

## 楽曲の主題・変奏関係の構造解析手法の検討

平賀 讓<sup>†1</sup> 下 寄 ゆ り<sup>†1</sup>

変奏曲などに見られる主題と変奏の関係は多様で複雑である。本研究では変奏曲を対象として、そのような主題・変奏関係を楽曲構造間の対応関係としてとらえ、それを解析・抽出するシステムの実現を目指す。本報告では研究全体の構想と主題・変奏関係を記述する形式的枠組の概略について述べ、現在進行中の研究の現状について、簡単に報告する。

### Provisions for the Structural Analysis of Theme-Variation Relationships

YUZURU HIRAGA<sup>†1</sup> and YURI SHIMOZAKI<sup>†1</sup>

The relationship between theme and variation is widely varied and highly elaborate. This study aims at developing a structural analysis system of variation form music, based on the conception of theme-variation relationships as structural correspondence between component features and structures of the music. This report presents the overall plan of the research, outline of the formal framework for describing theme-variation relationships, and a brief account of the current state of work.

### 1. はじめに

タイトルに言う「主題・変奏関係」とは、主題と変奏との間にどのようなつながりがあるか、どういった共通性や相違があるかといった関係を指す。主題となる小曲やパッセージに対し、変奏は主題の性格や属性を保持しながらも、様々な変形を加えたり、新たな素材を加えたりして作成される。広い意味では、核となる素材を展開・発展させて形作られる（一般には大規模な）楽曲には、すべて主題・変奏関係が内在していると言える。例えばソナタ形式では第1・第2主題が展開されてゆくが、これらは部分的には主題に対する変奏とみなすことができる。また原曲となる旋律に対してアレンジを加えたりデフォルメしたりしたのも変奏の一種とみなせる。それらの意味では、主題・変奏関係は楽曲の基本的な構成原理の1つと言える。

このような一般的な意味での主題・変奏関係に対し、楽曲形式としての変奏曲では主題と変奏が形式の上で明確に提示され、それにより全曲が構成される。そこで本研究では、変奏曲に表れる主題・変奏の対応関係を対象として、それを自動解析するシステムの実現を目指す。本報告では研究全体の構想と主題・変奏関係を記述する形式的枠組の概略について述べ、現在進行中の研究の現状について、簡単に報告する。

### 2. 変奏曲

変奏曲とは、主題がまず示され、それに複数の変奏が続く形式の楽曲を言う。主題は完結したひとまとまりの小曲であるのが普通で、短いものは4-8小節程度（主としてバス主題）、長くても16-32小節程度でリート形式のものが多い。主題に使われるのは既存曲の場合もあれば、その変奏曲のために独自に作曲されたもの場合もある。変奏は順に「第1変奏、第2変奏」のように番号を付けて呼ばれるのが普通である。変奏の個数は、主題の長さにも依るので単純比較はできないが、少ない場合は4-6程度、大規模なものでは30を超える。

変奏曲は16世紀頃から楽曲形式として確立され、以後すべての時代・様式にわたって作曲されてきている。楽器編成も器楽・室内楽・管弦楽など、あらゆる場合にわたる。その意味で、極めて普遍的な楽曲形式である。単独の作品として作られる変奏曲も数多くあるほか、ソナタ・交響曲などの1つの楽章が変奏曲形式となっている場合も多い（例えばモーツァルトのピアノソナタ K.331 第1楽章、ベートーヴェンの交響曲第5番第2楽章など）。また曲中で部分的あるいは不完全に変奏形式になっているものもある。独立した変奏曲の場合、主題や各変奏のそれぞれは独立した小曲として扱われ、全体が組曲のような構成になっ

<sup>†1</sup> 筑波大学図書館情報メディア研究科

Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba

ているのが普通である。一方、楽章などに用いられる変奏曲形式では、経過部分なども挟んで連続して演奏され、全体が切れ目のない曲となっていることが多い。前者は「区分的変奏曲」、後者は「連続的変奏曲」と呼ばれる<sup>1)</sup>。区分的変奏曲では主題は16-32小節と長めでまとまった楽曲形式をもっており、各変奏も同小節数で、楽曲形式も保存されることが多い。逆に連続的変奏曲では、主題は比較的短いものであることが多い。

普遍的な楽曲形式であるというのは同時にまた、一口に変奏曲と言ってもその構成や形式、変奏の技法や度合などが極めて多岐にわたり、一様ではないということでもある。実際、主題の和声や構造的長短を比較的忠実に保存するものから、全くの自由な変奏まで様々であり、時代が下るほど自由度が増す傾向がある。作曲家にとっては、主題が与えられているという制約がある分、様々な技巧を駆使して自分の作曲技量を発揮する場となる。一方、聞き手の側では各変奏を単に独立した曲としての聴くのではなく、主題との関係を聴き取ることが期待されているし、極端な自由変奏などでなければ実際に聴き取れる。さらに高度な聴取あるいは楽曲分析の立場においては、作曲家が盛り込んだ構造や、そこで意図された表現・効果を抽出し、理解することが目標となる。

### 3. 研究の枠組

本研究の目的は、変奏曲における主題・変奏間の構造的対応関係を記述するための形式的枠組を定式化し、それをを用いて実際の変奏曲を解析し、さらに分類・整理することである。ここで「構造的対応関係」とは、単純化して言えば、主題・変奏のそれぞれを、階層的関係を含む構文的構造としてとらえ、それらの間の対応関係を考えることを指す。

主題と変奏との間に「類似している」という関係があるのは明らかだろう。しかしこの場合の類似性は、音楽情報検索における類似旋律の照合などとはかなり性格が異なっている。旋律検索における類似性照合は、音列の表層的な特徴を重ね合わせて一致度を見る方法が普通であり、旋律検索の目的にはこれで十分機能する。これに対し、変奏は主題を一貫した意図・目的のもとで、場合によっては大幅な変形を加えたものであり、両者は見かけの上ではかなり異なることが多い。

これを平田他<sup>2)</sup>にも取り上げられている簡単な変奏の例で見よう(図1)。図の2段の五線譜のうち、下段が主題、上段はそれに対する変奏である。和声音上を動くだけの単純な主題に対し、変奏はそれに順次進行形の装飾を加えたもので、主題中の音もほぼ同じ位置に含まれている。実際に聴き比べれば両者が似ていることは明らかだが、表層的には、



図1 ベートーヴェン：交響曲第6番第5楽章より。下段が主題、上段はそれに対する変奏。

音符数だけとってみても大きく異なっている。したがって両者の類似を見るには、装飾的な非和声音を除いて、骨格となる構造音レベルで比較するなどの方法をとる必要がある。さらに変奏の解析としては、主題との類似性・共通性を抽出するだけでなく、どのような変形が加えられたかの抽出・分析も必要である。

一方、類似旋律検索では照合の対象となる旋律の範囲には限定がない。そのため、類似性判定の基準が緩やかだと、多量のノイズが生じることになる。これに対し、主題・変奏では関係があること自体は最初から与えられている。したがって目的は、関係があるかないか自体を見出すことではなく、どのような、またどの程度の関係があるかを見出すことが主眼となる。要するに、「そもそも似ているかどうか」の判断と、「どこがどう似ているか」の判断の違いである。いわゆる自由変奏では、主題・変奏が「曲想の一致」といった抽象的・主観的レベルでのつながりしか持たない場合もある。その場合、(構文的)構造上の対応関係は、あるとしても弱いものであり、冒頭で述べた目的にはそぐわない。

裏返して言えば、本研究で対象となるのは、構造的対応関係が顕著な変奏曲である。さらに当初の段階では、各変奏が主題と同じ小節数を持ち、したがって楽曲形式も主題と同じである変奏曲を対象とする。これを以下では「定型変奏曲」と呼ぶ。これは前章では区分的変奏曲の属性として述べたものだが、一般に区分的であっても定型的とは限らず、連続的変奏曲でも定型的なものも多いため、ここでは用語を区別しておく。定型的であっても、終曲にコーダがついたり間に経過部が入ったりすることにより、小節数の増減がある場合がある。

このような研究を進めるにあたってまず重要なのは、実際の変奏曲を調べ、そこでどのような変奏が行われているか、その結果どのような対応関係があるかを分析し、さらには整理・分類することである。当然ながら、このような楽曲分析の研究は、音楽学において膨大な蓄積がある。普通に知られている変奏曲であれば、何らかの分析・研究が必ず行われていると見て差し支えない。本研究で扱うような分析も、それら既存研究とオーバーラップす

るところは多いだろうし、参考にすべき点も多々あるだろう。

しかし反面、本研究が目指すのはコンピュータにより変奏曲の分析を行うことであり、そのために（コンピュータ上で扱えるような）形式化された表現形式で楽曲や解析結果を扱う必要がある。経験的に言って、既存の音楽学的研究は、そのようなコンピュータ利用の目的には、少なくともそのままの形では利用できないことが多い。これは1つには、記述が抽象度の高いレベルでなされ、専門家の判断や直観に委ねられるからであり、その裏返しとして、低レベルの概念は十分な理論化・形式化が行われないからである。そのため、読んでいて納得できても、そのままではコンピュータ上に実装はできない。むしろその間隙を埋めることがプログラマの仕事となる。したがってたとえ結果として同じ結論に達するとしても、情報科学的見地から独自の分析・定式化を行うことは必要でもあるし意義もある。これは平田他2)で論じられている「計算的音楽理論」の立場と符合している。

#### 4. 主題・変奏関係

本章では主題・変奏関係をどのような形式的・理論的枠組で考えていくかの概要を述べる。

##### 4.1 変奏原理

主題・変奏に限らず、一般に楽曲は様々な音楽的要素・属性を複合したものである。ここで言う音楽的要素・属性とは、次のようなものを含む（簡単のため、ピアノ曲を対象として考える）。

- 調、拍子、テンポなどの大域的な枠構造
- 右手パート、左手パート、パートの音域
- 主旋律部、伴奏（旋律）部（一般に主旋律は右手、伴奏は左手の担当だが、そうでない場合もあるので上とは別物）
- 楽式（規範的な楽曲形式）
- 和音・和声進行
- リズム・拍節構造
- 音型などの旋律進行パターン
- グルーピング
- 階層的な構造・パターン

これで網羅的というわけでも、これらすべてが明確に定義されているわけでもないが、簡単な曲であっても様々な側面を持っており、それらが変奏にあたって操作しうる対象となるわ

けである。

このとき、変奏とは主題の要素・属性のうち、あるものは不変に保ち、他のものには変化・変形を加えて得られるものとして考える。これをここでの用語として「変奏原理」と呼ぶことにする。

この不変に保たれる要素の存在が、主題のアイデンティティを保持し、変奏との関係を作り出す核となる。一般に主題と変奏とは表層的にはかなり異なるから、この不変要素には、抽象度の高いレベルでの表現の場合も含めての話となる。例えば CDE という音列を3度高い EFG という音列に変形した場合、音高レベルではすべてが変わるし、音程も「全音・全音」から「半音・全音」に変わっている。この場合には、全音階上での「2度・2度」という進行が、不変に保たれる要素となる。

その一方で、不変に保たれない、つまり変形を受ける要素の存在も不可欠である。すべての要素が不変、つまり完全一致なら変奏にならないからである。どのような要素がどのような変形を受けるかも、不変要素と合わせて、変奏を特徴づける要因となる。これらの変形は一般に写像としてとらえることができる。たとえば上の CDE→EFG の場合、「（全音階上で）3度（2ステップ）上げる」という写像の適用にあたる。このように適用対象（である音列）から写像として分離することにより、異なる対象への適用を統一的に扱うことができるとともに、写像そのものの合成や変換を考えていくことができる。ただし、実際の変奏においては、数学的な意味できれいなあるいは簡単な写像だけで記述できるとは限らない。

前述のように「変奏曲」という文脈のもとでの対応のため、主題と変奏とは（旋律検索における類似度の意味では）かなりの違いがあることも多い。定型変奏曲では、定義により小節数、というよりその背景としての楽曲形式が不変に保たれる。また古典派（18C 末）の変奏曲では和声進行も一般に保存される。もちろんこれだけでは不変要素としては弱すぎ（同じ形式の楽曲は主題以外にいくらでもある）、主題固有の要素が共有される（不変である）ことが求められる。

これは調・拍子・テンポなどの枠構造にしても同様である。それぞれか、これらは一般に（古典派あるいはそれ以前の変奏曲であっても）必ずしも保存されない。例えばモーツァルトの「きらきら星変奏曲」（K.300e、ハ長調、12 変奏）は、大部分は（主題も含めて）2/4 拍子、ハ長調だが、第 8 変奏は短調（同主調のハ短調）、第 11 変奏には Adagio（ゆっくりと）、第 12 変奏には Allegro（速く）の速度指定があり、また第 12 変奏は 3/4 拍子である。他の変奏曲でも、変奏によって調（というより長短の旋法）、拍子、テンポが



図 2 モーツァルト：きらきら星変奏曲 K.300e 主題（上段）・第 1 変奏（下段）

違うものが含まれるほうがむしろ普通である。

これは分析する立場から言えば、定型の変奏曲といえども単純に小節単位の照合をとればいいというわけではなく、拍子や調の違いを抽象化した上で、さらに後述のような楽曲内構造も考慮した分析が必要であることを意味している。

#### 4.2 修飾による変形

変形のうちで一番基本的なのは、主題が単純な形でそれに装飾的な要素が付加される、つまり主題の要素が修飾される場合である。この場合、主題の要素は変奏に埋め込まれる形で保存され、逆に変奏を「簡約」することにより、主題の要素を抽出できる。つまり主題、変奏（の要素列）をそれぞれ  $t$ ,  $v$ 、修飾の写像を  $f$  とすると  $v = f(t)$  であり、簡約はその逆写像  $t = f^{-1}(v)$  に相当する。

図 1 の例もそのようなケースにあたるが、ここではモーツァルトの「きらきら星変奏曲」を例にとる（図 2）。上段は主題、下段は第 1 変奏の、それぞれ冒頭 8 小節である。主題は極めて単純で、特に右手の主旋律は小節内で同音の繰り返しである。これに対し、第 1 変奏でまず、右手は主旋律、左手は伴奏に対応し、主題と同じである。左手の前半 1-4 小節は主題と同一であり、後半はリズム変形が行われている。

右手のほうは、主題の同音反復を修飾する変形になっている。このうち第 1, 2 小節は同型の修飾で、さらにターンと転回トリルの複合という、装飾音のイディオムに含まれる形である。同様に第 4, 5, 6 小節も同型の修飾で、間に跳躍上行を挟んだ下降音型になっている。



図 3 モーツァルト：ピアノソナタイ長調 K.331 第 1 楽章 主題（上段）・第 1 変奏（下段）

したがって 1, 2 小節及び 4, 5, 6 小節はそれぞれ、（小節単位の）同一の変形写像により表わせる。これは対応関係の記述をコンパクトにするとともに、後で述べるように、小節間の関連性を指し示してもいる。なお第 3 小節は経過的な変形、第 7 小節は分散和音への変形にあたるが、ここでは立ち入らない。

#### 4.3 一般の変形

上記の修飾による変形は、主題が簡単な形をしているなどの場合に限られる。主題のほうも一定の複雑さがある場合、単に各音を修飾するのではなく、主題からなんらかの要素（部分音列、音長などの属性列）を抽出し、それに対して変形を加えるのが変奏の普通の形態である。この場合、主題の  $t$  から変奏の  $v$  への直接の変形が行われるのではなく、それらを  $f^{-1}(t) = p$ ,  $g^{-1}(v) = p$  のように簡約や抽出された共通の  $p$  を経由して、 $g(f^{-1}(t)) = v$  という変形が行われると考えることができる。

すでに図 2 の例でも、主題右手の同音反復（4 分音符）は、それぞれが単独で修飾されるというよりは、2 分音符に連結されたものが修飾されるとしたほうが考えやすい面もあるし、第 7 小節では（逸音である）E 音が除かれた D 音が分散和音に変形されている。また左手第 5, 6 小節は、時間長を考えない音高列 DB-CA としては一致し、リズムについての変形が生じている（第 4 小節はもう少し複雑である）。



さらにモーツァルトのピアノソナタ K.331 (図 3) の例をみると、主題 (上段) 右手の音型は、第 1 変奏 (下 2 段) にそのままの形では現れない。しかし簡約した音列 (第 1, 2 小節では C♯E, BD) の上では対応をとることができる。その上で、変奏では 1, 2, 3 小節が (ほぼ) 同じ変形 (リズムパターンは同じ) を受けていることが見て取れる。なお 1~3 小節の左手のほうは、(右手の音型との関係もあるが) むしろ変奏のほうが主題の簡約形になっている。

このような (今の場合、共通の) 簡約形の抽出については、GTTM<sup>3)</sup> の実装を目指した浜中他<sup>4)</sup> があり、またこれとは違う観点から、Selfridge-Field が「原型旋律」の導出について検討している<sup>5)</sup>。それらでも論じられているように、単独の旋律に対して人間の専門家が想定するような簡約音列を形式的手法で導出するのは簡単ではない。これに対し、本研究の立場では主題・変奏は別々に解析される対象ではなく、両者に共通する関係があることは所与の前提として扱える。そのため、両者の解析結果から関係性を抽出するというだけでなく、逆に見出された関係をそれぞれの解析に反映させることも可能となる。その意味で主題・変奏関係は、主題から変奏に対する一方向的なものではなく、もっと対等な、双方向的なものと言える。むしろ主題では顕在化していなかった隠れた性質が、変奏では拡大・強調されて示される場合も多い。

例えば図 3 の第 1 変奏の右手 2, 3 小節冒頭に表れる EB, DA という下降音列は、本曲についての 2 つの解釈のうち、(主題の 1, 2 小節の最終音が次小節にグループ化されるといふ) ペータース版の解釈を顕在化させたものになっているのは興味深い。

#### 4.4 曲の内部構造

主題・変奏関係を考えるには、両者の間の対応関係でなく、それぞれがまとまった曲としてもつ内部構造も考慮する必要がある。

例えば図 2 の「きらきら星変奏曲」第 1 変奏で、右手 4-6 小節は同じ音型パターンとなっていた。これは 4 小節単位の楽節の境界を跨っており、旋律型がその境界を超えたグルーピングを持つことを示唆している (第 3, 12 変奏にも同様のまとまりが見られる)。このようなグルーピングは、主題の単純な音列では明確ではないし、通常のフレーズは楽節境界に従ったものである。したがってこれは変奏独自の構造的特徴である。

一方、図 3 のピアノソナタの主題では、1-2 小節と 3-4 小節は同じであり、対応して前半・後半各 4 小節の楽節同士も類似している (AA' という関係がある)。このような関係が、一般にそのまま変奏でも保存されるとは限らない。実際、第 1 変奏では前半 4 小節と後半 4 小節では性格が全く異なる変奏が付されている。つまり主題では存在していなかった強い対

比が、変奏のほうでは示されている (同様の対比は第 2, 6 変奏にも見られる)。この対比は、変奏自身の構造的特徴ではあるが、対応する主題においては類似した楽節の反復である分、際立ったものとなる。これらのように、主題を介して顕在化する変奏の特徴も、主題・変奏関係のうちに含めて考えるべきだろう。

#### 4.5 記述の粒度と例外処理

上述のように、本研究では要素間の不変性と、写像による変形の表現によって主題・変奏関係を表す枠組をとっている。このような記号処理的アプローチにとって問題となるのは、現実の楽曲を対象にした場合、きれいな形式的枠組に収まらない「例外的」ケースの扱いをどうするかである。「例外」とは言っても、和声や進行の自然さなど、しかるべき理由がある場合が多い。そういった理由まで特定しうるかは別として、例外は例外として識別し、大枠の対応関係を同定できることが望ましい。その 1 つの方法は、表現対象の大きさ (要素数) や詳細度を様々に変えた複数の表現を用いることである。

例として、図 3 の第 1 変奏、1, 2, 3 小節の右手を考える。この 3 小節は、16 分音符の間に休符があるリズムパターンは同一であり、その点では (弱い) 対応がある。また 3 音の組 (第 1 小節では C♯BC♯ と EF♯E) はすべて、上行あるいは下行モルデントであり、その点でも共通性がある。ただし最後の BAB は下行モルデントであり、1, 2 小節の上行モルデントとは異なっている。2 音の組は、2, 3 小節の先頭は 4 度下行、他は半音上行である。4 度下行については、前述のように前小節の最終音とのつながりに依っているだろう (これを半音上行に置き換えたものと比較してみるとよい)。

このように異なる粒度やレベルでの比較により、対応関係を詳細に絞り込める。その粒度やレベルに応じて数値を割り当てれば、数値的比較に使うこともできる。

現実問題として扱いが厄介なのは、主題とは直接の関係が薄い対旋律などがある場合である。図 4 はモーツァルトのクラリネット 5 重奏曲中の第 1 変奏で、左手の 1, 2 小節は主題の主旋律にあたる。これに対し、右手の旋律は、主題にはない素材による対旋律である。したがって主題とは無関係と解析するのが正しいだろうが、そのような判定を機械的に行うのは難しい。



図 4 モーツァルト：クラリネット 5 重奏曲イ長調第 4 楽章（ピアノ編曲版）第 1 変奏

## 5. 研究の現状と今後の課題

前章で述べた枠組にしたがって、現在モーツァルトのピアノ変奏曲を中心に、手作業による分析と、変奏の特徴の抽出・分類を進めている。これについては別途報告の予定である。

実際に主題・関係の解析システムを構築する上では、和声解析、音列照合を始めとして、様々な要素システムを実装し、統合する必要がある。そのようなシステム実現の一環として、音列パターン抽出・照合システムを試作した。図 5 に、「きらきら星変奏曲」第 1 変奏（図 2）に対する処理結果のスナップショットを示す。青い玉は五線譜上の音符を表し、それぞれの上にある色つきの線は、照合したパターンに対して同一の色の線が引かれる。照合するパターンの長さは可変に設定でき、図 5 に示したのは長さを 1 小節（= 16 分音符 8 個）に設定した場合である。図 2 の楽譜について述べたパターンが正しく抽出されていることが見てとれる。

今後の作業として、実際の楽曲分析の結果を踏まえて、4 章で概略を記した主題・変奏関係を記述する形式的枠組の詳細設計を進める。それに基づき、解析システムの設計と実装を行っていく予定である。このようなシステムの構築は、システム自身がどこまで高度な機能を実現できるかは別としても、人間による楽曲分析の補助、解析結果を集積した変奏曲データベースの作成、高度な音楽情報検索への応用などが期待できる。

## 6. 謝 辞

本研究は、その一部に科学研究費補助金（平成 21～23 年度基盤研究 (C): 研究課題番号 2150092 「楽曲の主題-変奏関係を分析する手法の研究と解析システムの構築」）による補助を受けている。

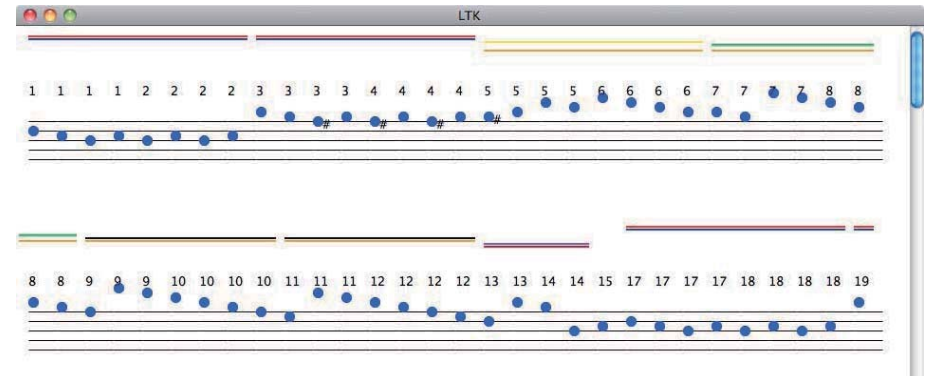


図 5 音列パターン抽出の実行結果（一部）

## 参 考 文 献

- 1) 新音楽事典（楽語編）：「変奏曲」の項、音楽之友社、pp.529-530 (1977).
- 2) 平田圭二、東条敏、浜中雅俊、平賀讓：計算論的音楽理論について。情報処理、vol.49, no.7, pp.824-830 (2008).
- 3) F. Lerdahl & R. Jackendoff: *A Generative Theory of Tonal Music*, MIT Press (1983).
- 4) M. Hamanaka, K. Hirata, S. Tojo: "Implementing 'A Generative Theory of Tonal Music'", *Journal of New Music Research*, vol. 35, no.4, pp.240-277 (2006).
- 5) E. Selfridge-Field, "Conceptual and Representational Issues in Melodic Comparison", in W. B. Hewlett & E. Selfridge-Field (Eds.): *Melodic Similarity — Concepts, Procedures, and Applications* (Computing in Musicology 11), MIT Press, pp.3-64 (1998).