

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：12606

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K13024

研究課題名（和文）計算論的手法に基づく音楽書法の学習支援

研究課題名（英文）Computational Approach to E-Learning Systems for Music Writing

研究代表者

田中 翼（Tanaka, Tsubasa）

東京藝術大学・音楽学部・講師

研究者番号：50837234

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、特定楽曲のスタイルや、対位法のような一般的な音楽理論を対象として、音楽書法をプログラムとして扱える形に変換し、音楽書法の学習支援のための基礎となる計算論的手法の研究を行なった。主な研究成果としては、リゲティの『ピアノのためのエチュード第二番』のスタイル、モチーフの組み合わせによる独自のスタイルの楽曲、対位法の添削システムの基礎に関して、制約充足問題や最適化問題を定式化しコンピュータで求解する手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

音楽大学や音楽院などにおいて、伝統的な作曲技術の保存・継承を目的とした音楽書法教育が行われてきた。こうした技術は、楽譜のような資料化できるものとは異なり、師弟の人間関係を通じて伝えられてきた面がある。しかし、近年では音楽書法とプログラミングが融合することで、音楽書法がより再現可能で共有可能な知識となる可能性が開けつつある。本研究では、楽曲スタイルに基づく音楽生成プロセスを制約充足問題や最適化問題へと翻訳し、それを解くことで楽曲の生成などを実現できるようにする方法論の構築を行なった。ウェブ・アプリケーションのような形での実用化に至れば、高度な作曲教育を誰もが受けられるようになる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：This research aims to transform music writing styles and theories into formalized structures for which computational methods can be applied. The achievements include formulations of the style of Ligeti's "Etude for Piano No. 2", a style of motif-based composition, and a formulation of counterpoint as constrained discrete optimization problems. These allow us to generate and modify pieces of the styles. The third can be applied as a system that automatically corrects users' answers to counterpoint problems.

研究分野：計算論的音楽学

キーワード：対位法 整数計画法 自動作曲 学習支援システム アルゴリズム作曲

## 1. 研究開始当初の背景

音楽大学や音楽院などにおいて、伝統的な作曲技術の保存・継承を目的とした音楽書法教育が行われてきた。こうした技術は、楽譜のような資料化できるものとは異なり、師弟間の対人的なレッスンを通して伝えられてきた面が大きい。しかし、近年では音楽書法とプログラミングが融合することで、アルゴリズム作曲、ジェネラティブ・ミュージック、ライブコーディングなどのように、音楽書法がより再現可能で共有可能な知識となる可能性が開けつつある。

## 2. 研究の目的

伝統的な音楽書法の体得には長い修練が必要であり、指導してもらう先生を探す必要があるが、経済的に余裕のある家庭でなければそれは困難である。したがって、本研究では、学習支援システムを構築することで、誰もが本格的な作曲教育に入門できるような環境を整えることを長期的には目指しており、そのためのステップとして、その基礎技術を開発することを目的としてきた。具体的には、特定楽曲のスタイルや、対位法のような一般的な音楽理論を対象として、音楽書法をプログラムとして扱っている形に変換し、音楽書法の学習支援のための基礎となる計算論的手法を確立するための研究を行なった。

## 3. 研究の方法

一つの楽曲は極めて多くの離散情報の組み合わせからなる。したがって、それを扱う数理的手法が必要となる。本研究では、楽曲スタイルに基づく音楽生成プロセスを共有可能にするため、特定の楽曲スタイルを制約充足問題や最適化問題へと翻訳し、それを解くことで音楽の情報処理を実現できるようにする方法論の構築を行なった。これにより、システムのユーザーが楽曲スタイルを明示的な知識として共有したり、作曲実習における自動添削の基礎技術の開発につながることを意図する。

## 4. 研究成果

主な研究成果として、リゲティの『ピアノのためのエチュード第二番』のスタイル、モチーフの組み合わせによる独自楽曲、対位法の添削システムの基礎に関して、制約充足問題や最適化問題を定式化しコンピュータで求解する手法を示す論文を執筆・発表したものが挙げられる。これらについて、以下に説明する。

一つ目のリゲティの楽曲スタイルについては、比較的スタイルを数理モデル化しやすい『ピアノのためのエチュード第二番』に着目し、そのスタイルの核となる冒頭セクションの、リズムの側面と音高の側面を別々にモデル化した。リズムについては、右手パートと左手パートが重なり合わないような配置や、リズムの変遷の規則性を制約とするタイリング問題として定式化した。音高に関しては、旋律的、和声的に可能な語彙（実際にリゲティが曲中に使用した語彙）を同時に満たすような右手パートと左手パートの組み合わせを求める問題として定式化した。また、音楽家にとって馴染みの深いプログラミング環境 OpenMusic において、この問題を解くアルゴリズムを実装した。実装に当たっては遺伝的アルゴリズムのライブラリ OM-Darwin を用いた。結果として、タイリング問題に関しては厳密解を得ることができた。音高に関しては厳密解を得ることはできなかったが、ほぼ完全に近い準最適解が得られることを確認した。このアルゴリズムを用いることで、この曲のスタイルの楽曲セクションをパラメータを変えて生成することができるようになった。本結果については、フランス語圏の音楽情報科学の国際会議 JIM2019 において、フランス語で論文を出版し、発表を行なった。

二つ目のモチーフの組み合わせに関しては、音楽書法の計算論的モデルとして、モチーフの割り当て問題という制約付き最適化問題を定義した。これは楽曲の各セクションに対し、モチーフ候補集合からモチーフを割り当てることで、楽曲のグローバルな構造を最適化するためのものである。また、プログラミング環境 OpenMusic において、この問題を解くアルゴリズムを実装し、現実的な時間で十分良い準最適解が得られることを確認した。その結果をもとに、器楽アンサンブルのための音楽作品を制作し、楽曲の試演を行い、楽曲生成の支援につながることを確認した。本結果については、国際会議 SMC2020 において論文を出版し、発表を行なった。

三つ目の対位法に関しては、多声音楽の音楽書法である対位法の実習システムの構築と、そのための基礎技術の開発を行った(現状はシンプルな一対一対位法の実装であるが 拡張可能である)、これはユーザーがウェブサイト上で与えられた旋律(定旋律)と同時に演奏されるもう

一つの旋律(対旋律)を入力し、自動的に添削することで自習を可能にするシステムである。その機能は主に二つである。第一の機能は、対位法の多数の規則をチェックし、修正すべき点がどこにあるかを指摘することである。第二の機能は、対旋律の模範解答を生成することである。前者についてはチェックすべき規則をプログラムに変換するだけで実現可能である。後者については複雑な制約充足問題を解く必要がある。そこで、整数計画法を応用して対位法の規則を数式の制約で表現し、制約を満たす解を効率的に求解する手法を開発した。さらに、複数存在する解の中でユーザーが作成したミスを含む旋律との類似度を目的関数として最適化を行うことで、単に模範解答の一つを得るだけでなく、ユーザーが自身で作成した対旋律をどのように修正すれば模範解答にたどり着くのかまでも提示できると考えられる。本結果は、国際会議 SMC2022 において論文を出版し、発表を行なった。なお、ウェブシステムについては試作を行ない、動作を確認した。現在公開に向けて調整中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Tsubasa Tanaka
2. 発表標題 Modelisation Computationnelle Preliminaire de l'«Etude 2: Cordes a Vide» de Gyorgy Ligeti
3. 学会等名 Journées d'Informatique Musicale 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubasa Tanaka
2. 発表標題 Motif Set Assignment Problem in the Compositional Process of “Musical Rally”
3. 学会等名 Sound and Music Computing Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsubasa Tanaka
2. 発表標題 Modelisation d'Attitudes Phenomenologiques d'Ecoute et de la Conscience du Compositeur pour la Generation Automatique de Musique
3. 学会等名 L'analyse Musicale et la Modelisation Informatique des Activites Cognitives (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubasa Tanaka
2. 発表標題 Formulating First Species Counterpoint with Integer Programming
3. 学会等名 Sound and Music Computing 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 人工知能美学芸術研究会, 中ザワヒデキ, 草刈ミカ	4. 発行年 2019年
2. 出版社 人工知能美学芸術研究会	5. 総ページ数 2ページ(担当分)
3. 書名 人工知能美学芸術展記録集	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------