_(Napoletano 2018: 294-297).

## [Abstract in Korean | 국문 요약]

## “크리스탈월드 I” Crystal world I에 관한 몇가지 고찰

마시모 비토 아반사지아토

이 글은 마이클 옵스트 Michael Obst 의 1983 년부터 1985 년에 제작하여 발표한 작품 크리스탈월드 I에 대한 분석이다. 이 분석은 특별히 파리의 이르캄 IRCAM 에서 만들어진 작품들과 비교하여 이 작품의 갖는 독창성과 차별성을 강조하여 논의한다. 이 작품에 사용된 음고 시스템은 도나토니 F. Donatoni 의 콰르테토 III Quartetto III 나 스톡하우젠 K. Stockhausen 의 스터디 II Studie II 와 같이 구조주의 시대의 작품들을 연상시키지만, 마이클 옵스트의 시스템은 음향학과 심리음향학, 인지과학에 근거한 핵심 영역과 일치하는 놀라운 특성을 보여준다. 여기에 아시아 악기의 특징인 엔벨로프, 특히 어택과 릴리스 단계에서의 구조적인 통합이 포함된다. 예시로는, 일본 모큐쇼 mocusho 의 회전 음판으로 생성하는 부드러운 어택부터 보다 갑작스러운 어택들; 밝은 음색에서 어두운 음색으로 진행해나가며 악기의 스펙트럼 특성이 반영된 경로 구성을 비롯하여, 개별적인 소리 재료부터 시간 단위에 따른 신호들, 작품을 구성하는 작은 텍스처와 제스처부터 전체적인 확대구조 macroform 에 이르는 다양한 관점에서의 작곡 기술들을 부각하여 분석한다.

“크리스탈월드 I”은 여러 다중 시스템에 활용된, 다양한 정도의 복잡성을 가진 작품으로 다양한 경로의 분석방법이 요구된다. 그 점들은 다음과 같다. – 민족적 악기와 인간의 목소리를 통합, 현대기술로 재해석함. – 크리스탈의 상태와 변형을 은유적으로 대입하여, 상태(고체, 기체, 액체)의 전이를 주제로서 탐구함. – 전체 구성에 접근하는 방식(상의하달식과 하의상달식)을 사용함. – 작품을 여러 다른 관점에서 살피며 시간적 시스템을 초월하여 접근함. – 풍부한 가지각색의 리듬패턴 – 공간 분할을 포함하여 인지적이며 그룹화 기준에 강력히 초점을 맞춤.

이 논문은 다양한 구조적 장치를 통해 청자의 관심을 어떻게 끌 수 있는지에 유의한다. 1. 사운드의 세세한 구조 탐구, 2. 텍스처와 제스처 같은 중재적인 음악적 구성을 강조, 3. 다중적 관점에서 인지 매커니즘 활성화, 4. 사운드 재료 간 시간적, 은유적인 상호작용, 5. 작곡가의 숙련된 사운드 방향제시를 통해 수사적 요소를 능숙하게 조절하는 것 등이다. 옵스트의 작품에서 인지적 차원은 중요한 역할을 한다. “크리스탈월드 I”의 클라이맥스는 다중적인 인지 매커니즘의 융합으로 정의될 수 있다. 이는 서로 다른 음악적 이벤트가 동시에 일어나며 최고조의 긴장감을 조성하고 작품의 정점임을 표현한다. 이 분석은 소노그램, 요약표와 그림을 포함하여, 논의를 이해하기 쉬운 시각적 자료들을 제공한다. 더불어, 마이클 옵스트와의 인터뷰(2020 년 5 월 8 일 시행)를 통해 작품의 청취 감상과 유적적 분석 양면으로 보다 풍부해진 내용을 포함한다.

주제어: 리듬, 시간, 어쿠스마틱, 작곡, 마이클 옵스트, 크리스탈월드

논문투고일: 2024년 09월30일

논문심사일: 2024년 11월4일, 11일

게재확정일: 2024년 11월20일

# The Art and Science of Multichannel Audio in Electroacoustic Music: A Review

Ali Balighi

School of Music, Texas Tech University, the USA  
abalighi [at] ttu [dot] edu, alibalighi [at] gmail [dot] com  
www.alibalighi.com

This article follows the historical and technological evolution of multichannel audio in electroacoustic music, from its origins in the 1950s with pioneers like Pierre Schaeffer to its present role as a central element in music composition and performance. It examines key advancements in spatialization techniques, including surround sound, ambisonics, and site-specific diffusion systems, highlighting their impact on spatial perception, listener envelopment, and auditory aesthetics. The discussion integrates insights into the creative and technical challenges of multichannel composition, emphasizing its capacity to enhance spatial imagery, evoke emotional responses, and redefine performance practices. By exploring emerging technologies such as augmented reality, machine learning, and networked audio systems, the article offers a comprehensive view of multichannel audio's transformative role in shaping contemporary electroacoustic music and its future possibilities.

**Keywords:** Multichannel Audio, electroacoustic music, listener experience, music technology

Since the earliest performances of electroacoustic music, composers have utilized multichannel loudspeaker diffusion. In the early 1950s, Pierre Schaeffer and Pierre Henry implemented a four-channel setup, which included an elevated loudspeaker, to spatialize their compositions (Lynch / Szdov 2017). *Musique Concrète*, a term coined by Pierre Schaeffer, describes music created using recorded sounds as the basis of composition. In English-speaking regions, it contrasts with *Elektronische Musik*, which uses electronically generated sounds. However, in French-speaking areas, it's understood that *Musique Concrète* involves a hands-on approach to working with sound, akin to sculpting or painting, where the composer manipulates sound directly. Schaeffer's method reversed the traditional composition process, starting with concrete sounds and moving towards abstract structures, unlike conventional instrumental music which begins with abstract concepts. Despite its basis in fixed media, Schaeffer's first public concert in 1950 included live, variable elements, and by 1951, his team utilized magnetic tape and innovative playback devices for multitrack sound distribution (Harrison 1998).

The evolution of multichannel audio from a specialized technology to a foundational aspect of modern music production and performance mirrors broader trends at the intersection of art and technology. Despite significant advancements in both technical capability and creative application of multichannel audio (Leider 2007), several challenges persist. Acousmatic music has explored the incorporation of space as a musical element, alongside traditional parameters such as pitch, rhythm, and duration (Normandeau 2009). Examining the diverse dimensions of multichannel audio in electroacoustic music reveals its role in enhancing spatial and immersive musical qualities, while also opening new avenues for artistic expression and engaging listeners on deeper levels.

The landscape of musical composition and auditory experiences has been profoundly transformed by the advent and evolution of multichannel audio setups. Multichannel audio is increasingly important for composers, particularly those who treat the studio as a musical tool for creating, processing, and mixing music. (Leider 2007). This article focuses on the multifaceted impact of multichannel audio, exploring its aesthetic advantages, the creative choices it enables, the technical challenges it presents, and its influence on both composers and listeners.

## Historical Context and Technological Evolution

The roots of multichannel audio can be traced back to the early experiments with stereophonic sound in the late 19th and early 20th centuries. However, it was not until the latter half of the 20th century that multichannel audio began to take shape as we know it today (Ouzounian 2020). The advent of quadraphonic sound in the 1970s marked a significant step forward, although its commercial success was limited (Postrel 1990).

The true revolution in multichannel audio came with the development of surround sound systems for cinema in the 1980s and 1990s. These systems, which typically used five or more channels, provided a more immersive auditory experience that soon found its way into home entertainment systems. As digital technology advanced, so did the capabilities of multichannel audio systems, leading to formats like 5.1, 7.1, and even more complex configurations (Kerins 2010).

In the realm of music production and performance, the adoption of multichannel audio was driven by composers and sound engineers seeking to push the boundaries of spatial audio. Early pioneers in electronic and electroacoustic music recognized the potential of

multichannel systems to create new sonic landscapes and immersive experiences. This led to the development of specialized venues and systems for multichannel music, such as the *Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre* (BEAST), which has played a crucial role in advancing multichannel composition techniques (Wilson / Harrison 2010).

The landscape of multichannel concert presentations for electroacoustic music has significantly evolved in recent years. A key factor in this transformation is the new accessibility of relatively affordable commercially produced multichannel hardware. This development has greatly expanded the potential and implications of working with multichannel formats, regardless of the style or design of the chosen presentation system (Wilson / Harrison 2010).

## Aesthetic Advantages of Multichannel Audio

### Enhanced Spatial Perception and Depth

Spatial audio deals with how sound is reproduced to create a sense of direction and space around the listener. Most research on spatial audio focuses on a single listener who is ideally placed in the best spot among the speakers, where the spatial effects are most effective. However, this method doesn't work well in large or public spaces or for listeners who are not in the center. Many current solutions are only suitable for cinematic special effects or need a lot of hardware (Etlinger 2009).

One of the primary benefits of multichannel systems is their ability to enhance spatial perception and add depth to music, particularly in electroacoustic compositions. The spatial arrangement of sound sources contributes to creating intricate sound environments, adding layers of complexity to the listening experience (Batchelor 2015; Stefani / Lauke 2010). This enhanced spatiality not only makes the music more engaging but also adds significant emotional impact and meaning to the composition.

Electroacoustic composition offers a unique opportunity for spatial exploration because it provides the tools necessary to manipulate spatial settings, distribute sounds, and create movements both during the composition process (by precisely controlling spectral space and embedding spatial characteristics into sound files) and during live performances (using sound diffusion techniques) (Barreiro 2010).

Multichannel setups allow for precise localization of sound sources, enhancing the spatial impression and making the listening experience more dynamic and

engaging (Howie et al. 2016; Leider 2007). The most exhilarating and captivating idea related to space in acousmatic music is that it not only involves moving sounds through space but also transports the listener to different auditory environments, creating parallel listening universes. This is largely due to the acousmatic medium's ability to evoke spatial and locational references in sound (Barreiro 2010).

### Improved Listener Envelopment

Listener envelopment (LEV) describes the feeling of being surrounded by sound. This perceptual quality has been studied in concert hall acoustics, spatial sound reproduction, and electroacoustic music (Lynch / Sazdov 2017; Riedel / Zotter 2023; Soulodre et al. 2003). This definition suggests that an ideal diffuse sound field is enveloping, because it is characterized by infinitely many incoherent plane waves impinging from all directions with equal variance (Jacobsen / Roisin 2000). Additionally, the spatial granular synthesis method is employed to accurately manage the timing and directional concentration of sound events. (Riedel et al. 2023).

Multichannel systems significantly improve listener envelopment (LEV), providing a more realistic and engaging auditory scene (Soulodre et al. 2003). This enhanced envelopment closely approximates the acoustics of a concert hall, creating a more immersive experience for the listener. The total size of the sound scene is significantly larger in multichannel compositions, providing a more expansive auditory experience that surrounds the listener from all directions.

### Realistic and Hyper-realistic Sound Reproduction

Soundscape composition, though it treats sound as inherently tied to its context, is associated with the idea of decontextualization. In a way, it can be seen as a specific type of acousmatic music. The space itself is a thematic focus, and the techniques used to spatialize its diffusion serve as tools for representation, striving to preserve the coherence of the subject as much as possible (Martusciello 2022).

The phenomenon of reproduction has influenced our perception of quality listening. We believe we are experiencing high quality sound, although this is not always the primary goal of audio reproduction methods. Ironically, in cinema, the realism between sound and image is achieved by removing real recordings, which are often deemed disappointing and uninteresting, and by creating a fabricated illusion of reality (Puronas 2014). This feeds the schizophonic phenomenon of separating the sound from its source. Nevertheless, the public accepts this illusion as more real than reality itself. In fact,

the more a sound is processed or highlighted, the more convincingly real it seems (Martusciello 2022).

The technology accessible to electroacoustic composers allows us not only to record sound but also to fully immerse listeners in our auditory creations. Techniques such as binaural sound, ambisonics, and loudspeaker domes enable composers to craft intricate soundscapes and project them in a manner that renders them hyper-realistic (Rossiter 2020). Additionally, multi-channel soundscape compositions can evoke mythical places and events, transporting the listener to an imaginary realm. The magical qualities of this space are conveyed through transformed versions of hyper-realistic soundscape elements (Truax 2012a).

### Enhanced Expressive and Theatrical Elements

Multichannel spatialization enables acousmatic composers to intricately map sonic events to specific locations within a listening space, in ways that were previously unattainable with stereo sources (Stefani / Lauke, 2010). Multichannel setups can significantly enhance the expressive and theatrical elements of musical performances. By leveraging advanced spatialization techniques, composers can create more engaging and immersive performances. Site-specific approaches to spatialization can further enhance these aspects by tailoring the sound diffusion to the unique acoustics of the performance space (Knight-Hill 2015; Stefani / Lauke 2010).

In music, ambiophony can be crafted with meticulous detail by the composer to highlight archetypal and global environmental perception. It creates a space where attention is drawn to the overall soundscape rather than isolated sounds. Consequently, the listener does not pinpoint the sources of sounds but is enveloped in a diffuse ambience, with this diffuse quality defining its archetypal nature (Lotis 2003; Stefani / Lauke 2010).

Loudspeakers play a significant visual role in the listening space during acousmatic performances, often serving as the audience's only visual connection to the sound source. They can be hidden to create a more ambiguous perception of sound localization or prominently displayed to enhance the theatrical aspect of the performance. By using various loudspeaker types and sizes, performances can become visually and sonically engaging. This approach, seen in setups like BEAST's *Tweeter Trees* and the *GRM Acousmonium*, emphasizes the importance of the visual element in sound diffusion. Switching the focus between different loudspeakers can create dramatic effects and a sense of dialogue, adding cultural, comic, or melodramatic dimensions to the work (Stefani / Lauke 2010).

## Creative Choices and Motivations in Multichannel Composition

### Exploring New Sonic Territories

The discovery of new sounds through tape manipulation or the creation of custom devices for generating unique timbres became as crucial to the success of a piece as its temporal context. The tools available in the electroacoustic music studio offered complete control over every aspect of the compositional process, down to the finest details of the acoustic signals. It became possible to construct entirely new soundscapes using just a tape machine, amplifier, and loudspeakers for playback (Emmerson 1986).

Programs exist at various levels, from assembler code (very low level) to high-level scripting languages that often feature more human-readable structures, resembling spoken languages or graphical representations of familiar objects. Domain-specific languages maintain general programmability while offering additional abstractions suited to particular domains, such as sound synthesis (Collins / d'Esquivan 2017). These programs include CSound, SuperCollider, Chuck, and MAX 9.

Composers utilize multichannel audio to craft immersive aesthetic experiences by harnessing spatialization techniques, advanced recording methods, and innovative playback formats. These approaches enhance the listener's perception of space, depth, and realism, leading to a more engaging and meaningful auditory experience. The ability to manipulate sound in three-dimensional space opens new creative possibilities, allowing composers to explore sonic territories that were previously inaccessible.

### Enhancing Spatial Imagery and Meaning

The aim of spatial audio in electroacoustic music is to evoke experiences in listeners that hold artistic significance, particularly through the spatial characteristics of perceived sound. Consequently, a multichannel audio system should strive to deliver acoustic signals that evoke these artistic spatial experiences and understandings. A deeper understanding of the intricate relationship between spatial sound systems and the listener's perception allows for more effective utilization of these systems for artistic purposes (Kendall 2010).

There exists a unique and complex connection between meaning and space. Spatial meaning arises from the embodied nature of spatial perception, reflecting how we think about and experience space. It also emerges from

the distinct characteristics of multichannel reproduction and the inherent qualities of the artistic medium. Through the fusion of technical and artistic exploration, new and undiscovered avenues for meaning can be uncovered through spatial audio (Kendall 2010).

Space functions as a multifaceted musical element that can seamlessly integrate into a composition's structure, sometimes becoming the primary conveyer of meaning within the piece. This process of creation and interpretation of meaning is influenced by cultural norms of interpersonal communication, such as concepts of personal space and territoriality. Additionally, it acknowledges the intimate relationship between electroacoustic music composition and technology, highlighting how available technologies influence aesthetic decisions and strategies for spatial composition (Henriksen 2002). Fully grasping the spatial implications of a composed environment is challenging, if not impossible. However, recognizing the presence of these subconscious elements is essential for effectively incorporating space into musical compositions and interpreting spatial aspects during music appreciation (Henriksen 2002).

The foundational model of acoustic communication posits that information and meaning emerge through attentive listening, drawing from both the internal structure and patterns of the sound itself, as well as the listener's contextual understanding. Ultimately, both internal and external complexities contribute to our comprehension of sound (Truax 2012b). Techniques like image dispersion and the precedence effect are crucial for crafting meaningful spatial experiences. Through manipulation of sound's spatial attributes, composers can create intricate auditory landscapes that convey narratives, emotions, and abstract concepts in ways that traditional stereo compositions cannot achieve.

### **Creating New Aesthetic Paradigms**

Composers aim to create new aesthetic paradigms by leveraging technology to broaden rather than narrow aesthetic boundaries, providing listeners with tools to perceive complex relationships of time and space (Newcomb 1998). The development of environmentally interactive computer music systems is driven by the desire to offer profound personal benefits and limitless variation with infinite control. This push towards new aesthetic frontiers reflects a broader trend in contemporary music towards more immersive and interactive experiences.

Advancements in music technology open significant new opportunities in multichannel composition and system design. These emerging possibilities necessitate new

strategies and aesthetic considerations and have implications for presentation, performance, and reception (Wilson / Harrison 2010). While it is easy to be excited about the opportunities these developments present, it is important to remember that they also come with potential negative side effects. Along with the loss of the straightforward exchange of artistic works, which may also lead to a decline in the sharing of the aesthetic and technical knowledge they contain (Wilson / Harrison 2010).

### **Integrating Performance and Composition**

The use of multichannel systems has led to a blurring of lines between composition and performance practices. Traditionally, composition and performance were seen as distinct stages in the creation and presentation of music. Composers would write music, often with minimal consideration for the performance space, while performers would interpret these compositions, adapting them to the performance environment. However, modern advancements in technology, particularly the use of multichannel audio systems, have led to a significant shift in this dynamic, resulting in a more holistic approach where composition and performance practices are intertwined.

The integration of performance and composition has seen significant transformation with the advent and increased use of multichannel systems in the realm of music and sound art. Composers now often consider the spatial layout of speakers and the performance space as integral components of the composition process (Stefani / Lauke 2010; Wilson / Harrison 2010). This integration allows for more dynamic and responsive performances, where the spatial aspects of the music can be adjusted in real-time to suit the specific acoustics of the venue or to react to the audience's response.

### **Exploring Psychoacoustic Effects**

Psychoacoustics has significantly contributed to understanding the fundamental connections between tones, their combinations, and sequences, and the resulting sensations of loudness, pitch, timbre, consonance, dissonance, and rhythm (Houtsma 1999). Multichannel systems allow composers to explore and exploit various psychoacoustic effects. The ability to precisely control the direction and movement of sound enables composers to create illusions of space and movement, significantly enhancing the emotional impact of their work. This exploration of psychoacoustics opens new avenues for musical expression and listener engagement.



Furthermore, electroacoustic music holds the same potential as modern visual art, making it a valuable tool for therapeutic or educational applications. Investigations show how electroacoustic environments, created using various semi-automatic signal processing techniques, can impact listeners' perceptions and foster psychological experiences in areas such as creativity, emotion, self-perception, and mental association (Parada-Cabaleiro et al. 2017).

### Understanding Listener Perception

Electroacoustic music lacks a clear vocabulary for discussing its spatial aspects. It not only misses terms to describe the spatial characteristics of individual sound sources but also lacks language to explain how these characteristics contribute to artistic expression. To date, there have been few perceptual studies focused on multi-channel electroacoustic music. As a result, there is no standardized method for obtaining perceptual responses from listeners (Kendall / Ardila 2007). Several studies have drawn from the fields of psychoacoustics, concert hall acoustics, and audio reproduction research to design perceptual experiments aimed at understanding how multi-channel electroacoustic music influences the perception of spatial characteristics (Lynch 2014).

These studies examine how various frequency ranges, levels of sonic complexity, and loudspeaker placements affect the perception of spatial attributes, spatial clarity, envelopment, and engulfment. The spatial attribute of envelopment is a well-understood term often used to describe the sensation of being surrounded by sound (Lynch 2014; Rumsey 1998).

Understanding listener perception is vital in multichannel audio compositions. Composers consider how listeners perceive spatiality and meaning, focusing on mental processes related to space and meaning, such as image dispersion and the precedence effect (Kendall 2010). This attention to psychoacoustics ensures that the spatial elements of the composition enhance rather than detract from the overall musical experience.

### Site-Specific Considerations

The performance spaces for electroacoustic music have evolved significantly, incorporating various spatial and technological innovations to enhance the listening experience. These innovations are crucial for composers and listeners alike, offering new ways to interact with and perceive sound. The concept of a *Sound House*, for instance, proposes a multi-space center for electroacoustic music and sonic art, emphasizing social interaction and practical application beyond traditional

concert halls (Jones 2001). Site-specific approaches to multichannel spatialization also enhance the theatricality and expressive functions of sound diffusion in electroacoustic music, making the listening experience more immersive and engaging (Stefani / Lauke 2010).

Technological integration plays a pivotal role in these innovative performance spaces. Electroacoustic feedback experiments by pioneers like Alvin Lucier and Max Neuhaus have led to the emergence of sound installations that highlight the spatial dimension of sound propagation (Matthieu 2017). New auditoriums designed with electroacoustic technology include advanced sound reinforcement systems, movable loudspeakers, and artificial reverberation systems to improve sound quality and control (Yamaguchi 1978). These advancements allow for precise manipulation of sound in space, creating a more dynamic and interactive auditory experience.

Contemporary trends show an increased use of surround 5.1, four-channel, and eight-channel systems, with a decline in stereo usage, as composers become more familiar with various spatialization systems. This familiarity enables them to focus less on performance and interpretation issues and more on the artistic potential of spatial sound (Otondo 2008). Handling space in multichannel electroacoustic works involves enhancing the spatial dimension of sounds through specific processing techniques, such as Max/MSP (MAX 9) patches (Barreiro 2010), Csound, and SuperCollider. The research highlights a shift towards more innovative and technologically integrated performance spaces, designed to enhance the spatial and theatrical aspects of sound. These developments are transforming traditional concert halls into more interactive and immersive environments, thereby shaping the contemporary electroacoustic music experience.

## Technological Advancements Driving Multichannel Audio

### Innovations in Recording Techniques

The evolution of multichannel audio has been significantly influenced by advancements in recording techniques. These techniques aim to enhance the spatial and immersive qualities of audio, providing listeners with a more engaging and realistic auditory experience. Exploration in acousmatic music is advanced by the opportunities provided by recording technology, studio composition methods, and sound diffusion techniques (Barreiro 2010).

Perceptually motivated techniques focus on reproducing only the aspects of the sound scene that are relevant to human perception, thus demanding less computational power and fewer equipment resources. In contrast, physically motivated techniques strive to achieve a physically accurate sound field reproduction, which requires more computational and equipment load (Hacihabiboglu et al. 2017).

The evolution of multichannel audio has also seen the development of complex microphone arrays and sophisticated recording methods to capture the full spatial characteristics of sound sources. Techniques such as vector-base amplitude panning, and perceptual sound field reconstruction have provided new ways to capture and reproduce three-dimensional sound fields, offering composers and sound engineers unprecedented control over the spatial aspects of audio (Hacihabiboglu et al. 2017).

### Digital Signal Processing and Spatial Audio Rendering

Digital signal processing techniques, such as time stretching, granulation, filtering, and transposition, alter the source material. These manipulations generate abstract sounds that are not readily identifiable as originating from real-world sources (Lynch 2014). The purpose of creating a variety of material is to utilize different sound sources to express and represent the diverse and evolving themes throughout the narrative of the piece (Lynch 2014).

Spatial audio is a field dedicated to exploring techniques for replicating the spatial characteristics of sound (such as direction, distance, width of sound sources, and room envelopment) for listeners. These attributes cannot be accurately reproduced with a single loudspeaker, which led to the introduction of two-channel stereophony and its subsequent extension to various surround sound formats using five to eight loudspeakers. Even more precise reproduction of spatial attributes can be achieved with loudspeaker configurations typically found in theaters and some public venues, where many loudspeakers are positioned around, and sometimes above or below, the listeners (Hacihabiboglu et al. 2017).

A fundamental question in spatial audio is how to place a sound source in a specific direction within the virtual auditory space. A well-known method, called *amplitude panning*, involves applying a sound signal with varying amplitudes to different loudspeakers. Traditionally, amplitude panning has been limited to two-dimensional (2D) loudspeaker setups, but it has been extended to three-dimensional (3D) multichannel loudspeaker configurations (Hacihabiboglu et al. 2017).

The spatial dimension in multichannel systems enables unique artistic expressions and amplifies the theatricality of sound diffusion, making performances more engaging and expressive (Stefani / Lauke 2010; Timmermans 2015). Advances in digital signal processing have played a crucial role in the development of multichannel audio. Sophisticated algorithms for spatial audio rendering allow for the creation of virtual sound sources and the manipulation of sound fields in ways that were previously impossible. These technologies enable composers to create highly detailed and dynamic spatial audio experiences, even with limited physical speaker configurations.

### Virtual and Augmented Reality Integration

*Audio augmented reality* (AAR) involves technology that integrates computer-generated auditory content into the user's real-world acoustic environment. An AAR system has unique requirements distinct from typical human-computer interfaces: an audio playback system to enable the simultaneous perception of real and virtual sounds; motion tracking to facilitate interactivity and location-awareness; the design and implementation of an auditory display to present AAR content; and spatial rendering to convey spatialized AAR content (Gamper 2014).

Sound field reproduction systems, such as *wave field synthesis* (WFS), operate on the principle of natural sound wave propagation. This approach allows them to create a true sound field uniformly over an extended listening area. WFS virtual sources are localized with much greater accuracy compared to stereophonic phantom sources (Ranjan 2016).

Spatial rendering is often achieved by convolving virtual sounds with *head-related transfer functions* (HRTFs). This framework uses *Delaunay triangulation* to organize HRTFs into subsets appropriate for interpolation and employs barycentric coordinates as the interpolation weights (Gamper 2014).

The rise of virtual and augmented reality technologies has opened new frontiers for multichannel audio. These immersive technologies require sophisticated spatial audio techniques to create convincing and engaging experiences. As a result, there has been significant research and development in HRTFs and binaural audio rendering, which enable the creation of three-dimensional sound environments through headphones.

### Network Audio and Distributed Performance

The evolution of music from traditional concert performances to multimedia and interactive art forms reflects a rich history of creativity spurred by

technological advancements. Over the past few decades, experimental scores incorporating visual elements have expanded the scope of musical expression beyond classical boundaries, with pioneers like Mauricio Kagel breaking new ground. Randall Packer and Ken Jordan's book, *Multimedia: From Wagner to Virtual Reality (2001)*, illustrates how the concept of the total artwork evolved into diverse multimedia performances. Modern communication technologies, such as mobile phones and the Internet, have transformed how artists and scientists collaborate, enabling rapid, global exchanges and the creation of innovative projects. These advancements have shifted the scale and pace of artistic collaboration, allowing new media to serve as dynamic platforms for interactive and evolving art forms. As music continues to evolve from analog to digital and from live performances to virtual experiences, it offers new opportunities for exploration and expression in contemporary culture (Dal Farra 2005).

One notable technological advancement in this context is network audio, which refers to the transmission of audio signals over computer networks. This technology enables the distribution of high-quality audio across various devices and locations by leveraging standard networking protocols and infrastructures. Moustakas, Floros and Kapralos demonstrated the *Augmented Reality Audio Network (ARAN)* concept in the context of a live electroacoustic music concert. Their subjective evaluation indicated that the ARAN framework could represent a significant alternative to traditional *augmented reality audio (ARA)* approaches in the artistic and creative domain (Moustakas et al. 2016).

Network audio technologies have thus enabled new forms of distributed performance and composition. Multichannel audio can now be transmitted over networks with low latency, allowing for real-time collaboration between musicians and composers in different locations. This has opened up new possibilities for remote performances and interactive installations that span multiple physical spaces.

### Machine Learning and AI in Spatial Audio

The integration of machine learning and *artificial intelligence (AI)* in audio production is beginning to influence the field of multichannel audio as well. AI algorithms are being developed to assist in the spatial mixing and mastering of multichannel audio, automating complex tasks and offering new creative tools for composers and sound designers. As noted by Whalley, within this broader context, integrating machine learning, mapping, and automation into electroacoustic music presents several challenges and speculative opportunities.

A notable gap in the literature is the lack of comprehensive frameworks that link electroacoustic music to emotional responses and techniques for mapping micro-gestures to enhance subtlety in performances. *Machine learning* offers a way to manage this complexity by analyzing vast data sets and real-time data streams, using tools like WEKA to create a database of emotional responses associated with sound gestures. This involves developing a common language for mapping micro-gestures and micro-sounds and automating these processes to handle increasing data complexity. The ultimate aim is to establish a networked, interactive environment that bridges human and machine interactions in electroacoustic music, which could lead to new ways of understanding and experiencing networked life through sonic exploration (Whalley 2015).

### Compositional Examples

The development of multichannel music has led to some of the most creative works in contemporary music, broadening the possibilities of spatial and auditory experiences. A key example is Karlheinz Stockhausen's *Gesang der Jünglinge*<sup>1</sup> (1956), considered one of the first significant works of multichannel electronic music. Stockhausen used five channels to create an immersive soundscape, blending electronic sounds with recorded voices (Stone 1963). His precise control over the positioning and movement of sounds in space shifted the understanding of music from a linear progression to an engaging, surround experience, paving the way for future innovations in spatial composition.

**Sound Example 1.** Excerpt of *Gesang der Jünglinge* (1956) by Karlheinz Stockhausen

© 1956 Stockhausen-Stiftung für Musik, Kürten. Reprinted by permission. Available to listen at [www.Keams.org/emille](http://www.Keams.org/emille)

Iannis Xenakis's *Persepolis*<sup>2</sup> (1971) is a significant 8-channel electroacoustic composition (Yardumian 2024). In this work, Xenakis treated space as an active musical element, using detailed textures and powerful sounds to create an intense sensory impact. The spatial arrangement was a key part of the piece, with sounds spread across large outdoor areas to surround the audience in a constantly changing acoustic environment. *Persepolis* demonstrates how multichannel techniques can provoke not only auditory but also physical reactions, pushing the boundaries of traditional music performance and listening experiences.

**Sound Example 2.** Excerpt of *Persepolis* (1971) by Iannis Xenakis

© 1971 Editions Salabert, part of Universal Music Publishing Classics & Screen International Copyright Secured. All Rights Reserved Reprinted by Permission of Hal Leonard Europe BV

John Chowning's 1972 composition *Turenas* is an important work in electronic music, using quadraphonic sound spatialization to create the illusion of moving sounds. Chowning achieved this effect by combining Doppler shift and changes in amplitude, controlled through *Lissajous figures*, which are mathematical curves describing smooth, looping paths. This method enabled Chowning to simulate sound movement in a realistic and convincing way. By 1968, he had developed a system using four speakers and a computer program to control the perceived direction and distance of sounds. However, this system had some challenges, such as difficulty with perceiving multiple trajectories at once and sudden changes in sound direction. The use of *Lissajous figures* solved these problems by producing smooth and natural sound movements. Additionally, FM synthesis in *Turenas* enhanced the spatial effects, enabling Chowning to create timbral changes that aligned with the spatial motion of the sounds (Chowning 2011). Both the stereo and 4-channel versions are available online as individual files.

**Sound Example 3.** Excerpt of *Turenas* (1972) by John Chowning

© 1972 John Chowning. All rights reserved. Reprinted by permission.

*Provenance – émergence* is a 24-channel electroacoustic composition by Hans Tutschku<sup>3</sup>, created in 2022 (Tutschku 2024a). The piece premiered on October 29, 2022, at the GRM in Maison de la Radio, Paris, and was produced in studios at Harvard University and GRM Paris (Tutschku 2024b). Lasting 18 minutes and 45 seconds, the composition takes listeners on an introspective journey, where "fragments of dreams and memories converge in a vast space full of dynamic movements (Tutschku 2024a)." The soundscape explores an unfamiliar medium, "between air and liquid," with distinct voices emerging through three slow, large waves that unify the piece (Tutschku 2024a). Both 8-channel and 24-channel versions are available online as individual mono files.

**Sound Example 4.** Excerpt of *Provenance – émergence* (2022) by Hans Tutschku

© 2022 Hans Tutschku. All rights reserved. Reprinted by permission.

Curtis Roads<sup>4</sup> composition *Then* (2010–2016) was created using a method called multiscale planning. This approach involves designing flexible, temporary systems on multiple levels, from small sound fragments to the overall structure of the piece (Roads 2016). Multiscale planning was essential for organizing and mixing the piece, which involved over 2,100 stereo tracks. Spatial processing was a key element, using techniques like tape echo feedback to create a ping-pong effect and various reverberators to balance dry and reverberant sounds. The piece has been performed in different multichannel setups, such as an 8-speaker system and the 47-speaker ZKM Klangdom. To

adapt the spatialization to different setups, Roads developed a program called *Spatial Chords*, which enables real-time generative upmixing. This ensures that the spatial design of *Then* matches its musical structure during live performances, regardless of the sound system (Roads 2016, 2019). A stereo version of *Then* is accessible online.

**Sound Example 5.** Excerpt of *Then* (2010–2016) by Curtis Roads

© 2016 Curtis Roads. All rights reserved. Reprinted by permission.

*For Reza* (2022) is a musical piece composed by Joachim Heintz<sup>5</sup> to celebrate the 50th birthday of Reza Korourian (1971–2015). It was premiered at the Tehran International Electronic Music Festival (*TIEMF*) in 2022. The composition was inspired by Heintz's experience with Korourian's music, particularly the opening of *Violet Room*. Heintz describes the music as "bells, bells, loud, persistent, thousand years without any change," suggesting it expresses something deeply difficult in Korourian's life. The piece was created at the request of the friends of the Yarava Music Group, where Korourian was a member (Heintz 2022). Both the stereo and 4-channel versions are available online as individual files.

**Sound Example 6.** Excerpt of *For Reza* (2022) by Joachim Heintz

© 2022 Joachim Heintz. All rights reserved. Reprinted by permission.

*AI Phantasy*, an electroacoustic composition by Panayiotis Kokoras<sup>6</sup>, explores the line between reality and imagination through a unique mix of sounds. Created in 2020, the piece combines studio recordings, found objects, and machine learning software. It includes various sound sources, such as manipulated vacuum cleaner sounds, pan flute-like instruments, and premade sound effects. Kokoras used a technique he developed called *fabrication synthesis* to modulate sounds from the vacuum cleaner and other objects (Lautour 2021). He also used commercial software, like *Sononym* and *Orchidea*, to analyze and categorize over 500,000 sound files, which helped him find similar sounds and create orchestrations based on specific targets. The title *AI Phantasy* reflects both the fantasies of a child, blending internal and external realities, and the daydreams adults create. This idea is expressed in the composition's sound world, which combines studio recordings, instrumental sounds, and synthesized noises to form an engaging listening experience. Both stereo and 8-channel versions are available online as individual mono files.

**Sound Example 7.** Excerpt of *AI Phantasy* (2020) by Panayiotis Kokoras

© 2020 Panayiotis Kokoras. All rights reserved. Reprinted by permission.

*Untitled No. 2*, composed by Ali Balighi in 2023, uses Max/MSP for granular synthesis and multichannel algorithmic composition (Balighi 2023). Both the stereo

and 4-channel versions are available online as individual mono files.

**Sound Example 8.** Excerpt of *Untitled No. 2* (2023) by Ali Balighi

© 2023 Ali Balighi. All rights reserved.

## Conclusion

Multichannel audio has significantly transformed the landscape of musical composition and listener experience. By enhancing spatial perception, enabling more immersive soundscapes, and providing composers with new tools for artistic expression, these systems have opened new possibilities in music creation and appreciation. The technology has not only changed how we create and perceive music but has also influenced broader areas of entertainment, communication, and artistic expression.

As we look to the future, the potential for even more sophisticated and engaging multichannel audio experiences remains an exciting prospect for both composers and listeners alike. The ongoing integration of multichannel audio with other emerging technologies promises to continue pushing the boundaries of what is possible in sound and music.

However, as with any technological advancement, the evolution of multichannel audio brings both opportunities and challenges. Balancing artistic vision with technical constraints, ensuring accessibility and standardization, and addressing ethical considerations will be crucial in shaping the future of this technology.

Ultimately, the true value of multichannel audio lies not just in its technical capabilities, but in its ability to enhance human experiences, evoke emotions, and create meaningful connections between creators and audiences. As the technology continues to evolve, it will undoubtedly play a pivotal role in shaping the future of music and sound, offering new ways to explore, create, and experience the rich world of auditory art.

## Acknowledgments

I would like to sincerely thank five outstanding composers: John Chowning, Hans Tutschku, Curtis Roads, Joachim Heintz, and Panayiotis Kokoras. Their exceptional multichannel music greatly enhanced my work. Their compositions added significant meaning and insight to my articles, and their creativity continues to inspire me. I am grateful for their remarkable music and its valuable contribution to my research.

## References

- Balighi, A. (2023). *Untitled No.2*. On *Ghazale Vay*. Noise A Noise. [www.alibalighi.com](http://www.alibalighi.com)
- Barreiro, D. L. (2010). Considerations on the handling of space in multichannel electroacoustic works. *Organised Sound*, 15(3), 290-296. <https://doi.org/10.1017/S1355771810000294>
- Batchelor, P. (2015). Acousmatic Approaches to the Construction of Image and Space in Sound Art. *Organised Sound*, 20(2), 148-159. <https://doi.org/10.1017/S1355771815000035>
- Chowning, J. (2011). Turenas: the realization of a dream. *Journées d'Informatique Musicale*,
- Collins, N., / d'Esquivan, J. (2017). *The Cambridge Companion to Electronic Music*. <https://doi.org/10.1017/9781316459874>
- Dal Farra, R. (2005). Re-thinking the gap. Electroacoustic music in the age of virtual networking. Proceedings of the Electroacoustic Music Studies Network-EMS09 international conference,
- Emmerson, S. (1986). *The Language of electroacoustic music*. In: New York : Harwood Academic Publishers.
- Etlinger, D. (2009). *A Musically Motivated Approach to Spatial Audio for Large Venues* [Northwestern University]. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/musically-motivated-approach-spatial-audio-large/docview/304970961/se-2>
- Gamper, H. (2014). Enabling technologies for audio augmented reality systems.
- Hacihabiboglu, H./ De Sena, E./ Cvetkovic, Z./ Johnston, J./ Smith III, J. O. (2017). Perceptual spatial audio recording, simulation, and rendering: An overview of spatial-audio techniques based on psychoacoustics. *IEEE Signal Processing Magazine*, 34(3), 36-54.
- Harrison, J. (1998). Sound, space, sculpture: some thoughts on the 'what', 'how' and 'why' of sound diffusion. *Organised Sound*, 3(2), 117-127. <https://doi.org/10.1017/S1355771898002040>
- Heintz, J. (2022). *For Reza*. <https://joachimheintz.net/for-reza.html>
- Henriksen, F. E. (2002). *Space in electroacoustic music: composition, performance and perception of musical space* [City University London].
- Houtsma, A. J. M. (1999). On the tones that make music. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105(2\_Supplement), 1237-1237. <https://doi.org/10.1121/1.425950>
- Howie, W./ King, R. L./ Martin, D. (2016). A Three-Dimensional Orchestral Music Recording Technique, Optimized for 22.2 Multichannel Sound. *Journal of the Audio Engineering Society*. <https://aes2.org/publications/elibrary-page/?id=18416>

- Jacobsen, F./ Roisin, T. (2000). The coherence of reverberant sound fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108(1), 204-210. <https://doi.org/10.1121/1.429457>
- Jones, S. (2001). The Legacy of the 'Stupendous' Nicola Matteis. *Early Music*, 29(4), 553-568. <http://www.jstor.org/stable/3519116>
- Kendall, G. S. (2010). Spatial perception and cognition in multichannel audio for electroacoustic music. *Organised Sound*, 15(3), 228-238. <https://doi.org/10.1017/S1355771810000336>
- Kendall, G. S./ Ardila, M. (2007). The artistic play of spatial organization: Spatial attributes, scene analysis and auditory spatial schemata. *International Symposium on Computer Music Modeling and Retrieval*,
- Kerins, M. (2010). *Beyond Dolby (Stereo): Cinema in the Digital Sound Age*. Indiana University Press.
- Knight-Hill, A. (2015). Theatres of Sounds: the role of context in the presentation of electroacoustic music. [https://doi.org/10.1386/scene\\_00016\\_1](https://doi.org/10.1386/scene_00016_1)
- Kokoras, P. (2020). AI Phantasy. On *AI Phantasy*. [https://panayiotiskokoras.com/\\_ai\\_phantasy/](https://panayiotiskokoras.com/_ai_phantasy/)
- Lautour, R. d. (2021). *A Listening Art* Electroacoustic Music Studies Network (EMS),
- Leider, C. (2007). Multichannel Audio in Electroacoustic Music: An Aesthetic and Technical Research Agenda. *2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 1890-1893. <https://doi.org/10.1109/ICME.2007.4285044>
- Lotis, T. (2003). The creation and projection of ambiophonic and geometrical sonic spaces with reference to Denis Smalley's Base Metals. *Organised Sound*, 8(3), 257-267.
- Lynch, H./ Szadov, R. (2017). A perceptual investigation into spatialization techniques used in multichannel electroacoustic music for envelopment and engulfment. *Computer music journal*, 41(1), 13-33.
- Lynch, H. A. (2014). *Space in multi-channel electroacoustic music: developing sound spatialisation techniques for composing multi-channel electroacoustic music with emphasis on spatial attribute perception* University of Limerick].
- Martusciello, F. (2022). The reality of the reproduction. Aesthetics of a "conscious" approach to sound design in the soundscape composition: a case study. *Proceedings of the 17th International Audio Mostly Conference*,
- Matthieu, S. (2017). Electroacoustic Feedback and the Emergence of Sound Installation: Remarks on a line of flight in the live electronic music by Alvin Lucier and Max Neuhaus. *Organised Sound*, 22, 268-275. <https://doi.org/10.1017/S1355771817000176>
- Moustakas, N./ Floros, A./ Kapralos, B. (2016). An Augmented Reality Audio Live Network for Live Electroacoustic Music Concerts. *Audio Engineering Society Conference: 2016 AES International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality*,
- Newcomb, R. S. (1998). Music In The Air: a theoretical model and software system for music analysis and composition. *Organised Sound*, 3, 3-16. <https://doi.org/10.1017/S1355771898009121>
- Normandeau, R. (2009). Timbre Spatialisation: The medium is the space. *Organised Sound*, 14(3), 277-285. <https://doi.org/10.1017/S1355771809990094>
- Otondo, F. (2008). Contemporary trends in the use of space in electroacoustic music. *Organised Sound*, 13, 77-81. <https://doi.org/10.1017/S1355771808000095>
- Ouzounian, G. (2020). *Stereophonica: Sound and Space in Science, Technology, and the Arts*. The MIT Press. <https://lccn.loc.gov/2020003270>
- Parada-Cabaleiro, E./ Baird, A./ Cummins, N./ Schuller, B. W. (2017). Stimulation of psychological listener experiences by semi-automatically composed electroacoustic environments. *2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*,
- Postrel, S. R. (1990). Competing networks and proprietary standards: The case of quadraphonic sound. *The Journal of Industrial Economics*, 169-185. <https://doi.org/10.2307/2098492>
- Puronas, V. (2014). Sonic hyperrealism: illusions of a non-existent aural reality. *The New Soundtrack*, 4(2), 181-194.
- Ranjan, R. (2016). *3D audio reproduction: natural augmented reality headset and next generation entertainment system using wave field synthesis*
- Riedel, S./ Frank, M./ Zotter, F. (2023). Perceptual evaluation of listener envelopment using spatial granular synthesis. *arXiv preprint arXiv:2301.10210*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.10210>
- Riedel, S./ Zotter, F. (2023). The Effect of Temporal and Directional Density on Listener Envelopment. *Journal of the Audio Engineering Society*, 71(7/8), 455-467.
- Roads, C. (2016). *Story of Then (2010-2016)*.
- Roads, C. (2019). Then (2010 - 2016). On *Flicker tone pulse - electronic music 2001-2016*. <https://www.schott-music.com/en/flicker-tone-pulse-no417796.html>
- Rossiter, M. L. (2020). Music–Bodies–Machines. *Airea: Arts and Interdisciplinary Research*(2), 5-22. <https://doi.org/10.2218/airea.5041>
- Rumsey, F. (1998). Subjective assessment of the spatial attributes of reproduced sound. *Audio Engineering Society Conference: 15th International Conference: Audio, Acoustics & Small Spaces*,

- Soulodre, G. A./ Lavoie, M. C./ Norcross, S. G. (2003). Objective measures of listener envelopment in multichannel surround systems. *Journal of the Audio Engineering Society*, 51(9), 826-840. <https://aes2.org/publications/elibrary-page/?id=12205>
- Stefani, E./ Lauke, K. (2010). Music, Space and Theatre: Site-specific approaches to multichannel spatialisation. *Organised Sound*, 15, 251-259. <https://doi.org/10.1017/S1355771810000270>
- Stockhausen, K. (1955–56). *Gesang der Jünglinge*.
- Stone, K. (1963). Review of Karlheinz Stockhausen: *Gesang der Jünglinge* (1955/56), by K. Stockhausen [Karlheinz Stockhausen: *Gesang der Jünglinge* (1955/56)]. *The Musical Quarterly*, 49(4), 551-554. <http://www.jstor.org/stable/740590>
- Timmermans, H. (2015). Sound spatialisation from a composer's perspective. *2015 IEEE 2nd VR Workshop on Sonic Interactions for Virtual Environments (SIVE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/SIVE.2015.7361286>
- Truax, B. (2012a). Music, soundscape and acoustic sustainability. *Moebius Journal*, 1(1), 1-16.
- Truax, B. (2012b). Sound, listening and place: The aesthetic dilemma. *Organised Sound*, 17(3), 193-201.
- Tutschku, H. (2024a). *Hans Tutschku : Special Lecture Talk and concert at the University of the Arts Tokyo*. University of the Arts Tokyo. Retrieved December 2, 2024 from [https://gotolabedu.geidai.ac.jp/en/hans\\_tutschku\\_en/](https://gotolabedu.geidai.ac.jp/en/hans_tutschku_en/)
- Tutschku, H. (2024b). *Provenance – émergence*. Retrieved December 2, 2024 from <https://tutschku.com/provenance-emergence/#:~:text=This%20composition%20takes%20us%20on,medium%20between%20air%20and%20liquid.>
- Whalley, I. (2015). Developing Telematic Electroacoustic Music: Complex networks, machine intelligence and affective data stream sonification. *Organised Sound*, 20(1), 90-98.
- Wilson, S./ Harrison, J. (2010). Rethinking the BEAST: Recent developments in multichannel composition at Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre. *Organised Sound*, 15, 239-250. <https://doi.org/10.1017/S1355771810000312>
- Xenakis, I. (1971). *Persepolis*. On *Persepolis*.
- Yamaguchi, K. (1978). Design of a new auditorium using electroacoustic technology. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64. <https://doi.org/10.1121/1.2003649>
- Yardumian, A. (2024). The Iranian Context of Iannis Xenakis's *Persepolis*. *Meta-Xenakis*.

- 
- <sup>1</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=LcCs6Muljmk>
- <sup>2</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=bUT5hONK7Bw>
- <sup>3</sup> <https://tutschku.com>
- <sup>4</sup> <https://www.curtisroads.net>
- <sup>5</sup> <https://joachimheintz.net>
- <sup>6</sup> <https://www.panayiotiskokoras.com>

[Abstract in Korean | 국문 요약]

전자음향음악에서 다채널 오디오의 예술과 과학: 논평

알리 발리기

이 글에서는 1950년대 페이르 셰퍼 Pierre Schaeffer와 같은 선구자와 함께 시작되어 현재 음악 작곡과 공연의 필수요소로서의 역할까지 전자음향음악의 역사적, 기술적 발전과정을 따라가본다. 서라운드 사운드, 앰비소닉, 특정장소에서의 확산 시스템을 아우르는 공간화 기술에서 중요한 발전사항을 짚어보고, 공간적 인식과 청취작 포위, 청각적 미학에 미친 영향에 초점을 둔다. 이 논의를 통해 다채널 작곡 시 창의적이고 기술적인 과제를 통찰하는 사항들을 정리하면서, 공간적 이미지를 향상시키고 감정적 반응을 불러일으키며 공연 관행을 재정의할 수 있는 능력에 대해 역설한다. 증강 현실, 머신 러닝, 네트워크 오디오 시스템과 같은 참신한 기술을 탐색하며, 현시점의 전자음향음악과 이것의 미래 가능성에서 다채널 오디오의 혁신적 역할에 대한 포괄적 관점을 제공한다.

주제어: 다채널 오디오, 전자음향 음악, 청취 경험, 음악 기술

논문투고일: 2024년 09월20일

논문심사일: 2024년 10월26일, 11월14일

게재확정일: 2024년 11월20일



# Microtonal Row Composition: Transformations Using Intentional Sonic and Hypersonic Phasing

Jack Ballard, Jr.

PhD. Professor of Music, Professor Emeritus

Jballard [at] malone.edu

Kiwibird Creative Services

jack [at] kiwibirdcreativeservices.com

Interaction of frequencies in any given sound have a complexity beyond human hearing or understanding. These interactions are the result of “phasing” or the superimposition of two or more waves against, opposed and in synchronization with each other. Phasing creates moments of produced frequencies within the range of human hearing. This can be used as a method for 12-tone row compositional techniques beyond the traditional variations – retrograde, transposition, inversion, retrograde-inversion, etc. – by using half-rows to produce compositional rows through phasing of arbitrary and filtered frequencies.

**Keywords:** Acoustics; composition; serialism; microtonal; sonic

## The construction and destruction of sound

The concept of “pure” sound has been argued incessantly since the concepts of harmony and tuning systems appeared in each culture. As each advent of harmonic consideration appeared, from the then radical concept of organum to the more complex interactions of jazz, microtonal and extended harmonies, controversy has inhibited its acceptance into the world of music composition, presentation and reception. The interaction of frequencies against and with each other produces a “matrix” of additional harmonics and difference tones (Ballard, 2022). Practical uses from such interaction included additive, AM and FM synthesis.

This “phasing” may be used to generate new tones. It has shown to be as simple as pitting one audible frequency against another to produce harmonic and non-harmonic frequencies that support or clash against the initiating tones (Ballard). This phasing has shown interesting developments when changed to different bandwidths. Our ideas of consonance, for example, are rendered in the mid-range frequencies (200Hz to 1kHz), but as we shift these relationships into very high or very low areas (>1kHz, >20kHz, >100kHz, <200Hz), phased tones have different results. How this affects the human hearing and psychoacoustics is a new area; for our purpose, we will examine the application to compositional techniques.

## Hyper- and ultra- sonic frequencies

Digitizing music – in its various and arguably progressive forms – has benefited the archiving of composed pieces, but the quantizing eliminates significant frequencies above 22.05kHz (44.1kHz/2) that may assist or be

fundamental in generating these matrices. Several researchers have pointed out that these frequencies – generated by harmonics, additional resonance and amplitude – are actually heard, through induction, phasing matrices or media (Qin, et al (2011), Ballard, (2022), Nishimura, et al (2021), Oohashi, et al (2000)).

However, this paper will demonstrate logically that these frequencies as present in various manifestations, conceptually, initially or as generated heard or perceived and may be used in compositional practice. How these manifestations are perceived, interpreted or even used depend upon the amplitude of the originating vibration and their generation but may nonetheless provide avenues for composition, especially in *avant garde* or 12-tone row approaches. Auditory lab work determining perception is not the focus herein but presents the possibility as an avenue for new compositional approaches using ultra- or hyper-sonic frequencies as initiated by and reduced from their pitch classes and resulting rows from their phasing interactions. Further laboratory research using paired and tripled ultrasound machines as generators and units may reveal audible complex matrix systems.

## Compositional method

For one example of compositional methods, we will focus on the uses of a *phase transformation row* (PTR) technique as an approach to 12-tone row composition.

It is important to remember that *any* frequency or frequency system may be used as a starting point for compositional purposes. Selection of the beginning frequency is arbitrary and one may select from the various “A<sub>f</sub>” tunings, use equal, just, Pythagorean or mean intonations or even

change the mathematical functions to provide raw materials, methods or results. A starting frequency may be C, F or Bb.

The second criteria is the tuning systems and scales. Using phasing strictly relies on the superimposition of frequencies, so as will be shown, it doesn't matter which scale or intonation method the composer wishes to use. A third is the filter by which the scale's pitches are moved by octave, exponent, frequency addition or mathematical function. A fourth occurs after processing resultant phased frequencies, by quantifying said frequencies into usable criteria ("usable" being at the discretion of the composer). Thus:

$$f \Rightarrow (\text{intonation}) \Rightarrow (\text{frequency range transformation}) \Rightarrow (\text{phase results}) \Rightarrow \text{quantification}$$

One may begin with A<sub>440</sub> and develop other tones through different intonation systems. See the table below for some examples.

	Beginning pitch	Intonation System	Hypersonic Method	Quantification
A	A440	Equal Temperament	Octave Transformation	12-tone
B	A440	Just	Exponential Transformation	24-tone
C	C523 (A440, EQ)	Equal Temperament	No hypersonic transformation	6-tone
D	C528	Just	Octave Transformation	12-tone
E	C528	EQ	Octave Transformation	Pentatonic

Given certain systems throughout the world and to be consistent between ensuing methods, we will begin with a representative frequency of C<sub>258</sub>. This frequency for "C" is consistent with a just intonation resulting from an A<sub>440</sub> standard (5:6). As we will see below, various results occur *after* this point in the method by the filters of temperament, hypersonic addition and tone systems. All depend upon the starting point of this arbitrary frequency.

To demonstrate the compositional applications of a PTR, we will begin and end with our rows ranging from C<sub>5</sub> or C<sub>528Hz</sub> to C<sub>6</sub> or C<sub>1056</sub>. This is the upper end of what many composers consider a harmonically optimal bandwidth (HOB). Our rows will use C<sub>528Hz</sub> as "0" and the numeric system as "0-11" for a conventional 12-tone system designation.

### Phase transformation by number

Roeder pointed out the compositional benefits of phasing in his perspective on Reich's phase shifting compositions, such as *Six Pianos*, *R59*, and other analyses that peripherally reference aggregate incidental phasing between

frequencies (Roeder: 279, 281). Although this is best seen in tonal phasing – that is, in the harmonic changes as superimposed frequencies or even melodies shift, such as in so-called "beat waves" found practically in bass guitar tuning – it is possible to see acoustic phasing between juxtaposed frequencies.

As the project awaits effective and affordable gear that would be applied in unconventional ways (at the time of this writing) to use in performance or even practical composition, it demonstrates the generation of tone rows by using simple arithmetic.

This method does not need actual tone production but can be deduced by adding octaves to a fundamental mid-range tone until one gets above the threshold of audible tones. For our purposes, we consider "hypersonic" a working and arbitrary bandwidth between 25kHz and 100kHz. Technically, any hypersonic or ultrasonic bandwidth may be used: kHz, MHz or even those in more extreme ranges that surpass seismic waves. Any of these bandwidths may add quite a change in resulting PTRs, based on the criteria implemented by the composer. In the literature we referenced, there is some confusion as to the precise meaning of "ultra" or "hyper" -sonic terms; to avoid confusion, we will designate "hyper" as anything between 20kHz and 100kHz, and "ultra" to refer to sonic frequencies above that.

Aside from serving as an introduction to the lab process, our compositional, numerical model allows a functional approach to compositional methodology.

### Function

To produce a Phase Transformed Row (PTR), we have the option of several function types. One "function" depends on the bandwidth of the original tones, which may be conventional mid-range, sub- and hyper-sonic. Because of the vagrancies of resulting difference tones, a second uses tuning as a separate function. For our examples, we will limit them to Equal Temperament (EqT), Just (JUST) and Pythagorean (PYTH) although many more may be used. A third depends on the quantization of resulting PTR frequencies into 12-, 24- or even 48- tone octaves once reduced to HOB. A fourth allows the traditional transformation of one or both of the original "halfrows" – T, R, I, RI, etc. – which will change the 1:1 correspondence and the resulting PTR drastically. Finally, an approach to composition is to ignore the row in its raw 1:1 correspondence, and determine difference tones that shift, based on the metamorphosing interaction of the entire thematic material including rhythms.

### Three formulae for bandwidth ranges

If we begin, process, and end with our frequencies only in the HOB (between C<sub>4</sub> and C<sub>5</sub>), our results may be conventional and difference tones adhere to logical, chordal or interactive guidelines. Our beginning tones in the HOB are deduced to the EqT frequencies below (using C<sub>4</sub> as 528Hz and the conventional 1:1.05496 ratio):

	EQUAL TEMP
	<i>f</i> <sub>1</sub>
C SERIES	528
C# SERIES	559.39488
D SERIES	592.6565
D# SERIES	627.89586
E SERIES	665.23054
F SERIES	704.78515
F# SERIES	746.69168
G SERIES	791.08996
G# SERIES	838.12817
A SERIES	887.96327
A# SERIES	940.76157
B SERIES	996.69925

**Figure 1.** C<sub>4</sub> - B<sub>4</sub> in harmonically optimum bandwidth (HOB) range (EqT tuning)

Because phasing requires the interaction between two or more frequencies, our initial tone rows must either be doubled (e.g., 12 x 2 = 24 tones in two interactive rows, although this can invite additional modifications) or divided into *halfrows* (12/2=6+6), so that each tone corresponds to its partner in the other half while maintaining the strict rules for 12-tone atonality. These allow for a new transformation that will change each time the top row and/or bottom row may be transformed in traditional ways (R, T, I, IR, etc.).

See Figures 2 and 3 for an example of a 12-tone row, divided against itself into two superimposed half-rows:



**Figure 2.** 12-tone (6+6) row example



**Figure 3.** Halfrows derived from initial 12-tone row example

This simple derivation of two frequencies is confined to the octave to produce the so-called “difference” tones by simply subtracting the lower from the top, regardless of focus, initial bandwidth or priority ( $d = f^2 - f^1$ ). This

produces consistently and harmonically audible tones, ranging from (60Hz to about 2kHz).

This is based on the 1:1 correspondence between each row’s notes, which generates a new row, similar to the traditional approaches but by using phasing (difference tone) results. In the following figure (Fig. 4), the bottom row (“*f*<sub>3</sub>”) shows the difference tone frequencies in their raw form.

One will notice that these do not perfectly line up with the equally tempered frequencies above. However, as this is a compositional application, we may add several conditions or functions. The resultant frequencies from this type of phasing, for example, maybe controlled by reducing to pitches that are rendered within a single octave in the HOB. In such as case, it does not need to be perfectly accurate as it will be quantized to fit a 12- or 24- tone octave as desired. As the purpose is to provide a criterion through which we can develop a new transformation in our 12-tone row, we simply round to the nearest half-step.

A second possibility is to add a 24-tone octave, and then quantize the resulting frequencies to that rule, adding quarter-tones to the reduction. A third is to begin with half-rows of a 24-tone row (e.g., Row 1 of 12 and Row 2 of 12), which may be impractical at the performance level and may also lead to additional reduction problems. The composer may institute rules needed to incorporate a 48-note row. There are many compositional possibilities for specific criteria as dictated by the composer.

HALFROW 1	C	F#	D#	G	B	D
<i>F</i> <sub>1</sub>	528	747	628	791	997	593
HALFROW 2	G#	F	C#	A	E	A#
<i>F</i> <sub>2</sub>	838	705	559	888	665	941
HALFROW PT						
<i>F</i> <sub>3</sub>	310	42	69	97	331	348

**Figure 4.** Difference tone frequencies (before location to optimum octave)

The audible frequencies above as they are produced all are out of the range of our HOB, or C<sub>4</sub>-C<sub>5</sub> (528Hz-1096Hz) as shown above in Fig. 1. By multiplying according to the appropriate ratio, we can put each pitch in the HOB for the best rendering. The first, (G<sub>838</sub>-C<sub>528</sub> = 310Hz) only needs to be doubled ((*f*<sub>1</sub>-*f*<sub>2</sub>)\*2). Other require as much as multiplication by 16 (four octaves) to appear in the HOB or to be more easily identified as one of the 12-tone row pitches. The following grid shows the resultant frequencies, and their corresponding pitches.

This function determines the final pitches to be used in composition. In this case, the function criterion is quantization to twelve tones per octave. The corresponding

pitchess have been selected by rounding off each frequency to the nearest 12-tone/octave pitch.

HALFROW 1	C	F#	D#	G	B	D
F1	528	747	628	791	997	593
HALFROW 2	G#	F	C#	A	E	A#
F2	838	705	559	888	665	941
HALFROW PT	D#	E	C#	G	E	F
F3	620	670	548	775	663	696

Figure 5. Phase Row to 12-tone quantization

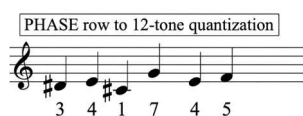


Figure 6. Phase Row to 12-tone quantization

A second function criterion may be 24 tones per octave, resulting in a microtonal row that plays off nicely with the 12-tone initial halfrows of six tones each.

HALFROW 1	C	F#	D#	G	B	D
F1	528	747	628	791	997	593
HALFROW 2	G#	F	C#	A	E	A#
F2	838	705	559	888	665	941
HALFROW PT	D#	E	C+	G-	E	F-
F3	620	670	548	775	663	696

Figure 7. Phase Row to 24-tone quantization



Figure 8. Phase Row to 24-tone quantization

## Independent transformation

Each row has the benefit of being subject to traditional variations, separately or together. Due to the change in frequency on a note-to-note basis, a retrograde (RET) on ROW<sub>1</sub> against PRI<sub>0</sub> (for example) will generate a different PTR than PRI<sub>1</sub> against PRI<sub>2</sub>. In the second iteration shown below, ROW<sub>2</sub> may generate a third PTR against R<sub>1</sub> (RET) and R<sub>2</sub> (INV):

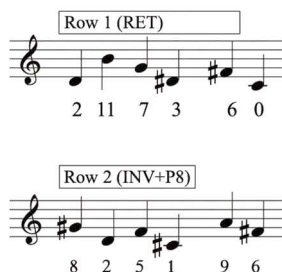


Figure 9. Using independent transformations for halfrows

ROW 1 - HALF ROW - RETRO	D	B	G	D#	F#	C
	593	997	791	628	747	528
ROW 2 - HALF ROW - INV+8	G#	D	F	C#	A	F#
	838	593	705	559	888	747
PHASE ROW EQT (12Q)	B	G	E	C#	C#	A
	980	808	688	552	564	876



Figures 10a and 10b. PTR - R1-RET and R2-INV Notation

An added benefit of a third Row (PTR) is the possible generation of various harmonic structures, triadic, clusters, intervals and others:

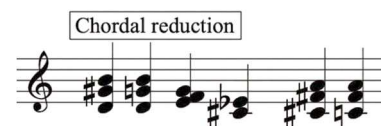


Figure 11. Chords generated from the combination of R1, R2, PTR

With this as an added possibility, we radically change the interactions between each row. A new Phased Row will change each time a new transformation of R<sub>1</sub> or R<sub>2</sub> takes place. It is important to note that there will likely be doubling of notes, in violation of a strict 12-tone row. The PTR is independent based on the result of the phasing and not subject to the 12-tone equity of importance. Thus, independent transformation may be organized in principle as follows, with each alphabet letter indicating a completely different PTR:

## Thematic transformation

Initially as demonstrated above, we can use this to serve on a 1:1 basis: tone 1 to tone 7, tone 2 to tone 8, etc. It can be tone-to-tone, such treating each tone pair equally in length and placement. By generating a PTR Theme (PTRT), and a level of row development can provide a countertheme (CT). Each pair of notes in each theme (TH<sub>1</sub> and TH<sub>2</sub>) can be adjusted based on a rhythmic reduction of the original rhythms, set to the common denominator.

ROW	TRANSFORMATION																
1	PR	PR	PR	PR	RET	RET	RET	RET	INV	INV	INV	INV	RI	RI	RI	RI	
2	PR	RET	INV	RI	PR	RET	INV	RI	PR	RET	INV	INV	RI	PR	RET	INV	RI
PTR	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	

**Figure 12.** Independent transformation results in the PTR

Rhythmic Reduction										
<i>f</i>	<i>f</i> 1	<i>f</i> 2	<i>f</i> 3	<i>f</i> 4	<i>f</i> 5	<i>f</i> 6	7	8	9	
ROW 1	C	C	C	F#	F#	D#	D#	G	B	
<i>f of ROW 1</i>	528	528	528	747	747	628	628	791	997	
ROW 2	G#	G#	F	F	C#	A	E	E	A#	
<i>f of ROW 2</i>	838	838	705	705	559	888	665	665	941	
<i>f of PTR</i>	620.00	620.00	708.00	672.00	752.00	520.00	592.00	1008.00	896.00	
NOTE (12TONE QU)	D#	D#	F	E	F#	C	D	B	A	
NOTE (24TONE QU)								B+	A+	

10	11	12	13	14	15					
B	D	D	C	C	F#	D#	G	G	B	C
997	593	593	528	528	747	628	791	791	997	997
A#	A#	A#	G#	F	C#	C#	A	E	A#	C
941	941	941	838	705	559	559	888	665	941	941
896.00	696.00	696.00	620.00	708.00	752.00	552.00	776.00	1008.00	896.00	896.00
A	F	F	D#	F	F#	C#	Fb*	B	A	NULL
A+	F-	F-	D#-				F-			

**Figures 13a and 14b.** PTRT resulting from 1:1 correspondence phasing

As will be seen, this provides an additional mode of transformation since the initiating frequencies will change according to length and rhythm and thus the result (*d*) will as well each time the correspondence shifts. To bring more opportunities and order to our work, we can add the rhythms of each theme based on the extended rows and deduce a phase transformation by translating lengths of notes into tied notes of the common denominator. The following example (Fig. 12) uses its halfrows twice for a single theme, producing a variable *phase transformation row theme* (PTRT).



**Figure 14.** Using a common denominator to analyze phasing in note length

Using the common denominator, we calculate the phased difference tone on the resulting 1:1 correspondence, resulting in the following PTR. (The 24-tone quantization is

not shown in the notation as it varies only slightly in this example.)



**Figure 15.** Phasing Rows from hypersonic halfrows.

## “Hearing” ultrasonic and hypersonic frequencies

“One argument against digital audio in commercial renderings is the limitations based upon the so-called CD standard. Generally accepted as 16-bit, at 44.1kHz, the idea was to provide a high enough “ceiling” for audio in the digital realm, and a high enough resolution with the 16-bit binary code to prevent most audible quantizing and aliasing issues” (Ballard 2022).

Haeff and Knox demonstrated as early as the 1960s that the human perception of hearing is far more expanded than the simple accepted audible range (Haeff, A./ Knox, C. 1963). Bone induction, mechanical transfer and material density may allow humans to perceive or actually “hear” frequencies up to 200kHz (Qin et al. 2011, Nishimura et al 2021). “Many [harmonic] matrices...may generate difference tones – albeit at low or indistinguishable amplitude levels – in the aural range (20Hz-20kHz)” (Ballard).

[26] On the simplest level, kHz frequencies by themselves or without complex matrices or harmonics can generate specific tones that are audible (e.g., below human hearing threshold of 20kHz). For example, take two frequencies represented by standard musical notes or pitches, such as 21.12kHz (C<sub>21120</sub>) and 31.68kHz (G<sub>31680</sub>). These are just above the hearing range of humans, but superimposed one over the other produce an audible difference tone of 10.56kHz, or E<sub>10560</sub> (Ballard):

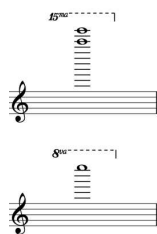


Figure 16. Hyper sonic difference tones

Somehow, some way, the listener can perceive aurally the result of the superimposition of inaudible frequencies, regardless of whether they can hear the actual frequencies nominally above human hearing (see Oohashi et al. 2000).

### Using extremely high and low frequency bandwidths as functions

We find some interesting aberrations once we deal with extremely high or very low tones based on sample points in each wave. The higher frequencies lead us into difference tones that have microtonal frequencies while the second is more difficult to quantize accurately and may be impractical.

For this reason a second approach to developing functions initiates frequencies of hypersonic pitches between 22.1kHz and 60kHz. It is possible to locate functional frequencies in different bandwidths as a further method for transformation. However, I noticed most differences were rather small and some may not wish to consider them in their compositional technique although extending the principle beyond practical applications may be interesting.

By taking the frequencies of the initial pitches at the first level, initiated between C<sub>4</sub> and C<sub>5</sub> as shown above and consistent with common 12-tone practice by using pitch class, we multiply by ratios in octaves or multiply by factors of

10 to reach the above bandwidth. Any consistent method may be used for the function to produce differing results:

- exponentially –  $f_1^y$  or as below  $f_1 * 10^x$
- simple addition instead of ratios –  $f_1 + x$
- $pi - f_1 * 3.14$

Where the fundamental frequency is shown as  $f_1$  and has a ratio of 1:1, the octaves are shown in by the binary ratios, 1:2, 1:4, 1:8 and so on. To reach the hypersonic range we desire, we simply continue until we reach the ratio of 1:64, that is seven octaves above the fundamental  $f_1$ , or  $C_{528} * 64 = 33.792\text{kHz}$ .

$$d = (f_2 * 64) - (f_1 * 64) = d/64 = r^{HOB}$$

(where  $f$  equals a frequency within a single octave located in optimum frequency bandwidth,  $d$  is the difference tone, and  $r$  is the pitch of  $d$  reduced to the frequency of the original harmonic optimum bandwidth.)

It is also possible to simply add digits to achieve the desired hypersonic bandwidth, although it will no longer be an octave C but an arbitrary frequency where  $C_{528}$  is the foundation ( $f_{528 * 10^2}$ ) and the end reduction, and  $10^2$  is the function for increasing and decreasing the hypersonic frequency for transformation purposes. Thus in this case,  $C_{528} * 10^2$  becomes simply  $C_{52800}$ . In equal temperament, all other notes are generated from that point. It may be noted that  $C_{52800}$  when reduced by octaves, appears as a slightly flat G#. This is yet another function that a composer may use. These examples strictly demonstrate avenues that a composer may wish to implement to generate new PTRs.)

Using an Equal Temperament ratio of 1:1.05946

$$C_{52.800\text{kHz}} * 1.05946 = C\#_{55939\text{kHz}}$$

And the full equation using  $10^2$  to find a hypersonic bandwidth, to find the PTR in the HOB is

$$(f_1 * 10^2) - (f_2 * 10^2) = d/10^2 = r$$

or

$$(f_1 * 10^2) - (f_1 * 1.05946) = d/10^2 = r$$

The resulting hypersonic pitches for our tone row compositional approach, using  $f_1 * 64$  and  $(f_1 * 10^2) - (f_1 * 1.05946)$ , are as follows:<sup>1</sup>

	$f * 100$		$f * 64$
Pitch class	hf1	Pitch class	hf2
C SERIES	52,800	C SERIES	33,792
C# SERIES	55,939	C# SERIES	35,801
D SERIES	59,266	D SERIES	37,930
D# SERIES	62,790	D# SERIES	40,185
E SERIES	66,523	E SERIES	42,575
F SERIES	70,479	F SERIES	45,106
F# SERIES	74,669	F# SERIES	47,788
G SERIES	79,109	G SERIES	50,630
G# SERIES	83,813	G# SERIES	53,640
A SERIES	88,796	A SERIES	56,830
A# SERIES	94,076	A# SERIES	60,209
B SERIES	99,670	B SERIES	63,789

Figure 17. The resulting hypersonic pitches



## Tuning issues

A second consideration concerns the composer's approach to tuning, both as a beginning criterion and for a subsequent filter. For comparison's sake we will take equal temperament (based on our arbitrary beginning frequency of C528) in the spirit of an equal 12-tone approach and establish each tone accordingly before adding any function. However, a Pythagorean approach may arguably be also "equal," in that it is a consistent harmonic perfect fifth. Using various tunings may possibly allow for another transformation within a 12-tone method, although it ignores the purposes the originators had for developing and applying tuning in the first place.

Just, mean or Pythagorean tuning methods as well as ethnic (19/octave or 24/octave, etc). are all acceptable as well as EqT, however, slight variations in frequency may result in extreme swings of difference tones on an inconsistent basis as far as matching original 12-tone pitches is concerned. However, this may be in composition's favor as input  $x$  may remain the same while function  $f = \text{tuning}$  can produce a different audible melodies. Therefore, along with the transformations of standard tone-row permutations,  $t = \text{tuning}$  becomes a new transformation. In the following example, two PTRs from Pythagorean vs EqT give two different rows:



Figure 18. A PTRT developed from Pythagorean tuning



Figure 19. A PTRT developed from EqT tuning

The chart below shows three PTRs' frequencies based on rows from our original examples, on our 1:1 correspondence. Boxes in black show significant differences resulting from the different tuning systems as separate criteria.

## Phase considerations

Superimposition of two soundwaves can result in a wide range of effects, from additive amplitude ( $f_1 + f_1 = f(2)$ ), through low frequency oscillation, commonly known as "beat waves" ( $f_1 + f_2 = d = <30\text{Hz}$ ) to complete cancellation ( $f_1 - f_1(180^\circ) = f(0)$ ). Where the notes or frequencies coincide in our charts,  $f_1 - f_1 = 0$  and there is no phasing/difference tone: the result is a "null." This may be rendered as a rest in the phased row or as the original note, according to the pre-established criteria of the composer. Although additive SPL and comparison may be a factor, deductive rows assume that SPL levels are equal, for the sake of using numbers in our compositional approach.

24-TONE REDUCTION EqT						
HALFROW 1	C	F#	D#	G	B	D
f1	528	747	628	791	997	593
HALFROW 2	G#	F	C#	A	E	A#
f2	838	705	559	888	665	941
HALFROW PT	D#	E+	C#	G-	E	F-
f3	620	672	552	776	664	696
24-TONE REDUCTION JUST						
HALFROW 1	C	F#	D#	G	B	D
f1	528	739	634	792	990	594
HALFROW 2	G#	F	C#	A	E	A#
f2	845	704	563	880	660	924
HALFROW PT	D#	C#	C#	F-	E	E
f3	634	566	562	705	660	660
24-TONE REDUCTION PYTH						
HALFROW 1	C	F#	D#	G	B	D
f1	528	752	634	792	1002	594
HALFROW 2	G#	F	C#	A	E	A#
f2	846	714	564	891	668	951
HALFROW PT	D#+	D+	C#	G	E	F+
f3	636	608	560	792	668	714

At what point do we stop? It might be academically interesting to venture into phase differentials in the Mhz range but most likely impractical from a compositional or even an audio perspective. Harmonics above the 11<sup>th</sup> partial fade into "texture" with various frequencies sounding according to relative amplitudes. Difference tones produced by these may be vague enough to confuse actual melodic and harmonic elements.

Continued phasing can result in additional levels of tones in a matrix system, where existing frequencies interact to provide new interdependencies. First level phasing may be used as-is or reduced as per above to audible note values, from which they can be adjusted or used as per octave designation. Second-level phasing involves the difference tones of the resulting difference tones, e.g., C<sub>528</sub> and E<sub>660</sub> result in C<sub>132</sub> and C<sub>528</sub> and G<sub>792</sub> result in C<sub>364</sub>. A secondary level would pitch the results against each other, e.g., C<sub>364</sub> and C<sub>132</sub> result in a secondary manifestation of C<sub>132</sub>. Of course, the attrition of energy will take a toll as to how large this phasing matrix can be: frequencies of lower amplitudes will fade as soon as the second or even first level as environmental effects erode it, such as room reflection/absorption and resonances.

## Final piece

The author uses the above rows and examples in his piece, *Phase 3* for Organ, Tape, and Percussion. It uses standard transformation as well as Phase transformations in 12-tone and 24-tone row reductions.

**Lento**

Figure 20. Phase 3 example. Presentation of R1 and R2

Figure 21. Initial presentation of PTR (24-tone and 12-tone versions)

Figure 22. Beginning of ending *tutti* section, with stacked rows.



## Summary

Phasing difference tones can add a new dimension of tone-row composition, in quite a few ways as selected and implemented by the composer. By understanding how this dimension manifests itself in overt and subtle ways, a composer can generate innovative compositions, with conventional, extended technique and treated instruments.

PTRs can be generated on two or more tonal interactions, beginning with the frequencies of the 12-tone row generated within the HOB. It may be on a 1:1 correspondence or through thematic reduction to the common denominator. Multiple rows can be used, by adding independent row melodies, dividing into two, three or four superimposed rows, or multiplying total rows of 12- or 24- to be overlaid.

Several filters are available. The first is the initial tuning of the scale used, whether initiating or after expansion into other bandwidths and then reduced. A second is the method of expanding into arbitrary bandwidths. A third involves reduction into 12-, 24- or 48- tones per octave scales, by quantizing the resulting frequencies. All filters can be selected or invented by the composer.

Further considerations involve experiments in laboratory settings to set single hypersonic frequencies against each other to determine the audible presence or result from the phasing interaction. Such laboratory experiments will likely involve the dedication of ultrasound machines to specific frequencies at high enough amplitude to produce a phasing event.

## References

- Ambattu, L.A./ Yeo, L.Y. (2023). Sonomechanobiology: Vibrational stimulation of cells and its therapeutic implications. *Biophys Rev* (Melville). 2023 Apr 21;4(2):021301. doi: 10.1063/5.0127122. PMID: 38504927; PMCID: PMC10903386.
- Ballard, Jack. (2022). *Extended Harmonic Techniques*. McFarland Publishing. pp. 168-169.
- Cleland, A.N. et al. (2023). "Splitting phonons: Building a platform for linear mechanical quantum computing." *Science*.

8 Jun 2023. Vol 380, Issue 6649. DOI: 10.1126/science.adg8715. pp. 1030-1033. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adg8715>. Accessed February 7, 2024.

- de Lucas B/ Pérez LM/ Bernal A/ Gálvez BG. (2020). Ultrasound Therapy: Experiences and Perspectives for Regenerative Medicine. *Genes* (Basel). 2020 Sep 17;11(9):1086. doi: 10.3390/genes11091086. PMID: 32957737; PMCID: PMC7563547.
- Falstad, Paul. (2024). *Fourier Series Aplet*. <http://falstad.com/fourier/>. Accessed November 22, 2024.
- Haeff, Andrew V/ Knox, Cameron. (2019). Perception of Ultrasound. *Science*, New Series, Vol. 139, No. 3555 (Feb. 15, 1963), pp. 590-592. Published by: American Association for the Advancement of Science Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/1709911> Accessed: 17-09-2019.
- Howard, D.M./ Angus, J. (2017). *Acoustics and Psychoacoustics* (5th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315716879>
- Nishimura, T/ Okayasu, T/ Yamashita, A/ Hosoi, H/ Kitahara, T. (2021). Perception Mechanism of Bone-Conducted Ultrasound and Its Clinical Use. *Audiol Res*. 2021 May 30;11(2):244-253. doi: 10.3390/audiolres11020022. PMID: 34070877; PMCID: PMC8261637.
- Oohashi, Tsutomu/ Emi Nishina/ Manabu Honda/ Yoshiharu Yonekura/ Yoshitaka Fuwamoto/ Norie Kawai/ Tadao Maekawa/ Satoshi Nakamura/ Hidenao Fukuyama/ Hiroshi Shibasaki. (2000). In-audible high-frequency sounds affect brain activity: hypersonic effect. *J Neurophysiol* 83: 3548–3558.
- Qin, Michael/ Schwaller, Derek/ Babina, Matthew/ Cudahy, Edward. (2011). Human underwater and bone conduction hearing in the sonic and ultrasonic range. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 129, <https://doi.org/10.1121/1.3588185>
- Roeder, J. (2003). Beat-Class Modulation in Steve Reich's Music. *Music Theory Spectrum*, 25(2), 275–304. <https://doi.org/10.1525/mts.2003.25.2.275>

<sup>1</sup> Using a resultant equal-tempered formula:  $f_1(1.05946)$ .

[Abstract in Korean | 국문 요약]

미분음 음열 작곡: 의도적인 음파 및 초음파 위상 조정을 활용한 변형

잭 발라드 주니어

모든 특정 사운드는 그 주파수의 상호작용에서 인간의 청취력과 이해력을 넘어선 복잡성을 가진다. 이러한 상호작용은 "위상 작용 phasing"의 결과, 혹은 둘 이상의 음파가 동시 발생하며 서로서로 반대되고 중첩되며 일어난다. 위상 작용은 인간의 청취 범위 내의 주파수가 만들어지는 순간을 생성한다. 이를 전통적인 12 음열 기법에 적용하되, 임의의 주파수나 필터로 걸러진 주파수의 위상 작용을 통한 작곡 음열 절반을 만들어 사용하면 기존의 변형 방식 – 역행, 전위, 역행전위, 조옮김 등 – 을 능가하는 기술을 구사할 수 있다.

주제어: 음향학, 작곡, 음열주의, 미분음, 음파.

논문투고일: 2024년 08월30일

논문심사일: 2024년 11월11일, 11월14일

게재확정일: 2024년 11월20일

## Exploring Data-Driven Instruments in Contemporary Music Composition

Mei-ling Lee

Music Department, Haverford College  
mlee4 [at] haverford.edu

How can data-driven instruments, through data mapping strategies and the use of performance interfaces, transform compositional practices and expand the creative possibilities of contemporary music production? This paper illustrates the concept of data-driven instruments and their connection to conventional musical instruments. It examines three original compositions written by the author to demonstrate the utilization of data-driven instruments in musical contexts, focusing on the application of sonic materials and data mapping strategies. Developed using Max, a programming language by Cycling '74, and Kyma, a sound creation environment by Symbolic Sound, these compositions utilize diverse performance interfaces to explore interactive, real-time possibilities. By exploring these instruments' innovative potential, this paper demonstrates their transformative role in contemporary music creation, offering new potentials and expanding the horizons of musical artistry.

**Keywords:** Data-driven Instrument; Electronic Music; Data Mapping; Sonic Material; Controller; Electronic Musical Instrument; Kyma; Gametrak; Leap Motion; Wacom Tablet.

Throughout the chronicle of human history, music has consistently served as a crucial vehicle for comprehending and distributing humans' life experiences: from religious ceremonies in ancient Greece (Grout 2001: 3), to the Italian madrigals at a variety of aristocratic social gatherings of the 16th century (Grout 2001: 184), to more recently, the electronic dance music that served as a significant social-defining element for the millennial generation (Matos 2015). In contemporary times, the infusion of modern technologies into music creation has yielded transformative consequences.

The evolution of music-making tools, such as simple MIDI keyboards and alternative electronic music controllers, has initiated the start of an era where important uses of data-driven instruments can be realized.

In the context of our increasingly data-driven world, where electronic devices are omnipresent, the relevance of traditional musical instruments persists, yet there arises a compelling need for fresh perspectives and innovative approaches to musical creation. Given the ubiquity of data in our daily lives, utilizing its power to articulate our musical ideas seems entirely appropriate. Data-driven instruments emerge as a pertinent choice to fulfill this aspiration.

This paper aims to demonstrate the concept of data-driven instruments by presenting three original compositions as case studies. These compositions are interactive, real-time, and multichannel works, developed using Max<sup>1</sup>, a programming language by Cycling '74, and Kyma<sup>2</sup>, a primary sound creation environment by Symbolic Sound. The three compositions – *Giant Dipper*, *Farewell*, and *Summoner* – utilize a range of performance interfaces and sound synthesis engines, thereby exemplifying the

creative possibilities engendered by data-driven instruments in contemporary music composition.

### Conceptual Background and Theoretical Frameworks

Many concepts and techniques are involved in creating electronic music compositions for data-driven instruments. In this chapter, I provide an overview of the most essential concepts and techniques important to the three compositions presented in this paper.

#### The Structure of Data-Driven Instruments

Data-driven instruments comprise three main components: data acquisition through an interface, data mapping and routing, and sound-producing algorithms (Stolet 2013). When playing traditional instruments, such as piano or violin, we exert force into their physical systems to create a sound. However, when working with data-driven instruments, a performer first operates an interface to generate the data. The data functions as a replacement for energy within the traditional performance model. This data is then processed through software layers, analyzed, recalculated, and mapped to specific ranges. The resulting data stream is directed to the sound-producing algorithm to generate sound. The architectural framework of data-driven instruments is depicted in Figure 1.

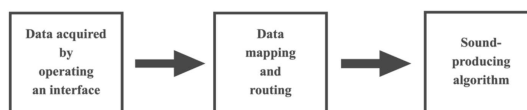


Figure 1. The structure of data-driven instruments

One common misinterpretation of data-driven instruments lies in the concept of tracking and the notion of gesture control. In performing with data-driven instruments, the interface itself is not tracking the performer's movements, but is instead reporting the data stream related to the current status of the performance interface. Physical "gestures" do not create or control sounds; however, during a data-driven musical performance, *performance actions* produce data that then can be used to control the sound-producing mechanism of the data-driven instrument.

### Instrumental Modularity

Modularity is the foundation for constructing various entities (Stolet 2021: 25-27). Instrumental modularity is also a key feature of the data-driven instrument. The concept of modularity centers on the idea of combining and connecting smaller and simpler things to construct larger and complex things.

Most traditional instruments are contained within a single physical structure. For instance, a piano encompasses keys, pedals, hammers, and a soundboard, all assembled into one body. In contrast, the components of a data-driven instrument can be considered as independent entities or as part of the instrument.

In this approach, elements like the interface, the mapping mechanism, and the sound-producing algorithm operate as distinct modules. For example, we can use a Gametrak<sup>3</sup> as the interface for a data-driven instrument, then use Max as the data mapping area of our instrument. Max then sends the newly mapped data to Kyma, the sound-production mechanism. On another setup, we can take the same Gametrak as the performance interface to create another composition and route the data for sound production to Logic Pro instead of Kyma as shown in Figure 2.

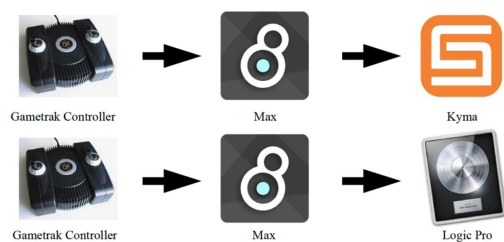


Figure 2. Modularity features on data-driven instruments

### Instrumental Mutability

One of the main features of a data-driven instrument is its mutability (Stolet 2021: 81), allowing significant sound changes during a performance. Traditional instruments have a limited capacity to change their sound during the

performance. Mutes on trumpets and stringed instruments, damper pedals on pianos, and different mallets for percussion instruments are examples of mechanisms for mutability of traditional instruments.

For data-driven instruments, however, the ability to mutate is expanded dramatically. Unlike traditional instruments in which mutability happens in the physical hardware of the instrument, mutability of data-driven instruments predominantly occurs at the software layers through data mapping, routing, and sound production.

### Data Mapping

Data mapping is a vital process in data-driven instruments, converting interface-generated data values into new output values. It plays a critical role in effectively linking various interfaces to sound-producing algorithms, allowing control over musical parameters.

When performing with a data-driven instrument, the raw data acquired from operating the interface might not be directly suitable for sound production. For example, we may receive a data stream from a MIDI controller with a data range from 0 to 127. We want to use this data stream to generate some MIDI notes. However, if we use this raw data directly, we are likely to produce notes that are pitched too low and produce undesirable musical consequences. To resolve this issue, a data mapping process is employed to convert the data from its original range to a more suitable one that achieves the desired musical outcome. This transformation occurs in software layers, adapting the data to a range better suited for the sound-producing algorithm.

### Synthesis Techniques

There are a variety of sound synthesis techniques applied in the three example compositions. These techniques include sampling, additive, subtractive, and granular synthesis, as well as analysis and re-synthesis, and Kyma's Time Alignment Utility (TAU) algorithm.

Sampling synthesis includes playback of the original audio sound source into a digital medium and applies various audio editing techniques to transform the recording such as looping and pitch-shifting.<sup>4</sup> Additive synthesis involves combining simple waveforms at various frequencies, amplitudes, and phases to create more complex waveforms. While additive synthesis involves combining frequencies, subtractive synthesis shapes the sound by removing or attenuating frequencies of a waveform by applying various types of filters.

Granular synthesis, a pivotal technique in my compositions, involves breaking down samples into tiny sonic

particles known as "grains," typically lasting 5-100 milliseconds. This method enables the manipulation of sound to create evolving soundscapes by controlling parameters like grain duration, texture density, and spatialization. Analysis and resynthesis involves studying a recorded sound and utilizing that data to govern the synthesis process (Road 1996).

In Kyma, the TAU algorithm is crucial for modifying and morphing sounds by blending amplitudes, frequencies, formats, and bandwidths. For example, one can combine the amplitude characteristics of a sound with the frequency characteristics of another sound, then mix in the formant characteristics of the third sound, to create a unique sound result (Stolet 2012: 171).

## Musical Works

### Composition: Giant Dipper

*Giant Dipper* is an example of transforming sound materials taken from human life experiences by repurposing the Gametrak spatial-position controller. This composition aims to convey two distinct journeys: one simulating the experience of a roller coaster ride, while the other encapsulates the thrill and speed of a car race seen through the perspective of a seven-year-old girl's mind.

The Gametrak controller serves as a performance interface, transmitting data to Max for mapping and routing to Kyma to control real-time sound algorithms. Initially designed as a floor-based unit for golf simulation on PlayStation, the Gametrak base unit, featuring retractable nylon cables and internal gears, allows for three-dimensional articulation of X, Y, and Z axes. Because of its ease of use, expressive potential, and affordability, the Gametrak spatial position controller has become one of the most popular and reliable performance interfaces for data-driven instruments.

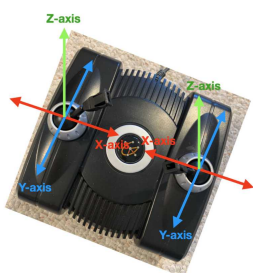


Figure 3. Gametrak X, Y, and Z Cartesian coordinates

*Giant Dipper's* sound materials derive from two primary sources: a home recording of a seven-year-old girl engaging in imaginative play, along with field recordings of the roller coaster at the California Santa Cruz Beach Board-

walk amusement park. The girl's singing was captured using a SONY Linear PCM-D50 recorder, while the roller coaster sounds were recorded via the Voice Memo app on an iPhone. To avoid potential mishaps, I held the iPhone to record ambient park sounds but secured it in my purse during the roller coaster ride. Embracing the incidental sounds of the environment, I accepted the resultant sonic artifacts within the recordings, later using an equalizer during editing to minimize wind and unwanted noise for improved clarity.

This composition uses various audio playback techniques to present the sound material. For instance, the initial sound is that of a mix of a crowd chanting in cheers at the theme park along with the playback of a resynthesized voice of a girl. In this instance, the left-hand pulling controls the amplitude of the crowd chanting and the right hand controls the amplitude of the resynthesized girl's voice.

Where, in virtual space, a sound occurs is vital as I simulate the experience of a roller coaster ride. Spatialization of the sounds was controlled by the Y-axis of the right-hand cable. Figure 4 shows the Kyma sound design of the panning.

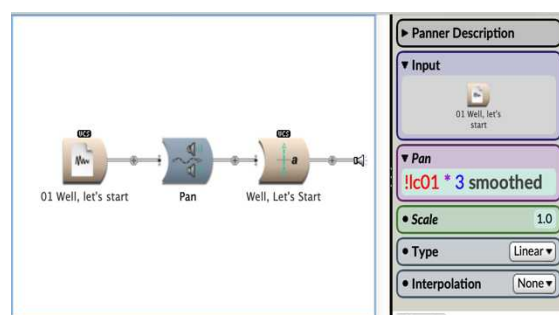


Figure 4. Kyma sound design shows right-hand Y-axis control the panning

Along with segments of audio that are directly played back, *Giant Dipper* uses granular processing, analysis and resynthesis, and Kyma's TAU algorithm. The movements of both of the Gametrak's cables are designed to control the various parameters of the sound, including amplitudes, frequencies, spatializations, reverbs, and playback speed in realtime by manipulating the combinations of X, Y, and Z coordinates.

One important aspect of this composition is its Graphic Score. In Western societies, the primary method for composers to preserve their musical ideas was to notate pitches and related musical information on staff paper. This notational practice was highly pitch-focused and evolved over many centuries. When composing for the data-driven instrument, however, the traditional notation system proved inadequate because it could not pro-

vide important information needed for the performance. To compensate for traditional notation's limitations, I created a musical score that provides performative instructions for 12 separate "scenes" showing not only how to perform the composition in time, but also how to play and control the unique data-driven instrument to control specific musical parameters in realtime. Figure 5 displays the graphic score for the "Dream" scene, illustrating these instructions.

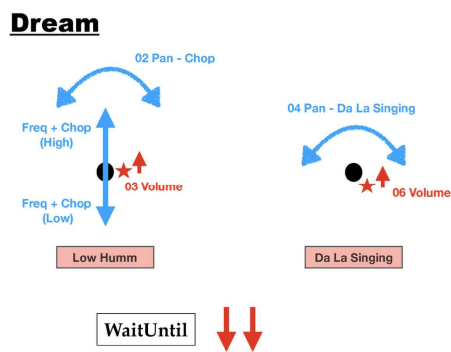


Figure 5. The graphic score for the "Dream" scene

In performing this scene, the left-side string controls the manipulation of the "Low Humm" sound while the right-side string controls the "Da La Singing" audio file manipulation. In Figure 4, the blue horizontal curved arrows denote that pulling the left-side or right-side nylon string towards the left or right will manipulate the panning of the "Chop" sound or "Da La Singing" sound. In contrast, pulling the Gametrak string on the left-side straight forward or backward generates a data stream to send to Kyma, which then changes the frequency of the "Chop" sound so it goes higher or lower in pitch. The red vertical arrows control volume: pulling either string up or down changes it. Releasing both strings triggers Kyma's WaitUntil Sound object<sup>5</sup> at the score's bottom, prompting the start of the next scene.

Performance instructions for each section of the composition were rendered as graphic (png.) files using Apple's Pages software.<sup>6</sup> Then, using the ImageDisplay Sound object, each section of the score appears at just the right moment in sequence in realtime as the composition progresses.

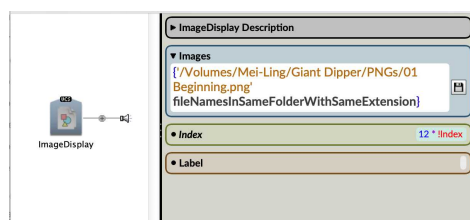


Figure 6. ImageDisplay Sound object inside Kyma

## Composition: Farewell

*Farewell* is a composition inspired by a story about friendship and built upon audio recordings of my own voice reading the Chinese 賦得草原送別 "Farewell on Grassland," written by Tang dynasty poet Bai Juyi (白居易).<sup>7</sup> This poem metaphorically relates the departure of a friend to the changing seasons of grasslands in China. I selected this poem due to the enduring cultural resonance of its second stanza, still commonly referenced in daily conversations across Chinese-speaking cultures despite being over 1200 years old. The poem's translation is provided below:

離離原上草，一歲一枯榮。  
野火燒不盡，春風吹又生。  
遠芳侵古道，晴翠接荒城。  
又送王孫去，萋萋滿別情。

How luxuriantly the plains grass grows,  
Wilting and rising again once every year.  
Wildfires burn, but they are never exhausted.  
Spring breezes blow, and up they spring again.  
Ahead, wild growths overrun the ancient path,  
And surround the old fort under cloudless skies.  
Again, I'm sending the royal friend off,  
My sorrow at parting is rich as the grass richly grows.<sup>8</sup>

Designed for the Wacom tablet and Kyma, the complete structure of the data-driven instrument for *Farewell* is shown in Figure 7.

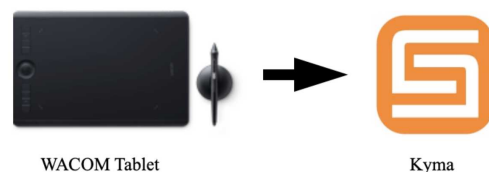


Figure 7. The Structure of data-driven instrument for *Farewell*

The Wacom tablet, initially intended for digital drawing, enables users to generate data by drawing with a stylus pen or fingers on its surface. With high precision, it offers 8192 levels of pen pressure, up to 60 levels of pen tilt recognition, and a spatial resolution of 5080 lines per inch (Wacom n.d.). This abundance of data allows for detailed sound control, which can be routed to Kyma for managing musical parameters.

Inspired by the above Chinese poem, I selected a controller that mirrors the act of Chinese calligraphy, traditionally used for writing poetry. The Wacom tablet emulates the brush-on-paper action of calligraphy: the tablet surface represents paper, and the stylus pen symbolizes the brush. This metaphorical linkage translates literary calli-

graphic actions into a sonic realization. *Farewell* combines poetry and calligraphy – two significant elements in Asian culture – by recording the poem and using the Wacom tablet as a symbol of calligraphy through data-driven instruments.

The Chinese poem's recitation contains distinctive vocal intonations, offering rich sonic material for manipulation. To amplify these unique intonation features, I extensively utilize Kyma's TAU algorithm, a powerful tool for manipulating the human voice and transforming speech into pitched sound material. In addition to the TAU algorithm, the synthesis methods employed in *Farewell* encompass granular processing, analysis and re-synthesis, as well as sampling techniques.

The beginning four semi-pitched notes at the start of Section A are created using Kyma's TAU algorithm. Each note is built using four TAU objects to manipulate pitch contour. Each TAU object is slightly detuned and have random values added to continuously change their pitches. The frequencies of each TAU sound are controlled by the degree of tilt of the stylus. When the pen is held straight, the pitch changes less. When the pen is tilted to the side at steeper or shallower angles, notes are detuned more or less. The result of nuanced detuning and random pitch shifting in micro scales creates a shimmery sound effect. Figure 8 shows the design of the first semi-pitched note in Kyma Sound as well as the Capytalk for each frequency parameter inside the TAU object.

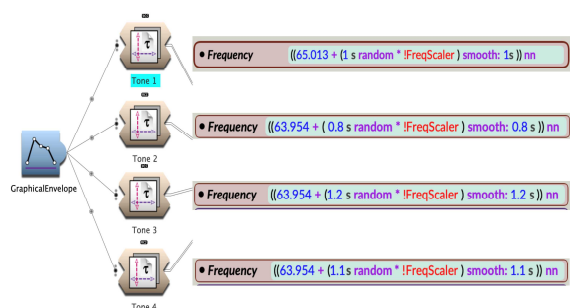


Figure 8. Four TAU objects and frequency parameter design

Section A' begins at 6:52 and is based on different sound design techniques. Additionally, the four different notes are spatially positioned in a reverse order from their original position in Section A. Instead of using TAU to generate sound, Section A' uses the Kyma Sound object Chopper to extract a very small segment of my reading of the poem. The design of the Kyma Sound is shown in Figure 9.

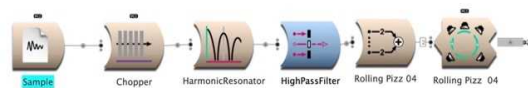


Figure 9. Kyma sound design for A' section

Beyond pitch manipulation, the spatialization of the four semi-pitched notes in both sections A and A' are carefully designed. When the stylus touches the upper right corner of the Wacom surface, the sound is triggered and is heard coming from the front right speaker. As the stylus pen draws on the surface diagonally to the bottom left corner, the spatial position of the note moves diagonally to the rear left speaker. The three notes that follow are also designed to be spatially positioned in a similar fashion. Eventually, all four notes are spatially positioned in the four separate corners of the listening area.

### Composition: Summoner

*Summoner* weaves a narrative inspired by an imagined story that centers around my mother-in-law who was a great lover of all kinds of animals. The primary sounds contained in this composition are actual recordings of peacock calls, owl hoots, and various other bird vocalizations, directly recorded from her backyard. The composition transforms these original recordings to embark on an exploration of the mysteries, mythologies, and mysticism surrounding these creatures, serving as a summoning not just to bring forth the birds, but also to articulate their compelling narratives.

The data-driven instrument for *Summoner* consists of a Leap Motion, custom software created in Max, and Kyma. Using the "aka.leapmotion" Max object (Masayuki n.d.),<sup>9</sup> the data from Leap Motion is parsed and scaled into individual streams, then routed to Kyma.

The Leap Motion is an optical hand-tracking device equipped with two 640 x 240-pixel near-infrared cameras and three LEDs. It functions by tracking hand and finger movements within a designated three-dimensional zone, extending up to about 60 cm, with a wide field of view ranging between 120° and 140° (Ultraleap 2020).

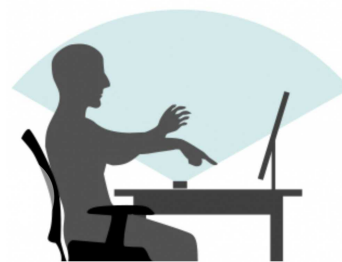


Figure 10. Leap Motion hand-tracking interaction zones<sup>10</sup>

For optimal performance, a dimly lit concert hall with a minimal number of LED lights is preferred. Controlled darkness is necessary due to the infrared sensors' sensitivity. Incandescent or halogen lights, as well as daylight, can disrupt the Leap Motion's accuracy in detecting hand and finger positions.



All performative movements in this composition are based on the concept of turning an intangible sound into an imaginary physical object. By breaching numerical thresholds, I can trigger or stop the sounds in the composition. I also use hand distance and speed to trigger musical events. The 3-D distance between the two hands as measured by the infrared sensors is calculated by Max and those values are used to trigger musical events. For example, at 3:00 in the video recording, when the distance of both hands reaches a threshold that I predetermine, an explosive sound is triggered. The metallic banging sound in Section B is triggered by how quickly my exits the Leap Motion's observable sphere and returns to it. The pitch of each banging sound is indeterminate and is selected through an algorithm resident in Kyma.

Changing my hand shape is a key performance technique within the composition. For instance, during the transition section at 3:04, I use all ten fingers – altering hand shape – to control and shift the frequencies of the peacock sounds. The speed of my fingers' vertical movements directly influences how fast the frequencies change and intensifies the buildup of sound.

## Conclusion

Employing data-driven instruments, these compositions demonstrate the great potential of creating music in a non-traditional way. With the current state of technological development, data-driven instruments carry two unique features, modularity and mutability, which allow us to create unlimited instrumental variations with tremendous musical flexibility, as well as the boundless potential and ability to transform and contextualize sound material in much more radical and multidimensional ways than with many traditional instruments.

Creating compositions for data-driven instruments presents a complex challenge. It demands one to simultaneously represent the roles of inventor, composer, and performer. Balancing these distinct yet interrelated roles is a constant struggle throughout the composing process.

Through the endeavors detailed in this paper and through the execution of these compositions, I present the potential of the data-driven instruments. Despite the existing technological, intellectual, and conceptual demands, I believe this approach expands our capacity as composers and performers to communicate human experience and to powerfully reach and impact audiences. The utilization of data-driven instruments might open avenues to novel ways of sharing the human experience, allowing individuals, families, and communities to delve deeper into our collective experiences and relationships.

This paper is adapted from the author's dissertation, titled *Storytelling: The Human Experience Through Data-driven Instruments*, submitted to the University of Oregon in 2023. Significant modifications have been made to adapt the content for this publication (Lee 2023).

## References

- Akamatsu, Masayuki. n.d. (2024). "aka.leapmotion," *akalogue*. Accessed November 11, 2024. <http://akamatsu.org/aka/max/objects/>.
- Bachmann, Daniel/ Frank Weichert/ Gerhard Rinkenauer. (2014). "Evaluation of the Leap Motion Controller as a New Contact-Free Pointing Device." *Sensors* 15, No.1, 214-233, 2014. <https://doi.org/10.3390/s150100214>.
- Collins, Nicolas. (2009). *Handmade Electronic Music: The Art of Hardware Hacking*. Abington: Routledge.
- Cox, Christoph/ Daniel Winer. (2004). *Audio Culture: Reading in Modern Music*. New York: Bloomsbury Continuum International Publishing Group.
- Dodge, Charles/ Thomas A. Jerse. (1997). *Computer Music - Synthesis, Composition and Performance*. New York, NY: Schirmer Books.
- Freed, Adrian/ Devin McCutchen/ Andy Schmeder et al. (2009). "Musical Applications and Design Techniques for the Gametrak Tethered Spatial Position Controller." *In Proceedings of SCM 2009 - 6th Sound and Music Computing Conference*. Porto, Portugal. 189-194. <https://doi.org/10.5281/zenodo.849645>.
- Grout, Donald Jay/ Claude V. Palisca. (2001). *The History of Western Music*. New York, NY: W.W. Norton & Company.
- Hinkle-Turner, Elizabeth. (2006). *Women Composers and Music Technology in the United States*. Burlington: Ashgate Publishing Company.
- Holmes, Thom. (2015). *Electronic and Experimental Music Technology, Music and Culture*. Abington: Routledge.
- Hunt, Andy/ Marcelo M. Wanderley/ Matthew Paradis. (2002). "The Importance of Parameter Mapping in Electronic Instrument Design." *Proceedings of the 2002 Conference on New Instruments for Musical Expression (NIME-02)*. Dublin, Ireland.
- Lee, Mei-ling. (2023). "Storytelling: The Human Experience Through Data-Driven Instruments." DMA Dissertation, University of Oregon.
- Roads, Curtis. (1996). *The Computer Music Tutorial*. Cambridge: MIT Press.
- Matos, Michelangelo. (2016). *The Underground Is Massive: How Electronic Dance Music Conquered America*. Dey Street Books.
- Scaletti, Carla. (2004). *Kyma X Revealed! Secrets of the Kyma Sound Design Languages*. Champaign: Symbolic Sound Corporation.



- Scaletti, Carla. (2016). "Looking Back, Looking Forward: A Keynote Address for the 2015 International Computer Music Conference." *Computer Music Journal* 40, no. 1 10-24.
- Stolet, Jeffrey. (2021). *Do: Notes about Action in the Creation of Musical Performance with Data-driven Instruments*. Lulu Press.
- Stolet, Jeffrey. (2013). "Twenty-three and a Half Things about Musical Interfaces." Keynote Address. Kyma International Sound Symposium, Brussels, Belgium, September 14.
- Stolet, Jeffrey. (2012). *Kyma and the SumOfSines Disco Club*. Morrisville: Lulu Press.
- Ultraleap. (2020). "How Hand Tracking work?" Posted September 3. <https://www.ultraleap.com/company/news/blog/how-hand-tracking-works/>
- Ultraleap. n.d. b "Leap Motion API Overview." Ultraleap Developer. Accessed October 25, 2023. [https://developer-archive.leapmotion.com/documentation/csharp/devguide/Leap\\_Overview.html](https://developer-archive.leapmotion.com/documentation/csharp/devguide/Leap_Overview.html)
- Wacom. n.d. "Wacom Intuos Pro" Accessed December 3, 2022. <https://www.wacom.com/en-cn/products/%20pen-tablets/wacom-intuos-pro>
- Winslow Burleson Hansen, Camilla Nørgaard Jensen, Alex Mesker. 2009. "Musical Applications and Design Techniques for the Gametrak Tethered Spatial Position Controller." *6th Sound and Music Computing Conference*. Porto, Portugal: CMS 2009. 189-194.

## Media References

Video recordings for the discussed compositions can be accessed below:

*Giant Dipper*: <https://youtu.be/jz9tfMLZ40w>

*Farewell*: <https://youtu.be/nyFtClpFcNY>

*Summoner*: <https://youtu.be/Og7dSErIdOs>

---

<sup>1</sup> Created by Miller Puckette at IRCAM, Max is an object-oriented programming language for the production of music and multimedia. Additional information can be found about Max at <https://cycling74.com/products/max>

<sup>2</sup> Kyma is a domain-specific programming language that includes a software component created by Carla Scaletti and a hardware component created by Kurt Hebel. The complete Kyma system is dedicated to synthesizing, modifying, exploring, and constructing sound, and to the creation and performance of musical compositions.

<sup>3</sup> The Gametrak is originally designed for a virtual golf video game, based on a 3-dimensional position tracking game control system.

<sup>4</sup> For additional information about sampling synthesis, see Curtis Road, *The Computer Music Tutorial* (Cambridge: The MIT Press, 1996), 117-133.

<sup>5</sup> The WaitUntil Sound object is Kyma's version of a fermata.

---

<sup>6</sup> Pages is a word processor that comes included with most Apple devices.

<sup>7</sup> Bai Juyi (772–846), was a well-known government officer and Chinese poet during the Tang dynasty. He wrote many poems about his experiences in government and his views of daily life while serving as the governor of three different provinces. In addition to his straightforward, clear, and approachable poetic style, Bai Juyi is also known for his social and political criticism.

<sup>8</sup> The translation of the original Chinese is from: [vacantmountain.wordpress.com/2013/05/30/translation-thursday-!\"#\\$%&'-bidding-farewell-on-the-plain-by-\(\)\\*-bai-juyi/](https://vacantmountain.wordpress.com/2013/05/30/translation-thursday-!\) Accessed October 28, 2023.

<sup>9</sup> Masayuki Akamatsu created a number of external Max objects that are widely used. "aka.leapmotion" Max external object package was downloaded from <https://github.com/akamatsu/aka.leapmotion>.

<sup>10</sup> Figure 10 image from <https://mocap.reallusion.com/iclone-motion-live-mocap/leap-motion.html>

[Abstract in Korean | 국문 요약]

현대 음악 작곡에서 데이터 구동하는 악기 탐구

메이링 리

어떻게 데이터 구동 악기가 데이터 매핑 전략과 실행 인터페이스를 사용하면서 작곡 관습을 변화시키며 현대 음악 제작의 창의적 가능성을 확장시킬 수 있을까? 이 글은 데이터 구동 악기의 개념과 기존의 악기들과의 연결성을 설명한다. 저자가 작곡한 세 작품의 예로 음악적 문맥에서 음향 소재와 데이터 매핑 전략을 적용시키는 것에 중점을 두어 데이터 구동 악기의 활용성을 보여준다. 이 작품들은 사이클링 74 *Cycling '74*의 프로그래밍 언어인 맥스 Max와 심볼릭 사운드 *Symbolic Sound*의 사운드 생성 환경 프로그램 카이마 *Kyma*를 사용하여 개발되었으며, 다양한 실행 인터페이스를 통해 인터랙티브한 실시간 가능성을 탐색한다. 본 논문은 이 악기의 혁신적인 잠재력을 실험함으로써, 현대 음악 창작에서 악기의 변화된 역할을 증명하고 새로운 가능성을 제공하며 음악 예술의 지평을 확장한다.

주제어: 데이터 구동 악기, 전자 음악, 데이터 매핑, 음향 소재, 컨트롤러, 전자 음악 악기, 카이마, 게임트랙, 도약 모션, 와콤 타블렛.

논문투고일: 2024년 09월09일

논문심사일: 2024년 10월26일, 11월11일

게재확정일: 2024년 11월20일

## 서울국제컴퓨터음악제의 30년 역사

이세인

Graduate School of Culture Technology, KAIST, South Korea.  
seinlee [at] kaist.ac.kr

이 논문은 서울국제컴퓨터음악제의 30년 역사를 세 시기로 나누어 분석한다. 제1시기(1994-2003년)는 음악제의 설립과 안정화, 제2시기(2004-2013년)는 기술 발전에 따른 작품 다양성 증가, 제3시기(2014-2023년)는 새로운 기술을 활용한 실험적 작품의 등장을 특징으로 한다. 각 시기별 주요 작품과 행사를 통해 음악제의 발전 과정과 한국 컴퓨터음악의 변화를 조명하며, 컴퓨터음악의 기술적 진보와 예술적 발전을 탐구한다. 논문은 서울국제컴퓨터음악제의 역사적 의의를 강조하고, 컴퓨터음악에 대한 인식 재고와 지속적인 연구의 필요성을 제안한다.

**주제어:** 서울국제컴퓨터음악제, 한국 컴퓨터음악, 전자음악, 음악 기술

음악의 역사는 기존 관습과 전통을 넘어서려는 끊임없는 시도로 이루어져 왔다. 특히 20세기는 두 차례의 세계대전과 경제공황이라는 격변기를 거치며, 음악 언어 또한 급격한 변화를 목격했다. 이 시기에 등장한 다양한 음악적 실험들 중에서도, 디지털 기술을 활용한 새로운 시도는 음악의 개념 자체를 근본적으로 재정의했다.

전자음악의 등장은 단순한 기술적 진보 이상의 의미를 지녔다.<sup>1</sup> 녹음기의 발명으로 시작된 구체음악(musique concrète)은 일상의 소리를 창작의 재료로 끌어들이고, 발진기(oscillator)를 통해 자연에서는 들을 수 없는 전자음이 음악의 영역으로 편입되었다. 이는 '소리'와 '음악'의 경계에 대한 기존 인식을 완전히 바꾸어 놓았다. 더 나아가 악음(musical sound)과 소음(noise)의 경계가 허물어지면서, 전통적인 음악 개념으로는 설명할 수 없는 새로운 소리 현상들이 '음악'이라는 범주에 포함되기 시작했다. 이후 컴퓨터의 등장은 이러한 변화에 가속도를 더했다.

1950년대 르자렌 힐러(Lejaren Hiller, 1924-94)의 <일리아 모음곡(Illiad Suite)>(1957)을 시작으로, 컴퓨터는 음악 창작의 핵심 도구로 자리잡았다. 비록 이 작품은 실제 소리를 생성한 것이 아닌 악보를 만드는 데 그쳤으나, 곧이어 벨 연구소의 맥스 매튜스(Max Mathews, 1926-2011)가 MUSIC I-V 시리즈를 개발하며 컴퓨터로 소리를 직접 생성하는 새로운 시대를 열었다. 1960년대에는 존 케이지(John Cage)와 데이비드 튜더(David Tudor)가 라이브 일렉트로닉스의 실험을 이어갔고, 이아니스 크세나키스(Iannis Xenakis, 1922-2001)는 확률론적 알고리즘을 도입하여 전자음악의 가능성을 확장했다.

1970년대에는 스탠포드 대학의 CCRMA(Center for Computer Research in Music and Acoustics), 프랑스의 IRCAM(Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique)과 같은 연구기관들이 설립되어 전자음악 연구의 중심지로 부상했다. CCRMA의 존 채우닝(John Chowning)이 개발한 FM 합성 기술은 현대 디지털 신디사이저의 근간이 되었으며, IRCAM에서 발전한 실시간 음향 처리 기술은 오늘날 디지털 음향 처리의 표준이 되었다.

1980년대에는 개인용 컴퓨터의 보급과 MIDI 표준의 도입으로 전자음악의 대중화가 가속화되었다. 특히 밀러 펜켈크로프트(Miller Puckette)가 IRCAM에서 개발한 Max는 1990년대 Max/MSP로 발전하며 실시간 음향 처리의 새로운 패러다임을 제시했다. CCRMA의 물리적 모델링 합성 연구와 배리 트루악스(Barry Truax)의 그레놀리 합성 기법은 현대 음향 합성의 이론적 토대가 되었다.

이러한 기술적, 미학적 혁신들은 현대 전자음악의 기반이 되어 지금까지도 그 영향력을 발휘하고 있다. 오늘날 사용되는 대부분의 음악 소프트웨어와 하드웨어는 이 시기에 확립된 원리들을 기반으로 하고 있으며, 실시간 음향 처리, 알고리즘 작곡, 대화형 시스템 등 당시 개척된 영역들은 현대 전자음악의 핵심 요소로 자리잡았다.

이처럼 서구에서 시작된 전자음악의 실험적 시도들이 확산되는 가운데, 한국에서는 1966년 강석희가 <원색의 향연>을 발표하며 그 역사가 시작되었다. 이후 나인용의 <전자음악과 플루트를 위한 십자가의 환상>(1973),

서울대학교의 System 100 아날로그 신디사이저 도입(1977) 등을 거치며 점진적 발전을 이어갔다. 1979년 아시아작곡가연맹 서울대회에서 황성호, 정덕산 등의 작곡가들이 전자음악 작품을 발표했으며, 1980년대 중반에는 서울대 졸업생들을 중심으로 '전자음악연구회'가 결성되었다. 이는 후에 '던론편'을 거쳐 1993년 한국전자음악협회의 설립으로 이어졌다. 특히 '던론편' 시기에 컴퓨터음악 발표가 급증하며, 한국 전자음악의 새로운 전기를 마련했다. 1994년 한국전자음악협회는 서울국제컴퓨터음악제(SICMF)를 창설하여 국제적인 교류의 장을 열었고, 이를 통해 한국의 전자음악은 세계적인 흐름 속에서 지속적인 발전을 이어가고 있다.

그러나 이러한 발전 과정에 비해, 한국 전자음악의 역사를 체계적으로 정리한 연구는 매우 부족한 실정이다. 황성호의 『전자음악의 이해』와 허영한의 "한국 컴퓨터음악의 현황" 등이 있으나, 이들은 주로 초기 한국전자음악협회의 활동에 초점을 맞추고 있다. 최근 이민희의 『한국 전자음악 60년 소사』(2023)는 한국 전자음악의 통시적 조망을 시도했다는 점에서 의미가 있다. 이 저서는 한국 전자음악의 전반적인 발전사와 작곡가들의 증언을 통해 역사적 흐름을 포괄적으로 다루고 있다.

본 연구는 이민희의 연구가 제시한 큰 틀에서 한 걸음 더 나아가, 서울국제컴퓨터음악제(SICMF)라는 구체적 사례에 주목한다. SICMF는 30년간 한국 전자음악의 발전 양상을 가장 잘 보여주는 거울이자, 국제적 교류의 장으로서 중요한 의미를 지닌다. 본 연구는 1994년부터 2023년까지의 기간을 10년 단위로 구분하여 분석한다. 이러한 시기 구분은 컴퓨터 기술의 발전 주기와 음악계의 세대교체가 대략 10년을 주기로 이루어진다는 점에 근거한다.

제1시기(1994-2003)는 SICMF의 정착기로서 한국 전자음악의 기반이 다져진 시기이다. 이 시기에는 Max/MSP와 같은 실시간 음향 처리 도구의 도입으로 라이브 일렉트로닉스 작품이 증가했으며, 국제적 네트워크의 기초가 형성되었다. 제2시기(2004-2013)는 디지털 기술의 비약적 발전과 함께 실험적 시도가 활발했던 시기로, 인터랙티브 미디어아트와의 결합, 알고리즘 작곡의 확산 등이 특징적이다. 제3시기(2014-2023)는 새로운 세대의 등장과 함께 전자음악의 다변화가 이루어진 시기로, AI 기술의 도입, 사운드아트와의 융합 등 장르 간 경계를 넘나드는 실험이 두드러졌다.

각 시기의 특징과 주요 작품들을 분석하기 위해 프로그램 자료 수집, 작곡가 정보 정리, 주요 인물<sup>2</sup> 인터뷰 등 실증적 연구 방법을 채택했다. 본 연구가 한국 전자음악의 역사적 이해와 미래 발전 방향 모색에 기여할 수 있기를 기대한다.

## 제1시기 (1994-2003년)

### 서울국제컴퓨터음악제

서울국제컴퓨터음악제의 태동은 1980년대로 거슬러 올라간다. 서울대학교 작곡과 학생들을 중심으로 결성된 '전자음악연구회'가 '던론편'로 명칭을 변경하며 본격적인 활동을 시작했다. 황성호의 주도로 1981년 서울대학교에 전자음악 스튜디오가 설립되었고, 이를 계기로 스튜디오의 신디사이저를 통한 창작에 관심을 가진 학생들과 유학 중 전자음악을 연구하고 귀국한 작곡가들이 던론편에 합류하며 조직이 확장되었다.

던론편은 1993년 한국전자음악협회가 설립되기까지 총 7회의 발표회를 개최했다. 이 연주회들은 유학 후 귀국한 작곡가들을 포함한 당시 전자음악 작곡가들의 주요 발표 무대였으며, 작품 발표와 감상회, 새로운 음악 기술의 소개 등 현재 SICMF가 수행하는 기능들을 선구적으로 수행했다는 점에서 음악제의 전신으로 평가할 수 있다. 던론편의 구성원들이 주축이 되어 1993년 한국전자음악협회를 창설하였고, 이듬해인 1994년부터 정기적인 컴퓨터음악제를 주최하기 시작했다.

SICMF는 1994년 한국전자음악협회가 설립한 아시아 최초의 컴퓨터음악제로서 중요한 의미를 지닌다. 음악제는 악기, 전자음향, 영상, 뉴미디어 등 다양한 매체의 융합을 통해 음악과 기술의 새로운 가능성을 모색하며 매년 가을에 개최되고 있다. 1994년 '서울컴퓨터음악제'라는 명칭으로 시작되었으나, 첫해를 제외하고는 해외 작곡가들을 초청하기 시작했으며, 1997년 제4회부터는 인터넷 공모를 통해 전 세계 작곡가들의 참여를 이끌어내며 국제음악제로서의 면모를 갖추었다. SICMF는 한국뿐만 아니라 세계 전자음악의 새로운 패러다임을 제시하는 장으로서 국제적 인정을 받고 있다.<sup>3</sup>

음악제는 디지털 재료를 활용한 모든 형태의 작품에 대해 공모를 실시하며, 심사를 통해 선정된 작품들을 연주한다. 또한 학술대회와 워크숍을 병행하여 작품 발표와 더불어

컴퓨터음악의 이론적 연구 성과를 공유하는 플랫폼으로서의 역할도 수행하고 있다.<sup>4</sup>

## 제1시기의 특징

제1시기는 전자음악의 음향적 가능성이 급격히 확장된 시기이다. 1970년대 아날로그 신디사이저의 등장은 이전의 단순한 녹음과 편집 방식을 넘어서는 새로운 음향 창출을 가능하게 했다. 1980년대 개인용 컴퓨터의 보급과 함께 디지털 신디사이저와 음악 소프트웨어가 발전하면서, 구체음악이 시작된 지 반세기가 지난 1990년대에는 전자음악의 개념이 더욱 구체화되었다. 이러한 기술적 진보는 한국 전자음악계에도 직접적인 영향을 미쳤다.

SICMF는 제1회(1994년) 서울컴퓨터음악제라는 명칭으로, 국내 작곡가들의 음악제로 시작되었다. 초기 참여 작곡가들은 대부분 한국전자음악협회 소속이었으며, 회장 황성호를 중심으로 구본우, 김영길, 심진섭, 이돈웅, 이인식, 최철 등의 작품이 발표되었다. 음악제는 작품 발표와 함께 허영한과 현경실이 각각 컴퓨터음악의 현재와 배경음악의 자동 작곡에 관한 워크숍을 진행하였다.

제2회(1995년)와 제3회(1996년)에는 협회가 외국 작곡가들을 직접 초빙하여 한국 작곡가들의 작품과 균형을 이루도록 프로그램을 구성했다. 특히 제4회(1997년)는 국내 최초로 인터넷을 통한 국제 공모를 실시하여 진정한 의미의 국제음악제로 발전했다. 이러한 변화는 음악제의 국제적 위상을 확립하는 전환점이 되었다.

**이 시기의 첫 번째 특징**은 컴퓨터음악 작곡가들에게 지금까지도 대표적으로 사용되는 소프트웨어인 Max/msp와 슈퍼콜라이더 등이 완성된 것이다. 이전의 아날로그 신디사이저나 테이프 편집 방식과는 달리, 이러한 소프트웨어들은 작곡가가 직관적인 인터페이스를 통해 음향을 생성하고 제어할 수 있도록 특별히 설계되었다. 이는 작곡가들이 복잡한 프로그래밍 과정 없이도 음향 합성과 처리에 집중할 수 있게 해주었으며, 실시간 영상처리까지 가능하게 하며 SICMF 작품의 표현 영역을 확장시켰다. 음악제에서는 여전히 음향적 사건들의 병치와 변형을 중심으로 하는 테이프 음악이 주를 이루었지만, 이러한 도구의 발전은 작곡가들에게 음향 합성과 처리의 새로운 가능성을 제시했다. 특히 실시간 음향 처리 기능이 보완되면서 작곡가들은 음색, 공간감, 음고의 변화, 음량의

제어 등 다양한 매개변수를 직접 다룰 수 있게 되었고, 이는 라이브 전자음악의 발전으로 이어졌다. 이 시기 SICMF 작곡가들이 실시간 상호작용적 퍼포먼스에 깊은 관심을 보인 것도 이러한 창작 환경의 변화와 맥락을 같이 한다.

**두 번째 특징**은 오디오비주얼 작품의 등장이다. 공모를 시작한 제4회(1997년)의 공모분야는 전자-어쿠스틱 음악(테이프 혹은 라이브 악기), 라이브 전자음악, 그리고 뮤직비디오(NTSC VHS) 세 가지였다.<sup>5</sup> 이 시기에는 전통적인 뮤직비디오 형식을 넘어서, 음향 신호가 실시간으로 시각적 요소로 변환되어 표현되는 오디오비주얼 작품들도 등장하기 시작했는데, 특히 외국 작곡가들의 실시간 오디오비주얼 작품들이 주목을 받았다. 이전까지 발표된 오디오비주얼 작품들은 사전에 제작된 음악과 영상이 함께 재생되는 고정매체 형태였으며, 실시간으로 라이브 음악에 반응하여 영상이 제어되지 않았다. 같은 해에 열린 '제1회 한국컴퓨터음악대회'<sup>6</sup>의 수상작에서 실시간 오디오비주얼 작품이 있었던 것으로 보아, 한국에서도 이러한 상호작용적 작품들이 창작되고 있었으나 SICMF에서는 외국인 작곡가의 작품만이 심사를 통과했음을 알 수 있다.

**세 번째 특징**은 해외 전문가들과의 교류 확대이다. 이 시기의 SICMF는 한국 최초의 국제 컴퓨터음악제로서 SICMF는 국제적 위상을 확립하고 음악제의 내용을 풍부하게 하는 것이 중요한 시기였다. 제6회(1999년)에는 전 국제 클라리네티스트 협회(I.C.A.) 회장을 역임한 제럴드 에란테(F. Gerard Errante)를 초청하여 클라리넷과 라이브 전자음악이 결합한 인터랙티브 퍼포먼스를 선보였다. 제7회(2000년)에는 스탠포드 대학의 전자음악 연구소 CCRMA(Center for Computer Research in Music and Acoustics)<sup>7</sup>가 방문하였고, 제8회(2001년)에는 프랑스의 전자음악듀오 메타 듀오(Meta Duo)<sup>8</sup>의 연주회가 개최되었다.

**마지막 특징**은 컴퓨터음악 발표를 위한 전문 시설의 필요성이 대두되고 이에 따른 전문 교육기관이 설립된 것이다. 컴퓨터음악의 특성상 기술적 오류로 인한 작품 준비의 어려움이나 음악회 중 진행이 중단되는 경우가 빈번했는데, 이는 전문 시설의 필요성을 절실히 보여주었다. 이러한 문제 인식을 바탕으로 2001년 한국예술종합학교 음악원 전문사과정의 음악테크놀로지과(MTK)가 설립되었고, 이어서 한양대, 서울대 음악대학 등에서도 전자음악 전문 교육과정이

개설되었다. 이러한 전문 교육기관의 설립은 향후 한국 전자음악계의 성장을 가속화하고, SICMF에 새로운 세대의 작곡가들이 등장할 수 있는 토대를 마련하는 중요한 변화였다.

### 주요 작품과 행사들: 이돈웅의 작품과 해외대학 연구소의 방문

제1시기를 대표하는 작곡가들 중에서도 이돈웅(Don Oung Lee, 1955-)의 작품들은 특별한 주목을 요한다.<sup>9</sup> 2000년과 2002년을 제외한 전 기간에 걸쳐 SICMF에서 작품을 발표한 이돈웅은 센서, CD, 코일 등을 활용한 인터랙티브 사운드 인스톨레이션(Interactive sound installation)을 통해 당시 한국 컴퓨터음악의 두 가지 주요 경향을 집약적으로 보여준다.

첫째는 실시간 상호작용에 대한 관심이다. 이돈웅은 테크놀로지에 전적으로 의존하기보다 인간의 개입을 통한 라이브 전자음악에 집중했다. 특히 2001년부터 시작된 <Alco> 시리즈는 알고리즘 작곡(algorithm composition)<sup>10</sup>의 개념을 실시간 상호작용과 결합한 주목할 만한 시도였다. 이 작품들에서는 연주 현장에서 샘플링된 음향 소재가 연주자의 즉흥적 행위를 감지하는 센서와 연동되어 알고리즘에 의해 실시간으로 처리된다. 이러한 경향은 황성호의 1998년 작품 <실시간 제어 영상과 전자 음향을 위한 "Zapping">에서도 확인할 수 있으며, 이후 한국의 라이브 일렉트로닉 음악 발전에 중요한 영향을 미쳤다.

둘째는 한국적 음향 요소의 전자적 재해석이다. 이는 당시 창작음악계 전반에 걸쳐 나타난 한국적 소재에 대한 관심이 컴퓨터음악에서도 이어진 것으로 볼 수 있다. 이돈웅은 특히 피리, 대금, 가야금, 장구 등 한국 전통악기의 음향을 전자적으로 변환하는 작업에 깊이 천착했다. <피리와 전자음향처리 위한 "피리">에서는 전통 악기인 피리의 고유한 음색을 전자음악 장치를 통해 실시간으로 변형하고 재구성하여 새로운 음향으로 창조했다. 더 나아가 그는 한국의 전통적 건축 요소인 창호지문을 활용한 특수 스피커를 고안하는 등 한국적 소재의 실험적 활용을 다각도로 시도했다. 이러한 경향은 이돈웅 뿐만 아니라 당시 한국의 컴퓨터음악 작곡가들 대부분에게서 발견되는 특징이었다. 실시간 제어 작곡과 더불어 한국적 소재의 전자적 해석은 이 시기 컴퓨터음악 작곡가들의 핵심적인 관심사였으며, 이는 한국

컴퓨터음악만의 독자적인 정체성을 확립하려는 시도로 해석될 수 있다. 아래는 이 시기 SICMF에서 발표된 그의 주요 작품들이다:

년도	작품 제목
1994	<첼로와 음색의 DSP처리에 의한 [소리]> (Vc. 김예랑)
1995	<플루트와 live-electronic을 위한 "먼 곳으로부터의 옛 그림"(1987)> (Fl. 심재연)
1996	<컴퓨터와 신디사이저를 위한 "선택음악 1">
1997	<신금(新琴)> (대금. 김영현)
1998	<오보에와 동시적인 음의 전자적 변환을 위한 "공간조율II"> (Ob. 손형원)
1999	<피리와 전자음향처리 위한 "피리"> (피리. 박인기)
2001	<"Alco2" for live performance>
2003	<피리와 전자음향처리 위한 "피리"> (피리. 박인기)

표 1. 제1시기 SICMF에서 발표된 이돈웅의 작품 목록

한편, SICMF는 이 시기 말미에 이르러 해외 연구기관과의 본격적인 교류를 시작했다. 특히 2000년 크리스 샤페(Chris Chafe) 소장이 이끄는 스탠포드 대학의 CCRMA 방문과 2002년 현대음악 앙상블 메타듀오의 초청 연주회는 중요한 의미를 갖는다. 이러한 교류는 단순한 연주회나 워크숍을 넘어, 새로운 음악 재료의 발명과 실험적 시도들을 한국 작곡가들과 공유하는 장으로 기능했다. 이는 SICMF가 동시대 컴퓨터음악의 국제적 동향을 파악하고 수용하는 플랫폼으로 자리잡는 데 결정적인 역할을 했으며, 이후 시기에서도 SICMF의 특징적인 프로그램으로 지속되었다.

## 제2시기 (2004-2013년)

### 제2시기의 특징

제2시기는 전자음악이 디지털 시대의 급격한 성장과 맞물리며 그 개념이 크게 확장된 시기이다. 1948년 피에르 쉐페르(Pierre Henri Marie Schaeffer)가 '전자음악(musique électroacoustique)'이라는 용어를 처음

소개한 이후 반세기가 지나, 컴퓨터음악은 기술적으로나 예술적으로나 성숙기에 접어들었다. <sup>11</sup> 특히 컴퓨터 하드웨어의 성능 향상과 음악 소프트웨어의 대중화는 이전에는 전문가들의 영역이었던 컴퓨터음악을 일반 대중도 접근할 수 있는 영역으로 확장시켰다. 에이블톤 라이브(Ableton Live), 로직 프로(Logic Pro)와 같은 디지털 오디오 워크스테이션(Digital Audio Workstation, DAW)의 보급은 이러한 변화를 주도했다. <sup>12</sup>

이러한 기술적 진보는 음악적 실천의 형태도 변화시켰다. 전통적인 연주 관습에서 벗어나 작곡가가 노트북을 주요 악기로 사용하는 실시간 코딩 퍼포먼스가 등장했으며, Max/MSP에 Jitter라는 영상처리 기능이 추가되면서 음향과 영상을 통합적으로 다루는 새로운 창작 환경<sup>13</sup>이 조성되었다. 더불어 1990년대 후반 유럽과 미국의 미술관에서 주로 전시되던 사운드 아트가 2000년대 중반에는 서울에서 퍼포먼스의 형태로 발전하는 등, 컴퓨터음악의 표현 양식도 다양화되었다.

이 시기의 SICMF는 안정적인 궤도에 올랐으나, 여전히 기술적 과제들이 존재했다. 실시간 처리 과정에서 발생하는 예기치 못한 문제들로 인한 공연 지연이나, 전통적인 공연장의 한계(충분하지 못한 전력 공급, 고정된 무대-객석 구조 등)는 지속적인 도전 과제였다. 그럼에도 불구하고 SICMF는 작품과 워크숍의 수준 높은 내용으로 국제적 인정을 받았다. <sup>14</sup>

**이 시기의 첫 번째 특징**은 작품의 주제와 음악적 소재가 다양화된 것이다. 제1시기 한국 작곡가들의 작품이 주로 한국의 전통적 요소에 집중했던 것과 달리, 제2시기에는 보다 광범위한 문화적 요소들이 음악적 소재로 사용되었다. 특히 동양의 이미지에 대한 관심이 두드러졌는데, 2008년 SICMF에서 발표된 아일랜드 출신 린다 버클리(Linda Buckley)의 <Wayang>은 인도네시아의 전통 꼭두각시 공연에서 영감을 받아 그림자를 '음파 유령'이라는 음향적 요소로 변환했다. 한국 작곡가 최지연의 <POLYLOGOS>(2006)는 여러 언어의 동시적 사용을 통해 보편적 극적 흐름을 음악으로 표현하는 등, 다양한 문화적 코드가 작품의 중심 소재로 활용되었다.

**두 번째 특징**은 새로운 세대 작곡가들의 등장이다. <sup>15</sup> 한국예술종합학교, 추계예술대학교, 한양대학교 등에서 전자음악 전공이 개설되고 전문 스튜디오가 설립되면서, 체계적인 교육을 받은 신진 작곡가들이 SICMF에 다수

진출했다. 이들은 기성 작곡가들과 비교해도 손색없는 기술적 완성도를 보여주었을 뿐만 아니라, 한국적 어법에서 벗어난 실험적 시도들을 통해 SICMF의 음악적 지평을 확장했다.

**세 번째 특징**은 음향 공간에 대한 관심의 증가이다. 작곡가들은 단순한 음색이나 음향의 창출을 넘어, 연주 공간의 음향적 특성과 스피커 배치 등 공간적 요소들을 작품의 주요 매개변수로 활용하기 시작했다. 이는 단순히 청각적 경험의 확장을 넘어, 공연장의 물리적 특성까지 고려하는 총체적 음악 경험의 구현으로 이어졌다.

**네 번째 특징**은 실시간 상호작용 음악의 일반화이다. 제1시기에서 실험적 시도로 여겨졌던 실시간 처리와 상호작용은 이 시기에 이르러 보편적인 작곡 방식으로 자리잡았다. 특히 주목할 만한 것은 이러한 상호작용이 단순한 기술적 과시를 넘어, 청중과 연주자의 적극적 참여를 이끌어내는 음악적 장치로 발전했다는 점이다. 2010년 발표된 리차드 두다스(Richard Dudas)의 <"Prelude and Fantasy" for Alto Flute and Computer>는 실시간 악보추적(score following) <sup>16</sup> 기술을 통해 악기와 컴퓨터 간의 정교한 리듬적 상호작용을 구현했다.

**마지막 특징**은 시각적 요소의 강화이다. 특히 테이프 음악 공연에서 두드러졌던 '비어있는 무대'의 한계를 극복하기 위해, 작곡가들은 비디오아트, 오디오비주얼, 퍼포먼스 등 다양한 시각적 요소를 작품에 통합했다. 이는 2000년대 사운드 아트의 급속한 성장과도 맥을 같이 하는데, 이진원의 2009년 작품 <무용수와 라이브 전자음향을 위한 "In Between">은 무용수의 움직임, 소리에 반응하는 시각적 요소, 스피커로 기능하는 무대 장치 등을 유기적으로 결합하며 이러한 경향을 잘 보여준다. 다만 여전히 테이프 음악과 라이브 일렉트로닉 음악이 주를 이루는 SICMF의 레퍼토리 구성에 대해, 사운드 아트와 미디어 아트의 영역으로 더욱 확장될 필요가 있다는 의견도 제기되었다(박순영, "서울국제컴퓨터음악제 2012", 『에밀레』 10 (2012), 97).

#### 주요 작품과 행사들: 해외대학 연구소와 연주단체의 내한 행사

SICMF는 제2시기에 들어서며 더욱 풍성하고 다채로운 음악제로 발전했다. 특히 제16회(2009년)부터 제20회(2013년)까지 매년 이어진 해외 단체들과의 교류는

단순한 초청 공연을 넘어, 한국 전자음악계의 창작 지평을 넓히고 새로운 음악적 대화를 시작하는 계기가 되었다. 이 시기는 앞선 제1시기가 한국 전자음악계의 국제적 위상을 확립하는 데 주력했다면, 이제는 세계 유수의 전자음악 연구소 및 현대음악 앙상블들과 더욱 실질적이고 지속적인 협력 관계를 맺어가는 시기였다. 매년 새로운 해외 단체들이 방문하여 워크숍과 공연을 진행했고, 이를 통해 SICMF는 진정한 의미의 국제 음악제로서 그 역할을 공고히 해 나갔다.

제16회(2009년)에는 프랑스의 컴퓨터음악연구소 GRAME(Générateur de ressources et d'activités musicales exploratoires)<sup>17</sup>이 방문하여 세미나와 콘서트를 진행했다. GRAME은 1982년 설립된 프랑스의 대표적인 실험/전자음악 음악 센터이자 앙상블로, 프랑스 6개 국립 음악 창작 센터 중 하나이다. 이 연구소는 과학과 음악의 융합을 통한 새로운 예술 작품의 제작과 보급을 목적으로 하는 국립기관으로서, 이들과의 교류는 SICMF의 국제적 위상을 한층 높이는 계기가 되었다. 이를 계기로 제18회(2011년) 음악제 피날레 콘서트가 GRAME 단독 공연으로 구성되었으며, GRAME의 설립자 피에르 알라인 제프레뉴(Pierre Alain Jaffrennou)의 <Musica mobile 1: Septième ciel>을 포함한 여러 작품이 연주되었다. 이 작품들은 GRAME의 실험적이고 혁신적인 전자음악 어법을 잘 보여주었다. GRAME 작곡가들은 초청 행사가 없을 때도 지속적으로 SICMF에 작품을 발표했으며, 제3시기인 2016년에도 GRAME 단독 콘서트가 열리는 등 긴밀한 협력 관계가 유지되었다.

제17회(2010년) 피날레 콘서트는 독일의 앙상블 아방튀르(Ensemble Aventure)<sup>18</sup>가 담당했다. 플루트 연주자 마티나 로스(Martina Roth), 클라리넷 연주자 월터 이프림(Walter Ifrim), 베이스 트롬본과 튜바연주자 토마스 바그너(Thomas Wagner)로 구성된 앙상블은 한국전자음악협회 회원인 이돈웅, 임영민의 작품과 함께 루이지 노노(Luigi Nono), 리차드 두다스(Richard Dudas)의 작품을 연주했다. 특히 연주회의 처음과 끝을 장식한 루이지 노노의 작품들은 연주자에게 음높이, 음색, 다이내믹의 경계값(Boundary value)<sup>19</sup>을 주고, 전자음향으로 악기 소리를 실시간 변형하는 실험적 작품이었다. 이러한 작품들이 훌륭한 현대음악 연주자를 요구하는 이유는, 연주자가 비워져 있는 공간을 각자 해석하여 독창적 연주로 채워가는 동시에 전자음향의 변화에 즉각적으로 반응해야 하는 고도의 전문성이 필요하기 때문이었다. 컴퓨터음악에서 이러한 실시간 상호작용적 연주는 많은

연주자들에게 도전적인 과제인데, 이러한 전문 앙상블의 방문은 한국 연주자들이 전자음악 연주에 대한 새로운 관점과 기술적 영감을 얻는 중요한 계기가 되었다.

제18회(2011년)는 포르투갈의 손데아르떼 앙상블(Sond'Ar-te Electric Ensemble)<sup>20</sup>이 오프닝 콘서트를, GRAME이 피날레 콘서트를 맡아 풍성한 프로그램을 선보였다. 손데아르떼 앙상블의 오프닝 콘서트는 프랑스, 한국, 포르투갈 작곡가의 작품들로 구성되었다. 특히 프랑스 작곡가 트리스탄 무레일(Tristan Murail)의 <Trieze Couleurs du Soleil Couchant>(1978)은 주목할 만한 연주였다. 이 작품은 그의 초기 전자음악 작품으로 현재까지도 자주 연주되는 대표작 중 하나인데, E음을 중심으로 음들을 천천히 이동시킴으로써 13개의 연속된 음영들을 만들어내며, 이를 다양한 전자음향으로 표현한 것이 특징이다. 악기 연주의 어쿠스틱 효과와 전자음향이 유기적으로 결합된 이 작품의 연주는 전문 앙상블의 수준 높은 기량을 잘 보여주었다.

제19회(2012년)에는 독일의 현대음악 앙상블 이멕스(E-mex)<sup>21</sup>가 음악제의 피날레를 장식했다. 이날의 콘서트는 한국전자음악협회 회원인 이병무, 임승혁, 전현석과 함께 이탈리아, 독일, 포르투갈, 키프로스 작곡가들의 작품으로 풍성하게 구성되었다. 모든 작품이 라이브-일렉트로닉 분야의 곡이었는데, 간혹 전자음향이 지나치게 부각되어 기악 성부의 독립성이 약화되거나, 반대로 전자음향의 필요성이 모호한 작품들이 연주되곤 하는 이 장르에서, 이날 연주된 작품들은 악기와 전자음향이 각자의 특성을 살리면서도 서로를 보완하는 균형 잡힌 음악 세계를 보여주었다.

제20회(2013년)는 SICMF의 20주년을 기념하는 특별한 해였다. 20주년을 기념하는 테이프 음악 공연과 더불어, 한국현대음악앙상블 CMEK(Contemporary Music Ensemble Korea)<sup>22</sup>의 의미 있는 실험이 돋보였다. 이들의 공연은 국악기와 전자음향의 창의적인 만남을 보여주었다. 특히 넷째 날 공연에서는 한국의 시를 소재로 한 작품들이 주목을 받았는데, 미국 작곡가 케빈 파크스(Kevin Parks)의 <2채널 테이프와 가야금을 위한 "회환의 장">을 비롯한 7개의 작품이 연주되었다. 이 공연은 현대음악의 실험적 기법과 전자음향, 그리고 한국 전통음악의 섬세한 어법이 자연스럽게 어우러진 새로운 가능성을 보여주었다는 점에서 의미가 깊었다.



## 제3시기 (2014-2023년)

### 제3시기의 특징

제3시기는 4차 산업혁명의 흐름 속에서 컴퓨터음악이 새로운 기술적 도약을 이룬 시기이다. 인공지능, 빅데이터, 로봇 공학 등 첨단 기술의 발전은 컴퓨터음악의 창작 방식과 표현 영역을 크게 확장시켰다. 특징적인 것은 이 시기의 작품들에서 이러한 신기술의 활용이 이전 시기들에 비해 현저히 증가했다는 점이다. 이는 컴퓨터음악이 소리를 만들어내는 기술과 매개방식을 전면적으로 드러내는 장르적 특성으로 인해, 시대의 기술적 변화를 직접적으로 반영하기 때문이다. 그러면서도 테이프 음악이 여전히 음악제의 주를 이루는 등 컴퓨터음악의 고전적 형식도 꾸준히 유지되었다. 이는 컴퓨터음악이 동시대의 기술적 진보를 반영하는 동시에 장르의 전통을 보존하는 이중적 발전 양상을 보여준다.

작곡가들의 기술적 역량도 한 단계 성숙했다. 새로운 기술의 등장과 변화에 민감하게 반응하며 자신의 기술적 역량을 확장해 나가는 작곡가들의 모습은 마치 컴퓨터 기술자를 연상시킨다. 이러한 전문성의 향상은 실제 공연에서도 확인할 수 있는데, 이전 시기에 빈번했던 기술적 오류나 공연 중단이 크게 줄었으며, 연주 세팅에서 실제 공연까지 원활한 진행이 가능해졌다. 이는 작곡가들이 기술적 오류를 방지하고 대비하는 능력이 향상되었음은 물론, 컴퓨터음악 제작에 필요한 전반적인 기술적 전문성이 확립되었음을 보여준다.

**이 시기의 첫 번째 특징**은 작곡가들의 배경이 다양화된 것이다. 지금까지 국내 컴퓨터음악은 주로 작곡과 출신 학생들이 관심을 가지고 작업하는 영역이었다. 그러나 관련 공연, 미디어, 전시의 증가로 접근성이 높아지고 기술 정보의 획득이 용이해지면서, 다양한 전공자들이 컴퓨터음악 작곡가로 진출할 수 있는 환경이 조성되었다. 이는 클래식 음악을 기반으로 발전해온 컴퓨터음악계에 중요한 변화를 가져왔다. 여전히 작곡과 출신이 다수를 차지하고 예술음악의 관습적인 무대와 환경적 특성을 유지하고 있지만, 다양한 배경의 작곡가들이 SICMF에 참여하면서 새로운 시각과 방식으로 음악적 아이디어를 표현하고 있다. 이러한 변화는 향후 SICMF의 방향과 분위기에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

**두 번째 특징**은 오디오비주얼 작품의 양적, 질적 성장이다. 컴퓨터음악이 현대 미디어아트의 한 장르로 인정받으면서 음악회장을 넘어 미술관에서도 전시되고, 다원예술(Interdisciplinary Arts)<sup>23</sup>의 하나로 자리잡게 되었다. 특히 전문 소프트웨어의 발전으로 오디오비주얼 제작이 용이해졌고, 미술이나 영상 등 시각적 요소를 다루는 예술가들이 컴퓨터음악에 관심을 가지면서 작품의 수준도 크게 향상되었다. 이제 작곡가들은 음악적 구성과 함께 작품의 시각적 설계에도 상당한 비중을 두고 있으며, 이는 작곡가들의 다양한 배경과 컴퓨터 기술의 발전이 만들어낸 자연스러운 결과라 할 수 있다.

**세 번째 특징**은 첨단 기술을 활용한 실험적 작품의 증가이다. 2019년 마크 빌라노바(Marc Vilanova)의 <"Aresta" for sound installation>과 칼 게버(Karl F. Gerber)의 <"Year Seven(of a work in progress)" for Violinautomat Installation>은 AI 작곡과 자동 연주 시스템을 도입하여 미래 음악에서 인간의 역할에 대한 근본적 질문을 던졌다. 2022년 고휘의 <소리 오브젝트를 위한 구성>은 오선보의 다방향적 해석 가능성을 오디오비주얼로 구현하며 악보 읽기의 새로운 패러다임을 제시했다. 더 나아가 남상봉의 2021년 작품 <"IAIA" for piano & electronics>는 실제 AI 기술 구현 없이도 인간과 인공지능의 가상적 협연을 상상적으로 구현했는데, 피아니스트의 단순한 모티브로 시작하여 점차 짜임새가 두터워지는 과정에서 전자음향이 피아노 연주와 맞물리며 인공지능이 실연을 학습하고 성부를 추가해나가는 과정을 표현했다. 의미있는 것은 이 시기 작곡가들이 단순히 기술 발전을 쫓아가는 것이 아니라, 컴퓨터음악의 본질적 영역에 대한 고민을 함께 하고 있다는 것이다. 이는 최근 작곡가들 사이에서 아날로그 신디사이저에 대한 관심이 다시 증가하고 있는 현상에서도 확인할 수 있다.

**마지막 특징**은 참여 작곡가들의 지역적 다양성 확대이다. 이전 시기에는 전자/컴퓨터음악연구소가 발달한 미국과 서유럽 출신 작곡가들이 주를 이루었으나, 제3시기에는 중국, 일본, 대만 등 동아시아 지역 작곡가들의 참여가 두드러지게 증가했다. 특히 2015년 중국 출신 작곡가 치우샤오 리(Qiuxiao Li)의 <"Wu Son Fights the Tiger" for clarinet & Tape>가 SICMF의 개막 작품으로 선정된 것은 상징적인 의미를 가진다. 대다수의 참가 작곡가들이 전자/컴퓨터음악연구소 소속이라는 점은 컴퓨터음악 연구 기관이 미주지역과 동아시아 지역으로 확산되어 활발한 연구가 이루어지고 있음을 보여준다. 특히 중국

작곡가들의 참여 증가는 SICMF가 아시아 컴퓨터음악의 중심 무대로 발전하고 있음을 시사한다.

### 주요 작품과 행사들: 태싯그룹과 올리베이라의 작품

제3시기의 SICMF는 전자음악의 경계가 더욱 확장되고 융합되는 시기였다. 이 시기에는 전자음악 작곡가들이 미디어아트, 퍼포먼스 등 다양한 예술 형식을 자유롭게 넘나들며, 소리의 창작과 조작에 중점을 둔 전통적인 컴퓨터음악이 시각예술, 퍼포먼스와 같은 미디어아트의 요소들과 자연스럽게 융합되는 현상이 두드러졌다. 이러한 변화를 잘 보여주는 대표적 사례로 태싯그룹(Tacit Group)<sup>24</sup> 과 주앙 페드로 올리베이라(João Pedro Oliveira)<sup>25</sup>의 작품을 주목할 만하다.

제23회(2016년) SICMF에서 발표된 태싯그룹의 <시스템2>는 이러한 융합적 경향을 잘 보여주었다. 무대 위에서 연주자들이 컴퓨터를 들고 나와 실시간으로 작업을 하고, 그 결과를 스크린을 통해 관객과 공유하는 방식은 태싯그룹이 꾸준히 발전시켜온 퍼포먼스의 특징이다. 이들은 길이, 간격, 용량 등을 미리 설정하고, 무대 위에서 파라미터값을 자유롭게 입력하며 실시간으로 음악을 만들어갔다. 시스템과 명령체계가 움직이는 것이 시각적으로 보이게 함으로써, 관객들은 마치 게임 경기를 관람하는 듯한 새로운 경험을 하게 된다. 더불어 연주자들이 음악에 맞추어 리듬을 타는 모습은 디제잉을 연상시켰는데, "컴퓨터음악과 대중음악의 테크노 사이 어딘가에 위치한 듯 했다"는 신예술의 후기처럼, 장르의 경계를 자유롭게 넘나드는 새로운 시도였다. 이들의 퍼포먼스는 'clear'라는 명령어로 끝나며, 이를 통해 프로그래밍을 기반으로 한 작품임을 명확히 했다.

태싯그룹의 작품은 SICMF가 그동안 다루어온 전자음악의 다양한 요소들이 잘 통합된 형태를 보여준다. 실시간 제어, 퍼포먼스, 알고리즘, 오디오비주얼, 그리고 대중음악과 예술음악의 경계를 넘나드는 시도까지 모든 것을 포괄했다. 특히 주목할 만한 점은 이들이 단순히 소리를 만들어내는 것에 그치지 않고, 오디오비주얼 아트를 통해 시각화하여 게임과 같은 멀티미디어 작품으로 승화시켰다는 것이다. 이를 통해 관객과 연주자, 연주자와 작곡가 사이의 상호작용이 더욱 활발해졌다.

제28회(2021년) SICMF에서 발표된 올리베이라의 <"Kontrol" for 1 performer & electronics>는 기존 전자음악의 관습을 창의적으로 전복시킨 작품이었다. 전자음향이 울려 퍼지는 가운데 타악기 연주자가 등장해

가상의 타악기를 연주하는 이 퍼포먼스는, 안무라고 할 수 있을 정도의 화려한 팔 동작과 몸짓으로 구성되었다. 흥미로운 점은 연주자가 실제로 타격하여 소리를 내는 악기가 없다는 것이다. 이는 관객들로 하여금 연주자의 몸이나 말렛에 센서가 부착되어 있거나, 보이지 않는 악기가 신호를 입력 받는 것처럼 착각하게 만들었고, '미지의 기술'을 상상하게 했다.

이 작품은 컴퓨터음악의 패러다임 변화를 살펴볼 수 있는 하나의 사례로 볼 수 있다. 제1시기부터 다루어 왔던 센서 음악의 아이디어를 역전시킨 것이 특징적인데, 이 작품에서는 연주자의 움직임이 음악과 전혀 관계가 없다는 점이 중요하다. 기존의 센서 음악이 연주자의 행동이 음악에 반영되어 즉흥적으로 음악을 만들어나가는 데 의미를 두었다면, 이 작품은 그 아이디어를 반대로 뒤집으며 새로운 기술이 음악에 몰입할 수 있는 유일한 요소가 아님을 재치 있게 표현했다. 이러한 시도는 이 시기에 이르러 첨단 기술의 등장과 그에서 파생된 수많은 의미들이 범람하는 현재의 컴퓨터음악계가, 기술 자체를 넘어서는 음악적 표현의 새로운 단계에 도달했음을 시사하는 것으로 해석할 수 있다.

이처럼 제3시기는 컴퓨터음악이 첨단 도구와 기법의 실험을 넘어서, 동시대 예술의 다양한 형식들과 적극적으로 소통하며 그 경계를 확장해 나간 시기였다. 이는 단순히 장르적 융합이나 표현 방식의 다양화에 그치지 않고, 컴퓨터음악만의 고유한 미학적 가치를 재정립하고 심화해 나가는 과정이기도 했다.

## 나가며

2023년 10월 8일 개최된 SICMF 30주년 기념 음악회는 한국 컴퓨터음악의 역사적 궤적을 집약적으로 보여주었다. 테이프음악부터 라이브 일렉트로닉스, 실시간 제어 음악, 오디오비주얼, 기계와 인간의 상호작용에 이르기까지, 프로그램은 지난 30년간의 기술적 진보와 미학적 확장을 효과적으로 제시했다. 특히 이번 기념 음악회의 프로그램 구성은 본 연구에서 제시한 제1, 2, 3시기의 특징을 뚜렷하게 반영하고 있다는 점에서 주목할 만하다.<sup>26</sup>

불과 30년이라는 짧은 기간임에도 불구하고, SICMF는 디지털 기술의 급격한 발전 속에서 뚜렷한 변화의 양상을 보여왔다. 아날로그 시대의 기술 발전과 비교할 때, 컴퓨터 기술은 훨씬 더 빠른 속도로 진화해왔다. 불과 5년,

10년이라는 시간 단위로도 현저한 변화가 감지되었다는 점에서, SICMF의 30년은 다른 어떤 음악 장르의 역사와도 구별되는 특수성을 지닌다.

현대 컴퓨터음악은 단순히 음악 장르의 경계를 넘어 다양한 예술 형식과의 융합을 시도하며, 이는 컴퓨터음악의 정체성에 근본적인 변화를 가져오고 있다. 대중음악 작곡가들이 컴퓨터음악의 방법론에 관심을 보이기 시작했고, 미술과 영상 분야의 예술가들도 음악 테크놀로지를 적극적으로 활용하고 있다. 이러한 경향은 컴퓨터음악이 대중음악 및 여타 예술 장르와 더욱 긴밀한 관계를 맺을 수 있는 가능성을 제시한다. ICMC(International Computer Music Conference)<sup>27</sup> 나 아르스 일렉트로니카 페스티벌(Ars Electronica Festival)<sup>28</sup> 과 같은 국제적 플랫폼에서는 이미 개념미술과 미디어아트를 포괄하는 확장된 범주로서 컴퓨터음악을 다루고 있다.

그러나 SICMF는 이러한 경향 속에서도 '음악제'로서의 본질적 정체성을 고수해왔다. 지속적인 장르 확장 요구에도 불구하고, 작품의 다양성은 수용하되 음악제로서의 정체성은 유지해온 것이다. 이는 단순한 보수주의가 아닌, 컴퓨터음악의 본질적 가치를 지키려는 신중한 선택으로 평가할 수 있다.

**현재 음악계에서 컴퓨터음악이 직면한 가장 큰 과제는** 그 주변적 위치에 있다. 이는 '기술이 음악에서 도구인가 목적인가, 또는 둘 다인가'라는 근본적 질문에서 비롯된 것으로, 많은 청중과 음악가들이 기술에 대한 막연한 거부감이나 두려움을 느끼고 있다. 이러한 현상은 컴퓨터음악의 감상과 이해에 있어 중요한 장애물로 작용하고 있다. 끊임없이 새로움을 추구하는 컴퓨터음악계와 전통적 가치를 중시하는 서양음악계 사이의 간극이 좁혀지지 않는 것이 현실이다.

그러나 이는 서양음악에서 출발하여 새로운 가능성을 탐구하는 예술음악이라는 공통분모 아래에서 반드시 극복되어야 할 과제이며, 이를 위해서는 테크놀로지에 대한 깊이 있는 이해와 지속적인 연구, 그리고 작곡가들을 위한 실질적인 지원이 필수적이다. 특히 젊은 세대의 작곡가들이 기술과 음악 사이의 균형 잡힌 시각을 발전시킬 수 있도록 하는 교육적, 제도적 지원이 시급하다.

SICMF는 격변하는 뉴미디어 시대와 컴퓨터음악에 대한 제한된 관심 속에서도 30년간 창작의 장을 꾸준히

제공해왔다는 점에서 그 역사적 의의가 크다. 국내 작곡가들에게 실험과 도전의 기회를 제공하고, 국제적 교류의 플랫폼으로 기능하며 한국 컴퓨터음악의 발전을 이끌어 온 것이다. 특히 주목할 만한 점은, SICMF가 단순한 작품 발표의 장을 넘어 학술대회와 워크숍을 통해 이론적 담론을 형성하고, 새로운 기술과 창작 방법론을 공유하는 종합적인 플랫폼으로 발전해왔다는 것이다.

앞으로는 음악과 기술 사이의 이분법적 사고를 넘어, 양자를 통합적으로 바라볼 수 있는 작곡가와 연구자들의 등장이 기대된다. 이는 음악학자의 중요한 역할이기도 하다. 컴퓨터음악의 기술적 측면과 예술적 측면을 균형 있게 이해하고, 이를 바탕으로 새로운 미학적 담론을 발전시켜 나가는 것이 필요하다. 더불어 컴퓨터음악의 역사적 맥락을 정리하고 기록하는 작업도 지속되어야 한다. 본 연구는 SICMF의 30년 역사를 통해 한국 컴퓨터음악의 발자취를 살펴보았지만, 이는 더 광범위한 연구의 시작점에 불과하다.

컴퓨터음악에 대한 활발한 담론이 형성되고, SICMF와 한국 컴퓨터음악의 미래를 함께 모색할 수 있는 학술적 토대가 더욱 견고해지기를 기대한다. 특히 디지털 기술이 예술 창작의 필수적 요소가 되어가는 현 시점에서, 컴퓨터음악의 경험과 지식은 미래 음악의 중요한 자산이 될 것이다. 본 연구가 그 시작점이 되어, 한국 컴퓨터음악의 역사적 의미를 재조명하고 새로운 가능성을 탐색하는 데 기여할 수 있기를 희망한다.

**감사의 말.** 한국예술종합학교 음악원 음악학과 예술사 졸업논문으로 이 글을 지도해주신 허영한 교수님과 SICMF의 초기 프로그램북과 기록들을 제공해주신 황성호 교수님, 이승연 교수님께 진심으로 감사드립니다.

## 참고문헌

### <단행본>

- 양지윤/ Barich Gottlieb. (2008). *사운드 + 아트: 미디어 아트와 사운드웨어의 만남* = *Sound+Art: between music, media art and the simple act of listening*. 서울: 미술문화.
- 원유선. (2021). *뉴노멀의 음악*. 서울: 모노폴리.
- 음악미학연구회. (2022). *전자음악: 인식과 소통의 감*. 서울: 모노폴리.
- 황성호. (1997). *전자음악의 이해*. 서울: 현대음악출판사.

Collins, Nick and others. (2013). *Electronic music*. New York: Cambridge University Press.

Emmerson, Simon. (2018). *The Routledge Research Companion to Electronic Music: Reaching out with Technology*. Abingdon: Routledge.

Holmes, Thom. (2016). *Electronic and experimental music: technology, music, and culture*. New York: Routledge.

Manning, Peter. (2013). *Electronic and computer music*. New York: Oxford University Press.

#### <논문 및 평론>

강중훈 (2008). 서울국제컴퓨터음악제 2007. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제6권 : 163-170. 서울: 예술.

김마리나 (2005). 2005 서울국제컴퓨터음악제. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제4권 : 139-147. 서울: 예술.

김민규 (2014). 서울국제컴퓨터음악제 2014. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제12권 : 67-76. 서울: 예술.

김범기 (2008). 2008 SICMF의 작품들과 음악적 방향. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제6권 : 171-205. 서울: 예술.

김지현 (2010). 서울국제컴퓨터음악제 2010 후기. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제8권 : 77-88. 서울: 예술.

남언정, 신성아 (2004). 서울국제컴퓨터음악제 2004 후기. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제3권 : 153-160. 서울: 예술.

박순영 (2012). 서울국제컴퓨터음악제 2012. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제10권 : 89-100. 서울: 예술.

—— (2013). 서울국제컴퓨터음악제 2013. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제11권 : 83-90. 서울: 예술.

손민정 (2015). 서울국제컴퓨터음악제 2015 참관기. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제13권 : 101-107. 서울: 예술.

신예슬 (2016). 창조적 장면에 대해 관조해보기: 서울국제컴퓨터음악제 2016 참관기. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제14권 : 67-74. 서울: 예술.

오희숙 (2007). 음악과 테크놀로지: 백남준과 이돈웅의 작품을 중심으로. 음악이론연구 제12권 : 125-152. 서울: 서울대학교 서양음악연구소.

원유선 (2019). 볼 수 없는 것을 듣고, 들을 수 없는 것을 보기: 2019 서울국제컴퓨터음악제 참관기. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제17권 : 53-61. 서울: 예술.

이민희 (2021). 전자음악의 세부적인 경계와 미학을 고민하며: SICMF 2021 리뷰. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제19권 : 93-108. 서울: 예술.

이병무 (2006). 서울국제컴퓨터음악제 2006 후기. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제5권 : 97-107. 서울: 예술.

이사우 (2011). 서울국제컴퓨터음악제 2009. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제7권 : 77-84. 서울: 예술.

임승혁 (2011). 서울국제컴퓨터음악제 2011. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제9권 : 97-106. 서울: 예술.

임진형 (2020). 전자음악의 외침: 2020 서울국제컴퓨터음악제 참관기. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제18권 : 71-73. 서울: 예술.

장재호 (2002). '서울국제컴퓨터음악제 2002'를 마치고. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제2권 : 239-243. 서울: 예술.

정다운 (2022). 확장된 도구로서의 일렉트로닉스: 서울국제컴퓨터음악제 2022 참관기. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제20권 : 87-91. 서울: 예술.

최수환 (2005). 컴퓨터음악 언어의 역사. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제4권 : 105-119. 서울: 예술.

황성호 (2001). '서울국제컴퓨터음악제 2001' 리뷰. 에밀레 한국전자음악협회 학술지 제1권 : 257-268. 서울: 예술.

#### <사전>

Emmerson, Simon, Smalley, Denis. "Electro-acoustic music" In *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, vol. 8, edited by Stanley Sadie: 59-67.

#### <신문기사>

Richard Dudas, "A visit to the Seoul International Computer Music Festival," *Cycling '74* (Feb 1, 2007) <https://cycling74.com/articles/a-visit-to-the-seoul-international-computer-music-festival>. 2023년6월8일 사용함.

#### <인터넷 자료>

한국전자음악협회 웹사이트 <http://www.keams.org/>

Ars Electronica Art 웹사이트 <https://ars.electronica.art/news/en/>

Aventure 웹사이트

<https://www.ensemble-aventure.de/de/aventure/aktuelles/>

CCRMA 웹사이트 <https://ccrma.stanford.edu/>

E-mex 웹사이트 <https://e-mex.de/>

GRAME 웹사이트 <https://www.grame.fr/>

ICMC 웹사이트 <http://www.computermusic.org/>

Meta Duo 소개 사이트

<https://www.dacapo-records.dk/da/kunstnere/meta-duo>

Sondarte 웹사이트 <https://www.sondarte.com/>

TACIT 웹사이트 <http://www.tacit.kr/>

## <기타자료>

이민희, “한국의 전자음악 60년 소사”, 서울국제컴퓨터음악제 30주년 기념 책자.

서울국제컴퓨터음악제 프로그램북. (1994-2023년)

<sup>1</sup> 이 글에서 다루는 전자음악은 EDM, 테크노 음악과 같은 대중음악 장르가 아닌 예술음악계에서 다루는 음악을 말한다.

<sup>2</sup> 허영한, 황성호, 이승연과의 짧은 인터뷰를 바탕으로 한다.

<sup>3</sup> Simon Emmerson, *The Routledge Research Companion to Electronic Music: Reaching out with Technology*, (Ab-ingdon: Routledge, 2018), 48.

<sup>4</sup> 전자음악(Electronic music), 컴퓨터음악(Computer music)이라는 단어는 혼용해서 사용하는 단어이다. 이 글에서는 디지털 시대 이후의 음악을 다루기 때문에 컴퓨터음악이라고 통일하였으며, 디지털 이전의 아날로그 전자음악의 경우 전자음악으로 명칭하였다.

<sup>5</sup> 공모분야는 SICMF에서 다루고 있는 컴퓨터음악에 대한 설명이 공식적으로 기록된 것이기에, 음악제에서 어떠한 작품이 발표되는지에 대해 가장 쉽게 이해할 수 있는 방법이라고 생각하여 공모분야의 세부적인 변화도 음악제의 변화의 내용에 다루고자 하였다. 이것은 중요한 변화로, 우리 사회에서 어떤 음악을 컴퓨터음악이라고 부르는지 알 수 있는 정보이다. 이후 공모분야는 테이프 음악/악기(4명 이내)/아 전자음악(테이프 혹은 라이브)/라이브 전자음악(악기 없이)/오디오-비주얼 미디어 작품/기타 전자음악 장르 작품 이라는 5가지 분야 내에서 매년 조금씩 바뀌는 모습을 보인다.

<sup>6</sup> 1997년 한국전자음악협회 주최의 전자음악 신인작곡가를 대상으로 한 한국컴퓨터음악대회가 출범했다. 실험음악, 대중음악, 오디오 비주얼 부문으로 분류되었고 실험음악과 오디오 비주얼 부문 심사위원들 대부분이 한국전자음악협회 회원 작곡가였으며, 수상작들은 이후 SICMF에서 발표되기도 했다. 이후로는 공모분야가 계속해서 바뀌는 모습이 보였는데 사운드 카드 분야/ 미디어 사운드 및 컴퓨터 디지털 오디오 분야(실용부문/실험부문)/ Live-Electro-Acoustic Music 분야(실용부문/실험부문)/Audio Visual Art 분야/음악용 소프트웨어 분야 등 세부적으로 분류되기도 하였다.

<sup>7</sup> 스탠포드대학의 CCRMA는 파리의 IRCAM과 MIT의 실험음악 스튜디오와 함께 세계에서 가장 저명한 컴퓨터음악연구소 중 한 곳으로 평가받는다. 1964년 스탠포드의 레랜드 스미스(Leland Smith) 교수의 제자들이 컴퓨터시스템(IBM 1790, DEC PDP-1)으로 컴퓨터음악 작업을 시작하였고 1975년 IRCAM과의 교류를 통해 연구 환경을 굳건히 하며 연구소가 조직되었다. 음악의 기술적 측면을 모두 다루며 작곡 뿐 아니라 새로운 음악의 재료, 프로그램 등을 개발하는 등의 연구를 하고 있다. CCRMA 웹사이트, <https://ccrma.stanford.edu/>. 2023년 6월 1일 접속.

<sup>8</sup> 메타듀오는 색소폰 연주자인 다니엘 키엔지(Daniel Kientzy)와 전자음악가 레이나 포르투온도(Reina Portuondo)가 듀오를 이루는 현대음악 앙상블이다. 색소폰의 다양한 음향과 패시지를 플랜저, 페이징, 딜레이, 8채널 음향 등 디지털 신호 처리를 통해 아날로그 사운드

한계를 넘어서는 연주를 선보인다. <https://www.dacapo-records.2023년 8월 13일 접속.>

<sup>9</sup> 이돈응을 선택한 이유는 당시 전자음악계에서 가장 주목받은 작곡가였기 때문이다. 이민희는 이 시기 황성호의 역할을 가장 중요한 역할로 평가하고 있다. 황성호는 한국전자음악협회를 주도하며 운영했기 때문에 그 역할이 매우 크지만, 이 글에서는 작품 활동을 위주로 보았다. 이민희, “한국의 전자음악 60년 소사”, (한국전자음악협회 서울국제컴퓨터음악제 30주년 기념, 2023), 21.

<sup>10</sup> 알고리즘 작곡이란 전통적으로 음악이론에 따라 음을 배열하는 과정인 작곡에 수학적으로 형식화된 방법을 적용, 인간의 개입을 최소화한 상태에서 음악을 자동으로 생성하는 것을 말한다.

<sup>11</sup> 전자 음악의 시작을 프랑스 작곡가 겸 엔지니어 피에르 쉐페르(Pierre Henri Marie Schaeffer)가 1948년 ‘전자 음악(musique électroacoustique, 전기음향적 음악)’이라는 단어를 소개한 시점으로 보았다. Simon Emmerson, Denis Smalley, “Electronic-acoustic music,” in *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2nd ed. (2001), 8: 65.

<sup>12</sup> 음악소프트웨어는 디지털 신호처리를 이용하여 오디오 및 음악의 녹음, 편집, 재생을 하는 소프트웨어를 뜻한다. 예전에는 마이크로프로세서에 기반을 둔 음향 편집 시스템을 뜻하나, 최근에는 디지털 오디오 신호를 녹음, 편집, 재생하는 소프트웨어로 그 의미가 확장되었다.

<sup>13</sup> 1986년 프랑스의 IRCAM(Institute de Recherche et Coordination Acoustique/Musique)에서 Miller Puckette를 중심으로 Max의 개발이 시작되었다. 1990년에 인텔리전트 뮤직사(Intelligent Music)로부터 시판 패키지로 배포되어 다음해인 1991년에 옴코드사(Opcode)에서 발매되었다. 1997년 12월, msp가 Max에 추가되면서 디지털 신호처리(DSP) 기능이 가능해졌고 미디어 외부 음원에 의존하지 않고 컴퓨터 자체가 음향을 직접 생성할 수 있는 환경을 제공하였다. 그 후 옴코드사로부터 Max의 판매권을 얻어서 Cycling ‘74에서 Max를 발매하였다. 1999년에 영상 처리 기반의 nato와 2000년에는 영상 처리를 가능하게 해주는 Jitter, OpenGL 기반의 3D CG 구현 소프트웨어인 GEM for Macintosh가 출시되었다. Max msp history, <https://www.music.mcgill.ca/~gary/306/week1/node2.html>. 2023년 6월 1일 접속.

<sup>14</sup> Richard Dudas, “A visit to the Seoul International Computer Music Festival,” Cycling ‘74 (Feb 1, 2007) : 1. <http://cycling74.com/articles/a-visit-to-the-seoul-international-computer-music-festival>. 2023년 6월 8일 접속.

<sup>15</sup> 한국전자음악협회 주최의 Fest-M 대회는 전자음악 학생을 대상으로 이루어지는 대회이며, 매 해 1위 수상자는 그 해의 SICMF 참가자격이 주어진다.

<sup>16</sup> 실시간 악보추적(score following)이란 컴퓨터가 라이브 음악을 듣고 악보에서의 위치를 자동으로 추적하는 과정을 말한다. 악보추적기능이라고도 불린다.

<sup>17</sup> GRAME 연구소는 1982년 설립된 프랑스 실험/전자 음향 음악 센터이자 앙상블로, 리옹에 기반을 두고 있다. 프랑스의 6개 국립 음악 창작 센터 중 하나이며, 과학과 음악의 연구를 통한 새로운 예술 작품들의 제작과 보급을 목적으로 설립된 프랑스 국립기관이다. GRAME 웹사이트, <https://www.grame.fr/>. 2023년 8월 13일 접속.

- 18 앙상블 아방튀르는 1986년 독일 프라이부르크에서 창립된 현대음악앙상블로, 유럽에서 가장 오래되고 중요하게 평가받는 현대음악 단체이다. 특히 정치적으로 박해받고 억압받는 작곡가들, 아방가르드적 사고를 가진 젊은 작곡가들의 작품에 중점을 두어 연주한다. 앙상블 아방튀르 웹사이트, <https://www.ensemble-aventure.de/>. 2023년 8월 13일 접속.
- 19 컴퓨터음악에서의 다이내믹의 경계값은 음악에서 가장 낮은 소리와 가장 높은 소리 간의 차이를 말한다.
- 20 앙상블 손데아르떼는 유럽에서 혁신적인 연주 단체로 평가받는 현대음악 앙상블로, 어쿠스틱 악기와 전자 음향의 조합을 연주한다. 특히 포르투갈 창작에 특별한 관심을 기울이고 있다. 앙상블 손데아르떼 웹사이트, <https://www.sondarte.com/>. 2023년 8월 13일 접속.
- 21 앙상블 이멕스는 1999년 설립된 독일의 현대음악앙상블로, 20세기 초중반의 중요한 작품을 연주하며, 광범위한 시대를 아우르며 다양한 레퍼토리를 연주한다. 다수의 세계초연을 하는 단체이다. 앙상블 이멕스 웹사이트, <https://e-mex.de/>. 2023년 8월 13일 접속.
- 22 CMEK는 1998년 대금, 가야금, 기타, 생황 4명의 연주자로 시작된 한국 현대음악앙상블은 2003년 이후 첼로, 클라리넷, 피리, 한국과 서양의 타악기를 포함하여 9명으로 구성되어 보다 다양한 음색으로 폭넓은 연주를 하는 현대음악 연주 단체이다.
- 23 다원예술은 예술 장르 간의 새로운 융합이거나, 예술과 다른 장르가 기술적, 철학적, 인문적으로 새롭게 접근하여 만들어지는 새로운 예술을 뜻한다.
- 24 2008년에 결성하여 현재까지 국내외에서 꾸준한 활동을 하고 있는 이 그룹은 스스로를 '미디어아트 공연 그룹'이라고 칭하며 주로 디지털 테크놀로지에서도 예술적 영감을 발견하고, 이를 통해 멀티미디어 공연, 인터랙티브 설치, 그리고 컴퓨터 프로그래밍에 의한 알고리즘 아트까지 다양한 작업을 하고 있다. 태싯그룹 웹사이트, <http://www.tacit.kr/>. 2023년 8월 20일 접속.
- 25 올리베이라는 캘리포니아 대학교 작곡 부분의 교수로, 리스본에서 오르간 연주, 작곡, 건축을 공부했다. 20세기 음악 이론 저서를 포함하여, 전자음악과 오디오비주얼 작품 뿐 아니라 오페라, 관현악 작곡, 실내악까지 폭 넓은 레퍼토리를 창작하는 작곡가이다. "서울국제컴퓨터음악제 2023" 세미나 자료.
- 26 2023년 10월 8일 오후5시에 진행된 서울국제컴퓨터음악제 30주년 기념 음악회에서는 이은화의 <"형형색색의..." for 2-ch Tape>(2002), 안두진의 <"상상속의 풍경..." 江 』" for 4-ch Tape>(1998), 문성준의 <"망점(網點)" for 2-ch Tape>(2023), 김한신의 <"da" for Audio-Visual media>(2015), 이돈웅의 <"Alco 2023" for Musical Robot and Human Performance>(2023), 임종우의 <"Shade" for Tape in realtime 4-ch processing>(2011, revision 2023), 황성호의 <"Silhouette" for Piano and Electronic Sounds>(1998)이 연주되었다.
- 27 ICMC는 1986년 네덜란드 헤이그 왕립 음악원 컴퓨터음악연구소의 주치를 시작으로 이후 1974년 창립된 국제 컴퓨터음악 협회 ICMA(International Computer Music Association)가 주최, 후원하는 국제 컴퓨터음악 학회이다. 컴퓨터 음악 공연 및 관련 분야를 모두

다루는 장이다. <http://www.computermusic.org/>. 2023년 11월 15일 접속.

- 28 아르스 일렉트로니카 페스티벌은 1979년, 오스트리아의 문화, 교육, 과학 재단인 아르스 일렉트로니카(Ars Electronica Linz GmbH)의 비엔날레 행사로 시작되었다. 1986년부터 매해 개최하는 것으로 바뀌었고, 1987년부터는 실험적 예술가, 관련 분야에서 우수한 성과를 거둔 인물에게 프리크스 아르스 일렉트로니카를 수여한다. <https://ars.electronica.art/news/en/>. 2023년 11월 15일 접속.

**[Abstract in Korean | 영문 요약]**

**Thirty Years History of the Seoul International Computer Music Festival**

**Sein Lee**

This study examines the 30-year history of the Seoul International Computer Music Festival (SICMF) by dividing it into three phases: Phase 1 (1994-2003), focused on the establishment and stabilization of the festival; Phase 2 (2004-2013), characterized by the technological advancements that led to greater diversity in works; and Phase 3 (2014-2023), marked by the introduction of experimental works utilizing new technologies. Through an analysis of key works and events, the paper highlights the festival's role in shaping the development of Korean electronic music and its integration with global trends. The study emphasizes the festival's historical significance and advocates for the continued research and re-evaluation of computer music in Korea.

Keywords: Seoul International Computer Music Festival, Korean computer music, computer music, music technology

논문투고일: 2024년 09월29일

논문심사일: 2024년 11월07일, 08일

게재확정일: 2024년 11월20일





# Transforming Neural Activity into Generative Audio-Visual Art: An Interplay Between Brain Data, Music, and Visuals

SiHyun Uhm  
Department of Music Composition  
University of California at Los Angeles  
Su [at] g.ucla.edu

Federico Sangiuliano Jimka  
Department of Bioengineering  
University of California at Los Angeles  
fsangiul [at] g.ucla.edu

Daniel Aharoni  
Department of Neurology  
David Geffen School of Medicine, UCLA  
Daharoni [at] mednet.ucla.edu

This interdisciplinary project integrates neuroscience and multimedia art by transforming calcium fluorescence imaging data from hippocampal CA1 and retrosplenial cortex (RSC) regions of awake, behaving mice into generative audio-visual experiences. Neural activity, derived from calcium traces, is analyzed in TouchDesigner to produce dynamic visual outputs influenced by movement, size, and shape. Simultaneously, neural data inform music creation through Max MSP, manipulating elements such as filter settings and dynamics. Additional musical components, composed in Logic Pro, respond to the visuals, which in turn influence subsequent visual adjustments in TouchDesigner. This reciprocal interaction between audio and visuals, grounded in neural activity, provides a unique framework for interpreting and creatively expressing the complexities of brain dynamics.

**Keywords:** Miniscope, neural data, Python, OSC, TouchDesigner, Max/MSP, data sonification, multimedia art, brain activity, calcium imaging, generative visuals, audio-visual interaction, music creation, filter manipulation, spatialization.

## INTRODUCTION

### 1 Neural Imaging and Calcium Tracing

Miniature microscopes, or Miniscopes, are compact, head-mounted imaging devices that enable in vivo visualization of neural dynamics in freely behaving animals.<sup>1</sup> These small-scale microscopes are particularly valuable in neuroscience research, as they provide high-resolution, real-time imaging capabilities that allow researchers to study brain activity in naturalistic, behaviorally relevant settings. Miniscopes are often used in conjunction with calcium imaging, a powerful technique for tracking neural activity. Calcium imaging uses fluorescent calcium indicators that increase their fluorescence intensity when they bind to calcium ions, a process closely linked to neuronal firing. By monitoring these changes in fluorescence, researchers can map patterns of activity across large populations of neurons, providing deeper insights into how neural circuits give rise to behavior, learning, and memory.

### 2 Preexisting Science Data and Multimedia Projects

Data-art has become a compelling medium in modern science communication, often used to make scientific data more understandable and visually engaging. Yet, data-art has the potential to transcend simple data representation by introducing artistic interpretation.<sup>2</sup> This approach transforms data into works that are not only informative but also aesthetically meaningful, offering new perspectives and encouraging reflection and appreciation of the underlying science.

As multimedia technology advances, projects integrating scientific datasets into art have become more common. These collaborations use generative art, music, and interactive installations to make complex scientific phenomena accessible and captivating for broader audiences. Examples include using geologic data to create digital landscapes, representing environmental benefits of waterway transport through interactive visuals, and interpreting neural patterns as abstract art.<sup>3 4 5</sup> Projects like these, bridge scientific insight with artistic vision, inviting viewers to experience science through a creative lens.

Angela Schöpke, a data visualization expert, explains the power of this approach: “Transforming raw datasets into visual narratives helps us understand relationships, correlations, and stories in our data in a way that may not immediately be visible when viewing raw data.”<sup>6</sup> By transforming data into visually compelling narratives, these projects offer viewers a new way to engage with and interpret scientific information.

A notable example of brainwave art is David Rosenboom’s Brainwave Music, where real-time EEG data generates music as participants wear EEG headsets.<sup>7</sup> In another project by Random Quark, EEG data is used to create digital paintings that give audiences a sensory experience of neurological activity.<sup>8</sup> These EEG-based projects transform brain signals into captivating visual and auditory experiences, providing insight into brain activity in a novel and accessible form.

This project, however, uniquely applies calcium imaging data recorded with a Miniscope to create a constant

feedback loop between visuals and sound. Unlike EEG, which captures brainwave electrical signals as waveforms,<sup>9</sup> Miniscopes record the activity of the brain as a video, and brain activity can be decoded using image analysis methods. The visuals and music continually influence one another, creating an immersive and interdisciplinary interplay of scientific data and multimedia art. This approach deepens the sensory impact, allowing audiences to connect with the neuroscience behind the art.

### 3 Project Aim, Technical Overview, and Goal

The aim of this project is to bridge scientific and artistic realms through an interactive, real-time experience that merges neural data, music, and visuals. By blending fixed media with dynamically generated content, the project seeks a balance between data-driven composition and creative expression. Instead of relying solely on scientific interpretation or artistic inspiration, it establishes a unique middle ground where visuals and audio respond to neural data in real time. The result is a multi-layered, immersive environment that deeply engages viewers. As multimedia artist Nicolas Naveau noted, "Art can play a crucial role by providing a critical perspective and offering a unique form of societal discourse. If science provides knowledge, the strength of art lies in creating meaning while communicating on emotional and sensory levels, opening dialogues with diverse audiences."<sup>10</sup>

Technically, the project translates neural activity captured through calcium imaging into an audio-visual performance using TouchDesigner and Max/MSP. Calcium trace data from neural imaging data drives both generative music and visuals, creating a synchronized, interactive experience. Visuals track and map calcium movement as dynamic generative patterns, evolving in response to both fixed audio and live audio inputs. This setup fosters an immersive and continuous feedback loop, where fixed and real-time elements interweave to reflect neural activity in a visually and sonically expressive format.

The project's goal is to underscore the creative potential in merging scientific data with artistic practice, highlighting how data can inspire new composition forms and expanded visual possibilities in multimedia. Visual elements are shaped by neural imaging video, where calcium traces guide the movement of particles, resulting in an organic, data-responsive visual layer that aligns with the rhythm of the generative music. By allowing room for live additions, performers can interact dynamically with visuals, creating a responsive experience that evolves with both data and creative input. The real-time audio generated in Max/MSP feeds back into TouchDesigner, synchronizing and enhancing the fixed media, thus form-

ing an integrative and immersive audio-visual environment.

This multimedia project exemplifies how art and science can intersect to create meaningful experiences, presenting scientific data in a form that resonates emotionally and demonstrating how multimedia art can serve as an innovative medium for scientific communication.

## MULTIMEDIA ART AND PROJECT DESIGN

### 1. Technical Setup

**I. Data Source:** Two datasets were collected using an open-source UCLA Version 4 (V4) Miniscope. The first dataset was acquired from the CA1 region of the hippocampus as mice explored a 40 x 40 cm square arena, while the second dataset was recorded from the retrosplenial cortex (RSC) as mice ran along a linear track. The imaging data were stored as uncompressed AVI files using the GREY codec at 30 frames per second and at an 8-bit pixel depth. The recordings were captured at a resolution of 0.36 megapixels.

All data used in this study were collected from prior neuroscientific experiments conducted under approved animal protocols in compliance with institutional and ethical guidelines for animal research. These studies provide comprehensive methodological details, while the present study focuses on reanalyzing the imaging datasets for the implementation of generative audio-visual systems.<sup>11</sup>

**II. Data Pre-Processing:** To optimize the video for better neuron tracking, we apply pre-processing steps to remove the non-neuronal background fluorescence. The background fluorescence is calculated by finding the minimum fluorescence projection and then subtracting it from the original video. To make the blob tracking phase easier, the brightness is later adjusted by checking the histogram.

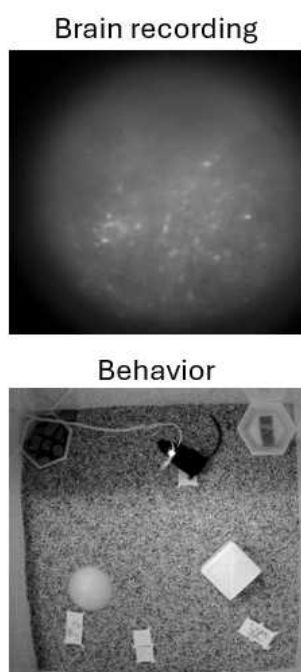
**III. Data Processing:** To analyze neural activity, we begin by processing video data captured through the Miniscope using blob-tracking technology. Fluorescence intensity changes, which correspond to neural activity, are characterized by the following key attributes:

- **x and y coordinates:** The spatial location of the fluorescence signal within the field of view, corresponding to the position of neurons.
- **Height and width:** The dimensions of the detected fluorescence region, representing the spatial extent of the signal.
- **Age:** The temporal duration since the fluorescence signal's onset, which helps track its progression over time.

**IV. Visual Creation:** Visual elements are constructed using box objects that vary in size, mimicking the appearance of galaxies. These boxes are artistically aligned and directed based on the x and y coordinates and intensity of the detected fluorescence signals. Pathways are formed that reflect patterns of activity across neuronal populations. Each visual aspect, including noise, shape, and movement, is dynamically influenced by real-time blob-tracking data, adding a layer of depth and interactivity.

**V. Audio Creation:** A fixed audio track of 7 minutes and 20 seconds, created in Logic Pro, is inspired by and synchronized with the visuals. An additional layer of sound is generated from the blob-tracking data, which is transferred from TouchDesigner to Max MSP via OSC (Open Sound Control). Specific layers, including chords, melodies, beats, and filters, are triggered in Max MSP at precise intervals and fed back into TouchDesigner. This enables the audio to influence the visual pathways, blending with the fixed track to create an immersive multimedia experience.

**VI. Live Performance:** Designed for live performance, the project incorporates real-time artistic adjustments. Elements such as scene changes, color shifts, parameter adjustments, volume control, and initiation of specific musical elements in Max MSP provide the performer with the freedom to interpret and interact with the visuals and audio dynamically.



**Figure 1.** Raw sample frame from CA1 hippocampus and recorded behavior in an open field.

## 2 METHODOLOGY

### 2.1 Data Acquisition

Data acquisition was conducted across two experiments, each involving an open-source UCLA\_Miniscope mounted on the head of a freely behaving mouse expressing a fluorescent neural activity indicator.<sup>12</sup> The first experiment (Figure 1) captured data from the CA1 region of the hippocampus (Figure 2).

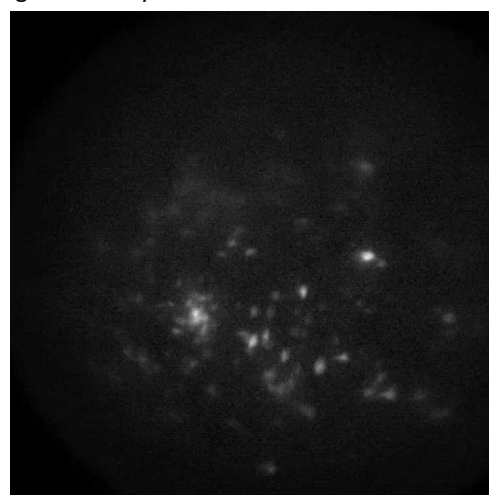
The second experiment was performed in a linear track with water rewards at each end. This was recorded in the RSC region of the brain (Figure 4).



**Figure 2.** Raw sample frame from RSC and recorded behavior in a linear track.

### 2.2 Data Pre-processing

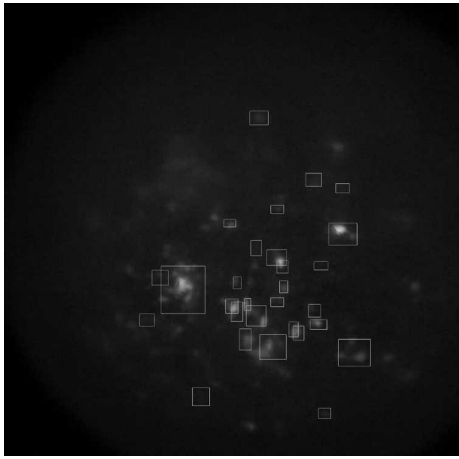
To enhance neuron visibility, background subtraction was applied to each recording. This process involved calculating the minimum projection of each video and then performing a frame-by-frame subtraction.



**Figure 3.** Background removed from the CA1 hippocampus frame for better visualization.

### 2.3 Blob Tracking

Blob tracking allows for the detection and tracking of constantly shifting “blobs,” reporting attributes such as blob IDs, coordinates, and pixel dimensions.<sup>13</sup> To capture this tracking data, the system is configured with a cache size of 32, a step size of 1, and an output index of -5.4 frames. This configuration compares each video frame with the frame from 5.4 frames earlier, highlighting changes over time and enabling tracking of calcium activity. The resulting blob-tracking data includes a range of parameters: ID, x (u) and y (v) coordinates, width, height, and various statuses like active, revived, lost, expired, age, lost time, and expired time.



**Figure 4.** Blob Tracking of background removed CA1 hippocampus frame.

### VISUAL PROCESS

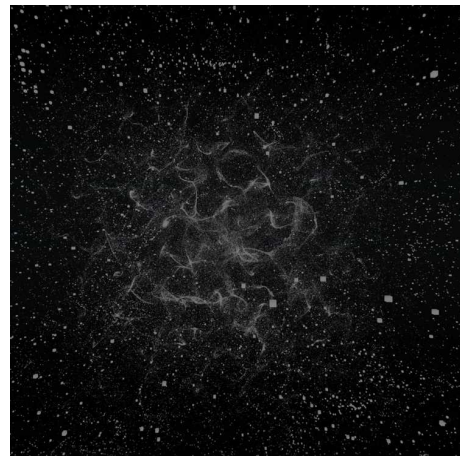
The visual component of this project draws inspiration from the circular and organic shapes observed in the fluorescence signals captured during calcium imaging. These signals, which reflect neural activity, often appear as circular outlines resembling the physical forms of neurons or cell bodies. To preserve the connection between the sample frames and the artistic interpretation, the visual design incorporates these circular forms, maintaining a coherent link to the data's authentic spatial characteristics. This approach bridges scientific accuracy and artistic expression.

Additionally, the monochromatic palette of the original video footage has been adapted into the visuals, which primarily focus on black and white tones. Intertwined cubes were chosen as a building block for the visuals, forming an atmospheric, space-like environment. This combination of abstract cubes and the circular form, illuminated in varying intensities, is used to convey the energy and rhythm of neural activity over time, allowing the viewer to perceive an abstracted yet data-informed view of brain processes.

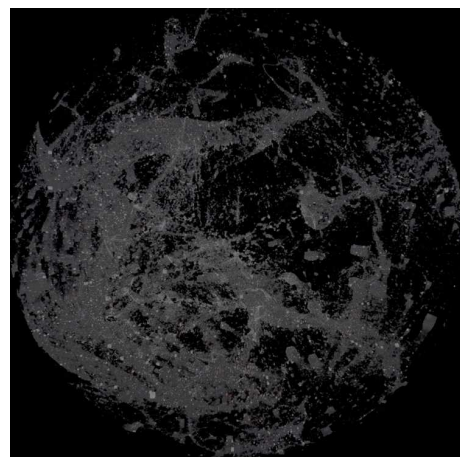
### 1 Different Scenes

The visual component is structured into four distinct scenes, each offering a unique perspective on neural activity data and adding variety to sustain audience engagement. These scenes are not randomly sequenced but instead follow the evolving intensity and patterns in the neural data, with specific elements activated at key moments to introduce variation and enhance dynamism. A recurring circular motif provides thematic continuity, while variations in light intensity and shifts between black and white tones highlight changes in activity.

In addition to the four primary scenes, three additional visual elements appear intermittently, created mainly from particle SOP. These elements—Geo7, Geo8, and Geo8 with disabled Particle SOP—enrich the visual progression and thematic evolution of the piece, adding further variation. By amplifying the organic flow of the visuals, these shifts accentuate specific moments in the calcium data, deepening the immersive quality and creating a cohesive narrative that is both visually engaging and scientifically grounded.



**Figure 5.** Scene 1.



**Figure 6.** Transitional state between Scene 2 and Scene 2.

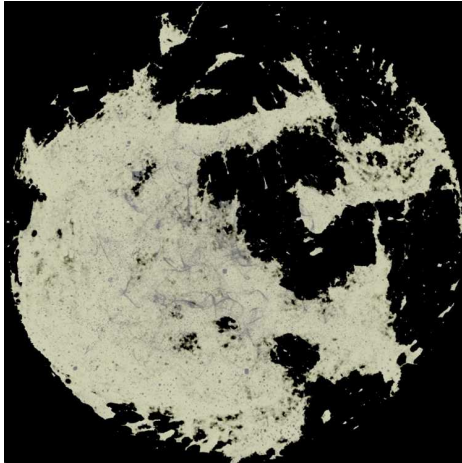


Figure 7. Transitional state between Scene 2 and Scene 3.

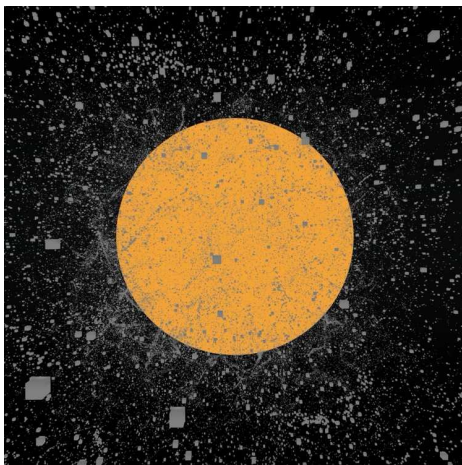


Figure 8. Scene 1 featuring Geo 8 with the Particle SOP disabled.

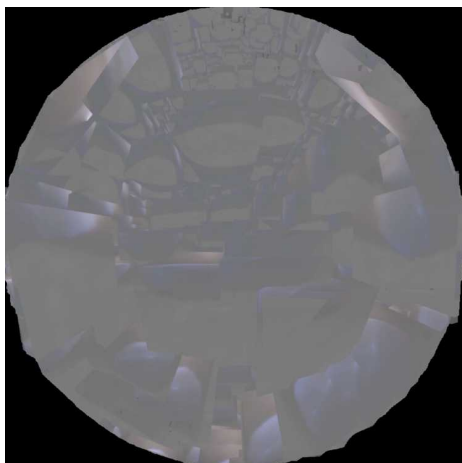


Figure 9. Transitional state between Scene 1 and Scene 2, showcasing widened boxes responding to the audio track.

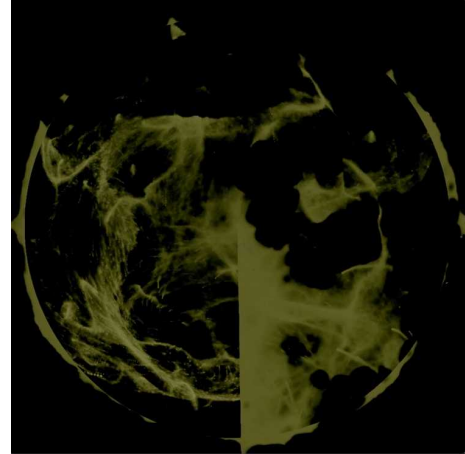


Figure 10. Scene 4.

## 2 Blob Tracking Data Implementation

In this project, key data points—x, y, width, height, and age—are extracted and transformed into CHOPs (Channel Operators) within TouchDesigner. These CHOPs process real-time data streams to control various visual elements, translating fluctuations in x, y, and width values into changes in position, scale, and growth of visual shapes.



Figure 11. Selected data points converted into CHOPs.

One example of this implementation is how x, y, and width values control a Noise TOP (Texture Operator), with the 'Translate' parameter directly linked to these values. Similarly, the Transform TOP and other operators like Scale and Grow/Shrink respond to blob-tracking data, allowing neural activity to dynamically shape the visuals. The x and y data influence small boxes, producing intricate pathway patterns that mirror the locations and sizes of calcium traces as they light up. This method reinterprets the position, scale, and direction of neural activity into visually engaging shapes, lines, and movements.



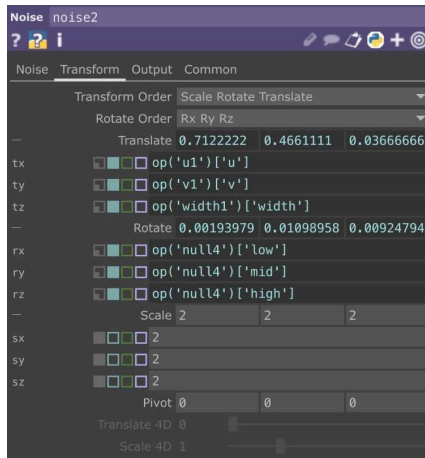


Figure 12. Blob data and audio analysis data controlling Noise TOP.

### 3 Implementation of Audio Analysis Data

Within TouchDesigner, the Audio Analysis CHOP is utilized to decompose audio frequencies into low, mid, and high ranges. Users can control the output by adjusting parameters such as threshold, gain, add, and smooth settings. The manipulation of these values is refined through audio analysis, mapping the soundtrack's low, mid, and high frequencies to specific thresholds, gains, and smoothing values.



Figure 13. Audio analysis tool in TouchDesigner.

### 4 Implemented Elements at Specified Timing

Several visual elements are triggered at precise moments throughout the 7-minute and 20-second audio composition. A Timer CHOP monitors elapsed time in seconds and executes cooking commands (initiating processes) at predetermined intervals, activating specific visuals at the appropriate moments.

As the piece unfolds, audio analysis directly influences the size of dynamically appearing boxes. These boxes expand and contract in synchronization with the music, gradually increasing in size as the composition builds toward its climax. A control mechanism ensures that the box sizes are managed at critical timeline points to prevent overcrowding and maintain visual harmony.

Geo 7 and Geo 8, previously described as supplementary visual layers, are also timed for activation. These particles change color in response to their speed, adding further visual dynamism to the scenes. Additionally, a con-

tinuously shifting vivid circle at the center of the piece is derived from Geo 8, utilizing disabled particle elements to enhance visual interest.

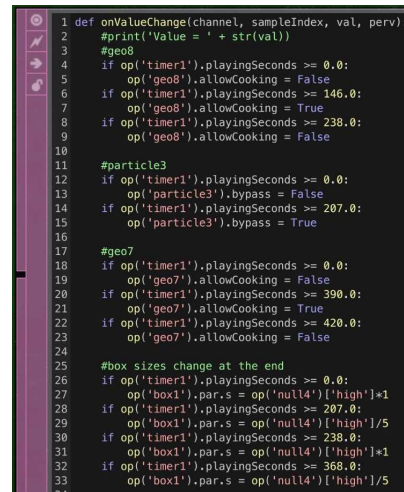


Figure 14. Implementation of additional visual elements at designated timestamps

### 5 Live Performance Considerations

The visual performance is designed for live interaction, prioritizing flexibility and real-time control. The set can be reset by pressing the "1" key, restoring the timecode, audio, and visuals to their initial state. This feature allows performers to reinitiate the entire system for each live performance.

The aforementioned four distinct scenes are preloaded into a Switch TOP, enabling seamless transitions between them. During the performance, the audio track guides the performer's decisions on when to switch between scenes, ensuring smooth transitions with automatic fade-ins and fade-outs that maintain visual continuity.

This open-ended structure allows for different outcomes with each performance, inviting creativity and imagination to enhance the richness of the context and freedom of expression. Additionally, elements like background color changes related to scenes 3 and 4 are incorporated, providing further opportunities for live manipulation.

While certain elements can be implemented with exact timing, the precise outcome may vary each time, reflecting the dynamic nature of live performance and interaction.

### Composition Process

This composition merges the structured framework of an electroacoustic piece with the fluidity of generative components, embodying the dynamic nature of the tracking

data. Key elements—such as sound creation, initiation, filter modulation, and amplitude modification—are precisely crafted at specific moments using Max MSP. Simultaneously, pre-composed electronics are dynamically linked to visual representations of the data through Logic Pro. This approach creates an intricate interplay between music driven by data and artistic inspiration, mirroring the complexities of the underlying neural activity.

## 1 OSC (Open Sound Control)

Using OSC (Open Sound Control), the blob tracking data is transmitted from TouchDesigner to Max MSP to control various musical aspects in real-time. OSC is a flexible communication protocol designed for sending real-time data between applications and hardware with low latency, ensuring high precision.<sup>14</sup> Each data point is mapped to specific UDP ports within Max MSP: u(x) to port 10000, v(y) to 10001, width to 10002, height to 10003, and age to 10004.

In Max MSP, udpreceive receives the incoming data, which includes an ID number for each blob (e.g., /29906 0.028333). This ID helps in distinguishing blobs over time, as they vary in position and characteristics. To streamline the data, unpack s f splits the incoming ID and float values, filtering out any extraneous output using route 60. to retain only the needed float values for processing.

## 2 Musical Elements (Max/MSP)

The composition draws inspiration from a galaxy-like visual, with sparse textures evolving into a dynamically expressive finale. Many musical sections revolve around a D pedal tone, alternating between single notes, multiple-note pedals, and arpeggios, each with unique timbral variations.

### 2.1 Table of Contents

Within Max MSP, blob tracking data (x, y, width, and height) is employed to generate three core musical elements:

- **Chords** (D, C, and F chord variants),
- **Melody** (a single note sliding melody with a slightly coarse tone), and
- **Beat** (randomly generated rhythms from data points).

The sound synthesis is processed through ~vst, utilizing Pigments' synth for a wide range of textures.

### 2.2 Chords

Blob data is routed through the if object in Max MSP, sorting values to activate specific pitches based on thresholds. This setup is designed to produce distinct chord structures for the D, C, and F pedal tones. For the

D chord in particular, sorted values are then scaled to initiate one of the preselected MIDI notes (38, 45, 50, 57, 62, and 69), creating a “cloud” of D and A pitches that form a chordal aura. This collection avoids a strict major or minor quality, instead generating a rich, ambiguous D chord cluster.

In addition to pitch selection, the if statement generates dynamically scaled numeric values linked to MIDI dynamics, outputting these values to makenote operator, which is routed to vst~ for pitch and gain~ for amplitude. These fluctuating values continually modify the dynamics, creating a natural ebb and flow within the D chord. This approach ensures that the preselected chord structures serve as an additional layer within the soundscape of the precomposed music. Their presence emerges when needed, adding expressive highlights and textural depth without guiding or dominating the overall harmonic foundation. The dynamic and real-time variations further enhance their integration, creating a fluid and adaptive sonic environment.

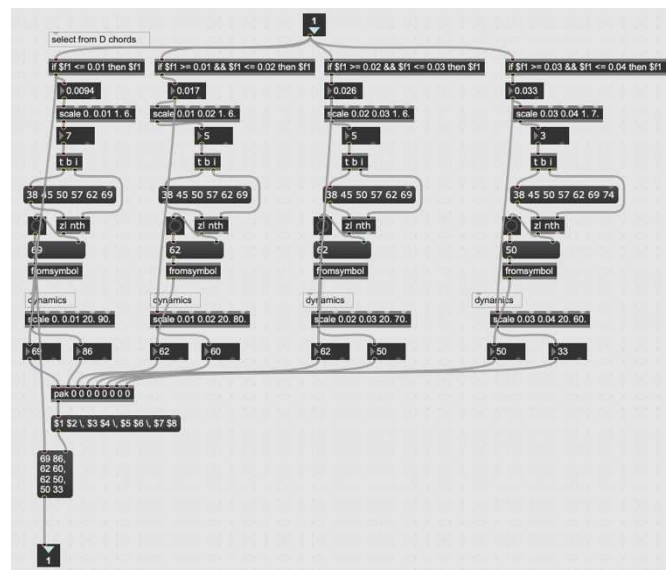


Figure 15. Workflow for generating D chords by sorting blob data sets in Max MSP.

### 2.3 Melody

The melody logic in Max MSP builds upon the same foundational setup used for triggering chords but is streamlined to produce a single note instead of multiple notes. Unlike chords, which create harmonic textures, the melody line operates independently with a single note being triggered at any given time, creating a focused, linear melodic contour.

Within the ~vst object (Pigments), the blob tracking data manipulates the frequency parameter in Filter 1, specifically a COMB-shaped filter. This effect adds a distinctive, resonant quality to the melodic line. To implement this,

the same if and scale methods used for chords are applied to control the frequency values based on blob data, allowing the melody to dynamically respond to real-time information.

The `~vst` object also includes the `vs 4` output, which enables precise parameter control by identifying the 'Parameter Index and Value when Changed.' Here, the filter frequency knob, assigned to parameter index 172, is targeted specifically to modify its values within a scaled range of 0.08 to 1, ensuring that frequency shifts remain smooth and moderate rather than abrupt.

For added expressiveness, the line operator is used to create a sliding effect, producing a glissando or portamento-like transition between notes. This sliding effect is controlled by inputting the dynamically changing values and setting the speed of each transition. Specifically, the line object is set to receive values with a 200-millisecond speed between notes, ensuring smooth glides and creating a more natural, expressive melodic line. This real-time manipulation of the filter frequency allows the melody to reflect and adapt to the incoming blob data, while the line operator ensures a polished, fluid performance experience.

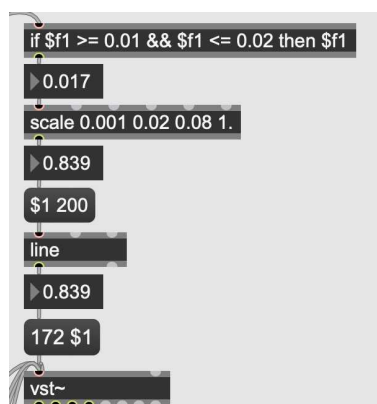


Figure 16. Process of melody creation featuring an added sliding (glissando) effect.

## 2.4 Beats

The beat component, also generated from blob data, applies if and scale to sort data for routing to specific sound samples, such as kick, snare, cymbal, and hi-hat. Each blob's data triggers the appropriate beat element, creating a rhythm that is responsive to the changing data inputs.

## 3 Audio Filter

To shape the overall sound, all musical components (chords, melody, and beats) pass through a `biquad~` filter in Max MSP, which can apply various filter types such as low-pass, high-pass, low-shelf, and high-shelf. This pro-

ject incorporates an auto-filter controlled by the `u(x)` position, feeding low-pass filter settings via OSC input. The filter dynamically adjusts gain and cutoff based on these inputs, providing tailored spectral control for each section.

## 4 Live Performance

Given the live performance context of the piece, with an audio track set to a fixed 7'20", certain musical elements must be triggered at precise times rather than at random intervals. This timing is managed with `coll @embed 1`, where specific events are cued at designated points in seconds to coordinate with the visuals.

Key events include:

1. Chord selection (triggered as D, C, or F at points 1, 2, and 3)
2. Activation of the chords
3. Chord fade-out
4. Activation of the melody
5. Melody fade-out
6. Activation of the beat
7. Beat fade-out
8. Auto-filter trigger
9. Noise layer
10. End of performance at 7'20"

This timing approach ensures each musical event aligns accurately with the visual transitions and overall composition, providing a structured progression through the piece.

1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	;
2	120	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	;
3	126	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	;
4	220	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	;
5	207	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	;
6	230	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	;
7	261	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	;
8	269	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	;
9	283	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	;
10												

Figure 17. Configuration of `@embed 1`, detailing the timing for specific elements, indicated by seconds at the beginning of each column.

### 4.1 Space bar Initiation

When the visual component begins in TouchDesigner, it triggers the simultaneous initiation of both TouchDesigner and Max MSP through an automated process, starting a timer in Max MSP set to a tempo of 60 BPM (equivalent to one second per beat) to ensure precise timing.

To synchronize the visuals and audio, a custom code in TouchDesigner's Keyboard In DAT Callback captures the



spacebar input. This code uses the spacebar's Constant CHOP value to detect its state, which momentarily switches from 1 to 0 when pressed. To maintain a steady signal, the Hold CHOP operator is employed to keep the value stable at 1 until the spacebar is pressed again. This setup effectively holds the value until it registers another 0-to-1 change, preventing fluctuations in the signal.

```
17 def onKey(dat, key, character, alt, lAlt, rAlt, ctrl,
18 lCtrl, rCtrl, shift, lShift, rShift, state, time, cmd, lCmd, rCmd):
19     # Check if the pressed key is 'space'
20     if key == 'space':
21         if state: # If the key is pressed
22             op('constant_key').par.value0 = 1
23         else: # If the key is released
24             op('constant_key').par.value0 = 0
25     return
```

**Figure 18.** Python code used in the Keyboard In DAT Callback.

The Constant CHOP value is then reversed, toggling between 0 and 1, and is sent out as an OSC message to Max MSP, where it acts as an on/off switch. This method ensures that TouchDesigner and Max MSP stay synchronized in real-time, allowing the visual and audio elements to begin simultaneously and remain in sync throughout the performance.



**Figure 19.** Spacebar value used to trigger '1' for OSC Out CHOP in Max MSP.

## 4.2 Feedback Loop

The system is set up to route Max MSP's audio output back into TouchDesigner, enabling the visuals to respond to both the fixed audio track and the live-generated sound from Max MSP. Since OSC only transmits data rather than audio, there's no direct way to send audio back and forth between Max MSP and TouchDesigner. To solve this, Loopback (or Blackhole) software is used as a virtual audio interface. This interface takes the Max MSP audio output and routes it into TouchDesigner's audio input as a virtual source.

Within TouchDesigner, the Math CHOP is used to combine two audio inputs: the fixed audio track from the Audio File In CHOP and the live audio from Max MSP through the virtual Loopback device. These combined signals are then routed to the Audio Device Out and Audio Analysis CHOPs. This setup creates a continuous feedback loop, allowing the visual elements to dynamically respond to both pre-recorded and live audio data, enhancing the interactive aspect of the project.

## Future

While collaborations between science and art have gained momentum, there remains vast potential for further exploration and development. Additionally, electro-acoustic and electronic music hold boundless possibilities for integration with visual elements, creating immersive, interdisciplinary experiences.

Future goals include obtaining real-time data from freely behaving animals, transmitted via a cloud server and integrated into TouchDesigner and Max/MSP. This advancement would allow for the creation of an evolving, real-time installation that adapts to live data inputs.

The current live performance, as shown in the project demonstration, was controlled entirely within the software environments of TouchDesigner and Max/MSP. Future iterations could incorporate MIDI controllers for more flexible performance management, particularly in larger venue settings. Depending on the space, visuals originally created at 1280 x 1280 resolution could be expanded for a 360-degree display or mapped to custom dimensions, with synchronized lighting controls to enhance the immersive experience.

## Conclusion

This project delves into linking Miniscope calcium imaging with multimedia art. Through extensive testing and creative reimagining, it has evolved to embody the exploratory and experimental spirit intrinsic to scientific research.

By merging scientific data with artistic expression, this project aims to encourage further collaborations between scientists and artists, challenging the conventional boundaries between science and art. It demonstrates that science can inspire artistic creativity, while art and music can be approached with scientific rigor. Such cross-disciplinary engagement has the potential to inspire even more innovative and impactful work.

The main achievement of this project is the application of blob tracking on calcium imaging data generated with open-source UCLA Miniscopes to create both visually and sonically interpreted neural pathways. The dataset not only influences the visual design but also generates additional musical elements layered on top of a fixed audio track. This data-driven interaction is achieved through Max/MSP and TouchDesigner, facilitating a dynamic, threefold creative process: real-time scene changes, visual manipulation, and musical modulation. By integrating these elements, the project offers an immersive, interactive performance environment that combines both fixed

and live media, leaving room for artistic choices and improvisation during live presentations.

### Supplementary Material

To provide a more comprehensive understanding of the project's outcomes, a live performance recording of the project demonstration is available. Access the recording through the following YouTube link (<https://youtu.be/W5rKlJfaUoM>) or by scanning the QR code below.



**ACKNOWLEDGEMENT.** THE AUTHORS WOULD LIKE TO ACKNOWLEDGE DR. MEGHA SEHGAL FOR GENEROUSLY PROVIDING THE RSC DATASET, WHICH WAS GENERATED IN THE SILVA LABORATORY AT UCLA. THE AUTHORS ALSO THANK DR. PINGPING ZHAO FOR CONTRIBUTING THE CA1 DATASET, WHICH WAS GENERATED IN THE GOLSHANI LABORATORY AT UCLA.

### References

- Aharoni, Daniel/ Federico/ Changliang Guo. (2023). Aharoni-Lab/Miniscope-v4: Release for generating DOI (v4.411). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7844004>
- Aharoni, D./ T. M. Hoogland (2019). "Circuit investigations with open-source miniaturized microscopes: Past, present and future," *Frontiers in Cellular Neuroscience*, vol. 13, Apr. 2019. doi:10.3389/fncel.2019.00141
- Ahmedien, D. (2022). "SDGs in New-Media Arts for Science," *EMBO reports*, vol. 23, no. 10, Aug. 2022. doi:10.15252/embr.202255594
- Aljowaily, H. (2019). "Data art: Art, tech, or somewhere in between?," *Medium*, <https://medium.com/emergent-concepts-in-new-media-art-2019/data-art-art-tech-or-somewhere-in-between-2615e245fcec> (accessed Oct. 29, 2024).
- Barrera, H. "EEG Brainwave Art: Giving a different meaning to our memories," *Medium*, <https://medium.com/neurotech-davis/eeg-brainwave-art-giving-a-different-meaning-to-our-memories-202267dd2d55> (accessed Oct. 29, 2024).
- Chen T.-W. et al. (2013). "Ultrasensitive fluorescent proteins for imaging neuronal activity," *Nature*, vol. 499, no. 7458, pp. 295–300, Jul. 2013. doi:10.1038/nature12354
- "Data Art & Science Project." (2024). *Ars Electronica Futurelab*, <https://ars.electronica.art/futurelab/en/projects-data-art-science-project/> (accessed Oct. 29, 2024).
- Derivative, "Touchdesigner documentation," *Derivative*, [https://docs.derivative.ca/Blob\\_Track\\_TOP](https://docs.derivative.ca/Blob_Track_TOP) (accessed Oct. 29, 2024).
- "EEG test (electroencephalogram): Purpose, procedure, and results," *WebMD*, <https://www.webmd.com/epilepsy/electroencephalogram-eeeg> (accessed Oct. 29, 2024).
- Gavenus, Erica/ Pelto, Jill. (2017). "Bringing scientific data to life through art: Jill Pelto constructs effective ways to communicate science through art," *MAHB*, <https://mahb.stanford.edu/blog/scientific-data-art/> (accessed Oct. 29, 2024).
- "How art creates meaning from data | Ars Electronica Futurelab," *YouTube*, [https://youtu.be/R7HfGjv\\_CSk](https://youtu.be/R7HfGjv_CSk) (accessed Oct. 29, 2024).
- "OpenSoundControl.org," *OSC index*, <https://ccrma.stanford.edu/groups/osc/index.html> (accessed Dec. 27, 2024).
- Nance, Sarah. (2024). Assistant Professor of Integrated Practice in Art and Design, "I'm an artist using scientific data as an artistic medium – here's how I make meaning," *The Conversation*, <https://theconversation.com/im-an-artist-using-scientific-data-as-an-artistic-medium-heres-how-i-make-meaning-218201> (accessed Oct. 29, 2024).
- Roberts, J. C. (2024). "Creating Data Art: Authentic Learning and Visualisation Exhibition," *Creating data art: Authentic learning and visualisation exhibition*, <https://arxiv.org/html/2408.07590v1> (accessed Oct. 29, 2024).
- Roberts, J. C. "Creating Data Art: Authentic Learning and Visualisation Exhibition," *Creating data art: Authentic learning and visualisation exhibition*, <https://arxiv.org/html/2408.07590v1> (accessed Oct. 29, 2024).
- Rosenboom, D. "On being invisible," *On Being Invisible (OBI)*, <https://davidrosenboom.com/on-being-invisible-1> (accessed Oct. 29, 2024).
- Simpson, J. "6 inspiring examples of data-driven art: Nordic apis |," *Nordic APIs*, <https://nordicapis.com/6-inspiring-examples-of-data-driven-art/> (accessed Oct. 29, 2024).
- Trickett, T. (2021). "New media art as a vehicle for research and innovation," *Electronic Workshops in Computing*, 2021. doi:10.14236/ewic/eva2021.41

<sup>1</sup> D. Aharoni and T. M. Hoogland, "Circuit investigations with open-source miniaturized microscopes: Past, present and future," *Frontiers in Cellular Neuroscience*, vol. 13, Apr. 2019. doi:10.3389/fncel.2019.00141

<sup>2</sup> J. C. Roberts, "Creating Data Art: Authentic Learning and Visualisation Exhibition," *Creating data art: Authentic learning and visualisation exhibition*, <https://arxiv.org/html/2408.07590v1> (accessed Oct. 29, 2024).

<sup>3</sup> "Data Art & Science Project," *Ars Electronica Futurelab*, <https://ars.electronica.art/futurelab/en/projects-data-art-science-project/> (accessed Oct. 29, 2024).

<sup>4</sup> Sarah Nance, Assistant Professor of Integrated Practice in Art and Design, "I'm an artist using scientific data as an artistic medium – here's how I make meaning," *The Conversation*, <https://theconversation.com/im-an-artist-using-scientific-data-as-an-artistic-medium-heres-how-i-make-meaning-218201> (accessed Oct. 29, 2024).

- <sup>5</sup> T. Trickett, "New media art as a vehicle for research and Innovation," Electronic Workshops in Computing, 2021. doi:10.14236/ewic/eva2021.41
- <sup>6</sup> H. Aljowaily, "Data art: Art, tech, or somewhere in between?," Medium, <https://medium.com/emergent-concepts-in-new-media-art-2019/data-art-art-tech-or-somewhere-in-between-2615e245fcec> (accessed Oct. 29, 2024).
- <sup>7</sup> D. Rosenboom, "On being invisible," On Being Invisible (OBI), <https://davidrosenboom.com/on-being-invisible-1> (accessed Oct. 29, 2024).
- <sup>8</sup> H. Barrera, "EEG Brainwave Art: Giving a different meaning to our memories," Medium, <https://medium.com/neurotech-davis/eeg-brainwave-art-giving-a-different-meaning-to-our-memories-202267dd2d55> (accessed Oct. 29, 2024).
- <sup>9</sup> "EEG test (electroencephalogram): Purpose, procedure, and results," WebMD, <https://www.webmd.com/epilepsy/electroencephalogram-eeeg> (accessed Oct. 29, 2024).
- <sup>10</sup> "How art creates meaning from data | Ars Electronica Futurelab," YouTube, [https://youtu.be/R7HfGjv\\_CSk](https://youtu.be/R7HfGjv_CSk) (accessed Oct. 29, 2024).
- <sup>11</sup> Daniel Aharoni, Federico, & Changliang Guo. (2023). Aharoni-Lab/Miniscope-v4: Release for generating DOI (v4.411). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7844004>
- <sup>12</sup> T.-W. Chen et al., "Ultrasensitive fluorescent proteins for imaging neuronal activity," Nature, vol. 499, no. 7458, pp. 295–300, Jul. 2013. doi:10.1038/nature12354
- <sup>13</sup> Derivative, "Touchdesigner documentation," Derivative, [https://docs.derivative.ca/Blob\\_Track\\_TOP](https://docs.derivative.ca/Blob_Track_TOP)
- <sup>14</sup> "OpenSoundControl.org," OSC index, <https://ccrma.stanford.edu/groups/osc/index.html> (accessed Dec. 27, 2024).

[Abstract in Korean | 국문 요약]

신경활동을 오디오비주얼 예술로 변형하기: 뇌데이터와 음악, 비주얼 간 상호작용

엄시현/ 페데리코 산줄리아노 짐카/ 다니엘 아하로니

이 학제간 연구는 신경과학과 멀티미디어 예술을 통합하여, 깨어서 행동하는 쥐의 해마 CA1 과 후뇌량팽대 피질 부분의 칼슘 형광 이미징 데이터를 생성적인 오디오비주얼 경험으로 변환시키는 것이다. 칼슘을 추적하여 얻어진 신경활동은 터치디자이너 TouchDesigner 에서 분석한 후 움직임과 크기, 모양의 영향에 따라 변하는 역동적인 비주얼 결과를 만들어낸다. 동시에, 신경 데이터가 맥스/엠에스피 Max/MSP 를 통해 필터 설정이나 다이내믹 같은 요소들을 조절하며 음악적 생성을 돕는다. 추가적으로 로직프로 Logic Pro 에서 만들어진 음악 요소들은 비주얼에 반응하며, 터치디자이너에서 이에 따른 비주얼의 변화를 일으킨다. 이렇게 신경 활동에 근거한 오디오와 비주얼 간의 호혜적인 상호작용은 뇌 역학의 복잡성을 이해하고 창의적으로 표현하는데 독보적인 체계를 제공한다.

주제어: 미니스코프, 신경 데이터, 파이톤, 오에스시, 터치디자이너, 맥스/엠에스피, 데이터 음향화, 멀티미디어 아트, 두뇌활동, 칼슘 이미징, 생성적 비주얼 자료, 오디오비주얼 상호작용, 음악 창작, 필터 조절, 공간화.

논문투고일: 2024년 10월31일

논문심사일: 2024년 11월20일, 21일

게재확정일: 2024년 11월24일

## PART II: Reviews

---

### 제2부: 참관기



## Expanded Narratives of Nature and Humanity Portrayed Through Electronic Music: Review of *Seoul International Computer Music Festival 2024*

Lee, Yeji  
Musicologist

The Seoul International Computer Music Festival 2024 was held from September 5th to 8th at CKL Stage and Art Korea Lab. Following its 30th anniversary last year, this festival welcomed audiences with an even richer program this year. Notably, fest-m, which showcases experimental works by young composers, opened as a pre-festival event. With participation from international electronic music groups and large-scale chamber music performances by Korean composers, the festival demonstrated a broad perspective encompassing both Eastern and Western traditions. The festival explored various possibilities of contemporary electronic music through diverse media including audio-visual works, tape music, electroacoustic pieces, live electronics, radio, and ensemble performances. Each work utilized various elements of sound such as frequency, density, waveform, amplitude, spatialization, transformation, complementation, reverberation, compression, and contrast. Like the poetic phrase "beauty reveals itself when observed closely," discovering profound meanings within subtle changes in timbre was a moment that made one realize the infinite possibilities of electronic music.

A particularly noteworthy keyword at this festival was 'nature'. The author focused on various ways electronic music expresses nature and derived thematic perspectives including 'the charm of indeterminacy,' 'projection of the inner self,' 'reverence for nature and the supernatural,' and 'narratives of daily life.' How does electronic music interpret and express nature and human life to construct narratives?

---

### 전자음악이 그려내는 자연과 인간의 확장된 내러티브: 서울국제컴퓨터음악제 2024 리뷰

이예지  
음악학자

2024년 9월 5일부터 8일까지 서울국제컴퓨터음악제 2024가 CKL 스테이지와 아트코리아랩에서 개최되었다. 작년 30주년을 맞이했던 이 음악제는 올해 더욱 풍성한 프로그램으로 관객들을 맞이했다. 특히 젊은 작곡가들의 실험적인 작품을 선보이는 fest-m이 전야제로 열렸고, 해외 전자음악 단체의 참여와 한국 작곡가들의 대규모 실내악 공연이 더해져 동서양을 아우르는 폭넓은 시야를 보여주었다. 이번 음악제에서는 오디오 영상, 테이프 음악, 일렉트로닉 어쿠스틱, 라이브 일렉트로닉스, 라디오, 앙상블 등 다채로운 매체를 통해 현대 전자음악의 다양한 가능성을 엿볼 수 있었다. 각 작품들은 주파수, 밀도, 파형, 진폭, 공간화, 변형, 보완, 잔향, 압축, 대비 등 사운드의 다양한 요소를 활용하였다. '자세히 보아야 아름답다'는 시구처럼, 미세한 음색의 변화 속에 담긴 깊이 있는 의미를 발견하는 과정은 전자음악의 무한한 가능성을 실감하게 하는 순간이었다. 이번 음악제에서 특히 주목할 만한 키워드는 '자연'이었다. 인간과 자연의 관계는 예술의 가장 근본적인 주제 중 하나로, 자연의 숭고함과 경외심, 신비로움과 두려움을 예술로 표현하는 것은 인류의 역사와 함께해왔다.

또한 작곡가들이 일상에서 영감을 얻고 이를 음악적 아이디어로 발전시키는 것은 지극히 자연스러운 과정이었다. 그러나 전자음악이 그려내는 자연은 기존의 음악과는 다른 새로운 차원을 보여주었다. 일렉트로닉 사운드의 다양한 기법들은 자연현상을 더욱 섬세하고 다층적으로 표현할 수 있게 해주었고, 그것이 우리에게 전달하는 내러티브는 특별한 의미와 가치를 지녔다. 이는 전자음악이 단순한 기술적 실험을 넘어 인간과 자연의 관계를 새롭게 조명하고 확장된 예술적 경험을 제공하는 매개체로서 그 가치를 입증하는 순간이었다. 필자는 이번 음악제에서 전자음악이 자연을 표현하는 다양한 방식에 주목하여 '불특정성의 묘미', '내면의 투영', '자연과 초자연에 대한 경외심', '일상의 내러티브'의 주제적 관점을 도출하였다. 그리고 이에 따라 각 작품을 분류하여 살펴보고자 한다. 전자음악은 자연과 인간의 삶을 어떻게 해석하고, 표현하여 내러티브를 구축하고 있을까?

### 불특정성의 묘미

티모시 로이의 <Brompton & Braeswood>(2023)은 허리케인 히비를 겪은 작곡가의 경험을 바탕으로 작곡된 작품이다. 한 치의 예고도 없이 들이닥치는 자연재해를 묘사하듯, 음악은 번뜩이는 섬광처럼 날아올라 매섭고 빠르게 코앞까지 다가왔다. 멀리서 들려오는 바람 소리는 두려움을 암시했고, 음향의 텍스처는 점점 두꺼워졌다. 허리케인의 강력한 바람을 표현하는 한 줄기의 매서운 소리를 중심으로, 사방에서 파편처럼 튀어오르는 주변음들이 공간을 채워나갔다. 언제 끝날지 모르는 불특정성과 비예측성을 가진 소리들이 나열되고, 물체들이 초고속으로 지나가며 부딪히는 소리가 이어진 후, 이 모든 것이 계속될 것이라는 암시를 남기며 음악은 소멸된다. 이 순간 시간과 공간, 이미지가 선명하게 구현된 음악 속으로 완전히 빨려 들어가, 그 현장의 생생함을 오감으로 체험할 수 있었다.

전현석의 <Orbit>(2024)는 현실과 중첩된 가상 현실의 공간을 다층적으로 드러낸 작품이다. 물리적 시공간을 비틀어 천체 궤도의 현상을 음악으로 표현한 이 작품은 현악기, 피아노, 관악기 등 다양한 악기가 무질서하게 나열되며 빠르게 순환하는 에너지로 시작된다. 고음역대에서 분출되는 강한 에너지가 저음역대로 흘러가며 장대한 사운드를 만들고, 이 두 에너지의 만남은 여러 가지 층위를 구현하며 점차 증폭된다. 그리고 순간적으로 등장했다 사라지는 파편적 단음들은 빠르게 흐르는 시간의 속성과 궤도를 도는 행성들의 모습을 연상시켰다. 타악기의 두드림, 부딪히는 소리, 현을 뜯는 소리, 비브라토, 트레몰로 등 다양한 주법과 공기 소리, 금속음이 다채롭게 어우러지며 폴리포닉한 다층적 음향과 공간감을 형성했다.

이어지는 섹션에서는 저음이 주를 이루며 성근 밀집도를 보였다. 호모포닉한 전개와 함께 하나의 음이 크레센도와 데크레센도를 반복하는 공기의 압축적 움직임이 진자운동처럼 고조되어 거대한 폭발을 암시했다. 플루트의 비브라토가 저음역대 전자음의 떨림으로 이어지며 에너지의 증폭을 드러냈고, 점차 다양한 움직임이 금관악기의 직선적 울림, 첼로의 아르페지오 등과 융합되었다.

작품의 핵심은 서로 다른 음색과 방향성을 가진 소리들이 하나의 거대한 흐름으로 수렴되는 과정에 있다. 행성의 움직임을 직접적으로 드러내기보다, 궤도를 다층적 시각에서 포착하여 물리적 움직임과 그로부터 파생되는 에너지, 악기들이 만들어내는 충돌, 반전, 소멸, 음향 에너지의 재배치를 통해 우주의 방대함을 표현한 것이 놀라웠다. 현실에서는 직접 경험할 수 없지만 지금도 진행되고 있는 우주의 무수한 현상들을 청각적 경험으로 통찰하게 하고, 자연의 위대함을 느끼게 했기에 작품의 여운이 깊게 남아있다.

### 내면의 투영

황 치연의 <Penelope for Electronics>(2023)은 음악과 언어의 상호관계를 새롭게 조명했다. 의식의 흐름 기법으로 나열되는 단어들은 일상에서 우리가 경험하는 다양한 생각과 감각의 압축적 순간을 연상시킨다. 작품은 소리의 원근법과 다각도의 변형을 통해 비선형적 시간을 표현했는데, 이는 주인공 물리의 선형적 현실 세계와 비선형적 의식 세계 간의 대비를 효과적으로 드러낸 것이다.

변형된 내레이션과 파편화된 배경 음악은 때로는 갑자기 다가왔다가, 때로는 멀어지며 속삭이듯 흘렀다. 이러한 음악적



장치는 우리의 의식 속에서 일어나는 감각적 사색과 반응들을 포착하며, 시공간의 교차와 의식&무의식의 순간적 포착을 정교하게 구현해냈다. 기억 속에서 훑날리는 수많은 어구들을 통해 전자음악은 인간의 사고와 의미 탐색 과정을 마치 뇌의 엑스레이처럼 섬세하게 투영해냈다.

천 자후이의 <Fusion fissionnée phase1>(2023)은 팬데믹 이후 디지털 세계로 옮겨간 공동체의 재통합 가능성을 탐구한 작품이다. 장고의 울림으로 시작된 음악은 낯익은 달그락거림과 트라이앵글의 미세한 떨림이 더해지며 영상 속 물소리를 효과적으로 표현했다. 점차 거세지는 타악기 소리들은 징의 울림으로 수렴되었고, 자연을 비추던 영상은 흑백의 저화질로 변모하며 유리잔 부딪히는 소리와 어우러져 삶의 여백을 표현했다.

강렬했던 소리는 점차 투명하고 얇아지다가 백색소음 같은 미세한 울림으로 소멸해갔다. 타악기와 디지털 사운드가 자연을 담은 영상과 함께 흐르며, 다양한 매개를 통해 얹히고 소통하는 사회와 인간의 모습을 그려냈다. 곡 후반부의 투명한 음악과 얇아진 텍스처는 표면적으로는 단절을 암시했지만, 그 속에 내재된 동적인 움직임은 자연의 섭리를 드러내고 있었다. 우리의 삶이 자연의 일부이듯, 우리는 자연 속에서 숭고함과 두려움, 경이로움을 경험하며 살아간다. 자연의 모든 요소가 서로 영향을 주고받으며 상호작용하는 것처럼 인간의 삶 역시 끊임없이 소통하고 화합하며 새로운 방향을 찾아가간다. 또한 팬데믹으로 해체된 공동체가 또 다른 형태의 소통 방식을 만들어냈듯이, 인간은 자연의 섭리처럼 계속해서 연결되고 화합할 것이다. 작품은 이러한 희망을 담아 짧은 종소리로 끝을 맺는다. 마치 우리가 태초의 자연으로 돌아가는 신호처럼.

조앙 페드로 올리베이라의 <La Mer Émeraude>(2018)는 미시적 우주를 통해 인간의 삶과 세상을 조망하는 작품이다. 도입부의 반짝이는 금속음과 투명한 유리 울림은 밤하늘을 연상시키고, 빗소리와 바람, 우주의 거대함이 자아내는 다양한 소리는 자연의 숭고함을 일깨운다.

작품은 무한한 공간감 속에서 별과 행성, 빛을 연상시키는 소리로 확장되고, 거대한 물체들의 충돌음을 통해 우주의 역동성을 표현한다. 급박한 전자음과 우주선의 비행 소리가 이어지며, 우주의 신비를 관조하는 순간이 펼쳐진다. 사방에서 울리는 다채로운 음향은 시공간 속으로 강하게 몰입시키고, 천둥 번개와 비를 거쳐 다시 맑은 옥구슬과 유리 소리로 순환한다.

인간은 각자의 우주를 창조하며 살아간다. 우주에서 일어나는 수많은 현상들(에너지의 흐름, 정신의 교류, 충돌과 화합, 움직임, 초자연적 힘)은 한 인간의 일생과 닮아있다. 이 작품은 자연 현상의 단순한 묘사를 넘어 정교한 음향 언어로 인간의 삶을 투영하고, 작곡가만의 독창적 우주를 보여주며 우리 각자가 구축한 고유의 세계가 존재함을 일깨운다. 우리는 이 우주적 서사 속에서 내면의 세계를 비추는 거울을 마주하게 된다.

### 자연과 초자연에 대한 경외심

도하나의 <Inanna>(2019)는 사랑, 전쟁, 아름다움, 다산을 상징하는 고대 수메르 여신 '인안나'를 모티프로 한 멀티미디어 작품이다. 도입부는 찬란한 빛을 표현하듯 강렬한 전자음이 수직으로 뿔어나가고, 여성 성악이 전자음으로 구현되며 창조의 신비를 드러낸다. 그리고 저음의 반복적 움직임이 기반을 이루고, 기타의 피치카토가 울려 퍼지며 원시적 감성을 자아낸다. 빠른 아르페지오로 연주되는 기타는 거대한 파형을 그리다가 잔잔한 물결로 이어지고, 다시 피치카토로 회귀하며 여신의 숭고한 힘을 표현한다. 격정적이거나 강렬하기보다는 신비롭고 고요한 흐름이 여신의 고귀함을 더욱 섬세하게 그려내는 작품이다.

콘스탄티노스 카라타나시스의 <Medusa In Somno>(2019)는 숭고미를 지닌 고대 괴물 메두사를 그렸다. 초반부, 원거리에서 들리는 야수의 울음소리는 파편적인 전자음으로 표현되어 두려움을 증폭시켰다. 고음역대에서 흘러나오는 2-4도의 단선율은 메두사의 라이트모티프로 작용하고, 이어지는 저음의 두꺼운 굵은 소리는 대조를 보이며 메두사의 이중성을 드러낸다. 메두사의 주요 선율은 고음역대와 저음역대의 첼로 소리, 그리고 전자음으로 변모하며 변화무쌍하게 등장한다. 또한 신디사이저의 신비로운 선율은 메두사가 존재하는 장소를 암시한다. 날카로운 전자음과 리버브를 사용한 울림으로

동굴을 연상시키는 넓고 깊은 공간감을 형성한다.

모든 음향이 한데 어우러지며 절정에 이르고, 후반부는 메두사의 강인함과 영적 신비, 분노와 욕망을 표출한다. 마지막은 저음의 굵은 소리로 메두사의 마지막 외침을 표현하고, 저음역대 첼로의 라이트모티프가 고요하게 울리며 마무리된다. 신비롭고 매혹적이면서도 악령을 쫓고 치명적인 위협을 지닌 메두사의 이중성이 고음역대의 단선율과 저음역대의 두꺼운 전자음으로 구현되어, 그의 겉모습뿐 아니라 내면의 의미와 강함 속의 연약함까지 동시에 표현해내고 있다.

조영미의 <미트라(Mitra)>(2024)는 음 생성의 여러 전자적 처리 과정을 통해 '미트라'의 의미를 전달한다. 미트라는 기원전 고대의 여러 종교의 신이자 한국의 '미륵'과 유사한 개념으로, 미래의 부처를 뜻하며 모든 중생의 구원과 행복을 비는 '친구'의 의미를 담고 있다. 관악기의 포근한 음색과 단아한 발걸음을 연상시키는 느린 선율은 불교의 독경 선율을 떠올리게 했다.

다음 섹션에서는 앞서 제시된 악기 소리의 디지털화가 이루어졌다. 고요하고 청아하게 울리는 고음역대의 전자음을 배경으로 맑은 목탁 소리가 제시되고, 금관의 장엄한 선율과 차임벨 소리는 주문을 외우는 목소리를 연상시켰다. 이어서 금관 악기와 피아노는 그레고리오 성가를 차용한 선율을 노래하고, 플루트가 이를 대위적으로 연주하며 음색적 균형을 이뤘다. 목탁 소리를 모방한 악기들의 동음 연주와 피아노의 동음 강조가 이어지고, 피아노의 아르페지오와 다양한 악기가 더해져 리버브된 사운드로 여운을 남겼다.

목탁 소리와 전자음이 중첩되고 관악기군이 다시 주요 선율을 상기시키며, 우드블럭과 차임벨 같은 맑은 타악기 소리가 전자 음향으로 증폭되었다. 앞서 제시된 소리 재료들은 포먼트와 보코더 효과, 딜레이와 리버브, 공간화, 소리 합성 등 다양한 방식으로 변형되고 재조합되어 더욱 복잡한 구성을 이뤘다. 두껍고 낮은 전자음을 배경으로 연주되는 그레고리오 성가 선율은 엄중함이 강화되었고, 이는 모든 주문이 내재화되어 미륵이 완성되는 과정을 그려낸 것이다.

악기 소리가 주문을 외우는 인성을 모방하고 디지털화되며, 실시간으로 처리된 전자음향과 융합되는 과정은 주문이 내면화되어 진정한 부처의 경지에 이르는 과정을 구현한다. 공간감과 입체감을 형성하는 전자음악으로 인간의 깊은 내면, 초자연적 신비와 초월적 믿음의 깊이를 표현해낸 점에서 그 예술적 가치를 다시 한번 확인할 수 있었다.

### 일상의 내러티브

최지송의 <연기, 연기(Foggg...)>(2024)는 원형의 공간감을 형성하는 바람 소리의 전자음을 배경으로, 해금의 구슬픈 선율이 파편적으로 진동하며 이야기를 만들어 간다. 음악이 연기처럼 소멸하고, 그 여운이 안개가 되어 오래 머무는 모습은 우리의 기억과 닮았다. 기억은 시간이 흘러도 향수가 되어 되돌아오기 때문이다. 해금 선율이 등장했다 사라지기를 반복하는 동안 농현은 더욱 짙어지고, 배경의 전자음은 음산한 분위기를 자아냈다. 영상에는 빛을 형상화하는 이미지가 떠오르고 색채가 물들었다. 마치 한지의 고운 색채나 물방울이 떨어지는 질감처럼, 해금 선율은 계속해서 여운을 만들어내며 아우성치다가 고조되고, 음역이 점차 높아지며 머나먼 옛이야기처럼 메아리로 남았다. 이렇듯 일렉트로닉 사운드와 해금의 주요 멜로디는 하나의 장면을 연출하며, 불변하는 삶의 진리를 써 내려가는 장편 소설과도 같았다.

후반부에는 영상 속 빛이 커지며 선율의 메아리가 중첩되어 더 높은 허공으로 날아오르고, 무수한 리버브는 미련과 기억, 회상을 담아냈다. 마지막으로 울리는 북소리가 점차 사라지며 상실과 이별의 미학을 완성한다.

사람은 특정 시공간에서 경험한 모든 감각을 기억으로 남긴다. 이 작품에서 해금의 선율은 인간을, 전자 사운드는 시공간을 상징하며 기억이 자욱한 연기처럼 퍼져나가는 모습을 시청각적으로 구현한다. 두 대조적인 사운드가 리버브를 통해 하나로 만나고, 여기서 파생된 선율이 또 메아리를 남기는 반복은 인간과 환경의 끊임없는 상호작용을 반영하는 듯했다.

김혜원의 <Break: word>(2024)는 빠르게 변모하는 세상을 강렬한 음색, 연주 관습의 전환, 패시지의 빠른 전환과 소리의 단절로 표현한다. 활로 그른 비브라폰의 공명 가득한 부드러운 음색은 강렬한 테이프의 배경음과 함께 대조를 구사하며 몰입감을 선사한다. 말렛의 청명하고 통통 튀는 파편적인 음들이 제시되다가, 테이프 음악은 건조하고 얇은 높은 음역대

의 전자음과 융합된다. 비브라폰 선율 또한 부드러운 말렛과 거꾸로 잡은 말렛으로 내는 건조한 소리까지, 기존 관습을 뒤엎는 주법으로 일상의 평온함과 그것을 깨는 대조적 요소들을 나열했다. 프레이즈의 급작스러운 변화와 주요 선율의 단절은 현대 사회의 파괴적 변화와 그로 인한 상실을 표현했다.

휘몰아치는 바람과 함께 위선적이고 위협적으로 다가오는 전자음은 새로운 공간감을 형성했다. 그 위에 층을 형성하는 비브라폰의 선율 또한 낯설게 변모한다. 이는 디지털 세상에서 인간이 편리함과 속도에 중독되어 사회문화, 환경, 생태계까지 변화시키는 현실을 반영하는 것으로 보였다. 청명했던 비브라폰 선율이 위협적인 전자음에 의해 단절되고 변질되는 과정은, 인간이 만들어가는 세상과 그로 인해 변화하는 자연, 그리고 결국 자연과 인간이 공존할 수밖에 없는 현실을 입체적으로 그려내고 있다.

장준호의 <A distorted prism>(2023)은 가상의 왜곡된 프리즘을 통해 '왜곡'의 본질을 탐구한다. 디지털 사회에서 매체를 통한 왜곡은 언어, 예술, 기술 등 다양한 분야에서 발생하며, 그 속에서 인간은 진실과 허상을 구분하고 본질을 찾고자 분투한다.

영상에서는 동일한 고양이 사진이 끊임없이 해체되고, 음악은 기계의 오작동처럼 같은 소스를 반복하며 불안정하게 진행된다. 작곡가가 언급했듯 "왜곡된 프리즘"은 빛을 산란시키는 동시에 빛의 원점을 투영한다. 이는 왜곡이 역설적으로 본질을 드러내는 매개가 될 수 있음을 시사한다. 강렬한 기계음과 함께 다양한 조명 속에서 해체되는 고양이 이미지, 끊임없이 중첩되는 동일 사진은 무수한 왜곡의 양상을 보여준다. 이러한 충격적인 왜곡의 반복을 통해 우리는 오히려 원형의 모습과 소리의 본질을 깨닫게 된다. 이 작품은 왜곡이 범람하는 디지털 사회에서 사물의 진정한 속성을 꿰뚫어 보는 시각의 중요성을 환기한다.

최지연의 <초월(Traumatisme)>(2024)은 광주민주화운동의 아픔과 고통, 트라우마, 그리고 인내와 극복을 거쳐 초월에 이르는 과정을 담아낸다. 첫 부분은 그날의 어두운 면을 표현한다. 한이 서린 남창의 울부짖음으로 시작하여, 저음역대의 전자음과 하강하는 날카로운 선율, 스산한 바람 소리가 그날의 기억을 환기한다. 관악기의 트레몰로와 둔탁한 전자음은 압박감을 고조시키고, 글리산도로 급격히 하강하는 바이올린의 찢는 음색과 가속되는 리듬은 극심한 트라우마를 생생히 드러낸다. 저음 피아노 현의 떨림을 배경으로 파편화된 마림바 선율이 튀어오르고, 현악기와 바순, 트럼펫이 거대한 음향 층을 형성하며 심란한 내면을 표현한다. 이는 그날의 아픔과 고통을 아주 낮은 저음의 배음으로 강렬한 진동을 묘사한 것이며, 사람들의 처절한 울부짖음을 연상시켰다.

두 번째 부분은 고통 속에서도 희망을 향한 의지를 보여준다. 음색이 얇아지며 색선이 전환되고, 고음의 단선율이 폴리포니로 제시되어 긴 프레이즈를 형성한다. 마림바, 피아노, 관악기의 고음역대 선율과 함께 물방울이 튕는 듯한 얇은 전자음이 상·하행하며 다양한 음색을 구현하는데, 이는 마치 나비가 날갯짓하며 희망찬 미래로 인도하는 듯하다. 이어서 피아노가 고음에서 저음까지 모든 건반을 하강하며 진행하고, 가장 낮은 건반의 울림이 강하게 진동한 후 다시 첫 부분의 분위기로 돌아온다. 이는 앞서 제시된 고통을 극복하고 희망을 향해 나아가고자 하는 의지를 표현한다.

그러나 이 희망적인 순간은 곧 현실과 마주한다. 나비의 날갯짓이 소멸되고 마림바와 피아노의 화음군이 튀어오르며, 모든 악기가 분주하고 빠른 스케일과 파편적 화음을 연주한다. 현악기와 관악기의 트레몰로는 급작스럽고 급박하게 무언가에 쫓기는 듯한 긴박감을 고조시킨다. 장엄하고 무거운 음색이 주를 이루며 하행하는 선율과 대조를 이루는 이 부분은, 희망을 꿈꾸지만 그러지 못한 현실 속에서 고통을 감내하고 트라우마를 극복하려는 과정을 보여준다. 이는 초월로 가는 통로와도 같았다.

마지막 부분은 초월의 경지를 구현한다. 음악은 다시 고요한 둔탁한 음색으로 전환되고, 나비의 날갯짓을 연상시키는 음향이 마림바의 청명한 아르페지오, 여린 현악기의 트레몰로와 함께 제시된다. 이전의 음산한 분위기, 클라리넷의 저음, 강한 전자음의 진동, 피아노의 화음군과 마림바의 아르페지오가 모두 중첩되지만, 더 이상 하나의 감정에 몰입하지 않는다. 고통, 현실, 희망, 유토피아, 인내, 트라우마, 극복의 요소들이 모두 융합되며 현실을 회피하지 않고 모든 것을 포용하는 초월적 경지를 보여준다.

이번 음악제는 전자음악이 지닌 무한한 서사적 가능성을 온전히 체감하게 했다. 음악을 구성하는 음향, 음색, 진폭 등 다양한 요소들이 방대한 서사를 구축하며, 이는 아주 미세한 청각적 구분에 의해 다가왔다. 특히 퍼포먼스와 시각적 영상 매체가 결합될 때 그 표현의 깊이는 한층 더 확장되어 깊은 감동을 주었다. 각각의 소리가 지닌 다양한 주법과 표현 방식이 만들어내는 이야기는, 마치 자연의 속성처럼 그 경계를 가늠할 수 없을 만큼 무한했다. 이러한 경험은 단순한 청각적 자극을 넘어 시각, 촉각, 공감각을 아우르는 총체적 예술 체험으로 필자를 이끌었다.

가장 놀라웠던 것은, 인간의 뇌가 1초 만에 수많은 감각과 사고를 처리하듯, 전자음악이 다양한 기법으로 복합적인 감정을 압축적으로 전달하는 점이었다. 여러 생각이 중첩되고, 커지고, 소멸하며, 급작스럽게 전환되고, 때로는 멈추거나 연장되는 인간 의식의 흐름을 음향으로 구현해내는 모습은 마치 우리의 순간적 사고를 슬로우모션으로 들여다보는 초미세 현미경과도 같았다. 전자음악은 이처럼 정교한 기법과 음색, 음향으로 우리의 모든 감각을 순간적으로 포착하고, 이를 다층적으로 표현해내는 놀라운 힘을 보여주었다.

이런 경험을 통해 루카치가 "음악은 현실을 반영한다"고 말했고, 아도르노가 "음악은 사회를 미메시스한다"고 언급했던 것의 의미를 깊이 이해할 수 있었다. 전자음악은 우리 삶에 내재한 자연과 사회의 본질을 진실하게 그려냈고, 단순히 현상의 외형이나 감정만을 표현하는 것이 아니라, 다양한 층위의 현상들과 그로부터 파생되는 인간의 사고 과정까지 섬세하게 담아내는 것이 특히 인상 깊었다.

더 나아가 인간과 자연이 상호작용하듯, 전자음악이 인간 사회를 바탕으로 새로운 감각적 언어를 형성해가고 있음을 느꼈다. 예술적 사고의 지평을 넓히고 사회와 자연, 철학을 아우르는 새로운 영역을 여는 전자음악은 이제 예술의 경계를 넘어 우리의 삶을 이해하는 또 하나의 언어가 되어가고 있다. 이번 음악제를 통해 경험한 전자음악의 이러한 새로운 가능성들이 앞으로 어떻게 펼쳐질지 기대된다.

## 2024 Electronic Music and the Review in Korea: Review of *International Computer Music Conference 2024* and others

Park, Soon-Young  
Composer, Music Critic

In 2024, Korean electronic music was more diverse than any other year. First of all, the *International Computer Music Conference (ICMC2024)* was held in Seoul, Korea. This was six years after the *Daegu ICMC* in 2018, so it was a good opportunity for Korean electronic musicians to meet the world stage. Also, the *Seoul International Computer Music Festival (SICMF2024)* held in Seoul annually, was successfully hosted in September and marked an important musical milestone with the concert by *Taiwan's C-Lab* and the special concert invited by *Ensemble Eins*. In addition, the 2024 *IRCAM Forum Workshop* at Seoul, *Daegu International Computer Music Festival*, the concert of *Space for Sound*, many individual electronic music recitals and concerts using AI were actively conducted, where technology and music were interacting more dynamically than ever before.

### 한국의 전자음악과 비평 2024: 세계컴퓨터음악컨퍼런스 2024 와 그 외 음악회 리뷰

박순영  
작곡가, 음악평론가

2024년 한국의 전자음악은 그 어느 해보다도 다채로웠다. 우선, 세계컴퓨터음악컨퍼런스 *International Computer Music Conference*(이하 *ICMC*)2024가 한국 서울에서 열렸다. 이는 지난 2018년 대구 *ICMC* 이후 6년 만이라 한국의 전자음악가들에게는 세계무대를 만나는 좋은 기회가 되었다. 또한 해마다 서울에서 열리는 서울국제컴퓨터음악제(*SICMF2024*)도 9월에 성공리에 개최되며 대만 *C-Lab* 연주회, 앙상블아인스 초청 기획연주회로 중요한 음악적 획을 그었다. 또한 2024 *IRCAM Forum Workshop @Seoul*, 대구국제컴퓨터음악제, 공간소리 음악회, 개인의 전자음악 작품 발표회, AI를 활용한 음악회도 활발히 진행되어 그 어느 해보다 기술과 음악이 역동적으로 상호작용하고 있었다.

#### 현대음악앙상블 '소리' - 앙상블과 결합한 다양한 전자음악

지난 5월 29일 예술의전당 IBK 챔버홀에서는 《현대음악앙상블 '소리' 제24회 정기연주회: **Electronic Evolution Experience**》가 진행되었다. 공연분위기에 맞게 조명을 어둡게 하여 소리에 집중시켰다. 장석진의 <Walking on Trees for electronics and strings>(2024)는 6명 현악기와 피아노, 전자음향의 작품으로 곡 첫 부분에 작곡가가 직접 신디사이저와 모듈러로 저음의 합성음을 발생시키고, 이내 피아노로 자리를 옮겨 고음의 밝은 선율을 연주한다. 악기군은 지속음과 트레몰로 등으로 전자음향과 대결하기도 하고 조우한다. 김인현의 <Vive for DJ and 8 instrumentalists>(2016-17, rev.2024)는 처음에 DJ의 경쾌한 음악으로 시작해 현악, 목관, 피아노가 짧은 리듬을 시간차를 두고 반복하며 가세하더니 어느새

지그재그로 빠르게 움직이는 음형을 내며 현대음악다운 음향의 한복판에 도달하는 방법이 인상적이다. 문성준의 <Frames II for 5 players & electronics>(2024)는 전자음향에서 미세하고 작게 들려오는 필터된 노이즈 음형에 반응하여 바이올린, 첼로, 플루트, 클라리넷, 피아노가 트레몰로와 피치카토, 하모닉스, 플러터 텅잉의 빠른 리듬으로 서로 주고받으며 교차한다. 전자음향의 펄스는 악기들에게 눈에 보이지 않는 지휘자 역할을 하며 곡의 프레임을 형성한다. 현대음악 전문연주단 체인 앙상블 '소리'가 2024년 상반기에 전자음악에 주목하며 DJ, 현대음악, 피아노, 신디사이저와 다양하게 결합했다는 것은 반가운 일이다.

### KEAMS 한국작곡가 대만 C-LAB 교류공연

6월 22일에는 **한국전자음악협회(Korea Electro-Acoustic Music Society, 이하 KEAMS)** 한국작곡가들이 대만과의 교류 공연 일환으로 **C-LAB Taiwan Sound Lab**에서 공연을 진행했다. TSL 대만 사운드 랩은 2018년 대만 문화부와 프랑스 IRCAM(현대음향/음악 연구소)가 협력의향서를 체결하고 2019년에 공동설립한 연구소이며, 몰입형 다채널 스튜디오가 설계되어 있어서 사운드의 다양한 실험과 페스티벌을 진행해오고 있는데 KEAMS 작곡가들은 대만 현지 관객들에게 한국작곡가의 음상을 들려주며 인상을 남겼다. 김자현의 <String>은 바이올린과 첼로 소리를 녹음해 음원으로 사용했기에 제목이 String이 된 4채널 오디오비주얼 작품이었다. 처음 점에서 시작하여 소리와 싱크를 맞추며 복잡한 선이 화면 가운데에서 사방으로 무작위로 방사하는 형태로 움직이며, 바이올린과 첼로 소리가 변조돼 타악기적으로 사용되어 리듬감과 속도감을 주고 있었다. 김범기의 <Spacewalk>는 우주를 유영하는 듯한 합성음과 오버톤, 하모닉스, 글리산도 음이 다채롭게 변모하는 신비로운 분위기의 2채널 테잎 음악이었다. 김범기는 자신이 사는 경상남도 통영에서 녹음한 음원을 그레인 단위로 짧게 자르고 다양한 필터를 사용해 자신이 눈 감으면 상상하는 우주 같은 소리를 만들었다고 한다. 강중훈의 <Conversation II>는 첫 부분에 종소리와 목탁소리, 뱃고동소리, 새소리처럼 전자음향이 들리고 이어 영어로 속삭이는 남녀 목소리가 한참 진행되더니 다시 지저귀는 새소리가 합성음처럼 들린다. 작곡가는 LPC(linear predictive coding)와 다양한 스펙트럼 분석 기법을 사용하여 인간이 새의 노랫소리에 응답하는 것처럼 느낄 수 있도록 만들었다. 조진옥의 <Winterscapes>는 다채널오디오와 비주얼을 위한 작품으로 오디오합성음이 눈 밟는 소리, 바람소리, 금속성의 소리처럼 다양한 사운드를 창출하고, 영상은 우주의 성간물질이나 아메바 같은 느낌인데, 제목대로라면 하얀 눈이 작게 흩날리기도 하고, 바스라지는 눈, 앙상한 겨울 나뭇가지 등을 비디오엔진으로 추상적으로 표현한 듯하다. 오예민의 <Space in Hands No.2>는 몰입형 96채널 Meyer Constellation 시스템을 기반으로 구상되었는데, 마치 전지전능한 신이 세상을 움직이듯이 영상에는 작곡가가 손을 움직이는 모습이 필터되어 보이고, 작곡가의 손 위치나 깊이 등을 인식해 한 손에서는 구름거리는 저음, 한 손의 움직임에서는 지글거리는 고음의 다양한 변조된 소리가 만들어지며 음악을 구성한다. 이원우의 <The Cycle of Memories>는 뇌파 데이터 중 기억과 관련된 채널을 음악화한 작품이었다. 전체 네 부분으로 첫 번째 '신호'부분은 사인파의 합성음이 미세하게 흐르는 느낌인데 뇌의 전두엽에서 후두엽으로 이어지는 전체 활성화 과정을 표현했다고 한다. 두 번째 '밀도'부분은 뇌파 데이터 중 기억과 관련된 FP1의 뇌 리듬을 보여주었는데, 신호음 후 저주파의 노이즈 같은 느낌이 들었다. 세 번째 '활성화'를 거쳐 네 번째 '순환' 부분은 작곡가의 기억이 소리화 되고 청취자의 뇌파를 통해 변조된다는 컨셉인데, 전체 주파수대의 다채롭게 합성된 49채널의 우글거리고 지글거리는 소리를 통해, 내가 기억을 해내는 과정을 따라가면 이런 소리가 날까 궁금하기도 하며 나의 기억들을 들여다보는 것 같았다. KEAMS의 이번 6월 C-LAB공연 이후 9월 SICMF에 대만 C-LAB작곡가 여섯 명의 작품이 공연되며 의미있는 전자음악 교류가 되었다.

### 2024 공간소리 - 전자음악을 '다음의 소리'로 소개

7월 10일부터 12일까지 **2024 공간소리 기획 《제3회 다음소리 음악축제》**가 서울 JCC아트센터 일대에서 진행되었다. 둘째날인 11일은 '다음소리'라는 주제로 일곱 명 작곡가의 전자음악 공연이 펼쳐졌다. 황요한의 <Reflection>은 2채널 테이프 소리와 조각들의 뒤틀린 인과관계를 반사된 음향으로 구현하였는데 소리의 질감과 공간이동이 선명하였다. 오예민의 <Poker Frequencies>에서 제목은 "Poker Face"와 "Frequencies"를 결합한 것인데, 감정을 숨겨야 하는 상황에서의 인간 표정을 실시간 오디오 비주얼 작품으로 다룬 점이 신선했다. 오예민의 표정이 눈, 입의 크기와 방향으로 라인 트래킹 되

어 무대 스크린에 보이고 이에 따라 컴퓨터에서 변조된 다양한 주파수의 소리가 중첩되며 클라이막스를 이루는 것이 마치 마법사가 일으키는 돌풍 같았다. 정주희의 <Heterotopia VII>는 영상과 소리의 균형이 좋았는데, 흰 선의 무수한 결합으로 이루어진 다면체 공간이 다각도로 움직이고, 투명함을 머금은 지글거리고 물결 같은 소리는 미셸 푸코가 처음 제시한 '헤테로토피아'라는 현실 속 유토피아적 장소를 표현하고 있었다. 강중훈의 <I want my ears feel sweet>(rev.2024)는 한여름 소낙비에 우는 두꺼비들의 울음소리를 표현했는데 음색이 크고 선명했고 이 음원의 반복과 겹침의 방식이 집요하면서도 감각 있었다. 이병무의 <Penumbra>(2018)는 현에 고무찰흙을 대어 약음시킨 피아노와 그 가까이에 대어놓은 스피커 유닛을 통한 음색 실험으로, 피아노 톤 클러스터의 강렬함과 스피커를 통한 잔향들 사이의 대비가 묘미였다. 이날 대미를 장식한 박태홍의 <가면 III>는 COVID-19 시기 맨해튼에 살면서 발견한 공허한 도시와 그 미세한 소리에 주목했다. 첫 부분은 고음부터 저음으로 천천히 글리산도하는 신디사이저 음을 전경으로 하여 각 악기가 거의 안 들리는 미세한 움직임을 한다. 중간부는 박태홍과 오래도록 작업해 온 안트리오의 첼로와 피아노, 박태홍이 직접 연주하는 베이스기타가 반복적인 경쾌함을 주고, 첼로 높은음의 지속에 기타의 퍼커시브 주법과 피아노의 현 위 주법으로 미세한 소리에도 주목시킨다. 이후 반복 즉흥으로 과격하고 중후한 음향이 더해지며 곡이 마무리되는데, 이 작품은 다음날인 7월 12일 ICMC-Seoul이 열리는 한양대학교 백남음악관에서도 연주되며 큰 호응을 얻었다.

### ICMC 2024 Seoul - 전세계 컴퓨터음악 집결한 한국의 위상

7월 7일부터 13일까지 7일간 ICMC 2024가 한양대학교 백남음악관과 콘서트홀, 한양대학교 역사박물관과 한양박물관 등지에서 "Sound in Motion"을 주제로 열리며 세계 각국 예술가, 연구자들의 최신 컴퓨터음악과 기술을 볼 수 있는 귀중한 만남과 교류의 장이 되었다. 7일간 아침부터 밤까지 매일 5회의 A, B, C, D, LaghtNight 콘서트와 2-3회의 논문 세미나와 기조연설이 진행되어 총 187회의 무대공연과 리스닝 스페이스에 125개의 작품 상영, 16개의 인스톨레이션 작품, 62편의 논문이 발표되었다. 페스티벌의 양상블 레지던시로 L-Contemporary Group 12명 연주자와 게스트연주자 16명, 그리고 한양국악양상블(Hanyang Korean Traditional Music Ensemble) 6명, 그리고 리스닝스페이스 상영작품에는 45명의 개인 연주자와 비디오토크, 무용수들이 참여하였다. 논문세션에는 John Chowning, Miller Puckette 등 컴퓨터음악의 선구자들도 발표하고 참석했으며, 주제는 개별 작품 분석 외에 학교와 스튜디오 리포트, 제스처와 분석, 소프트웨어와 하드웨어시스템, 새로운 악기, 소리의 공간화, 컴퓨터음악 역사와 문화 등 다양한 주제가 논의되었다. 7월 8일 저녁에는 Pre-Conference Concert의 첫 순서로 한양국악양상블이 <구음시나위>와 <가야금 병창>을 공연해 세계의 컴퓨터음악축제를 한국에서 개최하는 환영인사를 전했으며, 이어 아시아최대의 컴퓨터음악축제 SICMF를 개최하는 KEAMS 임원진인 이병무의 <Enchanting Tinnitus>, 오예민의 <Microgrid>, 전현석의 <Toccata>가 선보여 ICMC2024에의 깊은 축하와 기쁨의 메시지를 표현했다. ICMC2024 두 의장의 작품은 과연 이번 세계컴퓨터음악컨퍼런스 개최국으로서의 환영인사로 제격이었다. 공동의장인 김태희의 <Celestial Voyage>는 하프의 신비로운 통김과 아르페지오가 Max/MSP 전자음향으로 딜레이되고 멀티 채널 스페셜리제이션되며 별들과 은하들 사이를 탐사하는 신비로운 느낌을 주었다. 대미는 ICMC2024 의장인 리처드 듀다스의 <Prelude No.1>가 장식했는데, 첫 시작에 청명하게 5도, 6도, 7도관계로 상행하는 플루트 선율이 인상적이며, 중고음역에서 플루트 선율에 응답하며 4채널 공간화로 아우라를 형성하는 전자음향이 환상적으로 공간을 수놓는 작품이었다. 이로써 이후 몇년간의 ICMC2024에 대한 기대를 모았다.

공연과 전시작품의 합이 수백개이기 때문에 필자가 볼 수 있었던 몇 가지 리뷰를 적는다. 7월 9일 백남음악관에서 저녁에 진행된 콘서트D는 공연 두 시간에 걸쳐 다양한 편성의 아홉 작품이 선보이며 주목시켰다. 첫 번째로 윤지원의 <Memento Vivere (ver. 2)>는 자신과 아들의 어린시절 목소리에서 웃음, 외침, 감탄사 등 비언어적 소리를 변조하여 음향층을 형성하고, 여기에 맞춰 비주얼(비디오아트 여운승)에서는 동심원 하나가 점차 일렬로 늘어선 후, 화면 전체에 수천개로 가득 채우며 인상을 남겼다. 이어진 Se-Lien Chuang & Andreas Weixler의 <The beauty of transience>는 거문고와 아쟁, 대금과 해금, 장구와 컴퓨터에 실시간 페인팅 퍼포먼스였는데, 전통적인 국악선율이 아니라 특수주법 현대주법들로 이것이 또 전자음향으로 변조되어 그림과 어울리며 전체적으로 아방가르드한 모습으로 제목의 '덧없음'을 나타내었다. 그림 그리는 모습이나 연주단의 모습이 스크린에 실시간으로 여러 레이어로 겹치고 색감과 채도, 구도가 변화하는데,

이것으로 작가는 중국 서예의 본질인 선 및 획의 구성을 표현하고자 했다. Yu Fu의 <Gathering and Parting>은 Touch Design으로 제작된 흑백의 무정형의 이미지로 존재의 생성과 소멸을 나타냈다. 네 번째는 Juan J.G. Escudero의 <Coincidence Threshold>였는데, 대수, 기하, 천문학 연구도 해온 작곡가는 결정체의 다차원에서의 특이점에 대해 Csound와 Audiosculpt로 작업한 중간부분의 전자음향 단독섹션이 특히 인상적이었으며, 이 전자음향은 이후 클라리넷, 첼로, 피아노와의 조화에 역할을 하고 피아노 독주부분의 집중감도 좋았다. 여섯 번째로 Sandra E. Gonzalez의 <Proyecciones espaciales>(2023)는 아르헨티나의 국립 예술 기금(Fondo Nacional de las Artes)의 지원으로 제작되었는데, 곡은 플루트와 베이스 플루트의 키클릭, 플러터 텅잉등 다양한 주법으로 음색 가능성과 4채널 스피커로 공간감을 탐구하며 고즈넉하게 멀리서 들려오는 상념 같은 느낌이 좋았다. 다음으로 Rikako Kabashima의 <Study I>는 앞 작품과 분위기가 비슷하게 투명하기도 하고 알토 색소폰이 울부짖는 소리가 뮤트 이펙트처럼 인상적인데, Max 프로그램의 라이브러리 중 'TRLib'을 활용해 소리가 처리되었다. Cort Lippe의 <Duo>는 테너 색소폰에서 옥타브 이상의 도약상행을 하는 특징의 음형연속을 연주하며 선율을 만드는데, 컴퓨터는 이것을 실시간으로 필터링, 딜레이와 루핑을 하고, 성악소스에 보코딩도 사용해 고음의 전자음향으로 만들어 낮은 음의 색소폰과의 대조가 소리공간을 채우며 묘미를 준다. 이날 마지막 순서는 'Lady's Glove' 장갑 센서 퍼포먼스로도 유명한 Laetitia Sonami의 <Since We are Here>(2024)였는데, 그녀의 최신작기인 스프링 스파이어(Spring Spyre)로 특별한 퍼포먼스를 선보였다. 머리에 헤어밴드처럼 헤드셋을 쓰고 있고 앞에 둥근 휠이 놓여있으니 모습만 해도 특이했다. 직경 30cm정도의 둥근 금속 휠에 세 개의 얇은 스프링이 부착되어 있고 이것을 손으로 만질 때의 오디오 입력이 Max-MSP에서 분석되어 톱타거리는 다양한 음색 리듬이 발생된다. 둥근 휠은 아래쪽에 고정시킨 PC-1600 모듈로 소리크기와 음색을 조정하고 있었다. 짧은 단어를 말하면 머리에 쓴 헤드셋에서 녹음시켜 반복되는 선율을 만들면서 스프링 스파이어의 톱타거리는 선율에 대비되는 대선율을 만든다. 이날 오후 그녀는 ICMC2024 기조연설(Keynote II)에서 "REPETITION and DESIRE: Echo, Narcissus, AI and I"라는 프레젠테이션을 했는데, 서양신화의 에코와 나르시수스 이야기로부터 자신의 목소리와 그것의 반복을 AI를 활용한 맵핑으로 구현하게 된 배경과 과정을 설명해주었다.



그림 1. ICMC2024 Laetitia Sonami <Spring Spyre>

리스닝스페이스 125개 작품상영과 16개 인스톨레이션 전시는 한양대학교 박물관과 역사박물관에서 진행되었다. 이 중 7월 8일 작품 중에 조영미의 <정과정(鄭瓜亭)>은 고려가요로 유배지에서 임금을 그리는 마음의 10구체시를 제목으로 해, 25현 가야금과 대금의 청아한 선율이 복장단에 얹은 층의 전자음향이 어울리는 작품이었다. 김민경의 <Blooming>은 붉은 공간 배경에 피아노의 아르페지오 선율과 바다 같은 전자음향에 맞춰 흰 옷 무용수의 몸짓이 웅크린 꽃에서 찬란하게 피어나기까지를 아름답게 표현했고, 이것이 영상기법으로(김경민) 색채와 딜레이 변조되며 아련함을 주었다. PerMagnus Lindborg의 <Stairway to Helheim>은 박물관 계단 2개 층에 스피커가 배열되어 기후 데이터로 음원이 조절되며 기후위기를 주제로 하여 인상을 주었다. 한양대학교 역사박물관 전시작품 Atsushi Tadokoroi의 <100 fragment>는 가로로 5m 세로 1m정도의 스크린에 빨주노초파남보 밝은 색깔의 이미지가 생동감을 주며 합성음의 미니멀적인 몽환적인 사운드가 영상과 세련미를 주는 작품이었다.



공연형태가 특이했던 작품을 보면 7월 10일 콘서트C의 다섯 작품 중 두 번째 순서로 Oliver Kwapis의 <Lucky>는 책상 위에 검정 패널이 컴퓨터에 연결되어 있고 손바닥으로 패널을 내려치며 강한 시작음을 만들었다. 손가락 하나 혹은 손가락 네 개, 양손으로 느리거나 빠르게 다양한 움직임에 맞춰 다채로운 고음의 합성음이 발생되다가 손바닥으로 내려치면 다시 저음의 공명이 발생하는 것을 보니 위치좌표에 압력과 속도를 인식하는 듯했다. DJ같은 작곡가의 몸동작이 재미있었으며 마지막엔 패널 위쪽을 연주하는데, 코로나 시기 돌아가신 할머니의 유품 피아노로 연주한 'To a Wild Rose'의 잔잔한 음향과 할머니의 목소리 'Lucky...'로 끝이 난다. 마지막은 Peter Faerber외 두 명의 <RaumKlangKoerper (SpaceSoundBody)>를 영상으로 보여주었다. 높이2m 정도의 직사각형 철구조물에 스피커를 맨 아래에 매단 긴 장대 두 개가 진자운동을 하면 스피커의 사인파가 진자의 움직임으로 인해 미세하게 소리세기와 음높이가 변하는 느낌을 관객은 가지게 된다. 두 진자 사이를 퍼포머가 움직이면 퍼포머까지 세 물체의 움직임으로 바뀌는 소리를 관객은 감지하게 하는 것이 이 작품의 의도였다.

7월 12일 저녁의 콘서트D에서 첫 곡이었던 Dariush Derakhshani <Pulsar Rays>는 돌고래나 박쥐 등이 펄사 열에 의해 공간을 감지하는 것에서 작곡가가 영감을 받아 인공적인 소리를 만들었는데 이를 위해 펄사 합성, 컨볼루션, 확률적 공간화, 변분 오토인코더 모델의 도움을 받았다. 그 소리는 고음부터 저음까지 우주공간에서 빛이 이동하는 것 같은 느낌이 들었다. 양민석의 <Vanishing Point>는 비브라폰과 전자음향의 곡으로 몽환적인 비브라폰의 롤 주법, 활로 문지르는 주법 등 다양한 리듬과 선율이 뜨거운 여름공기를 표현한 듯한 얇은 층의 전자음향과 어울리며 그 끝없는 비가 사라지는 지점을 표현했다. 마라 M. 헬무스의 <Burren Wind>는 헝가리 전통악기인 타로가토(Tárogató)와 오디오비주얼의 작품이었다. 오보에와 클라리넷의 중간정도의 음색을 띠는 타로가토의 멀티포닉과 중형무진하는 빠른 리듬이 시원했으며, 아일랜드 서부 해안의 버런(Burren) 지역의 이미지를 사용하여 음악변화에 따라 빠르게 영상변조 되는데, 음악과 영상이 잘 어울리며 통쾌한 느낌의 작품이었다. Weijia Yang의 <Nine-colored Deer>는 중국과 한국 신화 속 아홉 빛깔 사슴 이야기에서 영감을 받았다. 피아노와 소프라노, 전자음향과 이미지의 작품이었는데 스크린에 9개의 음렬과 9가지 음향 재료가 도표화하여 표현되어 눈길을 끌고, 강렬하게 오르내리는 피아노 선율과 한복을 입은 소프라노, 그리고 전자음향을 담당하는 엔지니어가 무대에서 연주했다. 이지후의 <음양>(2021)은 플루트의 키클릭과 입술 주법, 연주하며 단어음절 말하기 등으로 얇은 층의 특수한 음향을 만들어냈으며 전자음향도 간단한 클릭 리듬과 딜레이로 전체적으로 정돈된 느낌이 음양의 조화를 잘 표현하고 있었다. Mengyi Liu의 <String Song>은 테이프곡이었는데, 중국 전통악기 구정(古箏)의 현을 더블베이스 활로 그어 만든 깊은 진동소리와 탁구공의 튕김 등을 음원으로 하여 딜레이와 역재생 등의 기법으로 거시적 미시적 차원의 소리와 질감을 만들어냈다. 마지막은 전날 공간소리 음악회에서도 연주했던 박태홍이 <가면 III>을 선보이며 그의 표현에 의하면 '지구와의 잼'이라는 시원한 인상을 남겼다. 퍼듀대학교 교수이기도 한 박태홍은 7월 8일 논문세션 1B에서 2023년 가을에 설립된 퍼듀 대학교의 음향 및 음악 연구소(LAMP) 대한 스튜디오 리포트를 발표했으며, 7월 12일 오후에는 "Music, Computers, and Computer Music: Observations from an Unlikely Journey"라는 제목의 기조연설로 자신의 컴퓨터음악 여정을 설명했다.

7월12일 공연 D는 피날레 공연답게 전반적으로 작품들의 구성이나 소리질이 좋았다. 그 중 Ted Moore의 <saccades>가 인상적이었는데 제목이 인간의 눈이 빠르게 움직이는 과정을 의미한다. 눈동자를 이리저리 빠르게 굴리는 모습이 주제 영상인데 이것이 화면 분할되고 변조된다. 노이즈가 가득한 전자음향에 Kyle Hutchins가 연주하는 색소폰의 빠르게 하행하는 역동적인 주제선율이 강렬하게 좋았으며 전자음향의 평키한 느낌이 색소폰의 경쾌하면서도 건조한 음색과 잘 맞았다. 중간부의 리듬적인 부분에서는 눈이 마구 떨리며 움직이고, 색소폰이 느린 부분에서는 영상도 사색적인 느낌을 주었다. 클라이막스에는 색소폰의 멀티포닉스에 화면 가운데 길게 띠 모양 영상이 작은 네모들로 분할되는 영상과 결합해 변주되고, 다시 눈동자가 움직이는 영상을 파스텔톤의 두 화면으로 보여주는데 눈동자는 잠자듯이 느려지고 색소폰도 저음과 고음을 느리게 오가며 작품은 페이드 아웃된다. 눈을 빠르게 굴릴 때의 사람의 마음과 생각과 고뇌의 과정이 이런 것일까. 영상으로 주제를 보여줬지만 색소폰의 하행하는 빠른 주제음형의 특징을 전자음향이 잘 폭발시키고 분절시켜줬으며, 이 삼자의 박진감 있는 진행으로 관객을 끝까지 붙잡는 힘이 대단한 작품이었다.

마지막에 공연된 이돈응의 <Impromptu Future Fantasia>은 특별했다. ICMC2018에서 기조연설을 한 바 있는

한국전자음악 선구자인 70세의 이돈웅 교수가 다년간의 집념으로 제작한 드럼로봇 dRobot을 또한 자신이 고안한 시스템 dol-AI(Don Oung Lee's Algorithmic Impromptu, 발음이 '돌아이'다)로 제어하는 모습은 경이로움 그 자체였다. d-robot은 드럼스틱이 달린 양 팔 두 개가 있는데, Max/MSP로 모터가 연동되어 관절을 움직이는 속도와 세기를 변화시켜 다양한 리듬을 연주하는 로봇이다. 로봇은 팔을 휘두르며 한음한음 스네어드럼을 치기 시작하더니 다양한 비트를 형성하고 롤 주법으로 음향소스를 제공한다. 그러면 컴퓨터에서 이돈웅 교수의 20년 전 ALCO 시리즈부터 특징인 피드백딜레이가 무수히 중첩된 서라운드 기법으로 드럼소리는 마치 여러 명의 설장과 가락처럼 웅장하게 공연장 스피커를 무수하게 향한다. 이것은 단지 드럼소리를 넘어 로봇의 숨결이자 제목처럼 이돈웅 교수의 미래에의 염원이 되어 관객들을 진동시킨다. 아래쪽 펄프머신을 컴퓨터로 작동시켜 하모니카를 부는 로봇친구도 d-robot 옆에서 중요부분의 멜로디를 연주하니 더욱 운치 있었다. 세계의 컴퓨터음악 예술가와 연구자들이 서울의 한양대학교에서 "Sound in Motion"을 주제로 펼쳤던 2024 ICMC는 dRobot과 dol-AI가 창출한 사운드의 즉흥움직임과의 대항해를 대미로 하여 미래의 소리와 2025 ICMC를 기약하게 했다. 공연이 끝나고 관객들은 무대로 올라와 d-Robot을 자세히 관찰하고 함께 사진을 찍기도 했다.

개보수한 한양대학교 백남음악관의 음장감이 훌륭했고 스피커와 믹서 등 최고의 사운드시스템을 ICMC2024를 위해 구비했기에 한양대학교 콘서트홀 공연과 더불어 백남음악관 공연은 감상에의 몰입도가 아주 좋았다. 페스티벌의 결을 만드는 것은 물론 페스티벌 준비와 진행과정도 있겠지만, 피날레 공연을 보면서는 특히 주요 콘텐츠, ICMC 경우에는 결국 개개의 세계적인 수준 높은 작품들과 그 개성에의 공감이면 충분하다는 것을 느끼게 되었다.

#### 바이올린과 전자음향의 단독 콘서트 - 새로운 주법과 레퍼토리 소개

8월 23일 서울 한남동 일신홀에서 《김가빈 바이올린 리사이틀 2024 'Violin and Electronics'》가 진행되며 바이올린과 전자음향의 의미 있는 작품들이 연주되었다. 첫 곡으로 Adrian Moore의 바이올린과 트리거를 위한 <Fields of Darkness and Light>(2010)이 연주되었다. 빛의 특성을 나타내듯이 처음에 하모닉스 주테와 초고음 선율로 시작해 트레몰로와 빠른 리듬으로 빛과 어둠의 파장을 나타낸 듯하고, 전자음향은 아우라처럼 투명한 톤으로 진행하다가 곡 마지막에는 강렬한 결론을 내었다. Scott Wilson의 <Flame>(2005)은 작곡가가 인터랙티브 비디오의 구성요소 중 '불꽃조각'으로부터 제목을 따왔는데, 민속음악의 요소인 '자기유사(Self-Similar)'현상인 하모닉 시리즈에 기초를 두었다. 높은 E음과 A음이 곡의 배경이 되며 바이올린은 하모닉스나 트릴, 지속음으로 불꽃의 타닥타닥거리는 느낌을 계속적으로 표현하고, 전자음향은 배경음과 질감을 바꾸어 새로운 섹션으로 인도하는 역할을 하였다. Núria Giménez-Comas의 <Red harsh..>(2013)는 금속의 강렬한 광음의 전자음향으로 시작해 바이올린의 솔 폰티첼로와 트릴의 역동적인 선율에 전자음향 딜레이와 리버브, 배경음이 분위기를 함께 만든다. 화성적 구조는 곡 시작부에서 Gong의 스펙트럼분석 내용에 근거하며 Modalys의 하이브리드 악기실험으로 바이올린 소리의 거친 특성을 다루었다.

다음으로 이병무의 <Nowhere over the bow>(2024)는 저음의 톱니파가 들리고 바이올린이 슬며시 연주하더니, 솔 폰티첼로, 피치카토 등 특수주법에 전자음향은 극대적인 고음 혹은 저음으로의 필터링과 컨볼루션, 극대적인 딜레이로 이것이 바이올린으로부터 나왔는지 알 수 없게 사용된다. 프로그램노트에 작곡가는 우리가 대상으로부터 '아름답다'는 감화를 받는 연상 작용이 멈췄을 때에야 비로소 소리와 일체감이 극대화될 수 있을 것이라 썼는데, 이 곡을 듣고 소리 자체로는 그 말에 공감이 되는 반면 제목에서 자꾸 유명뮤지컬의 곡 "Somewhere over the rainbow"가 생각났기에 사람으로서의 연상 작용은 여쩔 수 없는 것인가라는 생각도 들었다. 김용규의 <멀티미디어 콘체르토 No.33(10-3) "DHMG">(2003/2023)은 플루트와 바이올린, 그리고 비디오와 전자음향의 4악장 곡으로, 1악장은 고즈넉한 민요선율이 자유롭게 변화되고 작은 딜레이가 전자음향으로 쓰이더니 두 연주자 모습이 무대스크린에 색채 변조되어 보이며 폭풍 같은 전자음향으로 강한 인상을 준다. 이후 다시 단아한 민요 선율로 돌아오고 비디오는 회색의 엠보스 필터 모습으로 멈춘다. 2악장은 소리실험 악장으로 플루트의 플러터팅잉과 입술주법, 바이올린의 빠른리듬의 솔 타스토 슬러 등이 딜레이 변조되고 영상은 다양한 추상문양이 보여진다. 3악장은 악기연주리듬에 반응하여 전자음향에 저음의 엔진소리가 병렬로 연주되는 것이 인상적이었으며, 4악장은 2002년 월드컵 당시 응원가를 두 악기가 변주하며 영상에 다시 두 연주자모습이 여러 레이어로 비추이며 강렬히 음악회의 대미를 장식한다.

### dRobot의 성장, 작곡의 영감과 도구가 된 AI기술

9월 7일 토요일 오후2시 군포문화예술회관 철쭉홀에서는《**독특한 협연자, 괴짜 협연자, 낯선 협연자**》공연이 열려 남상봉, 나실인, 최지송 작곡가의 오케스트라 작품을 나실인 지휘로 군포 프라임필하모닉오케스트라가 연주하였다. 남상봉의 '테크온체르토 프로젝트'가 AI와 전자음악의 무대였는데 첫 곡으로 AI목소리와 오케스트라를 위한 <마음의 흐름>이 연주되었다. 이 곡은 스파이크 존즈 감독의 "그녀(Her)"에서 인공지능 비서가 나오는 것에서 영감을 받아, 인공지능 비서와 사람이 교감과 사랑을 오케스트라와 스피커 소리로 표현했다. 인공지능 비서 목소리가 "안녕하세요?"라고 주인에게 인사하면 사람 역할인 오케스트라에서는 A단조의 슬프고 감성적인 선율이 연주된다. 스피커에서 비서가 "좋은 아침입니다, 오늘의 날씨는.., 교통상태는,..." 등을 안내해줘도 오케스트라는 느린 단조로 답할 뿐이다. 아직 인공지능비서를 믿지 못하는 것일까? 미국의 오케스트라 음악이 진행되더니 스피커에서 "사랑하냐구요? 곤란한 질문이군요" 라고 들려온다. 여기에 대해 화음만을 천천히 표현하는 오케스트라 선율이 특이한데, 이것이 명쾌한 AI 목소리를 더욱 돋보이게 해주는지 모른다. 오케스트라는 흔들리는 사람의 마음, 곡 시작부의 E음 반복주제가 격렬해지고 AI비서는 지금까지의 모든 말을 반복 중첩하여 여러 겹으로 쏟아내며 혼란스러워하다가 회로가 폭발한다는 컨셉이 통쾌감을 준다.

두 번째로 dRobot과 오케스트라를 위한 <맞물림> 또한 전자음악 작품이었다. 이돈웅 교수가 제작한 d-Robot은 이번에 dRobot IIa 버전으로 처음으로 이돈웅 교수 품을 떠나 오케스트라 앞에서 독주자로 협연하여 한 걸음 성장한 것이다. dRobot이 한 음씩 도박도박 로봇 양 팔로 행진곡풍 리듬과 드럼롤을 연주하며 오케스트라와 한 마디씩 주고받으니 '이게 과연 될까?'라는 걱정과 궁금증으로부터 어느새 그 음악의 행진을 즐기게 되었다. 이 날은 남상봉이 오케스트라 작곡과 Max/MSP 컴퓨터 프로그래밍으로 d-Robot 제어까지 다 한 것인데, 4박자의 절도 있으면서도 빠르게 급변하는 사회현상을 풍자하는 것 같은 오케스트라의 반복적이고도 기계 같은 선율이 인상적이었다. dRobot IIa 또한 느리게부터 빠르게, 4분음표, 8분음표의 다양한 리듬을 연주하고 ICMC 때 옆에 있던 친구로봇은 펌프로 부는 하모니카의 상쾌한 멜로디와 더불어, 이번에는 긴 원통관의 파이프 드럼이 추가되어 팀파니 같은 저음을 내주니 그야말로 이질적인 것의 결합, 오케스트라와 두 로봇의 맞물림이 잘 표현되고 있었다. "IT 시대의 이야기를 제대로 해보지도 못했는데 벌써 AI 시대가 다가와 지극히 인간적이고 싶은 나를 자괴했다"는 개발자 이돈웅의 공연소개말은, 빠르게 변하는 기술시대를 살면서 우리는 무엇을 선택하고 서로 맞물려 새로운 다음세대를 낳을 수 있는지 생각해보게 하였다. 마지막으로 나실인 작곡의 <처용모음곡-역신편>에서 오케스트라의 웅장한 음향과 무용수의 동작에 함께 남상봉이 제작한 엠포이(m-Poi)의 화려한 LED빛과 싸이키한 음향이 Max/MSP로 제어되며 공연을 다채롭게 구성해주었다.



그림2. dRobot의 성장: ICMC2024의 이돈웅 교수(왼쪽), 오케스트라와 협연중인 모습(오른쪽).

### 작곡과 공연에 활용된 AI 기술 - 가사와 발음구조, 영상 제작

지난 9월 13일 예술의전당 리사이틀홀에서 열린 정재은 작품발표회《**감성의 알고리즘: 인간과 AI의 음악적 대화**》는 AI를

작곡과 영상작업에 활용하며 새로운 가능성을 보여주었다. 첫 곡인 <회상 I – 꽃으로 엮어본 생애>는 작곡가의 시외할머니인 시인 김송배의 시 '회상'에서 영감을 얻은 고향을 그리는 잔잔한 가사와 테너 이승원의 노래가 좋았는데 이어진 <회상 II – 꽃으로 엮어본 생애>(2024)가 꽃, 추억, 가족, 사랑 등을 키워드로 하여 ChatGPT가 쓴 가사로 만든 가곡이라 주목되었다. 게다가 AI영상에는 전설의 재즈보컬 루이암스트롱이 노래 부르고 있는데 그의 생전 목소리에 테너 이승원의 우리말 발음구조를 학습시켜서, 루이 암스트롱이 시가사의 우리가곡을 너무나도 자연스럽게 우리말로 부르는 너무나도 획기적인 모습을 관객들은 감상할 수 있었다. 다음으로 <Et tu, Brute?>(2024)는 로마황제 "브루투스, 너마저?"라는 유명한 문구를 표현한 바이올린과 피아노, AI영상의 작품으로 바이올린과 피아노의 격렬한 선율 후 사색적인 부분이 나온다. 영화음악 같기도 했고, 영상에 머리가 해체되는 듯한 사이보그의 옆모습 같은 이미지가 인상적이었다. 네 번째 순서로 공연된 <Malfunctioning World>(2024)는 오염되어서 생태계적 기능을 잃은 지구에 대한 선율을 클라리넷과 바이올린, 피아노의 삼중주와 AI로 생성된 영상으로 표현했다. 영상에 폐허가 된 지구를 바라보는 아이의 뒷모습이 애잔하고 곡은 지구 해결에의 숙명성을 표현하며 마친다. 후반부 첫 순서 <기억의 역습>(2023. rev.)은 이 날 공연 중에 가장 음악적으로 인상적이었다. 역동적이고 화려한 시작과 물 흐르는 듯한 아르페지오가 피아노 전체구간을 오가며, 거꾸로 흘러들어가는 기억의 흐름과 자신에게 유리하게 기억되어 상대를 공격하는 모습 등이 느껴지도록 강렬한 변주를 하였다(영상 및 가사 AI 기술 이인태 박사).

작품발표회에서 작곡방법에 AI가 사용된 작품은 <Hybrid Sonority>(2024)였다. 작곡가는 MusicFX라는 소프트웨어 엔진에 Piano Solo, Atonality 등으로 키워드를 입력해 여러 개의 동기를 얻고 그 중 선택해서 각 동기의 느낌에서 세 악장의 제목과 템포를 정해 곡을 전개해 나갔다. 무대화면에 AI로 작곡한 악보가 보이고 아나운서가 설명해 주었는데, 원래의 AI 악보는 음역과 성부구성이 꼬여 있었기에 작곡가는 이것을 왼손 오른손 위치에 맞게 재배치했다고 한다. 1악장 'Lost Memories'는 AI가 만든 첫마디의 엇박자와 쓸쓸한 느낌을 작곡가가 자연스럽게 신비로운 분위기로 잘 발전시키며 AI영상에 어둡고 고요한 호숫가 그림과 잘 어울렸다. 2악장 'Mischievous Eyes'는 두 박의 곡으로 증3(7)화음에 반음계의 경쾌한 곡으로 그림에는 장난스러운 눈의 짝구와 도라에몽 같은 그림이었다. 3악장 'Unexpected Agony'는 AI가 생성한 세 박의 동기로 작곡하며 이번 음악회를 준비하며 작곡가가 느낀 고통, 외로움, 후회를 담아 전개시켰다고 하는데, 그래서인지 절정부에서 무너져내릴 듯한 하성의 선율과 나뭇잎처럼 나부끼는 고음의 음향이 인상적이었다. 이것이 첫 동기에서부터 자연스럽게 전개되어 오는 과정은 AI영상에 머리카락이 각종음표로 훑날리는 소녀가 피아노를 치는 영상과 잘 어울렸으며 그 이미지 자체가 작곡과정과도 닮아보였다. 후반부 마지막은 <Guilty Pleasure>(2021)는 바이올린과 비올라, 첼로와 피아노의 사중주 곡인데 이 날이 세 번째 연주되는 것으로 AI영상과 결합하여 더욱 음악의 느낌을 배가시켰다. 어릴 적 밤늦게 몰래 라디오를 듣고 영화를 보던 소소한 일탈의 즐거움을 짧은 단위로 상행하는 선율로 표현하고 점차 긴장감어린 지속음들의 구간을 지나, 마지막에 한순간에 추락하듯이 떨어지는 것으로 표현해 인상을 주었다. AI영상은 그녀가 어릴 적 독서실 다녀오며 봤을 주택의 풍경에 창문이나 불빛 위치에 TV브라운관이 액자들이 걸려있고 곡이 진행될수록 이 액자들이 가득찬다. 연주회를 마치고 작곡가 정재은은 "앞으로도 많은 사람들이 이런 AI음악을 즐기길 바란다"고 소감을 말하기도 했다.



그림3. 정재은 <회상 II>에서 루이암스트롱AI가 노래중이다.

9월 23일 저녁 7시 30분 일신홀에서 **META MUSICA x 파사지오앙상블의 《프론티어 스피릿》** 공연이 열렸다. 메타 무지카는 인공지능 기반 디지털 다중매체를 활용하는 신생 음악 작곡 단체로, 이 날 다섯 명 작곡가의 일곱 작품이 발표되었다. 이날 기술은 AI를 활용한 영상과 전자음향 또는 실내악 5중주나 타악기를 전자음악 음원으로 사용한 방식들이었다. 김신웅의 <그림자(Schattenbild)>(2024)는 영상에 AI로 생성된 사람과 나무풍경 등 흑백 그림자 이미지가 단독으로 혹은 화면분할되어 네 개, 여섯 개씩 이미지가 변화되며 리듬감을 더하고, 피아노는 무조에 강렬한 저음과 고음의 히스테릭함이 영상과 잘 어울렸다. 김희라의 <Zapping>(2024)은 TV 채널을 빨리 돌리거나 비디오를 빨리 감을때의 느낌을 표현했는데, AI로 제작한 영상에는 무수히 많은 TV 브라운관, 화면조정할 때의 흑백노이즈, 이로부터 우주 빅뱅폭발의 이미지까지 스토리가 연결되며, 음악과 이미지가 주마등처럼 빨리 지나가다 슬로우로 멈췄다를 반복하며 AI범람에 대한 경각심을 메시지로 전했다. 강은경의 <카이로스>는 성경의 천지창조 첫 구절 “태초에 하나님이 천지를 창조하시며”라는 나레이션과 클라리넷 저음트릴로 시작했다. 나레이션이 성경구절을 한 마디씩 하고, AI영상에 빛, 창조된 사람, 에덴동산, 동물 등 나레이션 이미지들이 보이고 영상 앞에서 클라리넷 연주자가 트릴과 지속음 아르페지오를 해서 역동적으로 서사를 이루어 가는 것이 마치 옛 무성영화의 연사 같고 이러한 매체의 쓰임새가 인상적이었다. 정성엽의 <우리는 지금 어디로>는 영상 속에 AI로 만들어진 바이올리니스트를 ‘정수린’이라 명명한 점이나 그녀를 그리스 신화에 등장하는 프로메테우스의 손녀 딸이자 불의 형벌을 받았기 때문에 항상 불과 함께 등장한다는 설정이 흥미로웠다. 정성엽이 21세기악회에서 발표했던 실내악5중주가 음원배경을 제공하며 여기에 영상 속에 정수린이 다양한 포즈로 뜨겁고 열정적인 선율을 연주한다.

최혜연의 <시간의 테피스트리>는 강렬한 첫음으로 시작해 첼로는 주로 상하행으로 움직이는 트릴, 피아노는 현 위 주법으로 전자음향과 함께 미세한 소리들을 낸다. AI영상에는 마치 에스컬레이터의 요철같은 문양이 비처럼 쏟아지는 느낌인데 이 세로무늬가 햇살이나 지하철, 사람의 이동 등 모든 모습에 필터처럼 중첩되어 무늬를 만들어 일상과 기억을 ‘방직의 시간’으로서 작가는 표현하며 인상을 주었다. 정성엽의 <탁구의 리듬>은 스네어드럼, 우드블럭 등 타악기의 박진감 있는 리듬이 전자음악으로 들리고 AI영상에는 가상아티스트 정수린이 이번에는 열정적으로 탁구경기를 하고 있다. 불의 특성을 가진 정수린은 탁구공격 방법도 전진속공과 탑스핀 드라이브 등 강력하기 때문에 타악기음악은 빠르고 화려한 리듬에 한국전통 장단도 사용했으며, 영상은 탁구공들이 불길에 타오르기도 하고 스매싱 순간에 불꽃 스파이크가 일기도 하며 만화 같은 장면들이 연출되었다. 마지막은 김신웅의 <퇴색된 쿠랑트 (Verblichene Courante)>였다. 첫 부분 영상에 발레하는 이미지가 보이고 바흐 무반주 첼로 모음곡 제1번의 시작부분이 첼로주자에 의해 단아하게 연주되더니 원곡의 선율이 점차 솔 폰티첼로로 변하고 샘플러로 음향이 변조되며 현대적 전자음향 곡이 진행되고, 발레모습의 AI 영상도 불러 되면서 다양한 상상의 이미지들이 선보여졌다. 작곡가는 첼로선율 작곡과 전자음향에서 악보적으로는 원곡의 도약 진행과 동형진행, 상행 스케일을 살렸고, 청감적으로는 원곡의 풍성한 스타카토적 울림, 현의 마찰, 활의 움직임에 따른 음색 변화를 곡에 적용했다. 이날 공연 전체적으로 AI엔진을 활용한 그림체 자체가 우주적, 미래적인 이미지들이고 무수한 개수를 만들 수 있기 때문에, 이 이미지가 주는 영감이 작곡가에게 기존과는 다른 방식으로 영감의 원천이 되고 작곡가의 소리도 달라질 수 있다는 것에 대해 관객으로서도 새로운 경험이었다.

### 범음악제와 이르캄 포럼 워크숍 - 무의식의 원동력이 된 전자음향

**제52회 범음악제(PAN Music Festival)**가 “음악의 경계를 너머”를 주제로 11월 4일부터 8일까지 서울 일신홀, 성암아트홀에서 4회의 공연과 서울대에서 앙상블 모자이크 베를린(ensemble mosaik Berlin) 워크숍을 진행하였다. 일환으로 **2024 IRCAM Forum Workshops@Seoul**이 6일부터 8일까지 서울대와 예술경영지원센터에서 진행되었다. 6일 오전 서울대 임종우 교수와 IRCAM 매니저 Paola Palumbo의 환영인사 후 IRCAM 디렉터인 Hugues Vinet가 “예술 창조를 위한 이르캄의 연구와 기술 개요”를 강의하였고, Benoit Alary가 콘서트홀로부터 가상세계까지 음악가를 위한 음향학을, Pierre Guillot가 Partiels에 대해 강의하였다. 오후에는 IRCAM 개발자와 연구원 4명의 6회 워크숍이 진행되었는데, Pierre Guillot의 ASAP(Audio Sculpt as plugins) 강의, Benoit Alary의 Elliptique을 이용한 가상세계의 몰입음향 제작, Hugues Vinet와 DAFNE+ 플랫폼 강의, Guillaume Piccarreta의 이르캄 소프트웨어를 사용한 Generative Music 만들기 강의를 진행되었다. 7일에는 8일 공연될 음악극 Chaplin Factory의 지휘자인 Martin Matalon의 강의를 오전에 진행된 후, 공모를 통해 선발

된 한국, 미국, 일본, 독일, 중국, 대만, 태국 등 컴퓨터음악 연구자 24편의 논문 프레젠테이션이 오전 오후 진행되었다.

범음악제 공연으로 11월 7일 목요일 저녁 성암아트홀에서 진행된 앙상블 모자이크 베를린 뮤직시어터 《사이드쇼(Sideshow)》(2009-2015)는 일본 작곡가 스티븐 타카스기(Steven Kazuo Takasugi)의 곡으로 증폭된 8중주와 전자음향 재생의 5악장 작품이었다. 사이드쇼는 서커스 등에서 본 공연의 관심을 끌기 위해 따로 보여주는 쇼나 퍼레이드 같은 작은 공연인데, 이 작품 제목이 사이드쇼인 점이 인상적이다. 즉 부차적인 것이 주메뉴가 된 공연이라는 것이다. 피아노가 뒤에 그 앞으로 플루트 바이올린, 색소폰, 타악기주자(처음에는 기타를 들었다), 클라리넷, 첼로, 비올라가 넥타이에 양복을 입고 일렬로 의자에 앉아 있다. 처음에 멈춘 동작이 눈길을 끌며 이내 연기를 시작하는데, 사람이 아니라 악기가 배우 같았는데 바로 소리가 주인공이었기 때문이다. 극은 음향적 특징에 초점을 맞추고 동시에 확대 재생산한다. 예를들어 극 시작부분에서 연주자들의 대장인 타악기주자가 계속 각각 웃음소리를 내면 그 웃음의 리듬과 까끌거리는 스펙트럼을 가진 전자음향이 스피커에서 재생되고 동시에 연주자들은 그 음향을 흉내내는 방식이다. 악기가 연주되고 그것이 증폭되고 전자음향이 따라가는 방식이 아니라 전자음향이 먼저 왕처럼 지시하고 악기들은 마치 그것을 추종하듯 전자음향을 에워싼다. 전체적으로 전자음향과 이들이 연기하며 내는 소리 모두 현대주법인데다 현악기에 입으로 바람불기, 클라리넷 몸통을 두드리기, 기타를 활로 연주하기 등 초현대적이라서 괴팍한데, 그 때문에 극 안에서 연주자들이 소리를 내는 꼭두각시 같아 보이기도 하다. 이들은 한 장면이 끝나면 항상 얼음처럼 멈춰 있고, 자신의 연주부분이 아닐 때 또한 미동도 없이 멈춰있다. 이 극은 20세기 초 뉴욕 코니아일랜드 놀이공원의 어두웠던 분위기에서 착안했다고 하는 만큼 철학적이었다. 그 내용은 기교, 괴물 쇼, 엔터테인먼트, 스펙터클, 비즈니스, 그리고 세상에서 살아남기 위해 치르는 희생에 대한 명상인데, 비엔나 풍자가 카를 크라우스(1874-1936)의 여섯가지 격언이 작품 전체를 관통하는 하위 텍스트로 삽입된다. 또한 다섯 악장과 각 분초단위의 프레이즈 레터가 팜플렛에 적혀있었는데 장과 악장만 적어보면 다음과 같다.

#### 1장 환각의 운명

1악장 웃음을 멈출 수 없었던 남자

2악장 바다의 소동 또는 동일한 사람의 영원한 회귀의 안방 곰팡이

#### 2장 힘든 시절과 행복한 결말 또는 자기 파괴를 위한 실험실

3악장 코끼리를 감전시키다

4악장 외과 수술: 인간 물고기

5악장 애도의 영광과 퍼레이드 옷

극의 절정부분인 4악장은 너무 이빨이 많아 치아 수술을 하는 장면인데, 타악기주자는 이빨이 촘촘히 그려진 모형을 입에 끼우고 연주를 하더니 음향들은 더욱 그로테스크해지며, 수술을 하면서 타악기 주자가 기절하면 나머지 연주자는 깨어나고 혹은 그 반대로 몇 번 하더니 타악기주자는 결국 기절해 공연 끝까지 옆드려있고 그 뒤편으로 물고기인형이 세워진다. 이후 공허한 전자음향이 장례식을 나타내고 연주자들은 발을 구르며 퍼레이드를 보여주고 음악소리도 최고조로 들리더니 어둠으로 소리가 찾아들며 극을 마친다. 아마 이 극에서 여러 악기가 있고 스토리도 있지만 극의 탄생 기저는 전자음향이라 생각된다. 스피커에서 들려오는 광대의 웃음소리, 그 소리를 들었을 때의 환상과 공포, 심지어 무의식이 원동력이 되었고 그래서 제목이 Sideshow일 것이다. 때론 잠잠하게 때론 더없이 격렬하게 선보이는 소리는 혹시나 즉흥연주인가 싶지만 전혀 아니고, 한 마디가 1초로 음표와 지시말로 된 무려 861마디의 56분 50초의 음악이라는 점이 쇼킹하다. 그리고 이 상징적이고도 빈틈없는 악보를 2009년부터 2015년까지 작곡된 이후 전세계 여러 악단에서 무수히 연주해오고 있다는 점이 놀랍다.



그림4. 제52회 범음악제 <SideShow>

#### 대구국제컴퓨터음악제 - 원격공연과 무용, 트럼펫 컴퓨터의 조화

11월 14일부터 16일까지 3일간 대구 콘서트하우스와 대구예술발전소에서 제8회 대구국제컴퓨터음악제 2024(Daegu International Computer Music Festival)가 Distant IV의 주제와 무용과 트럼펫, 컴퓨터 특집으로 열리며 8개국 작곡가 31개 작품이 연주되었다. 첫째날 오후6시의 개막음악회는 원헌-서울-대구의 원격협주곡 공연으로 특색 있었다. 이도훈의 <Sonata>(2024)는 피아노와 전자음향의 곡이었는데 곡 설명의 일부로 보이는 텍스트 “경쟁사회, 휴식을 얻기 위해 산을 올라갔다, 힘들었다”등의 텍스트가 곡이 진행될 때 계속 스크린에 보여지고, 음악은 산을 등정하는 듯한 피아노 음의 상승과 강렬함, 전자음향의 효과가 특징이었다. 세 번째 순서인 <Phantasma>는 NYCEMF의 연주홀에서 작곡가이자 연주자인 데이비드 다우(David Dow)가 자신의 노트북으로 우주모습의 이미지와 Rise 49 Roli Seaboard의 실시간 그레놀러 합성, 벡터 스트링 등으로 합성된 전자음향을 연주하는 모습이 대구예술발전소 수창홀의 무대 스크린에 실시간으로 보여지고 음악이 들려지니 특별했다. 마지막은 김용규의 멀티미디어협주곡 제35번 <Dokdo Arirang>은 첼로연주자 허지원이 원헌의 자신의 공간에서 헤드셋을 쓰고 원곡의 독도아리랑 선율과 현대적으로 변주된 선율을 연주하면 대구에서 김용규의 Max/MSP를 통해 피치 변조되고 딜레이 되어 화려하고 그로테스크하게 울려 퍼지는데, 지구상의 상반단 위치의 두 곳이 음악과 기술로 연결되어 우리땅 독도를 기념하는 의미 있는 순간이었다.

16일 저녁의 피날레 공연인 콘서트V에서 네 번째 순서로는 안두진의 피아노와 컴퓨터를 위한 <D음의 명상>(2021)이 연주되었다. 전자음향 D음의 합성음이 지속되고 피아노는 앞부분에 인사이드로 여러 음을 긁는다. 무용수는 앞쪽에서 이리저리 움직이고 이내 암전이 되고 무대가 온통 어두운 채로 피아노가 이내 건반 위에서 저음부터 고음을 중형무진하며 무조음악을 연주한다. 조명이 켜지자 무대 왼편에서 움직이던 무용수가 중앙으로 이동해 팔을 허공에 저으며 몸짓을 한다. 배음을 기본으로 하여 모듈러 등으로 수개의 층으로 합성된 D음은 마치 우주기저음처럼 계속 울리다가 마지막에 저음 D음을 현 위 주법으로 강렬히 치고 무용수는 바닥에 쓰러지며 작품은 감흥을 주었다. 마르첼 치르진스키(Marcel Chyrzyński)의 <Khynar No.2>는 작곡가의 아들인 Jarema Chyrzyński가 만들어 인상을 남겼는데, 지구와 흡사한 환경을 가진 키나르 행성의 물, 땅, 불, 공기를 찬양한다는 컨셉에 맞추어 E음을 근음으로 하는 합성음의 소리가 노이즈화 되고 영상은 흰색의 어두운 문양으로 표현했다. 마지막으로 임종우의 <Dispersion fluide>(2002, revision 2017)은 석굴암의 비례미를 음악의 단위형식과 구성에 대입하였다. 처음에 트럼펫에 입술로 내는 짧은 음소재들, 그리고 전자음향의 화려하게 상행하는 금속성 소리와 소리의 공간이동이 작품의 동기가 되며 이것이 유동적인 방법으로 발전한다. 트럼펫이 잔리듬을 동반한 주욱 뻗는 선율에 페이즈 보코딩, 피치 더블링, 딜레이의 효과들이 때론 겹치며 때론 단독적으로 변조값(시간, 피치값)이 변화되며 음악은 강렬하고 다양하게 진화되며 인상을 남겼다.





그림5. 김용규 &lt;Dokdo Arirang&gt;

### 전자음향 - 음악극과 멀티미디어 공연의 주체로 사용

12월 16일 서울 문래예술공장 박스시어터에서 열린 《2024 최혜연 작곡발표회-Autonomous Sensory Meridian Response》는 일상의 소리와 감정에 대해 다시 돌아보고 생각하게 해주는 전자음악 공연이었다. 장방형의 박스시어터 어둠의 공간에 객석은 한쪽을 보게 하는 것이 아니라 원형처럼 서로 상대측 관객을 마주보게 배치되어 있었고 인터미션과 중간박수 없이 공연은 하나의 음악극처럼 진행되었다. 첫 곡 <Durch>는 '거울과 센서, 라이브 전자음향과 청중을 위한'이라고 편성 명에 적혀있는 바, 청중도 악기편성이 되는 것이다. Durch는 독일어로 '통과하여, 관통하여, 이리저리, 구석구석'이라는 뜻이다. 공연장 모서리 네 곳에 스피커와 그 바로 앞에 거울이 놓여있고, 여기에 관객이 핸드폰 불빛을 비추면 스피커에서 왈츠, 정치뉴스, 팝 음악 등이 무작위로 흘러나온다. 관객들이 공연장 이곳저곳을 걸어 탐색하며 소리를 경험할 수 있는 호기심의 첫 순서는 공연 전체에 문제제기의 창구역할을 한다. 두 번째 곡 <What's in my bag>은 한편의 모노드라마였는데 무대 뒤쪽에서 시작했다. 책상에서 여자(퍼커셔니스트 박혜지)가 종이를 찢으며 시작해 스프링노트에서 종이를 뜯어내는 소리, 스파클링 워터를 흔들고 따는 소리, 매직펜으로 글씨쓰는 소리, 테이프를 뜯는 소리들은 전자음향으로 필터링 되고, 딜레이 되고 피드백 루핑되어 관객들 사이에 퍼져있는 20개의 작은 스피커들에서 울려 퍼지며 극 중 여자의 신경질의 정서를 함께 느낄 수 있었다. 세 번째 작품 <Stille Nacht, Heilige Nacht>는 밤에 대한 심상을 현악삼중주와 전자음향으로 나타냈다. 공연장 2층에 위치한 연주자들은 미세한 음량으로 악기끼리 주고받는 비브라토. 고음과 하모닉스가 곡을 구성하며, 프랑스 남부 시골마을의 여름밤 들려오는 두꺼비 울음소리와 모기의 날갯짓, 소리의 작은 발생 하나도 주목하게 하는 밤을 통해 이 곡에서는 우주를 표현했다.

네 번째 곡인 <Motherhood>는 사실상 전자음향적으로는 가장 테크니컬한 곡으로 보였다. 장방형 공연장의 가운데에 정사각형 무대가 있고 스피커가 그 둘레로 놓여 있다. 여기에 판소리 주자 문수현이 둥근 수조 속 자갈을 매만지며 피에조 마이크로 그 소리를 증폭시킨다. 그녀의 호느낌과 긴 호흡의 지속음이 둘레의 스피커 각각에서 여러 층을 만들며 환상적인 바다 같은 소리를 만드는데, 관객의 감정을 매만져주는 듯한 판소리 주자의 나직한 소리의 펄침과 스피커의 레이어가 멋진 작품이었다. <땅의 경계에서 울리는 시간>은 마지막 곡인데다 스크린이 앞쪽이라서 공연장 앞쪽을 관객이 바라보게 되어 더욱 집중되었다. 도시에서의 바쁜 삶 속 염원이 드림과 비디오, 전자음향을 통해 통쾌하게 울려퍼졌다. 드러머의 맏고 치고는 즉흥연주 소리가 영상의 어둠한 지하통로로부터 지상으로 올라가 도시의 아파트를 빠르게 이동하는 지하철의 모습과 어울리며 속도감을 준다. 연주자와 관객의 즉흥요소도 존재했던 이 날 작곡발표회는 부제 'ASMR'에서 보여지듯, 의도와 소리, 행위의 관계가 세밀하게 기보된 작곡방식보다 오히려 명확하고 효과적으로 잘 드러났기에 의미가 있었다. 왜 사람들이 ASMR에 열광하는지 유튜브를 통해 소리에 집중하는지 전자음향을 통해 또 다른 차원으로 깨닫고 느낄 수 있게 해주었다.



《박정은 작곡 발표회 - 실험음악극 WHO ARE YOU》가 12월 19일 강동아트센터에서 열렸다. 열 곡으로 구성되었는데 독립된 곡이기보다 장면으로 보였지만 작곡과 연주상으로 고난도의 음악들이었다. 첫 곡 <강제하는 자유>는 아코디언의 스산한 음색과 저음이 빠져 아열차게 느껴지는 돌풍 같은 전자음향(조예본), 그리고 온 몸이 기다란 하얀 끈으로 속박되어 아무리 몸부림쳐도 벗어날 수 없는 무용수의 몸짓, 그리고 그 앞에서 알 수 없는 단어를 힘겹게 외치는 백우람 배우의 모습이 보인다. 전자음향의 지글거리는 바람소리가 퍼포머들의 현재시점을 박제하는 것 같은 느낌을 잘 주고 있었다. 무대 앞 양쪽에 의자 위에 첼로를 세우고 첼로 활을 맨 위에 시계침처럼 돌게 해놓아 기괴하고도 신비한 분위기를 연출했다. 두 번째 순서인 <굴절하는 몸짓들>은 사실상 이 극의 중추가 아닌가 한다. 왜냐하면 필자는 이 곡의 세 번 연주를 모두 보았고, 초연 때의 피아니스트 윤혜성이 이 날은 검은 가면까지 쓰고 누군가 여러 명의 이름을 애타게 외쳐 부르며 이것이 전자음향으로 피치변조와 딜레이 되고 더욱 강렬해진 연주를 하는 처절함이 와 닿았기 때문이다. 빌렘 플루서의 저서 '몸짓들: 현상학 시론'에서 영감 얻은 곡인데, 이름을 부르는 동시에 연주자는 격렬하게 발을 구르고 피아노 현 위를 통기하고 현 위에서 컴퓨터 키보드를 빠르게 쳐대기도 하고, 피아노 전음역의 건반을 두드려대고 프리페어드 피아노로 높은 건반을 두드려 새로운 음향을 내기도 한다. <오늘날의 고통은 엄지에 밀려>에서는 래퍼들이 빠른 리듬의 노래를 하고, <Edge>에서는 빠른 리듬의 드럼비트와 플루트 선율이 서로 잘 어울리고 통쾌하며 자글거리는 전자음향이 자글거리며 이 사이를 연결한다. <억지 Smile>에서는 장애인 배우이기도 한 백우람이 웃는 표정을 지으며 관객에게 계속해서 외치는 "안녕하세요?"에서 삶에 필요한 엇지 웃음의 의미가 아프게 와 닿기도 하고, <깊은 심심함>에서 스틱 없이 연주하는 드럼의 소리는 외로운 심장의 고동소리 같다. 피아노와 바이올린, 첼로와 클라리넷이 두 명의 무용수와 함께하는 <소외>는 B음을 중심으로 트레몰로, 트릴과 술 폰티첼로 등으로 마치 도플러효과처럼 노이즈를 형성하더니 점차 넓은 음폭으로 그로테스크하게 퍼지고, 무용수 두 명이 서로 결투하더니 한 명이 끌려나간다.

인터뷰 연극인 <워킹맘> 순서가 재미있다. 아나운서 역할을 작곡가 최한별이 했고 작곡가 박정은의 아이가 무대에서 태블릿으로 뽀로로를 보고 있다. 이 사실적이고 자연스런 모습이 한편의 연극처럼 보이는 이유는 두 사람의 말투도 약간 사무적이기도 하고, 말소리가 살짝 피치슈프트로 저음 변조되고 딜레이와 리버브 되어 그림자처럼 깔리기도 하지만, 이들이 지금상황을 '연극'이라고 언급했기 때문이다. 이 대목에서 '자기착취의 내면화'가 이 공연의 주제라고 내놓고 소개했다. 여기서 "새로운 것을 누가 시킨 적이 없는데 하는 것을 보면 갈망과 강박이 있는 것 같다. 이 공연을 통해 우리가 왜 이렇게 살고 있나하는 질문을 던지는 시간이 되었으면 좋겠다"고 말했는데 필자는 마주한 거울에 겹겹이 무수히 비추이는 박정은과 그 박정은이 관객이 되는 모습이 상상이 되면서 마치 프랙탈의 과정처럼 느껴졌다. 자신의 강박이 신념이 되고 자신의 내면과 관객을 착취해가는 과정 말이다. 이후 <아직 살아보지 않은 시간 속으로>는 입술을 떨며 목소리를 함께 내서 overtone을 연주하고, 글리산도를 하고, 발을 구르는 튜바주자의 퍼포먼스가 역동적이다. 마치 이날 전시된 첼로시계가 원래 저런 쓰임새인 것으로 여겨지는 것처럼, 튜바연주법 또한 이 오버톤 주법이 정석인 것 마냥 느껴지는데 이것이 앞서 인터뷰에서 말했던 '내면화'인가 싶다. 열 번째 순서 <Alone>은 백우람이 무대 한 켠에 앉아있더니 연주단 쪽을 바라보고 섰다. 고음과 저음을 동시에 내는 아코디언 소리는 전자음향 없이도 스스로 전자음향 같고, 고음에서 바르르 떨릴 때 배우도 무용수도 마주보며 바르르 떠난다. 어느새 지휘자를 포함해 열 명의 연주단이 무대에 들어왔고 마지막 <Signal>에서 백우람이 이상의 시 '거울'을 읽는데 그 발음과 표정 때문에 처절함이 더욱 느껴지며 "없소"라고 얘기하는 시의 끝 구절에 스피커와 악기주자가 동시에 베토벤 운명 첫 네 음 동기를 강렬히 확인한다. 이어 피치카토, 피아노 현 위를 마구 두드리고, 악기를 연주하면서 발음소리도 내고, 플루트 주자가 Ratchet을 돌리고, 현악기를 활로 막 두드리고, 현대음악적인 연주가 한동안 진행된 후 B음의 유니즌으로 마무리 된다. 노이즈가 들리고 연주자들이 모두 손에서 라디오 안테나를 길게 펼쳐 든다. 라디오에서 한강 노벨문학상, 김대중 대통령, 채식주의자, 자유민주주의, 우크라이나 전쟁, 군대선발에 대한 뉴스가 들려온다. 이후 다시 현대음악적인 진행을 하고 마무리되는데, 전자음악의 사용을 보면 음악극을 구성하는 데에 전자음향을 사용한 것이 아니고 박정은의 음악을 구성하는 데에 현대음악과 전자음향은 필수적인 것이고 그 시작이며 따라서 그것들을 세상에 선보이기 위해 이 음악극은 제작되었음을 알 수 있었다.



그림6. 박정은 실험음악극 <WHO ARE YOU>

12월 19일 문화비축기지에서 《새로운 시간여행: 시대의 색과 그림자》가 공연되었다. 다섯 명 젊은 작곡가들의 작품은 도전적이었으며 프로젝션 맵핑 영상(미디어아티스트 이민정)과의 결합 등 표현방식도 진취적이었다. 공연 시작 전부터 무대 앞 ㄷ자 형태의 미디어 월에 영상이 보여지며 공연에 궁금증을 자아냈고, 이어진 다섯 작품에서도 각 음악에 상상의 배경을 제공하였다. 첫 곡으로 주은혜의 <Down the rabbit hole>(2024)은 바이올린과 비올라가 주테와 피치카토, 지속음, 글리산도의 다이내믹함으로, 마치 이상한 나라의 앨리스에서 시계 고장으로 토끼굴에 빠지면서 맞닥뜨리는 혼란스러운 상황들을 재미있게 표현했다. 이 때 영상에서는 별자리나 다양한 기하학적 패턴들로 음악과 조화되었다. 임경진의 <[əsu:reɪ]>(2023)는 바람, 물, 새, 풀벌레 소리가 필터 되고 합성되어 마치 기호처럼 시간을 구성하고 있었는데 영상에서도 산, 물, 바다의 이미지가 추상화처럼 그래픽화 되어 소리와 영상의 결합에서 제3의 세계, 새로운 공간 같았다. 우리의 자연과 소중함이 알 수 없는 미래에도 존재하고 기억되기를 바라는 것이 느껴졌다. 정민규의 <꿈 정복>(2024)은 처음 영상에 흑백의 선과 점의 흩어짐, Tape과 바이올린, 첼로의 박절적인 움직임이 특징을 만들더니 중간부는 붉고 파란기운의 무정형의 패턴들에 술 타스토와 하모닉스, 트릴과 테요음향이 발전하며 꿈 정복의 험난함을 주제로 표현한다. 마지막에 미래도시 같은 영상이미지가 인상을 준다. 다음으로 김연주의 <towards(2024)>는 비올라와 첼로의 폴레뇨와 피치카토가 작게 반복되는 동안 영상도 검정바탕에 작은 원들이 멀리서 본 별빛처럼 천천히 움직이며 긴장감을 만든다. 점차 소리가 강해지며 영상도 빛이 드러나더니 트레몰로와 빠른음표로 상행하며 속도감을 주는데, 고향과 일터를 향해서 오가며 비행기에 올라 눈감고 떠나는 기억의 여정과 여운을 표현했다. 주시열의 <Contemplation I>(2024)은 현악사중주 시작 음향에서가 제나키스의 헬리콥터 콤팩트인 떠오르기도 한다. 배우가 대사로 “들린다, 과거, 나, 학습된, 나는 그렇게 구성되었다, 해체되었다” 등의 말을 간헐적으로 하고 현악사중주는 글리산도, 술 폰티첼로 등으로 속도감 있으면서도 투명한 음색들을 연주한다. 클라이막스에 신비로운 테이프 음향과 비디오에서 흰 물결이 차올라 점으로 확산되는 영상으로 생각의 흐름이 벅차게 차오르는 것 같은 느낌을 잘 주었다.

임찬희는 전자음악그룹인 프로젝트 양상블 모프와 8월초에 두 번의 공연이 있었다. 8월 2일 고양아람누리 새라새극장 《동시대예술음악회》공연에서 임찬희는 증폭된 소프라노와 기타, 오브제들의 라이브 전자음향곡인 <mein lied(나의 노래)>(2024)를 싸이키한 전자음향의 근원을 파헤친 듯한 소리작업을 펼쳤다. 8월 4일 구리아트홀 《회색 신화》공연에서 선보인 <not any(아무것도 아닌)>(2024)은 플루트, 클라리넷, 바이올린, 첼로가 내는 글리산도 등의 특수현대주법과 일탈된 다양한 소리를 전자음향의 과감한 증폭으로 표현한 작품이었다. 유현진은 뉴욕전자음악페스티벌(NYCEMF)에도 당선된 작품 <Cloud>를 지난 12월 20일 피아노연주자들 주최인 《PIANO ON & CONTEMPORARY CLASSIC IX》에서 선보였다. 피아노 저음아르페지오의 반복과 고음 현 위주법의 특색이 전자음향으로 중첩되고 반복되어 하늘의 구름이 되어 세상의 기쁨과 슬픔을 굽어보는 마음을 표현했다.

### 글을 마치며

2024년 현재 컴퓨터를 사용해 음악과 공연을 만드는 사람들에게 컴퓨터는 더 이상 새로운 소리와 방식을 위해 사용하게 되는 음악의 끝이 아니었다. 급변하는 시대에 우리가 가진 소리를 소리답게 그 근원이자 목표로서, 기술은 소리의 생성과 변형에 작용해 외형과 성질을 변화시키며, 그것을 사용하는 작곡가의 상상력을 지배하는 위치에까지 올랐다고 할 수 있었다. 이 때문에 예술가들은 기술과 감성의 조화, 인간이 감지할 수 있는 미세한 진동, 기술로 수집한 방대한 데이터의 해결을 위해 끊임없이 교류할 수밖에 없는, 기술과의 공존을 선택할 수밖에 없어 보인다. 인간이 만든 기술이 인간의 의식과 인식을 확장하게 되는 21세기의 출발에, 전자음악, 컴퓨터음악 작곡가와 연구자들이 만들어 낸 다양한 작품들을 실제 관람과 이 글의 정리와 함께 할 수 있어서 무한한 영광이었으며 항상 응원하는 마음을 보낸다.

### 참고링크

<https://www.youtube.com/@keams6076/videos> 한국전자음악협회

<https://www.youtube.com/@iscmkorea1660> ISCM-Korea

<https://www.youtube.com/@soundbong> 남상봉

<https://www.youtube.com/@MyMydear0303> 정재은

<https://www.youtube.com/@jungeunPark0816> 박정은

<https://www.youtube.com/@gregorikim> 대구국제컴퓨터음악제

<https://www.youtube.com/@projectensemblemorph> 프로젝트 앙상블 모프

<https://www.youtube.com/@Gabinviolin> 김가빈