

和音性の定量的評価モデルに基づいた 楽曲ムードの色彩表現インタフェース

藤澤 隆 史^{†1} 谷 光 彬^{†1}
長 田 典 子^{†1} 片 寄 晴 弘^{†1}

本研究では、楽曲が持つムードの構成要素として個々の和音種が持つ独特の響き（和音性）に注目し、楽曲ムードを色彩で表現する可視化インタフェースの構築を行った。和音性に関する定量的評価モデルを利用することで入力音のムードを3つの成分へと分解し、それらを明度、彩度、色相へとそれぞれマッピングすることで出力される色彩を決定する。その結果、個々の和音が持つ微妙なニュアンスの違いを色彩の違いで表現することが可能となった。

Music Mood Visualization Based on Quantitative Model of Chord Perception

TAKASHI X. FUJISAWA,^{†1} MITSUAKI TANI,^{†1}
NORIKO NAGATA^{†1} and HARUHIRO KATAYOSE^{†1}

In this study, we note chordal structure as the factors determining the musical mood, and suggested the model for calculating the mood scores (dissonance, tension and modality) from the chords. The model was implemented for the system which is describing the mood scores as various color patch.

1. はじめに

近年の音楽流通形態の変化にともなって、音楽情報の検索や編集または再生時における、

洗練された視覚提示方式（可視化）へのニーズが高まっている。その際の対象としては、楽曲構造やジャンル、楽器構成などがあげられるが、ムード（曲調・雰囲気）もその中の重要な一要素としてあげられる。

楽曲情報の可視化形態は大きく2つに類別できる。1つ目は、楽曲に含まれる特徴量やその推移から楽曲全体のパターンを可視化するものである。この形態はその相違によって楽曲間の関係性を定義できることから、主に楽曲検索時において有効である。ムードの可視化では、メロディのリフレイン構造を半円の重ね合わせによって表現する“Shape of Songs¹⁾”や、調性の推移とその抽象構造を色彩で表現する“Multi-timescale Visualization²⁾”などがこの例にあてはまる。2つ目は、楽曲中の構成要素（音階、リズム、調性など）を可視化するものであり、たとえば楽曲の編集を目的とした波形やピアノロール表示、鑑賞を目的としたプレイヤーの視覚エフェクトなどがあげられる。ムードの可視化では、Chewらの研究がこれらの例にあてはまる^{3),4)}。

前者であれ後者であれ、ムードを視覚表現する手段として色彩は最も重要な要素であるが、楽曲表現の場合、色相はバリエーションの豊富さから音階や調性（例：Cは緑、Aは橙など）へとカテゴリ的に割り当てられることが多い^{2),4)}。しかしながらその際の問題点として以下の2点があげられる。

- 調性概念は音楽的要素（特に西洋音楽）の色合いが強く、非音楽家の多くはつねに調性を意識して聴取しているわけではない。
- 調性と色相のマッピングについては、共感覚（色聴）など特殊なケースを除いて⁵⁾、いまだ確証は得られていない。

そこで本論文は、調性に代わる楽曲のムードを規定する要因として、1つ1つの和音を持つ独特の響き（和音性）に注目し、和音性を色彩の違いで表現する可視化インタフェースM³（M-CUBE）について提案する。

2. システムの概要

本システムは入力音のMIDI信号から各和音性の値を計算し、割り当てられたカラーのパッチをリアルタイムで出力する。システムの概要を図1に示す。入力形態にはキーボードとファイルの2通りがある。システムが入力情報から和音性の値を計算するにあたり2つの前処理を行う必要がある。本システムは基本的に入力音が和音であることを前提としていることから、1つ目の前処理として、系列的に受信されるMIDI信号に対して同時性判定（和音判定）が行われる。デフォルトの閾値は先行研究⁶⁾を参考に30msと設定した。次に、

^{†1} 関西学院大学理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University

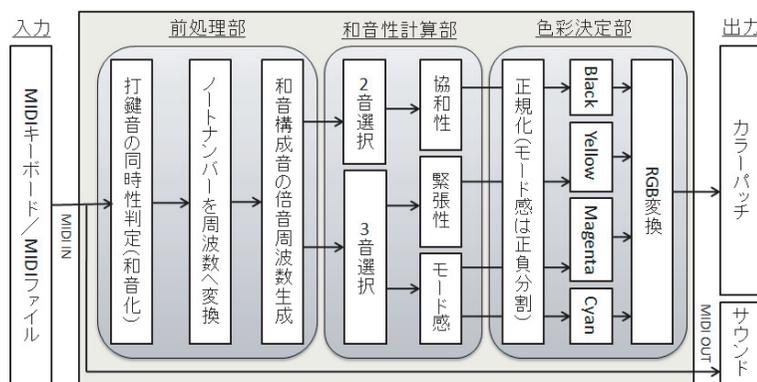


図 1 システムの概要

Fig. 1 The outline of the proposed system.

本システムで用いる和音性の定量的評価モデルでは、評価対象として周波数を用い、また和音構成音が高次調波成分を含むことを前提としている。したがって2つ目の前処理として、MIDI形式で入力された各音のノートナンバを周波数へと変換し、さらにそれぞれの周波数について仮想的な倍音の生成が行われる。

和音性の計算部では、和音性を構成する各成分についての計算が行われる。和音性は「協和性」、「緊張性」、「モード感」の3成分から構成されるが、詳細については3章で解説を行う。色彩決定部では、3成分それぞれをCMYK色空間を構成する4軸（モード感は正負で分割し2軸とする）へと割り当てる。これらのプロセスを経て、多様な和音が持つニュアンスの違いを連続的な色空間の中で表現することが可能となる。本システムはMax/Msp/Jitter (Ver. 4.6/1.6)を用いて実装しており、WindowsおよびMacintoshの両環境下で動作することが確認されている。

3. システムの実現方法

3.1 和音性の定量的評価モデルの概要

本論文では和音性の定量的評価モデル^{7),8)}を用いて、システムに入力された和音の評価を行う。モデルは2音の音程から定義される「協和性」と、3音の音程構造（音程差）から定義される「緊張性」および「モード感」の3成分から構成される。モデルの詳細や妥当性については先行研究において検討したので、以下ではモデルの概要について説明する。

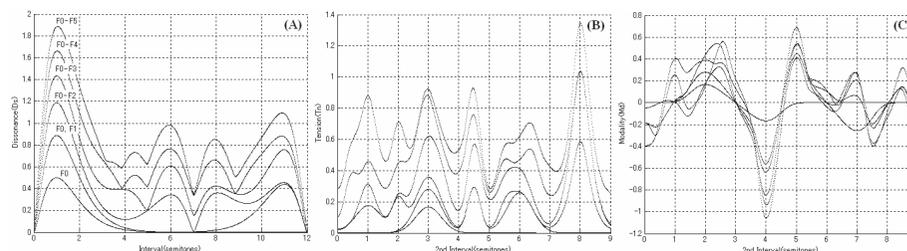


図 2 和音性の評価曲線

Fig. 2 Evaluation function of harmoniousness.

3.1.1 協和性の評価

協和性は主に2音の音程（および *cent*）から規定される性質のものであり、具体的な心理的ムードとしては「澄んだ-濁った」といった感覚に対応する。

ある構成音の協和性の値（不協和度）を決定する式は、これまでの先行研究⁹⁾で用いられたものとほぼ同様のものである。ある2つの複合音A, Bにおいて、それぞれの基音と倍音の周波数を f_{Ai} , f_{Bj} ($f_{Ai} < f_{Bj}$) とし、 f_{Ai} , f_{Bj} の音程 x_{ij} とする。また、それぞれの正規化された音量を v_{Ai} , v_{Bj} とすると、不協和度 (Ds) は以下のように定式化される。

$$Ds = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} v_{ij} \gamma [\exp(-\alpha x_{ij}) - \exp(-\beta x_{ij})] \quad (1)$$

ここで、 v_{ij} は先行研究に従って v_{Ai} , v_{Bj} の最小値とした⁹⁾。また α , β , γ は定数であり、それぞれ順に -0.80 , -1.60 , -4.00 である。不協和度 (Ds) の評価曲線を図2(A)に示す。

n 和音の場合、2音の組合せは $nC2$ の数だけ存在することから、 n 和音の最終的な不協和度は、それぞれの組合せの平均値が当該和音の不協和度の値となる。

3.1.2 緊張性およびモード感の評価

緊張性およびモード感は主に3音の音程構造（音程差）から規定される性質のものであり、緊張性は不協和感と複合的に機能することで緊張感や不安定性を表現し、モード感（長調-短調）は、明るさや暗さ、もしくはうれしさや悲しさを表現する。

ある3つの複合音A, B, Cにおいて、それぞれの基音と倍音の周波数を f_{Ai} , f_{Bj} , f_{Ck} ($f_{Ai} < f_{Bj} < f_{Ck}$) とした場合において、 f_{Ai} , f_{Bj} の音程 x_{ij} と f_{Bj} , f_{Ck} の音程 y_{jk} の音程差 $y_{jk} - x_{ij}$ を z_{ijk} とする。また、それぞれの正規化された音量を v_{Ai} , v_{Bj} , v_{Ck} とすると、緊張度 (Tn)、モード感 (Md) はそれぞれ以下のように定式化される。

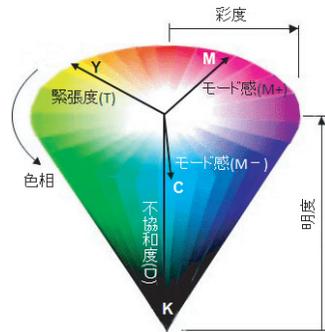


図3 CMYK色空間へのマッピング*1
Fig. 3 Mapping to the CMYK color space.

$$Tn = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} v_{ijk} \exp \left[- \left(\frac{z_{ijk}}{\delta} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$Md = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ -v_{ijk} \left(\frac{2z_{ijk}}{\epsilon} \right) \exp \left[- \left(\frac{-z_{ijk}^4}{4} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

ここで、 v_{ijk} は v_{Ai} , v_{Bj} , v_{Ck} の最小値である。また δ, ϵ は定数であり、順に 0.60, 1.56 である。緊張度 (Tn) およびモード感 (Md) の評価曲線をそれぞれ図 2 (B), 図 2 (C) に示す。

n 和音の場合、3 音の組合せは $nC3$ の数だけ存在することから、 n 和音の最終的な緊張度およびモード感の値は、それぞれの組合せの平均値となる。

3.2 色空間へのマッピング

和音性が持つムードを色彩で表現するために、3 つの成分をそれぞれ CMYK 色空間へとマッピングした。協和性は和音構成の幹となる性質であることから、不協和度 (Ds) は明彩に影響する K 軸へと割り当てた。これにより、不協和度が低い和音は鮮やかな、高い和音は濁った色となる。次に緊張度 (Tn) が高い和音には、覚醒度が高いと思われる Y 軸を割り当てた。モード感 (Md) は正負の値で軸を二分し、モード感の正方向 (明るい長調の和音) には M 軸を、負方向 (暗い短調の和音) には C 軸をそれぞれ割り当てた (図 3)。なお、以上のマッピングは経験的に無理のないと思われる範囲で任意に行ったものである。

*1 文献 10) をもとに著者が改編。

和音性の各成分 (Ds, Tn, Md) は、以下の式によって色空間の各成分 (C, M, Y, K) へと変換される。

$$K = \frac{1}{1 + \exp[-1.7a(Ds - \kappa)]} \quad (4)$$

$$Y = \frac{1}{1 + \exp[-1.7b(Tn - \lambda)]} \quad (5)$$

$$M = \frac{Md}{\mu} \quad (Md > 0) \quad (6)$$

$$C = \frac{Md}{\nu} \quad (Md < 0) \quad (7)$$

ここで $\kappa, \lambda, \mu, \nu$ はそれぞれ正規化定数であり、順に 7.50, 6.00, 8.96, 6.87 である。成分 M と C については、正規化のみの線形変換であるが、成分 K と Y については正規化の後、シグモイド関数を用いて色味の補正を行った。 a, b はシグモイド関数の傾きを決定するパラメータであり、この値を大きく設定すると、それぞれの成分はある閾値周辺を境に急激に影響力を強めることになる。 a, b はそれぞれインタフェース上での操作が可能であり、デフォルト値は順に 0.50, 0.33 である。

本研究のポイントは、和音性の定量的評価モデルを適用したことで、連続的な色空間へのマッピングが可能となり、その結果、それぞれの和音を持つ微妙なニュアンスの違いを色彩で表現することが可能となる点である。

4. インタフェース

M^3 のインタフェースを図 4 に示し、それぞれの機能について解説する。

● 同時性調整スライダ (図 4A)

M^3 は最大 6 和音まで入力可能であるが、系列的に入力される複数の音について、その同時性の判定基準となる時間幅を設定する。

● 感覚記憶スライダ (図 4B)

たとえば、分散和音におけるモード感がそうであるように、聴覚的には同時ではないが、心理的には残響していると見なす時間幅を設定する。

● 不協和度強調パラメータ (図 4C)

● 緊張度強調パラメータ (図 4D)

値を大きく設定すると、相対的に K および Y の影響が大きくなり色彩が変化する。

- 入力形態の選択 (図 4 E)
M³ は MIDI 信号をキーボード (演奏モード) とファイル (聴取モード) の両方から入力することが可能である .
- ファイルの操作インタフェース (図 4 F)
ボタンをチェックし, M³ を聴取モードとした場合は, この領域でファイルの操作を行う .
- 背景色の設定 (図 4 G)
図 4 I のカラーパッチ表示画面における背景色を設定する .
- カラーパッチの残存設定 (図 4 H)
デフォルトではカラーパッチは一定時間が経過すると消えてしまうが, 残存設定とすることでカラーパッチを残すことができる
- 和音カラーの表示画面 (図 4 I)
キーボード/ファイルから入力された MIDI 信号から和音性の計算を行い, それぞれの値から割り当てられたカラーで音楽のムード表現する . カラーパッチは入力時刻から波紋のように円周が広がっていき, やがて消える . また, パッチの出現位置は時系列にかかわらず領域内でランダムに表示されるものとした .

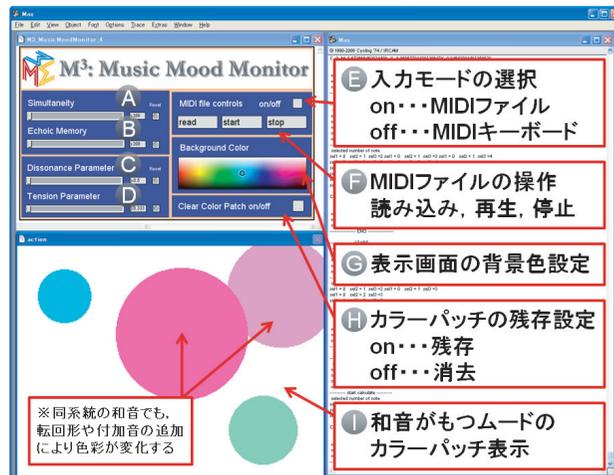


図 4 M³ (M-CUBE) の表示画面例
Fig. 4 Snapshot of M³(M-CUBE) Interface.

5. 検 討

5.1 色彩表現

代表的な和音種と色彩の対応関係を図 5 に示す . 同カテゴリの和音の場合, たとえば長三和音を例にとると, 転回形にかかわらずマゼンタ系統の色彩で表現されるが, それぞれは微妙に色合いが異なっていることが分かる . これは転回形ごとに不協和度が少なからず異なり, それが明度の差となって表れているためである . また音の高低にかかわらずオクターブ音の追加は, 相対的な協和性を高める結果, 鮮やかな色彩として表現されることが分かる .

4 和音は全般的に明度と彩度がともに低い色彩として表現されている . たとえば, 興味深い例として C₇ を取りあげてみると, C₇ (CEGB_b) は構造的に長三和音 (CEG) と減三和音 (EGB_b) から構成されている . その中間的な性質は, 色彩においても長三和音の表現色であるマゼンタと減三和音の表現色であるオリーブが混合することで桜ねずみ色 (オールド・モーブ) として表現されていることが分かる .

本研究では, 和音性の色彩へのマッピングを任意で行ったが, その妥当性については未検討のままである . 今後の解決方略としては, (1) それぞれの和音種と色彩の対応関係について定量的に明らかにすること, もしくは, (2) 和音性の概念に基づいた制約のもとで, ユーザ自身が色相を柔軟に設定できるようなインタフェースへと改良すること, の 2 つの方向

三和音

	Root position	1 st Inversion	2 nd Inversion	On bass	Add soprano
Major					
Minor					
Diminished					
Augmented		---	---		
Suspended 4th					

四和音

Dominant 7th		Major 7th		Minor 7th	
Diminished 7th		Dim/Maj 7th		Dim/Min 7th	
Min/Maj 7th		Aug/Maj 7th		French 6th	

その他

Tone cluster		Tritone		Add 9th	
--------------	--	---------	--	---------	--

図 5 和音種とカラーチャート
Fig. 5 Chord types and color chart.

性が考えられる。

5.2 エンタテインメント性およびエデュテインメント性

M^3 は、入力和音のムードに対応する色彩のカラーパッチをリアルタイムで出力する。この機能はユーザに新たなエンタテインメントやエデュテインメント環境を提供する。聴取モードの場合、システムはメディアプレイヤーとして機能し、楽曲のムードに対応する視覚エフェクトを出力する。和音性は一般ユーザであっても感知や判別が可能であることから、これまでのシステムのような一定時間ごとに色が変わりゆく無機質な表現とは異なって、楽曲進行のムード推移に同期した色彩変化を楽しむことができる。またカラーパッチを残存設定とした場合には、上書きされない時間の範囲において、出力されたカラーパターンから楽曲全体のムードを把握することも可能である。

演奏モードの場合には、演奏に同期した視覚エフェクトを楽しむといったエンタテインメント性だけでなく、エデュテインメントとしての要素も強くなる。奏でられた和音の響きと色彩の法則性を通じて、演奏者は音楽理論に対する明示的知識を持たなくても、直感的に和音構造に対する理解を深めていく。さらに M^3 は、新たな色彩に対応する和音を探求するという楽しさもあわせ持っている。これは能動的な芸術鑑賞スタイルを形成するための環境を認知的に自然な形で提供するシステムであるといえる。

より豊かで洗練されたムード表現とするためには、視覚表現に関する課題があげられる。和音種と色彩の対応関係の妥当性については前節で検討したが、その他の視覚要素として、オブジェクト（パッチ）の形や配置、動きなどもあげられる。

5.3 可視化による楽曲検索の向上

カラーパッチを残存設定とした場合がそうであるように、提案されたシステムによって、時系列信号である楽曲のムードを、色彩パターンから一目（at a glance）で把握することが可能となった。この機能を楽曲検索に応用した場合、検索力の向上につながると考えられる。本研究では、カラーパッチの空間表示はランダムな配置としたが、ムード情報による検索インタフェースとする場合には、これを組織的な配置へと改め、さらに複数の楽曲をそれぞれ配色表現するフォームを追加する必要がある。

6. おわりに

本研究では、和音性に関する定量的評価モデルを用いて、楽曲ムードを色彩で表現する可視化技術について提案した。その結果、様々な和音種から構成される、楽曲ムードの多様性を色彩の相違で表現することが可能となった。またその技術に基づいた楽曲ムードの可視化

インタフェースである M^3 の構築を行った。

今後の課題としては、まず評価対象を音響信号とすることがあげられる。本研究で用いた和音性の評価モデルは、倍音ベースの複合音を前提としてその評価を行っていることから、音響信号処理との親和性は高い。音響信号を対象とした本システムの拡張版については現在開発を進めている段階である。

次に、本研究では楽曲のムード評価の対象として和音性のみを取り上げたが、ムードの規定要因については、テンポやリズム、旋律の輪郭など様々な要因があげられる。特にドミナント・モーションなど和声進行に基づいた緊張-解決感は重要な要因であると考えられるので、予測補完型の認知モデル¹¹⁾を組み込むことで取り扱いたいと考えている。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金（課題番号 18800068）による助成を受けた。また査読者の方々からは有益なコメントをいただいた。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Wattenberg, M.: The Shape of Song [website] (2006–2008).
URL: turbulence.org/Works/song
- 2) Sapp, C.S.: Harmonic Visualization of Tonal Music, *Proc. International Computer Music Conference (ICMC01)*, pp.403–406 (2001).
- 3) Chew, E. and Francois, A.R.J.: Interactive multi-scale visualizations of tonal evolution in MuSA.RT Opus 2, *ACM Computers in Entertainment*, Vol.3, No.4, pp.1–16 (2005).
- 4) Mardirossian, A. and Chew, E.: Visualizing Music: Tonal Progressions and distributions, *Proc. International Conferences on Music Information Retrieval and Related Activities (ISMIR07)*, pp.189–194 (2007).
- 5) 長田典子, 岩井大輔, 津田 学, 和氣早苗, 井口征士: 音と色のノンバーバルマッピング—色聴保持者のマッピングルール抽出とその応用, *電子情報通信学会論文誌 A*, Vol.86-A(11), pp.1219–1230 (2003).
- 6) 谷井章夫, 片寄晴弘: 音楽知識と技能を補うピアノ演奏システム “INSPIRATION”, *情報処理学会論文誌*, Vol.43, No.2, pp.2737–2747 (2002).
- 7) Cook, N.D. and Fujisawa, T.X.: The Psychophysics of Harmony Perception: Harmony is a Three-Tone Phenomenon, *Empirical Musicology Review*, Vol.1, No.2, pp.106–126 (2007).
- 8) 藤澤隆史, Norman D. Cook, 長田典子, 片寄晴弘: 和音認知に関する心理物理モデル, *情報処理学会研究報告* (2006-MUS-66), pp.99–104 (2006).
- 9) Sethares, W.A.: *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*, Springer, New York (1999).
- 10) Jewett, T.: Color Tutorial [website] (1997–2006).

URL: www.tomjewett.com/colors/index.html

- 11) 片寄晴弘, 豊田健一: 聴取経験に基づく予測補完型音楽生成アーキテクチャに関する考察, 情報処理学会研究報告 (2004-MUS-56), pp.71-78 (2004).

(平成 20 年 5 月 12 日受付)

(平成 20 年 9 月 10 日採録)



藤澤 隆史

平成 10 年関西大学社会学部卒業。平成 16 年同大学大学院総合情報学研究科博士課程修了。博士(情報学)。現在, 関西学院大学理工学研究科・ヒューマンメディア研究センター博士研究員。主に, 認知心理学, 感性情報学, 脳イメージングの研究に従事。日本心理学会, 日本認知心理学会等各会員。



谷 光彬

平成 19 年関西学院大学工学部情報科学科卒業。現在, 関西学院大学大学院理工学研究科博士課程前期課程在学中。主に, 音楽情報処理に関する研究に従事。



長田 典子 (正会員)

昭和 58 年京都大学理学部数学系卒業。同年三菱電機(株)入社。産業システム研究所等で産業計測機器の研究開発に従事。平成 8 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。博士(工学)。関西学院大学理工学部情報科学科助教授を経て, 現在, 同大学同学科教授。専門は感性情報学, メディア工学等。電子情報通信学会, 電気学会, 日本認知心理学会, IEEE

等各会員。



片寄 晴弘 (正会員)

昭和 61 年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。平成 3 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。工学博士。オーグス総研, イメージ情報科学研究所, 和歌山大学を経て, 現在, 関西学院大学理工学部教授。ヒューマンメディア研究センターセンター長。音楽情報処理, コンテンツ Design and Criation, 心理計測の研究に従事。CREST「時系列メディア

のデザイン転写技術の開発 (CrestMuse)」研究代表者。元さきがけ研究 21「協調と制御」領域研究者。