

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12126

研究課題名（和文）幾何学的関係に基づく音律統合理論の構築による空間的サウンドインスタレーション制作

研究課題名（英文）A theory integrated tonality and rhythm based on geometric relationships for spatial sound installations

研究代表者

大村 英史（Ohmura, Hidefumi）

東京理科大学・創域理工学部情報計算科学科・講師

研究者番号：90645277

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では音高の周波数比に基づき、あらゆる音高を利用可能にする方法論を提案する。そして、この方法論に基づいたインスタレーションを開発し、音楽の可能性を拡張することを目的とする。初期段階として、音高の三次元空間での表現表現から音高の導出理論の制定を行った。つぎに、音高の三次元空間での表現方法を元に、バーチャルリアリティ空間に実装を行った。これらの技術を応用したインスタレーション作品を作成した。また、音高導出理論の元となったワークショップに関する論文を執筆した。最終段階として、提案モデルに基づいたサウンドインスタレーションを作成し展示を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

音高の導出モデルの提案は、音の物理量を数学的に定義しつつ創り出した方法論である。そのため、ジャンルにとらわれず音楽研究に利用できる。このモデルについてはシンポジウムや図書として発信を行った。これらは一般の市民をターゲットとしており、社会への発信として意義があった。また、提案モデルインスタレーションへの実装技術をコミュニケーション研究への応用したこれは、音楽だけにとらわれず学術的領域を広げるために役に立ったものだと考える。最終段階として、音律モデルに基づいたサウンドインスタレーションを電子音響ピープルプロジェクトライブにて展示を行ったが、こちらも社会への発信として意義のあるものであった。

研究成果の概要（英文）：This research proposes a methodology that makes it possible to provide any pitch based on the frequency ratio of the pitch. We then develop an installation based on this methodology to extend the possibilities of music. As the first step, we established a theory of pitch derivation based on the representation of pitch in three-dimensional space. Next, based on the method of expressing pitch in three-dimensional space, we implemented it in a virtual reality space. An installation work was created by applying these technologies. We also wrote a paper on the workshop that was the basis of the sound height derivation theory. As a final step, a sound installation based on the proposed model was created and exhibited.

研究分野：音楽情報科学

キーワード：音律 インスタレーション 複合現実 作曲システム

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

音楽で用いられる音の高さ(音高)は1つのオクターブ内(基本周波数の2倍の範囲)に12個である必要があるのだろうか. 西洋音楽では, ピタゴラス音律に始まり, 音楽に使用される音高を12個に規定し, 様々な音律を作り出してきた. 12個の音高は2つの音の周波数比によって作り出されるが, 倍音列で登場する比率を用いると12個の音高を等価に扱うことができなくなる. このような既存の音律が持つ問題を解決するためにさまざまな音律が考え出されてきた. 現在もっとも普及している十二音平均律は, 12個の音高を等価に扱うことを最優先し各音高同士の関係(音程)の比を近似として扱う. しかし, 十二音平均律は, 音程が近似であることから協和の点で問題が生じる. この理由から, 音高同士の正確な協和を優先させた古典的な音律が用いられることも少なくない. つまり, あらゆる音律はどこかに問題を抱えており, これらの問題を妥協することで調性音楽の理論は成り立っている. 西洋音楽のなかで, 12個の音高を規定して用いる理由はいくつかある. まず, 物理的な楽器から出力されるピッチは演奏前に決定してはならないことである. 次に, 楽譜として残しておくための方法が12音に規定されていることである. さらに, 12音で規定することによって, 音楽の構造化をより単純にできることにある.

近年, 音楽作成や演奏にコンピュータが導入され, あらゆる音高を出力できるようになってきている. しかしながら, 依然として12音に規定された特定の音律を用いることが一般的で, 音律を融合して用いる方法論や音律に依存しない音高を用いる方法論はまだ存在しない. 本研究では, オクターブ内で12個の音高を規定する音律を融合しつつ, 12個の音高に規定されない音律の理論を提案する. そして, この理論を用いた, 正確な音程に依存した音楽やサウンドの体験・およびコントロール可能な楽曲およびインストールの制作を行う.

2. 研究の目的

本研究では, 連続的な音高(音の高さ)から絶対的な音名を定義せず, 音高同士の周波数比に基づいたあらゆる音高を利用可能な方法論を提案する. そして, この方法論に基づくインストールを開発し音楽の可能性を拡張することを目的とする.

3. 研究の方法

本研究では, オクターブ内で12個の音高を規定する音律を融合しつつ, 12個の音高に規定されない音律の理論を提案する. そして, この理論を用いた, 正確な音程に依存した音楽やサウンドの体験・およびコントロール可能な楽曲およびインストールの制作を行う. そのために, 以下のことを実行する.

【音高の導出理論の制定】

音高を規定するために重要なことは2つの音高の比である. 提案する理論では, 複数の基本的な比を用いて音高を空間にマッピングする. 例えば, ピタゴラス音律は2つの音高の基本周波数の比が1:2と2:3で成立している. また, 純正律はピタゴラス音律の比に, 4:5の比を追加することで成立している. これら二つにおける長三度の音(ドに対するミの音)は異なっている. ピタゴラス音律では $3/2$ 倍もしくは $3/4$ 倍を4回繰り返して得る音高であるのに対して, 純正律では $5/4$ 倍によって得る音高である. 提案理論では, これら二つの音律における音を異なる音として規定することにより, 様々な音高を得ることを可能となる.

連続する整数の比は図1のように二つの比によって分解することができる. これらの比は純正律で利用される比に, $6:7$ および $7:8$ の比を含めた比である. この関係はそれぞれ図2のように空間にマッピング可能であり, これらを統合すると, 図3のように3次元空間に音高をマッピングできる.

さらに空間内に配置した音高間の音高は, 図3の $\sqrt{2:1}$ のように無理数を用いた比によって得ることができる. これにより, 十二音平均律や well temperament と呼ばれる音律で規定される音高も空間内に配置できる.

空間内にマッピングすることで, 音律間で同じ音名の音高でも異なった音(同名異音)として扱うことができる.

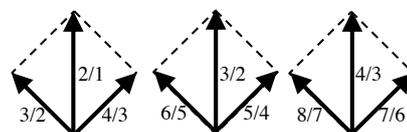


図1 比の分解

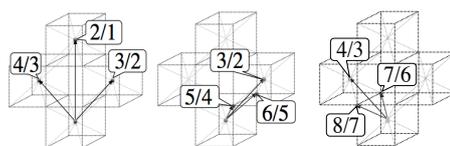


図2 分解した比の空間マッピング

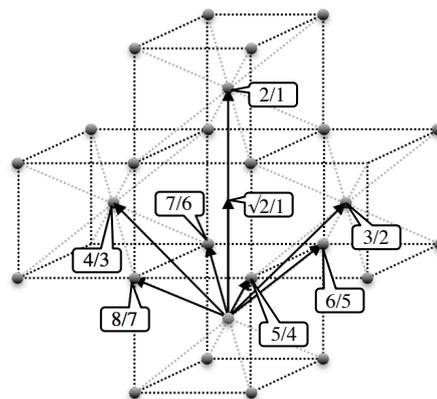


図3 比による音高の空間マッピング
(ノードが音高, ベクトルが比)

【提案理論を用いた楽曲の作成】

提案する理論の妥当性を検証するために、理論に基づいた楽曲生成システムの開発を行う。いままで、ピタゴラス音律に基づく音高の関係性をもちいた音楽生成システムの開発を行ってきた。本システムはピタゴラス音律に基づく音高の関係性は物理的に近い物ととらえると、1次元の直線または2次元の平面に音高のマッピングできる。また、音楽における情動は期待感からの逸脱であるという Meyer の考えから、各次元に確率分布を設け操作することで不確実性を作り出し情動的要素を作成することができる。このシステムでは、調性音楽における旋法や音階を表現でき、それらの明示的体験が可能となった。本研究で提案する理論は多次元の空間にマッピングされるが、基本的な原理は既存システムと同様な手法で楽曲作成が可能となる。さらに作成するシステムにより、和音や和声進行などの経験的音楽理論の説明が可能となる。本システムを用いて理論の妥当性のために聴取実験を行う。

【提案理論の音体験ができるインスタレーションの制作】

提案理論の最終的な実践形態として、提案理論に基づいた複合現実による音楽表現および音楽聴取の統合体験ができるインスタレーションの制作を行う。

提案理論では図3のように音高を3次元の空間に配置する。仮想現実空間内にこれらを配置しこれらの音高をコントロールすることができれば、提案する音律理論に基づく音律体験ができるだけでなく音楽表現および音楽聴取の体験が可能となる。さらに、このインスタレーションは音楽表現の側面から楽器としての可能性があり、物理的な楽器との共演をめざした複合現実(MR)空間で開発を行う。提案理論の空間と体験者が活動できる仮想空間を統合することにより、既存の音律における音高だけでなく、音律では定義されない音高の聴取体験がインタラクティブに可能になる。これは、体験者の音楽的な表現および聴覚体験のエンハンスメントも期待でき、楽器としての可能性を探ることも可能になる。

4. 研究成果

本研究では、連続的な音高(音の高さ)から絶対的な音名を定義せず、音高同士の周波数比に基づいたあらゆる音高を利用可能にする方法論を提案した。そして、この方法論に基づいたインスタレーションを開発し、音楽の可能性を拡張した。

2020年度は、音高の三次元空間での表現表現から音高の導出理論の制定を行った。これらは基本的な整数比(1から7まで)によって導かれる。また、この理論をコンピュータ上での実装をおこなった。この実装により、音や和音の近さは音楽の進行にも依存しており、音楽の進行を考慮する必要がある事が分かった。これにより、比から導かれる和音の関係を曲の進行とともに解釈を変えていくための方法論を導き木構造で表現するシステムの開発を行い国際会議 SMC で発表をした。また、この理論に基づく音楽科学の知見について、東京大学進化認知科学研究センターで開催されたシンポジウム「音楽科学の意義と展望」で講演を行った。さらに、音楽における情報論的観点音を音だけでなく音以外まで拡張して捉えた方法論の議論を、人工知能美学芸術研究会から出版された図書に寄稿した。

2021年度は、昨年度作成した音高の三次元空間での表現表現から音高の導出方法を元に、バーチャルリアリティ空間に実装を行った。これらの技術を応用したインスタレーション作品を SIGGRAPH2022 に投稿し採録された。また、音高導出理論の元となったワークショップに関する論文を環境芸術学会の論文誌に投稿し採録された。

2022年度は、本研究で開発中の技術を、複合現実空間へインスタレーション実装のための技術はまとまりつつあり、これらの技術を応用したインスタレーション作品を SIGGRAPH2022 で発表を行った。また、複合現実空間におけるコミュニケーション研究へ応用しヒューマンコンピュータインタラクション研究会で報告した。複合現実空間への音律モデルの実装が未完成であるため1年間の延長を行った。

2023年度は、複合現実空間におけるコミュニケーションシステムの改良を行い、成果をヒューマンコンピュータインタラクション研究会で報告した。そして、提案モデルに基づいたサウンドインスタレーションを電子音響ピープルプロジェクトライブにて展示を行った。

研究成果として計画通りうまくいかなかったこととして、実際の被験者を用いた聴取実験を実施できなかったこと、十分な聴覚体験ができるインスタレーションが完成しなかったことだ。これらについては今後の課題となる。しかし、あらゆる音高を利用可能な方法論を提案により、体験者の音楽的な表現および聴覚体験のエンハンスメントに一定の効果が上げられたことは本研究課題の成果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 K. Sonobe, M. Furukawa, A. Yamanaka, H. Ohmura, and T. Shibayama, R. Nakagawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Meta Flowers: An Analogy of Life in the XR Era	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of SIGGRAPH 2022 Immersive Pavilion Article	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3532834.3536199	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 T. Shibayama, H. Ohmura, H. Yaguchi, T. Hamano, L. Bruemmer	4. 巻 26
2. 論文標題 Proposal for the Design of the Workshop Method for the Denshi Onkyo People Project - Activities of the Workshop as a Central Pillar of the Denshi Onkyo People Project	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 環境芸術 (nvironmental Art and Design)	6. 最初と最後の頁 50-55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Y. Ogura, H. Ohmura, Y. Uehara, S. Tojo, K. Katsurada	4. 巻 -
2. 論文標題 Expectation-based parsing for Jazz Chord sequences	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceeding of the 17th Sound and Music Computing (SMC2020)	6. 最初と最後の頁 350-356
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5281/zenodo.3898850	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 新井聡真, 榎本勇樹, 矢口博之, 大村英史, 柴山拓郎	4. 巻 30
2. 論文標題 電子音響音楽における音響素材の順序に関する認知基盤の研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 環境芸術学会論文誌「環境芸術」	6. 最初と最後の頁 34-39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kenta Ogawa, Shun Sawada, Kouichi Katsurada, Hidehumi Ohmura	4. 巻 -
2. 論文標題 Automatic Detection of Poor Tone Quality in Classical Guitar Playing Using Deep Anomaly Detection Method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of 2023 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA)	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/WASPAA58266.2023.10248058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Soma Arai, Hiroyuki Yaguchi, Hidefumi Ohmura, Ludger Bruemmer, Takuro Shibayama	4. 巻 -
2. 論文標題 Quantifying the Extended Acceptance of Pioneering Art Music Through the Creation of Electroacoustic Music	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of 20th Sound and Music Computing Conference (SMC 2023)	6. 最初と最後の頁 296-303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5281/zenodo.10061069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Ogura, H. Ohmura, Y. Uehara, S. Tojo, K. Katsurada	4. 巻 -
2. 論文標題 Unexpectedness in Jazz Harmony with Probabilistic Incremental Parser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 19th Sound and Music Computing (SMC2021)	6. 最初と最後の頁 292-299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 伊藤 浩樹, 澤田 隼, 大村 英史, 桂田 浩一
2. 発表標題 Creative Adversarial Networksを用いた新たな楽音の生成
3. 学会等名 音楽情報科学研究会 (SIGMUS)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田大介, 桂田浩一, 澤田隼, 大村英史
2. 発表標題 インタラクションにおける相互性に着目した複合現実を用いた遠隔コミュニケーションシステム
3. 学会等名 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小川健太, 澤田隼, 桂田浩一, 大村英史
2. 発表標題 半教師あり深層異常検知手法を用いたクラシックギターにおける演奏ミス自動検出手法の提案
3. 学会等名 音楽情報科学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉崎 大輔, 大村 英史, 澤田 隼, 東条 敏, 桂田 浩一
2. 発表標題 和声構造を表現した木の改変によるリハーモナイゼーションシステム
3. 学会等名 第133回音楽情報科学研究会 (SIGMUS)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深代 勇樹, 大村 英史, 澤田 隼, 桂田 浩一
2. 発表標題 ドメイン敵対的ニューラルネットワークを用いた対数周波数スペクトログラム上の音色変換
3. 学会等名 第133回音楽情報科学研究会 (SIGMUS)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大村英史
2. 発表標題 情報科学の観点からの音楽：音楽における車輪の再発明
3. 学会等名 合同学術シンポジウム 音楽科学の意義と展望
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田 大介, 桂田 浩一, 澤田 隼, 大村 英史
2. 発表標題 モダリティの観点から比較したMRミラーシステムに適する遠隔コミュニケーションの調査
3. 学会等名 第206回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 新見和也, 澤田隼, 桂田浩一, 大村英史
2. 発表標題 癒し効果を促す無生物バーチャルペットの感情表現手法
3. 学会等名 第22回情報科学フォーラム FIT 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 肥田歩華, 澤田隼, 桂田浩一, 大村英史
2. 発表標題 TransformerとVAEを用いたリズム構造に基づくコードチェンジと進行の自動生成
3. 学会等名 情報処理学会, 第137回音楽情報科学研究会(SIGMUS)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦温樹, 澤田隼, 桂田浩一, 大村英史
2. 発表標題 駄洒落を用いた授業動画集中力向上システムの提案
3. 学会等名 2023年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大村英史	4. 発行年 2020年
2. 出版社 人工知能美学芸術研究会	5. 総ページ数 8
3. 書名 S/N: S氏がもしAI作曲家に代作させていたとしたら 3章 シングularity N氏がもしAIから代作させられていたとしたら	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柴山 拓郎 (Shibayama Takuro) (80366385)	東京電機大学・理工学部・教授 (32657)	
研究分担者	中川 隆 (Nakagawa Ryu) (60631124)	名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・准教授 (23903)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------