

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 12 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500092

研究課題名（和文）楽曲の主題－変奏関係を分析・抽出する手法の研究と解析システムの構築

研究課題名（英文）Structural Analysis and Extraction of Theme-Variation Relationships and Implementation of its Analysis System

## 研究代表者

平賀 譲（HIRAGA YUZURU）

筑波大学・図書館情報メディア系・教授

研究者番号：80165167

研究成果の概要（和文）：本研究では変奏曲における主題と変奏との間にどのような対応が成り立つかについて、楽曲を構成している構造の観点から両者の関係を分析・記述するための枠組を示した。またその枠組に基づく分析をコンピュータで実現するためのシステム開発を目指して、部分的な機能としてパターン照合による構造解析や変奏パターンの分類と抽出を行うシステムを作成し、その有効性を検討した。

研究成果の概要（英文）：This study presents a formal framework for representing and characterizing the relationship between the theme and its variations of music in variation form. With the goal of developing a computer analysis system based on this framework, preliminary programs that realize part of the intended functions have been implemented, including structure segmentation based on pattern matching, and extraction of common variation patterns obtained from existing variation work.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
総 計	2,700,000	810,000	3,510,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：音楽構造解析、主題と変奏、音楽分析、音楽情報検索

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究が対象とするのは、主題といくつかの変奏からなる変奏曲形式の楽曲（以下「変奏曲」）である。変奏曲は近代音楽の全時代を通じて作曲され、その内容・様式・用いられる技法等は極めて多岐にわたる。曲名に「変奏曲」と明記した単独の楽曲も数多いが、ソナタや交響曲などの1つの楽章が変奏

曲になっているものも多数ある。さらに独立した変奏曲形式となっていなくても、部分的に変奏技法を用いることは音楽全般を通じての基本的な語法である。

(2) 変奏曲については、その歴史とともに数多くの分析・評論・解説が行われている。その多くは個別の曲に対する音楽分析が中心

であり、内容的には著者の内的判断に基づき、楽式や変奏技法などについて要約的な、あるいは特定の側面に焦点を当てて記述されたものが多い。このような記述は本研究が実現すべき解析結果を検討する上での参考にはなる。しかしこれらは形式的な手法による詳細な分析が示されているわけではなく、また変奏技法についての分類や体系化が行われているわけでもない。

(3) ここ 10 年ほどの間に、コンピュータを用いた音楽情報検索の研究が極めて盛んになってきており（例えば音楽情報検索を取り上げた国際会議（ISMIR）は 2000 年以来、毎年開催されている）、その研究も広範な内容にわたっている。

音楽情報検索においては楽曲間の類似度を評価することが中心的な課題になる。検索目的のためには類似度の高い楽曲を選べばよく、そのために音響的な特徴量の照合など、様々な手法が提案されている。

これに対し、変奏は主題に系統的・構造的な変形を加えた結果であり、両者の間に類似性があるのは明らかな一方、表層的な音符レベルではかなりの違いが存在する。したがって主題と変奏の関係を分析するためには、音楽検索を目的としたような類似性判定手法では不十分であり、構造的な対応関係にも目を向けなければならない。音楽的構造を分析・抽出したり、それを類似度評価に利用しようという研究は数が少なく、また現状では（人間の判断に見合うような）十分な水準には達していない。

## 2. 研究の目的

上記の背景を踏まえて、本研究では変奏曲の主題と変奏（あるいは変奏同士）の対応関係（主題・変奏関係）について、以下の点を研究目的とする。

(1) 主題・変奏関係に関わる楽曲構造や変奏パターンなどを記述し、定式化するための理論的枠組と、それを表す表現形式を作成する。

(2) その構造表現を導出するための解析手法を検討し、それに基づき構造解析を行うシステムを開発する。

(3) システムを実際の楽曲に適用し、得られた結果の音楽分析や音楽情報検索などへの応用について検討・実験する。

## 3. 研究の方法

研究目的を実現するため、以下のようなアプローチで研究を進める。ただしこれは各項

目の実行順を示すものではなく、項目によっては並行して遂行する。

(1) 変奏曲の楽曲データを収集・整備する。

これは主題・変奏関係を扱う理論的枠組作りの基礎資料とすることが主目的である。合わせて、作成するシステムの入力データも整備する。データとしては、楽譜の他に、機械可読なデータとして MIDI データ（SMF 形式）を主に利用する（現在では、多くの楽曲データをインターネット等から入手可能である）。必要に応じて、自作の MIDI データ解析プログラムや Finale 等の DTM ソフトを利用して、楽曲データを作成したり、入手した楽曲データを研究に利用可能なように編集・再構成する。

扱う曲種・様式は、変奏曲全般となると広範にすぎるため、当面はモーツァルトを中心とする古典派前後の、主としてピアノ変奏曲を対象とする。これらは自己完結的な主題に対し、独立した変奏が続く「区分的変奏曲」の形式になっている。

(2) 楽曲データを手作業で分析・整理し、主題・変奏関係を定式化する理論的枠組と表現形式を作成する。

(1) の楽曲データを用いて、主題や変奏の楽曲構造とその対応、用いられる変奏パターンや技法の分析・抽出・整理を行う。それも踏まえて、楽曲構造や変奏パターンを記述するためのデータ表現形式を設計・作成し、それに基づいて主題・変奏関係を定式化するための理論作りを行う。

(3) 主題・変奏関係を解析するためのコンピュータプログラム群、さらには統合解析システムを作成する。

(2) の分析結果を得るには、楽曲データに対して様々な処理・解析が必要になる。いくつかの例として、曲のパート分離、楽節などの構造単位の抽出、パートの中心となる構造音の抽出と、それに対する修飾パターンの抽出等である。これらの処理を実現するプログラム群を個別に作成し、それに基づいて曲全体の解析を自動で行えるような統合解析システムを作成する。

(4) 実際の楽曲データに対し、上記のプログラムを適用して性能の評価を行い、解析結果を収集・整理する。

これにより、作成したプログラムの検証・評価を行い、また問題点を検討して改良を行っていく。一定水準の解析結果が得られるようになった段階で、それらを分類・整理し、変奏パターンのデータベース等として整備していく。併せて、音楽分析や音楽情報検索などへの応用も検討する。

#### 4. 研究成果

本研究の成果は、大きく分けて研究方法の(1)、(2)に記した主題・変奏関係を扱う理論的枠組の定式化と、(3)に記したプログラムによる解析処理の実現とからなる。ただし後者のシステム実現については、要素的なインプリメンテーションにとどまり、現段階では統合的な解析システムの実現には至っていない。以下ではそれらの概要を記す。

##### (1) 楽曲構造の定式化

主題・変奏関係を構造的な対応関係としてとらえるために、楽曲を構成する要素とその属性、それらを複合して得られる各種の構造を定式化する。ここで取り上げる楽曲の(部分)構造の主なものは以下の通りである。

- ・ 枠構造による音列パターンの抽象化
- ・ パート、グループによる分割
- ・ 簡約に基づく階層化
- ・ 和声(和音列)

上で「枠構造」とは調や拍子など、曲全体(あるいはその大きな部分)を統制し、個々の音符に役割や重要度を付与する枠組を指す。枠構造は、同一の属性(調性や拍節)に対して複数のレベルが存在しうる。調性については、半音階レベル(半音単位の音階)、全音階レベル(長音階、短音階等)、和音レベル、オクターブレベルを想定する。例えば CDEFG という音高列に対し、音高差の差分列をとると、半音階(では{2 2 1 2})であるのに対し、ハ長調全音階上では{1 1 1 1}となる。一方 EFGAB という音高列では半音単位で{1 2 2 2}と異なる差分列となるのに対し、全音階では{1 1 1 1}となつて CDEFG の場合と同一になる。各差分列(音列パターン)は元の音高列に対する抽象化になっており、枠構造のレベルによって一致・不一致が変わる。拍子・小節を一般化した拍節についても、同様に4分音符レベル、小節レベルなどの枠構造を考えることができる。

パート、グループによる分割とは、楽器、ピアノでは右手・左手などのパート(声部)や、動機・楽節などひとまとまりとなる音列により楽曲全体を細分化することを指す。

そのような音列は、中心となる構造音と、それを修飾する付属的な音とに分けられる。修飾音を除き、構造音を取り出す操作が簡約であり、それを再帰的に繰り返すことにより階層的な簡約構造が得られる。また枠構造としての和音レベルを要素として並べたのが和声(和音列)である。

##### (2) 主題・変奏関係の定式化

主題・変奏関係は、上記のような楽曲の部分構造の観点から次のように定式化できる。

基本となるのは、変奏では主題の持つ構造の一部はそのまま保存され、他のものは何らかの(一貫性のある)変形が加えられる、という考え方である。簡単な例として、図1の上段はモーツァルトの「きらきら星変奏曲」(K. 300e)の主題、下段はその第1変奏の、それぞれ冒頭の旋律部分を示す。



図 1

変奏では主題の CCGG... という音列に対し、それが構造音として保持され、さらに修飾が加えられている。修飾の音列パターンは、第1・2小節と第4~6小節とがそれぞれ同一であり、第3小節は経過的(後半部分は4小節以降と同一)である。これにより、主題の旋律が認識される一方で、変奏自身も独立した曲としてのまとまりを有している。

もちろんこれは簡単な例に過ぎず、実際の変奏の多くはこれよりはるかに複雑な対応になっている。しかしそれらの実例においても、主題の構造の一部は変奏でも保存され(不変部分)、他の構造については(変奏の性格を特徴づけるような)特定の変形が繰り返し適用されることが見て取れる。

したがって主題・変奏関係を抽出するには、主題・変奏のそれぞれに構造解析を行い、不変部分を求め、また共通して用いられる変形を表す音列パターンを見出すことが課題となる。

##### (3) より複雑な対応関係

古典派の区分的変奏曲では、不変部分となるのは構造音、和声、楽曲形式(楽式)が中心である。楽式が同一であれば小節数も同一なので、例えば1小節単位で主題と変奏とを対応させていけばよい。

しかし実際にはそう簡単ではない。例えばモーツァルトのピアノ変奏曲(16曲)に限ってみても、初期の2作品を除いて、コーダやカデンツァなどにより、小節数が多くなる変奏が存在する。楽式以外でも、調が変わったり(長調の主題に対する短調の変奏など)、拍子が変わったりする変奏が含まれる。さらに、音列のパターンをカノン(輪唱)のように時間的にずらしたり、主題と対照的な新しい要素(対旋律)を導入したりする変奏も存在する。

これらに対応するには、単純に音符同士を順番に照合していくような処理方法ではなく、抽象化された構造の上での柔軟な対応づけの処理が必要となる。

さらにベートーベン以降になると、楽式な

どは保存されず、主題の特定部分を取り出して展開するような性格変奏的な手法が多くなる。そのような変奏については、現在の枠組では十分には扱えない。

本研究では上記のような理論的枠組に基づき、その内容を部分的に実現するコンピュータプログラムの作成を行った。その事例を以下に記す。

#### (4) ストリーム分離とパターン抽出

(研究協力者：下寄ゆり)

楽曲の構造解析の一環として、MIDI データの入力からピアノ曲の右手・左手部分を分離し、また繰り返しパターンを抽出する。パート分離には、音域的に近い音同士を前後につないでいく「ストリーム分離」という手法を用いている。両パートの音域が比較的離れた楽曲ではほぼ完全な分離が実現でき、音域が近い場合でも良好な結果（一部誤認箇所を含む）が実現できている。

また分離されたパートに対し、共通して出現する（抽象化された）音列パターンの抽出処理も実現した。これは小節境界などの枠構造情報を用いず、パターン同士の全照合による処理である。実際の曲では音列パターンが小節単位で用いられるため、逆に処理結果が小節境界などを指し示すものとなっており、グループ抽出への有効性を示唆している。

処理結果の例を図2に示す。簡易五線譜の上側にある横線が抽出されたパターンで、同じ高さの横線は同一パターンを表す。

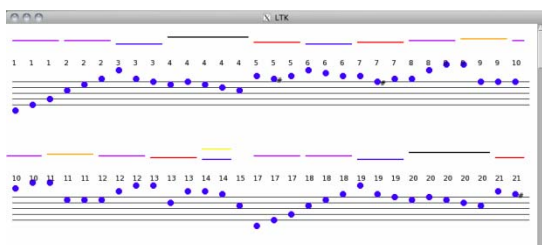


図2

#### (5) 変奏に用いられる音列パターンの分類と、それに基づく変奏の特徴抽出及び可視化 (研究協力者：山崎奈央子)

モーツァルトによるピアノ変奏曲において、変奏に用いられる音列パターンを手作業で抽出・分類した。網羅的な分類にはなっていないが、音高列・音価列について合わせて22個（下位カテゴリまで含めれば約40個）の音列パターンが得られた。パターンの例として、トリルやモルデント、順次進行、分散和音（アルペジオ）などがある。

また抽出された音列パターンを辞書として、曲データ中から抽出・表示するプログラムを作成した。図3はその一例で、「きらき

ら星変奏曲」の第12変奏の冒頭部分の表示結果を表す。最上段は小節番号、その下の色付きのボックスが照合した音列パターンを表す（上側は右手、下側が左手部分）。この例では左手の伴奏パートに定型的なパターンが出現しているのがわかる。



図3

プログラムによる識別結果を手作業による解析結果と比較すると50%強程度の一致率にとどまるが、これは識別単位を固定化していたためであり、楽曲データに対して動的に適応できるように改良すれば大幅な性能向上が見込まれる。

上記のほかに、現在、構造音抽出を行うプログラムの開発を進めているが（研究協力者：二本松由明子）、まだ初期段階であり、簡単な事例が扱える程度である。

以上のように、本研究では主題・変奏関係を記述する理論的枠組を定式化し、それによる解析システムの実現を進めた。しかしシステム作成についてはまだ研究途上であり、部分的なプログラム作成を実現できたにすぎない。これについては今後も研究を継続していく予定である。また学会などでの研究結果の公表についても、未発表部分について、順次発表していく。

したがって研究成果についてまだ十分に評価できる段階ではないが、コンピュータによる音楽の構造解析の研究は（他の関連分野に比べて）まだ事例が少なく、特に変奏曲を直接的に取り上げた事例は見られない。したがって音列パターンデータの分類・整備などを進めていけば、音楽分析研究などに資するところは大きいものと思われる。将来的には高度な音楽情報検索への応用などにも取り組みたい。

#### 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計2件）

- ① Yuzuru Hiraga, Yuri Shimozaeki,  
A Formal Framework for Representing and Classifying Theme-Variation Relationships, ICMP11 (11<sup>th</sup> International Conference on Music Perception and Cognition), Aug. 25, 2010, Univ. of Washington, USA, 2pp+poster.

- ② 平賀 譲、下寄 ゆり、楽曲の主題・変奏

関係の構造解析手法の研究、情報処理学会研究報告（音楽情報科学：MUS）、2010-MUS-85(5)、2010年5月27日、東北大学、6pp

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平賀 譲 (HIRAGA YUZURU)

筑波大学・図書館情報メディア系・教授

研究者番号：80165167

### (2) 研究協力者（所属は研究時点のもの）

下寄 ゆり (SHIMOZAKI YURI)

筑波大学・図書館情報メディア研究科

山崎 奈央子 (YAMAZAKI NAOKO)

筑波大学・情報メディア創成学類

二本松 由明子 (NIHONMATSU YUMEKO)

筑波大学・情報メディア創成学類