

変奏様式に着目した変奏曲の可視化システムの構築

村岡 遼太^{1,a)} 藤代 一成^{1,b)}

概要: 変奏曲とは、主題とよばれる素材を示して、その後主題を変化させた変奏を複数並べていくクラシック音楽の形式の一つである。変奏は主題の各要素に対して行われるが、変奏様式によって主題がどのように変化しているかを判別するには音楽理論の知識が不可欠である。そこで本研究では、音楽知識をもたないユーザにも、変奏様式による主題の変化をわかりやすく提示することを目的として、変奏曲の構造を可視化する手法を提案する。入力にはMIDI(Musical Instrument Digital Interface)データを用いて、変奏曲を3次元空間内に可視化し、構造をより理解しやすくするための対話的機能を提供するシステムを開発した。そこでは、各変奏様式と3次元空間内のオブジェクトを対応付ける独自のマッピングを用いている。さらに独自のマッピングに関するユーザテストを行い、提案したマッピングの有効性が示された。

キーワード: 音楽可視化, 変奏曲, MIDI

Implementation of Visualization System of Variations Focusing on Variation Forms

Abstract: Variation is a form of classical music, which consists of a simple material, called theme, followed by varied themes in terms of harmony, melody, and rhythm. However, knowledge of musical theory is required to understand how the theme is varied. In this article, we propose a new method for visualizing the structure of variation. It aims to show the users which variation forms are used to vary the original theme. We have developed a system which uses the method to visualize a MIDI-encoded performance of a variation in a 3D space, where a set of mappings are devised to associate each variation form with parameters of the rendered objects. The system also provides information seeking functions so that the users comprehend the structure of the variation interactively. A simple user test has been carried out to ensure the effectiveness of the proposed mappings.

Keywords: music visualization, variation, MIDI

1. 背景と目的

音楽はひじょうに抽象的なものであり、人により印象が変わるため、人により得られる情報には差がある。楽譜などから視覚的に受け取れる情報もあるが、そこから正確に速く情報を読み取るには多くの知識と経験が必要であるため、これも得られる情報は人によって変わってしまう。

音楽可視化は、本来目に見えない音に形状や色をマッピングして画像を生成することにより、音楽の特徴や構造をより把握しやすくし、これらの問題を解決することを主な

目的としている。本研究では、変奏曲というクラシック音楽の形式のひとつに着目する。変奏曲とは簡単な旋律(主題)とそれを様々に変化させたもの(変奏)からなる楽曲である[1]。バロック時代から現代に至るまでの数多くの作曲家によってさまざまな変奏曲が作曲されており、独立した変奏曲以外にも大規模な作品の中で一つの楽章として変奏曲の形式がとられることもある。さらに変奏曲以外の楽曲形式でも、ある素材をもとに楽曲を発展させていくといった手法はよく用いられ、クラシック音楽において変奏は重要な概念であるといえる。しかし、主題がどのように変奏されているかを把握するには、音楽経験や音楽理論の知識が必要であり、初心者には困難である。我々は過去に変奏曲を、各変奏様式とオブジェクトの形状や色を制御す

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University
a) muraoka@fj.ics.keio.ac.jp
b) fuji@ics.keio.ac.jp

るパラメタを対応付ける独自のマッピングを用いて、3次元空間にオブジェクトを配置することで可視化する手法を提案した [2]。本稿ではより変奏曲の構造を理解しやすくするために機能を拡張したシステムを提案する。さらにマッピングに関してのユーザテストを行い、提案手法の有効性を示す。

本稿の構成は以下のとおりである。次節で関連研究を紹介する。第3節では採用した変奏様式について説明する。第4節では提案手法を概説し、第5節で可視化結果とユーザテストの結果を示し、これらに関する考察を記す。第6節で本稿をまとめ、今後の課題に言及する。

2. 関連研究

一つの楽曲を可視化する手法は様々提案されており、ある音楽要素に着目して可視化しているものが多い。

Hayashi ら [3] は、音楽構造の分析によりパートの役割に関する情報を得て、それをもとに楽曲を役割に着目して可視化するシステムを提案している。提案手法では MIDI データを入力とし、まず対象データの各パートをブロックに分割し、役割判定のためにあらかじめ与えたパターンとマッチングすることによりすべてのブロックの役割を判定し、その結果に基づき楽曲を可視化する。また、重要な部分を強調し、一画面で表示する部分を減らす縦方向の圧縮表示と、大きな変化のない小節をまとめて描く横方向の圧縮表示も実装されている。

Bergstrom ら [4] は楽曲の和音の構造、進行を Tonnetz とよばれる空間を用いて可視化するシステムを提案している。Tonnetz とは 2 次元平面に同じサイズの三角形を敷き詰めた座標系であり、各頂点が音名を表す。この空間で和音は構成音の頂点を結んだ図形で表される。このとき、図形の形によって和音の種類がわかるようになっている（上向きの三角形なら長 3 和音を表すなど）。また、提案システムでは和音の進行をアニメーションで表示することでどのように進行しているかをわかりやすく提示している。

Wattenberg [5] は文字列中の複雑な反復パターンを半透明の弧で結ぶ可視化手法を提案し、これを MIDI データの反復パターンを分析して可視化するシステムに応用している。Chan ら [6] は ArcDiagram [5] を用いて、主題—変奏関係に着目したオーケストラ楽曲を可視化する手法を提案している。どのような変奏かをグリフで表し、縦軸がパート、横軸が時間を表す平面にグリフを配置することにより、どのパートがいつどのような変奏を受け持っているかをわかりやすく提示している。また同じグリフを弧で結ぶことにより、楽曲の反復構造も提示できるようになっている。

反復や和音に着目した楽曲構造の可視化は多く提案されているが、変奏に着目した可視化は少ない。Chan ら [6] はオーケストラ楽曲の主題—変奏関係に着目した可視化手法を提案しているが、個々の音にまでは着目していない。例

えば、元の主題よりも音価が長くなることでリズムが変化した変奏があることはわかるが、主題のどの部分がどの程度長くなったかといったことは可視化結果からは読み取れない。そこで、本稿では同じ変奏様式でもどのように音を用いて変奏がされているかを提示できるようなシステムを提案する。

3. 変奏様式

文献 [1] を参考に、本手法では以下の 8 種類を変奏様式として採用した。既発表の変奏曲のうち、装飾変奏曲のほとんどはこれらの変奏様式で説明することができる。ここでは W. A. モーツァルト作曲「きらきら星変奏曲」(K. 265) を例にそれぞれの変奏様式を譜例を用いて順に説明する。

- リズム変化による変奏

図 1 のようにリズムを変化させる。

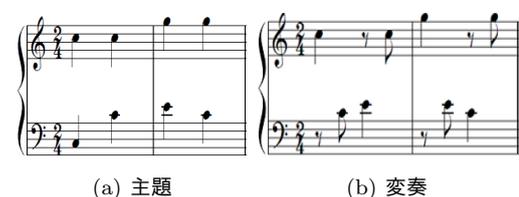


図 1 リズム変化による変奏の例。音価が短くなっている。

- 分散和音による変奏

旋律、伴奏を分散和音を用いて変化させる (図 2)。

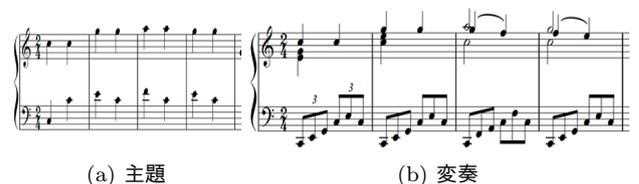


図 2 分散和音による変奏の例。伴奏が 1, 2, 4 小節目が主和音, 3 小節目が下屬和音の分散和音になっている。

- 非和声音による変奏

非和声音を用いて旋律や伴奏を装飾する (図 3)。



図 3 非和声音による変奏の例。ここでは旋律が主に刺繍音を用いて装飾されている。

- 和声変化による変奏。

図 4 のように和音を変化させる。



図 4 和声変化による変奏。旋律に変化はないが、内声と伴奏の音が変化することにより 1, 2 小節目の 1 拍目の和音が変わっている。

● 転調による変奏

図 5 のように調を変化させる変奏であり、近親調に転調することが多い。

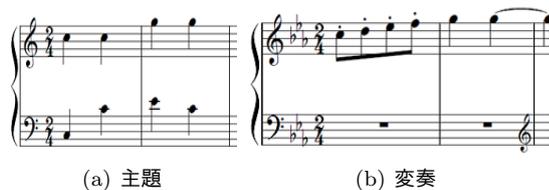


図 5 転調による変奏。この例ではハ長調から同主調のハ短調に転調している。

● 対位法的な変奏

旋律を対位法的に重ねていく変奏である (図 6)。

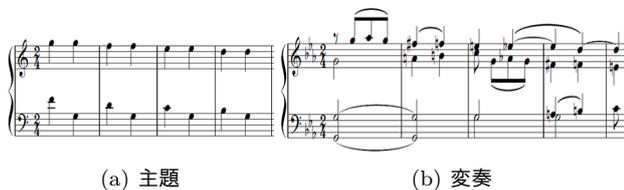


図 6 対位法的な変奏。複数の旋律が重なり合っただけの変奏がなされている。

● 拍子変化による変奏

図 7 のように拍子を変化させる変奏である。



図 7 拍子変化による変奏。2/4 拍子から 3/4 拍子に変化している。

● 伴奏と旋律の交代による変奏

伴奏は旋律より音域が低いことが普通であるが、この変奏では図 8 のように伴奏と旋律が入れ替わる。

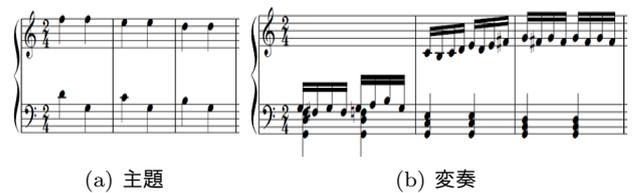


図 8 伴奏と旋律の交代による変奏の例。左手和音の最高音が旋律であり、伴奏より音域が低くなっている。

4. 提案手法

4.1 可視化対象

提案手法では、以下の 3 点を満たすデータを可視化対象とする。

● MIDI (Musical Instrument Digital Interface)

入力は音声データも考えられるが、MIDI データの場合、MIDI メッセージが音楽演奏情報に直結しているため、音声データよりも楽曲の解析がしやすいと考えられることから、MIDI データを可視化対象として採用する。

● ピアノ独奏曲

変奏曲にはさまざまな楽器編成のものがあるが、ピアノのみの変奏曲は数多く作曲されており、また楽器編成も 1 つだけで解析を簡潔にすることができるため、可視化対象として採用する。

● 装飾変奏曲

変奏曲は装飾変奏曲と性格変奏曲に大別することができる。装飾変奏曲は、主題を装飾して変奏をしていくものであり、主題と変奏は小節毎に対応していることがほとんどで、変奏を聴いても元の主題が比較的判別しやすい。性格変奏曲は、主題の特定の要素に基づき様々な楽想を展開していくものである。そのため、変奏を聴いて元の主題を判別することは難しく解析も困難なため、装飾変奏曲を可視化対象として採用する。

4.2 空間基盤

先行研究で開発した comp-i システム [7] を参考に、3次元空間に MIDI のイベントを幾何学的に配置する。具体的には、 x 軸に時間、 y 軸に音程をそれぞれマッピングし、 z 軸方向に各変奏を並べる。単音はノートオンからノートオフまで円柱で表し、円柱の太さは音の強さに対応する。

4.3 マッピング

円柱の色は調を表し、デフォルトでは [8] を参考に、近

親調との関係を表すため色相を図9のように設定し、短調であればより暗く表示するようにした。また、小節線は緑の縦線で表す。以下、3節で示した各変奏様式に対応するマッピングを順に示す。



図9 調に対する色のマッピング。近親調との関係を表すよう五度圏と色相環を対応付けている。

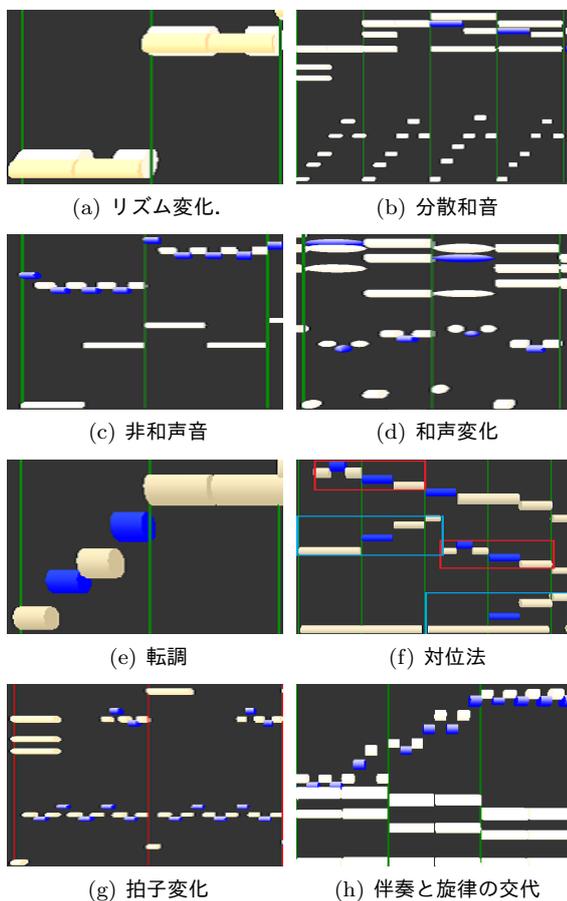


図10 各変奏様式に対するマッピング。

- リズム変化による変奏
 図10(a)のように、元の主題と重ねて表示する。主題は変奏と区別するため彩度を上げる。
- 分散和音による変奏
 同じ和音の構成音は同色で表示する。図10(b)は、伴奏部が分散和音になり変奏がされている例である。

- 非和声音による変奏
 非和声音は和音構成音の色の補色で表示する。ハ長調の場合、非和声音は青で表示する。図10(c)は旋律部が非和声音により変奏がされている例である。
- 和声変化による変奏
 円柱オブジェクトを、楕円体オブジェクトに変化させる。図10(d)では1, 2小節目の1拍目が和声変化している。
- 転調による変奏
 調により円柱の色を変化させる。図10(e)ではハ短調への転調により、円柱が暗く表示されている。
- 対位法的な変奏
 対応する旋律を同色の線で囲う(図10(f))。
- 拍子変化による変奏
 図10(g)のように小節線の色を変化させる。通常は緑色で表示し、拍子変化のあるときは赤色で表示する。
- 伴奏部と旋律部の交代による変奏
 旋律が低音部に移動したと定義し、移動した旋律の円柱オブジェクトを直方体に変化させる。図10(h)では左手和音の最高音が直方体に変化している。

4.4 システムの対話的機能

本システムでは、ユーザが変奏曲の構造をより理解しやすくするため、再生と情報探索の対話的機能を提供する。

4.4.1 再生

曲を再生すると図11のようにスキャン面を表示し、現在の再生箇所を示す。これにより視覚、聴覚の両面から変奏曲を理解することが可能になると考えられる。また、再生方法には任意の場所から再生する機能を提供する。

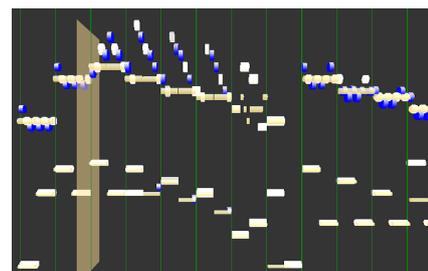


図11 再生機能の画面例。

4.4.2 情報探索

Shneidermanの提唱する *Visual Information Seeking Mantra*[9] をもとに情報探索の機能を提供する。

- Overview, Zoom : 楽曲全体を把握するため、空間全体をとらえる位置に視点を設定したり、注目対象の詳細を調べるために視点を近づけることができる。
- Filter : 必要な情報を抽出するため、各変奏ごとに表示・非表示を切り替えることができる。また、ユーザは各変奏を並べ替えることができ、比較したい変奏を

近くに並べることで比較がしやすくなる。

- Details-on-Demand : ユーザの要求に応じて小節線, y 軸の音程を表すスケールの表示できる。また, これらはユーザの指定した変奏のレイヤにのみに表示することができる。

5. 結果と考察

5.1 可視化結果

開発環境として PC (OS : Windows 7, CPU : Intel Core i7, 1.33GHz, RAM : 4.00GB), プログラミング環境は Embarcadero RAD Studio XE4 を, 言語は Delphi を用いた。

図 12 は W. A. モーツァルト作曲の「きらきら星変奏曲」(K. 265) の第 1,2,6,8,12 変奏を可視化した結果である。楽譜では多くのページを分析しなければ構造はわからないが, この結果からは以下の特徴が一目でわかる。

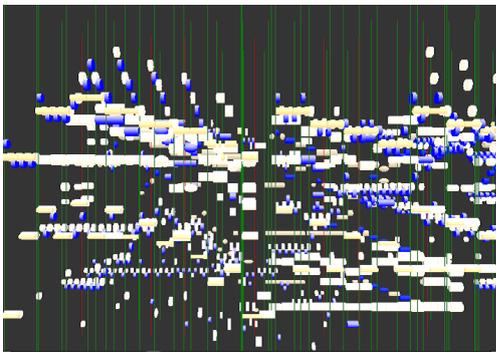


図 12 きらきら星変奏曲の第 1,2,6,8,12 変奏の可視化結果。左から第 1,2,6,8,12 変奏の順に並んでいる。

- 非和声音, 和声音, 非和声音, …というパッセージが変奏曲全体で用いられている
- 短調に転調しているものと, 拍子に変化している変奏が含まれている

図 13 は 4.4.2 項で示した情報探索機能の使用例である。以下では各機能により, 結果から読み取れる特徴を挙げる。なお, 結果をよりわかりやすくするため, 図 13(c) 以外でも Filter 機能で第 1 変奏のみを表示させた後に各機能を適用している。

- Overview

図 13(a) は第 1 変奏全体が見えるように視点を移動した例である。これより, 以下のことがわかる。

- 旋律は非和声音を用いた装飾が主であり, 伴奏に変化はあまりない
- 曲の 1~8 小節目と 17~ 24 小節目がほぼ同じである
- 9~16 小節目は音は違うが, 1~8 小節目と同じような音型が用いられている

- Zoom

図 13(b) は第 1 変奏 12~16 小節目の詳細が見えるよう視点を近づけた例である。これより, 13~15 小節目の各小節内の前半 4 つの音は 1~2 小節目で用いられた音型と, 後半 4 つの音は 4~6 小節目で用いられた音型と類似していることがわかる。

- Filter

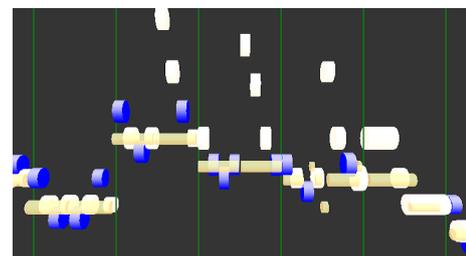
図 13(c) は Filter 機能で第 1, 2 変奏を表示させた結果である。変奏並べることで各変奏の比較がしやすくなる。この結果から, 第 1 変奏の 1~2 小節の旋律で用いられた音型が, 第 2 変奏では伴奏に用いられていることがわかる。

- Detail-on-Demand

図 13(d) は音程スケールを表示した例である。現在はドのみに目盛を表示しているが, 今後ユーザの設定により目盛を変更できるようにする予定である。



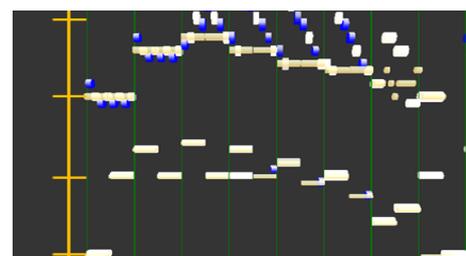
(a) 概観表示の例



(b) 詳細表示の例



(c) Filter 機能の例



(d) 音程スケールの表示例

図 13 情報探索機能の使用例。

5.2 考察

可視化結果をもとに、本システムの有効性を検討する。図12のように変奏曲全体を可視化すると、拍子変化の変奏があるなど変奏曲の大局的な構造は読み取りやすいが、クラッタリングを起こしている。そのため、特に奥のほうに配置されている変奏に関して、個々の音に着目して情報を読み取ることは困難であるが、この問題はFilter機能で各変奏を個別に表示することにより回避できる。

5.3 ユーザテスト

音楽は聴くが演奏などの経験がない10人に変奏様式の説明をしたあとに、各変奏様式を表す画像をそれぞれ1枚ずつ提示し、変奏様式と対応付けるテストを行ったところ、正答率は平均で60%であり、各変奏様式の正答率は表1のようになった。最も低い正答率のマッピングは分散和音と和声変化であるが、これら2つのマッピングを入れ替えて答えた被験者が多く、区別のできるマッピングに改良する必要があると考えられる。他のマッピングは比較的高い正答率であり有効性が示されたと言える。しかし、現段階では被験者の人数が少なく、より多くの人数でユーザテストを行う必要がある。

表1 ユーザテストの結果

変奏様式	正答率 (単位: %)
リズム	90
分散和音	50
非和声音	70
和声変化	50
転調	90
対位法	90
拍子	100
交代	60

6. まとめと今後の課題

本稿では、変奏様式と3次元空間内のオブジェクトの各パラメタとを対応付けた独自のマッピングを用いて、どの変奏がどのような変奏様式により作曲されているかということに着目して変奏曲を可視化する手法を提案した。

今後の課題として、まずより多くの楽曲形式の可視化が挙げられる。現在のシステムでは装飾変奏曲のみを対象としており、より複雑な変奏曲は扱えない。今後、このような楽曲に対する可視化手法を考える必要がある。さらに、変奏曲以外に形式でも変奏に着目して楽曲構造を可視化することも考えていきたい。

また、現在は空間全体をとらえる位置に視点を置くことで楽曲の概要を示しているが、より効果的な楽曲の概要表示を実現している既知のシステム(例えば[3][10])もある。これらを参考により効果的な楽曲の概要表示方法を考える必要がある。

さらに、和音進行の自動推定が挙げられる。現在のシステムはこれらをユーザの入力に頼っているため、楽曲の和音進行がわからないと変奏曲を可視化できないという問題がある。

加えて、マッピングに関するユーザテストだけでなく、提案システムの有効性を確かめるための評価実験を行う必要がある。

謝辞

本研究の一部は、平成26年度科研費挑戦的萌芽研究25540045の支援により実施された。

参考文献

- [1] 浦田健次郎, 楽式, ヤマハミュージックメディア, 1998.
- [2] 村岡遼太, 藤代一成, “主題の変奏様式に着目した変奏曲の構造可視化”, 第76回情報処理学会全国大会講演論文集, 1R-6, 2014.
- [3] A. Hayashi, T. Itoh, and M. Matusbara, “Colorscore - Visualization and Condensation of Structure of Classical Music,” in *Proceedings of Information Visualization 2011*, pp. 420-425, 2011.
- [4] T. Bergstorm, K. Karahalios, and J. C. Hart, “Isochords: Visualizing Structure in Music,” in *Proceedings of Graphics Interface 2007*, pp. 297-304, 2007.
- [5] M. Wattenberg, “Arc Diagrams: Visualizing Structure in Strings,” in *Proceedings of Information Visualization 2002*, pp. 110-116, 2002.
- [6] W. Chan, H. Qu, and W. Mak, “Visualizing the Semantic Structure in Classical Music Works,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 16, No. 1, pp. 161-173, 2010.
- [7] R. Miyazaki, I. Fujishiro, and R. Hiraga: “comp-i: A System for Visual Exploration and Editing of MIDI Datasets,” in *Proceedings of International Computer Music Conference 2004*, pp. 157-164, 2004.
- [8] C. S. Sapp, “Harmonic Visualization of Tonal Music,” in *Proceedings of International Computer Music Conference 2001*, pp. 423-430, 2001.
- [9] B. Shneiderman, *Designing the User Interface Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 3rd Edition, Addison-Wesley, 1998.
- [10] F. Watanabe and I. Fujishiro, “Brass: Visualizing Scores for Assisting Music Learning,” in *Proceedings of International Computer Music Conference 2003*, pp. 107-114, 2003.