JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	MIDIデータからのクロマプロファイルの抽出と分析
Author(s)	宮下,芳明; 西本,一志
Citation	情報処理学会研究報告 : 音楽情報科学, 2003(82): 97-101
Issue Date	2003-08
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/3335
Rights	社団法人 情報処理学会, 宮下芳明／西本一志, 情報処理学会研究報告 : 音楽情報科学, 2003(82), 2003, 97-101. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

2003－MUS－51　(16)
2003／8／5

ＭＩＤＩデータからのクロマプロファイルの抽出と分析

宮下芳明[†]　西本一志[†, ††]

この研究では、17 世紀から 20 世紀までの楽曲のＭＩＤＩデータをもとに、その音名（クロマ）の発音頻度を求め、レーダーチャートとして表示し、分析を行った。その結果、楽曲における調判定が容易になるだけでなく、その楽曲における調性的特徴を視覚化し、相互比較することが可能になった。また作曲者ごとに平均されたクロマプロファイルは、その作曲者の個性を反映しており、作曲者の判別への応用も可能である。一方、クロマプロファイルにおける分散は、楽曲の調性感を示す有効な指標であると考えられるので、作曲年代による関係をプロットした。これにより、音楽史全体における調性感の変遷を視覚化することができた。

Extraction and Analysis of *Chroma-Profile* from MIDI Data

Homei MIYASHITA [†]　and Kazushi NISHIMOTO [†, ††]

In this research, we computed frequencies of chroma from MIDI data of famous classic songs, and illustrated them in radar chart representation, as "*Chroma-Profile*." From this representation, we succeeded not only in assuming key signatures in those songs, but also in visualisation of tonality（or modality） space of those songs. Additionally, it is also possible to represent *Chroma-Profiles* of specific composers by calculating average frequencies of chroma from their songs. Moreover, by calculating standard deviation in Chroma-Profile, we can compute and represent the magnitude of tonality, and finally we visualised relation between the magnitude of tonality and the year when the song was composed.

1. はじめに

私たちはオクターブ隔てた音を原音に類似した音（あるいは原音に同一の音）として認識している（＝オクターブ等価）。また、12 半音に相当するオクターブをはじめとして、完全 5 度、完全 4 度や全音というように、離散的なカテゴリー（＝クロマ）として音程を知覚している。このようにクロマがオクターブごとに循環する知覚は、しばしば図 1 のような三次元的な螺旋モデルとして表現される[1]。

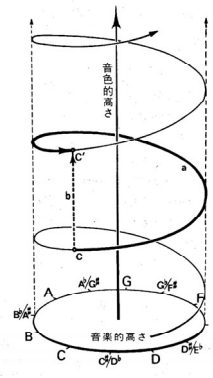

図 1 ピッチとクロマの 3 次元螺旋モデル

ところで「調性」（あるいは旋法性）とは、音楽におけるこうしたクロマが、ひとつの音（主音）を中心としてこれに従属している現象をいう。この現象を整理したものが「音階」であり、時代や民族によって様々な音階が存在する。西洋

† 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology, Hokuriku

†† 科学技術振興事業団さきがけ研究 21

音楽における音階は長音階と短音階に分類され、一般的にはあわせて 24 の短調・長調の「調名」を用いて楽曲の調性的側面を記述している。

2. クロマプロファイル

本稿で提案するクロマプロファイルとは、楽曲における各クロマの発音頻度を表したものである。つまり、オクターブ隔てた音は同じクロマが発音されたとみなして発音回数をカウントし、レーダーチャートで表現したものである。本研究では、ＭＩＤＩデータからノートオン情報を抽出し、自動的にこのクロマプロファイルを表示するシステムを作成した。

図２は、ベートーベンの「月光」第３楽章におけるクロマプロファイルである。形状を見やすくするために、軸の最大値は最高頻度のクロマ（この場合は G#）に合わせている。この楽曲は嬰ハ短調であり、主音である C#と属音である G#が飛び出た形となっている。様々な楽曲におけるクロマプロファイルを見ると、やはり同様に主音と属音に相当するクロマの出現頻度が高くなっており、まずこれを用いることで調解釈ができるのではないかと考えた。

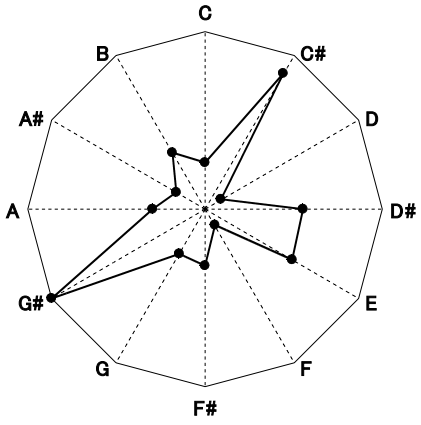

図２ ベートーベン「月光」第３楽章におけるクロマプロファイル

3. 様々な調解釈モデル

音楽情報科学の分野では、様々な調解釈モデルが提案されている[2]。容易に仮定しうるモデルとしては、メロディの第１音目や最終音を主音とみなすモデル、あるいは出現頻度が最も多いものを主音と解釈するモデルもあげられよう。しかし、どのモデルも実質的な正解率には到達せず、特に出現頻度を用いたモデルに関しては、Youngblood[3]や、Knopoff ら[4]の統計分析により主音だけでなく属音の頻度も高いことが示されており、それはクロマプロファイルからも視覚的にみてとれる。

一方、複雑な調解釈モデルも多く提案されており、代表的なものは全音階的枠組みの中でパターンマッチングと探索によってシミュレーションを行う Longuet-Higgins と Steddman のモデル[5]や、プロダクションシステムを用いた阿部のモデル[6]、あるいは階層的全音階フレームによる重みづけを用いる吉野・阿部のモデル[7]、Bharucha によるコネクショニストモデル[8]などがある。

また Krumhansl による確率論的モデル[9]は、典型的な和声進行の後にプローブ音を提示し、その適合性評価を得る知覚実験をまず行い、そのデータから習得性出現頻度パターンを作成し、24 種類のパターンとの相関を計算することで判定を行っている。（ここでの出現頻度は、音名と持続時間に基づいており、クロマプロファイルにおける出現頻度ととは異なる。）

これらの複雑なシステムに関しては、それなりの正解率は望めるものの、人間の調性認識にどれほど近いかははっきりしていない。例えば、音数が多くなるほどシステムに負荷がかかったり、認識が困難になるのは人間の場合はありえない。おそらく、調性の認識には二つの段階が

あり、極めて情報の少ない単旋律から楽典知識や過去の経験などを参照してその音階を絞り込む高次処理と、ただなんとなく主音を直感する低次処理があるのではないかと考えられる。上述の調解釈モデルが記述しようとしているものは、前者の高次処理であり、一方後者は、西洋音楽における 24 種の「調名」に縛られない単純なモデルとして存在するのではないかと考えられる。

4. クロマプロファイルによる調の判定

楽曲における音名出現頻度において主音と属音の出現頻度は極めて高いが、どちらが最も高いかは楽曲によって異なる。しかし、前章のようにここから「音名出現頻度による単純な調解釈は不可能」という結論を導くのはいささか早計である。クロマプロファイルを見てもわかるとおり、属音は主音の完全な反対側ではない。時計における 12 時と 7 時の関係のように、210 度の角度を持っている。従って、この角度を保ちつつ最大頻度をとる音名のペアをみつければ、その後どちらが主音でどちらが属音であるかを判定できるのである。ダイヤルを回転させるようにこのペアをみつける作業こそが、主音を直感するための低次処理のひとつとして働いているのではないかと推測されるのである。

そこで、ＭＩＤＩによる楽曲データを 100 曲用意し、まずそれらの楽曲のクロマプロファイルを作成したのちに、楽譜に記載されている調号に合わせた主音が一番上に来るようにすべて回転させた（図３）。主音と属音の頻度合計が他に考え得る 210 度の組み合わせの中で最も高い場合、この方法による調の判定が正解したことになる。

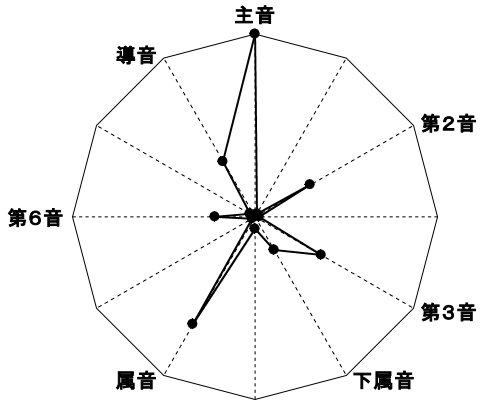

図 3　モーツァルト「フィガロの結婚」序曲におけるクロマプロファイルを調号（D dur）に合わせて回転させたもの

楽曲データは、18 世紀から 20 世紀までの、一般的にクラシックの名曲とよばれる楽曲を選び、調性感があまりない現代曲も入れた。その内訳は、バロック時代の楽曲を 11 曲（パッヘルベルによる「カノン」や J.S.バッハによる「トッカータとフーガ」など）、古典派の時代では 17 曲（モーツァルトによる「フィガロの結婚」序曲やベートーベンによる「エリーゼのために」など）、ロマン派による楽曲は前期・後期の分類をせずに合わせれば 61 曲（ショパンによる「幻想即興曲」やブラームスによる「ハンガリー舞曲第５番」、ドヴォルザークによる「新世界より」第４楽章など）、そして近代・20 世紀の楽曲として 11 曲（ドビュッシーによる「亜麻色の髪の乙女」やホルスト「組曲 惑星より 木星」など）となっている。

その結果、バロック時代の楽曲においては 11 曲中 10 曲（91 %）、古典派の楽曲においては 17 曲中 17 曲（100 %）、ロマン派による楽曲においては 61 曲中 56 曲（92 %）、そして近代・現代の楽曲においては 11 曲中 7 曲（64 %）の正解を得た。興味深いのは、これらの楽曲のうち多くのものが楽曲内で転調を行っているにもかかわらず、その影響を受けずに高い正

解率を出していることである。自然な転調先としての近親調を考えると、下属調に転調してもその属音は元の調の主音であり、属調に転調してもその主音は元の調の属音であることになり、結局元の調の主音・属音の出現頻度が保たれるのだろう。

しかし、ここで強調すべきなのはその正解率ではない。調判別モデルに関する批判として、平賀[10]が述べているように、調決定は総体としての音楽認知の一環を占めるにすぎず、極端な例として全曲データへのアクセスを可能にしたモデルを作成して正解率をあげたとしても、それは目的を履き違えたシステムになってしまう。むしろこの実験結果により示唆されるのは、音の出現頻度という量的な観点に基づいた、極めて単純なモデルによって調が推測できることであり、逆にこうした低次処理が音楽認知においても行われている可能性があるということである。この「量的調性認識」の存在を示すには、十分条件として心理実験などを行う必要があるが、本稿における実験結果は、少なくともその必要条件を示すことができたのではないかと考えられる。

5. 作曲家ごとのクロマプロファイル

前章の実験で使用した楽曲において、作曲者ごとにそのプロファイルを平均したものが図４であるが、ここには作曲者の個性が反映されているといえる。例えば、ベートーベンとモーツァルトのクロマプロファイルは類似しており、同時に第３音の使用頻度に差異がみられる。これはベートーベンがモーツァルトに影響を受けていた音楽史上の事実や、長調と短調の楽曲比においてモーツァルトの方が長調の楽曲が多いことと符合している。また、ロマン派以降にみられる遠隔調への転調や、和声の多様化の傾向を、ドビュッシーのクロマプロファイルにみることができる。

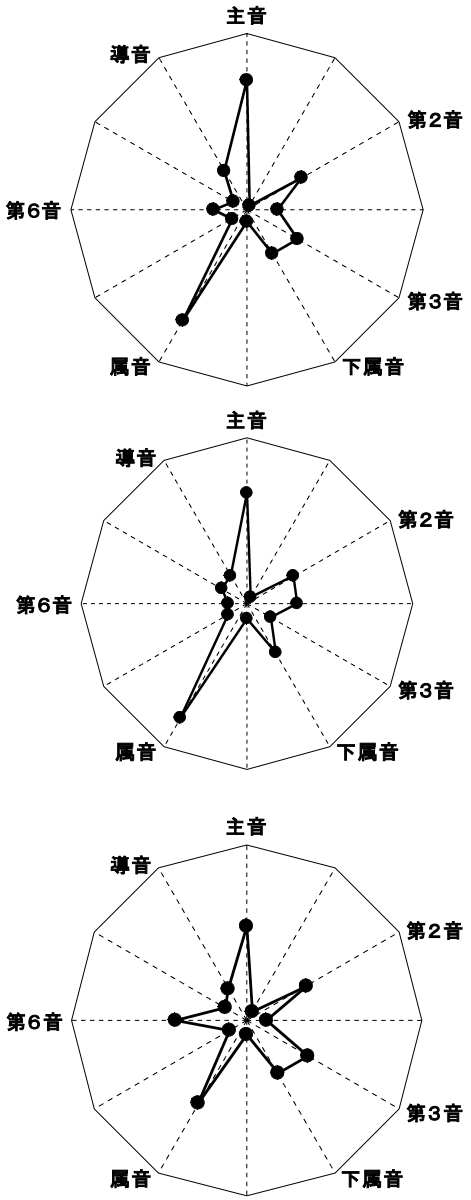

図４　作曲家ごとの平均クロマプロファイル。（上からモーツァルト、ベートーベン、ドビュッシー）。相互比較のため、軸の最大値は 30 %に統一している。

一般的に、作曲という作業の中では音名の使用頻度を調整する行為は行われない。したがって、作曲者ごとのプロファイルというのは作曲者の無意識の傾向を表しているといえる。これを応用すれば、

作曲者のクロマプロファイルに対する相関を見ることで、作曲者判別も可能であると考えられる。逆に、シェーンベルクらの提唱した 12 音技法（オクターブ内にある 12 のクロマから作品ごとに特定の音列を定め、それを楽曲の基礎形態とする方法）は、こうした傾向を意識的に消し去る作曲法ともいえよう。

6. クロマプロファイルにおける分散の変遷

ドビュッシーのクロマプロファイルにも表れるとおり、和声や調性の多様化を経て無調化へと進んだ音楽史の流れからみて、バロック時代・古典派時代には主音・属音に支配されていた音名使用頻度が、次第に均質になっていくという図式が推察される。そこで、クロマプロファイルにおける分散（標準偏差）を楽曲ごとに計算し、その楽曲の作曲年を横軸としてプロットしてみた（図 5）。

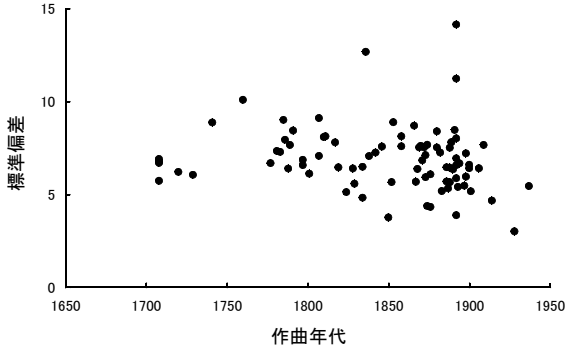

図 5 クロマプロファイルにおける分散の作曲年代における変遷

このグラフにおいて、縦軸の標準偏差が高いほど、一部のクロマ（おそらく主音・属音）による寡占があり、調性感が強く、逆に低い値は無調に近い楽曲であるといえる。時代にそって分析すると、音名使用頻度が次第に均質になっていく全体的傾向（無調化の傾向）と、19 世紀に入ってから分散という観点からも多様な楽曲が作られていることがわかる。

7. おわりに

「音名ごとに音を数えクロマという観点のもとに視覚化する」という、単純な着想によるクロマプロファイルだが、調判別モデルの枠組みを越えて、量的な調性認識の存在を示唆し、また作曲者や時代の傾向を可視化し、その予測をも可能にする特徴をもっている。また、楽譜に基づいて音を数える作業は困難だが、MIDI ファイルを用いればこの作業を自動化でき、数百曲といわず数万曲の分析すら可能である。この点からみても、本稿における分析法の新規性と応用の可能性をみることができるのではないだろうか。

参考文献

[1] R.Shepard, R.N : Structural representation of musical pitch, In Deutsch, D.(ed.): *The Psychology of Music*, Academic Press, pp.343-390 (1982.)(寺西他（監訳）：音楽の心理学[上,下], 西村書店(1987))

[2] 吉野巌・阿部純一: 調性認識 メロディの調を解釈する計算モデル, 長嶋洋一, 橋本周司, 平賀譲, 平田圭二: bit 別冊 コンピュータと音楽の世界 基礎からフロンティアまで, 共立出版 pp.117-131(1998)

[3] J.E.Youngblood: Style as information, *Journal of Music Therapy*, Vol. 2, pp.24-35(1958)

[4] L. Knopoff and W,Hutchinson: Entropy as measure of style: The infuluence of sample length, Journal of Music Therapy, Vol. 25, pp.75-97(1983)

[5] H.C.Longuet-Higgins and M.J.Steedman: On interpreting Bach, In B.Meltzer and D.Michie(Eds.): *Machine Intelligence*, Vol.6, Edinburgh University Press, 1971

[6] 阿部純一：メロディの知覚と予測の過程：終始音導出行為のシミュレーション, 心理学研究, Vol.58, pp.275-281(1987)

[7] I.Yoshino and J.Abe: Cognitive modeling of the process of tonal organization in melody perception, *International Journal of Psychology*, Vol.31, p.51(1996)

[8] J.J.Bharucha: Music cognition and perceptual facilitation: A connectionist framework, *Music Perception*, VOl.5, pp.1-30(1987)

[9] C.L.Krumhansl: Cognitive foundations of musical pitch, Oxford University Press(1990)

[10] 平賀譲: 音楽認知への計算的アプローチとその課題, 情報処理, Vol.35 No.9, pp822-829(1994)