

ScoreIlluminator: スコアリーディング支援のための オーケストラスコアの自動色付け

松原 正樹[‡] 岡本 紘幸[‡] 佐野 智久[‡]
鈴木 宏哉[‡] 延澤 志保[‡] 齋藤 博昭[‡]

[‡] 慶應義塾大学大学院 理工学研究科
[‡] 武蔵工業大学 知識工学部 情報科学科
E-mail: masaki@nak.ics.keio.ac.jp

あらまし 本稿では、オーケストラスコアの自動色付け手法 ScoreIlluminator について述べる。オーケストラなど大編成用に作曲された楽曲のスコアは、パート数の多さから、一覧性に欠けるという問題点を持つ。本稿では、スコアの可読性の向上を目的として、パート間のクラスタリングを行い、色付けすることでこれを明示する手法を提案する。本稿の手法では、リズム、響き、メロディ、和声を考慮した4つの特徴量を用いてパート間の距離を定義し、k-means アルゴリズムを利用してクラスタリングを行う。本稿では、実際の譜面の色付けを行う実験により、提案手法によってパート間の役割の区別を自動的に行うことが可能であることを示した。

ScoreIlluminator: Automatic Illumination of Orchestra Scores for Readability Improvement

Masaki Matsubara[‡], Hiroyuki Okamoto[‡], Tomohisa Sano[‡],
Hiroya Susuki[‡], Shiho Nobesawa[‡], and Hiroaki Saito[‡]

[‡] Department of Computer Science, Keio University
[‡] Department of Computer Science, Musashi Institute of Technology

Abstract Orchestra scores have many parts together and score reading skill should be required to understand such orchestra scores. Musicians often put colors on the scores for score reading. In this paper we propose a method to illuminate orchestra scores with colors automatically according to the similarity between parts. Our method introduces four feature values, concerning the rhythm, sonic richness, melody and harmony respectively. The part clustering phase is built on k-means algorithm using these four feature values. Our empirical result showed that our method succeeded in illuminating scores automatically for readability improvement.

1 はじめに

オーケストラや吹奏楽など大編成のために作曲された楽曲は、多数のパートがそれぞれの楽譜を演奏することで1つの音楽を構築する。各々のパートの楽譜を記した譜面をパート譜、全てのパートの楽譜を記した譜面をフルスコア（スコア）と呼ぶ。スコアは通常、指揮者が演奏の指揮を行う際に全てのパートの動きを把握するために用いられる。スコアを読む事をスコアリーディングと呼び、作曲家、指揮者には必須のスキルである。そのうえ、練習のために誰かが指揮者の代わりを務める場合や、各楽器の奏者が同類の音型

の担当楽器を認識する場合など、演奏者にとっても様々な用途でスコアを参照することが多く、スコアリーディングのスキルが重要となる。ところが、スコアには全てのパートの譜面が記載されているため、ほとんどが10段を超える形式であり、各パートが木管楽器・金管楽器・打楽器・コーラス・弦楽器のセクション毎にまとめられている。このようにオーケストラスコアには、一覧性に欠けるという問題点がある。そのため、熟達した者でないと、一見しただけでは、曲の和声や拍節構造、どのパートとどのパートが同類の音型を担当しているか、といった必要な情報を読み取ることが難しい。実際にオーケストラや吹奏楽の現場で

は演奏者がスコアリーディングに慣れないうちはスコアに色付けをするなどして目印を付けることでスコアの可読性を高め理解を深めることも少なくない。図1はその一例で、自分が担当するパートと関連性の高い音型を担当するパートに色を付けている。しかし、このような色付けも合奏経験や音楽的知識を要するため容易ではない。

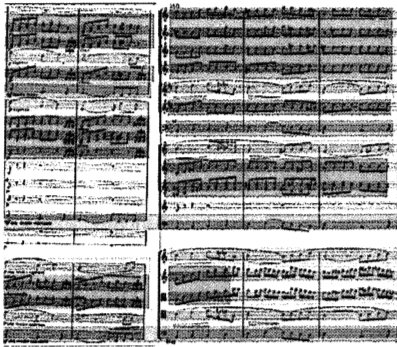


図 1: スコア色付けの例

この問題を解決するため、本稿ではオーケストラスコアの自動色付け手法 ScoreIlluminator を提案する。本手法は、オーケストラなどの大編成用の楽曲のスコアに自動で色付けをすることで、スコアの可読性を向上させ、演奏者や音楽聴衆者のスコアリーディングを支援可能にする。本手法を使用する利点は、色付き楽譜を見ながら楽曲を聴くことで新たな知見を見いだすのが容易になることである。例えば、最初は色付き楽譜を見ながら楽曲を聴くだけでも、色と音の関連性が経験として蓄積されていくうちに、パート間の関連性が明らかになっていく。その結果、従来では聴こえなかったパートの音を意識できるようになり、新たな楽曲の聴き方や楽曲の理解向上が期待できる。これは合奏経験や音楽的知識の有無に関わらず同様な効果が期待できる。また多少の合奏経験や音楽的知識がある演奏者にとっては同類の音型を担当する楽器の認識、メロディーラインの受け渡しの理解、楽曲構造の把握など、スコアリーディングの支援が可能になると期待できる。

2 関連研究

スコアの一覧性に欠ける問題を解決するために可読性の向上や理解支援の研究がなされている。遠山らはパート間のリズム構造を特徴量にスコアを要約し、コンデンススコアへの自動生成を行っている [1]。また渡辺らによって提案された BRASS [2] はスコア全体の効果的な表示方法を

可能にしている。また楽譜に色付けすることで音楽的な問題を解決している例として、ドレミ楽譜出版社の色付きコード譜 [3] や田中氏のいろおんぶ法 [4] など音と色を結びつけた支援方法が数多く提案されている。このことから色による問題解決方法は直感的で分かりやすいといったことが窺える。

本研究では、フレーズの検出や和声解析などを行わない比較的簡単な手法で、従来では手作業であったスコアの色付けを自動で行い、スコアの可読性を向上することを目的とする。BRASS が横軸（時間軸）のスコア圧縮を目的とするのに対し、本研究は遠山らの研究と同様に縦軸（パート軸）方向のスコア圧縮や表示方法の変換によるページ毎の可読性の向上をするものである。一般に、オーケストラスコアを色付けする状況は、旋律を担当しているパートと伴奏を担当しているパートなどの役割を区別する場合、同じ役割を持つパートを認識する場合などが考えられる。また分ける数は場所によって違い、フレーズの取り方や長さはパートや音符によって違う。役割を区別するということは、似た役割同士を一つのクラスターに分かれるようにクラスタリングを行えばよく、そのクラスターごとに色付けすることでスコアの色付けが実現可能である。したがって我々の目的であるスコアの色付けはパート間のクラスタリングを行うタスクと言い換えることができる。このようなクラスタリング手法を用いるには各パート間の距離の定義が必要である。

3 提案手法

本章では、提案手法 ScoreIlluminator のアルゴリズムについて述べる。

3.1 色付け手法アルゴリズム

2章で述べた通り、スコアの色付けはパート間のクラスタリングを行うタスクと言い換えることができるので、色付け手法のアルゴリズムを下記のように定義する。

- (1) クラスタ数 K 、フレーズの長さ L 、小節番号の開始 S と終わり E を入力とする。 $N = S$ とする。
- (2) N 小節から $N + L$ 小節までの各パートの音符データを取り出す。
- (3) 取り出した各パートの音符データに対し 3.2 節で定義するパート間の距離を用いて k-means アルゴリズムによってクラスタ数 K

のパート間クラスタリングを行い、その結果を記憶する。

- (4) 出力されたクラスタリング結果と一つ前に行ったクラスタリング結果を比較し、共通する要素が多いものを同じクラスタとしてラベル付けを行う。
- (5) $N = N + L$ とする。 $N \leq E$ であればステップ (2) に戻る。
- (6) 得られたラベルをもとに楽譜の色付けを行う。

なお、このアルゴリズムを実行する前に MIDI などの楽譜情報から、拍子、パートの数、音符の音高・音長・タイミングを抽出しておく。

3.2 距離の定義

k-menas クラスタリングに必要なパート間の距離として、2つのパート i と j の距離 $D(i, j)$ を式 (1) で定義する。

$$D(i, j) = w_1 D_{RA}(i, j) + w_2 D_{SR}(i, j) + w_3 D_{MA}(i, j) + w_4 D_{CA}(i, j) \quad (1)$$

距離が0に近ければ近いほどパート同士は一致している。ここで $w_k (k = 1 \sim 4)$ は各特徴量の重み係数である。4つの特徴量は Rhythmic Activity, Sonic Richness, Melodic Activity, Consonance Activity である。この4つの特徴量はフレーズ同士を比較する上で重要なリズム・響き・メロディ・和声の要素をそれぞれ表現したものである。

3.2.1 拍節構造行列

4つの特徴量はフレーズ内の音符一つ一つに対しての数値への変換であるため拍節構造を考慮していないが、通常フレーズ同士を比較する時には強拍の音符における類似度を重視する。そこで、4つの特徴量の定義に先立って拍節構造を考慮するために Maidín らの手法 [5] を用い拍節構造行列 M を定義する。表1に2/2, 3/4, 4/4 拍子における重み付けの例を示す。4つ特徴量のベクト

表 1: 拍節構造の重み付け
(2/2 拍子, 3/4 拍子, 4/4 拍子)

頭拍からの距離	重み	距離	重み	距離	重み
0	3	0	3	0	4
1/2	2	1/4	2	1/4	2
		2/4	2	2/4	3
				3/4	2
その他	1		1		1

ルと演算可能にするため対角成分が重みになるような $n \times n$ の正方行列 M を作成する。この時の n は1小節分の長さを一番短い音符の長さで割った比である。(4/4 拍子で一番短い音符が8分音符の時は $n = 1/4 \times 4 \div 1/8 = 8$ となる)

3.2.2 Rhythmic Activity

Rhythmic Activity はフレーズにおけるリズムの特徴量である。図2に示すように一番短い音符の長さを基本単位として、単位時間ごとに音符が発音されたタイミングである場合を1、それ以外を0とした一次元ベクトル RA を作成する。



図 2: Rhythmic Activity の特徴ベクトル

この特徴量を用いたパート i と j の距離 $D_{RA}(i, j)$ を式 (2) で定義する。

$$D_{RA}(i, j) = 1 - \cos(\mathbf{RA}_i \cdot \mathbf{M}, \mathbf{RA}_j \cdot \mathbf{M}) \quad (2)$$

ここで $\cos(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2)$ はコサイン類似度である (式 (3))。

$$\cos(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2) = \frac{\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2}{|\mathbf{v}_1| |\mathbf{v}_2|} \quad (3)$$

この特徴量は図2(a)(b)で示すようにリズムが似ていて休符が混じったフレーズを同じフレーズとして認識することができるという利点を持つ。

3.2.3 Sonic Richness

Sonic Richness はフレーズにおける響きの豊かさの特徴量である。図3に示すように単位時間ごとに音が鳴っている場合を1、鳴っていない場合を0とした一次元ベクトル SR を作成する。この特徴量を用いたパート i と j の距離 $D_{SR}(i, j)$ を式 (4) で定義する。

$$D_{SR}(i, j) = 1 - \cos(\mathbf{SR}_i \cdot \mathbf{M}, \mathbf{SR}_j \cdot \mathbf{M}) \quad (4)$$

この特徴量は図3(a)(b)(c)で示すように長い音符を持つフレーズに対して分割した細かい音符を持つフレーズとの対応や、管楽器の伸ばしを含むフレーズと弦楽器・打楽器の刻みを含むフレーズの対応などが同じフレーズとして認識することができるという利点を持つ。



図 3: Sonic Richness の特徴ベクトル

3.2.4 Melodic Activity

Melodic Activity はフレーズにおけるメロディの特徴量である。図 4 に示すように単位時間ごとに音符と音符の間に遷移について前の音符の高さよりも高い場合を 1, 同じ場合を 0, 下がった場合を -1 とした一次元ベクトル MA を作成する。こ



図 4: Melodic Activity の特徴ベクトル

の特徴量を用いたパート i と j の距離 $D_{MA}(i, j)$ を式 (5) で定義する。

$$D_{MA}(i, j) = 1 - |\cos(MA_i, MA_j)| \quad (5)$$

この特徴量は図 4(a)(b) で示すように旋律の多くは音高の上下があることが多いため、動きの少ない伴奏パートと旋律パートを別のフレーズとして認識できる。また、旋律と似た動きをした和声付けのための旋律を同じフレーズとして認識することができるという利点を持つ。

3.2.5 Consonance Activity

Consonance Activity はフレーズにおける和声の特徴量である。図 5(a) に示すように単位時間ごとに全パートが鳴らしている上位 3 つの音を求

め、近似的な和声音とする。そして単位時間ごとに和声音を含む場合を 1, 含まない場合を 0 とした一次元ベクトル CA を作成する。この特徴量



図 5: Consonance Activity の特徴ベクトル

を用いたパート i と j の距離 $D_{CA}(i, j)$ を式 (6) で定義する。

$$D_{CA}(i, j) = 1 - \cos(CA_i \cdot M, CA_j \cdot M) \quad (6)$$

この特徴量は図 5(b)(c) のように音符の動きがあっても旋律パートのように非和声音を多く含むパートと伴奏パートのように和声音を多く含むパートのフレーズを別のフレーズとして認識することができるという利点を持つ。

4 実験結果

本章では、提案手法 ScoreIlluminator の有用性を評価するための色付け楽譜生成実験について報告する。

4.1 実験条件

入力となる実験データとして拍子、パート、音高、長さ、タイミングが記述された楽譜データを用意する。ここではモーツァルト作曲/歌劇「フィガロの結婚」序曲を対象とした実験について説明する。この曲のパート構成は上段から順番にフルート、オーボエ、クラリネット、ファゴット、ホルン、トランペット、ティンパニ、第 1 ヴァイオリン、第 2 ヴァイオリン、ヴィオラ、チェロ、コントラバスの計 12 パートで、小節数は 294 小節、2 分の 2 拍子である。出力の色付けにはできるだけ色の違いが分かるように彩度が同程度で色相が離れている色を選ぶ。

3 章で述べた提案手法をもとに $L = 1, S = 1$ 、 $E = 298$ すなわち、1 小節を 1 フレーズとして 1 小節目から順番に最後の小節までクラスタリン

グを行った。また重み係数 w は $w_k = \{0.4, 0.2, 0.2, 0.2\}$ とした。

得られたクラスタのラベルをもとに GNU Lilypond¹を用いて色付けをし楽譜出力を行った。

4.2 実験結果



図 6: 生成した色付け楽譜 (8~12 小節, $K = 4$)

図 6~11 に示すように提案手法によって色付けされた楽譜が生成された。図??では上段部でフルートとクラリネットおよびオーボエとホルンのメロディー受け渡しが行われているのが分かる。さらに色付けにより、オーボエとホルンのメロディーに合わせて、ファゴット、ヴィオラ、コントラバスが頭打ちをしていることが示されている。本来ならば自分がその楽器を担当していなければ見落としがちな点である。また図 7, 8 では同じ小節を違うクラスタ数で生成した色付け楽譜であるが、概ね結果は同じだが、ティンパニのパートを分けるかどうかの違いがある。この場合は $K = 3$ の時の方がメロディとリズムとハーモニーの役割に分かれておりうまく色付けできていると言える。図 9, 10 は $K = 2$ とクラスタの数を減らした場合の色付け結果を示している。これらの結果を見ると分かる通り、メロディーを受け持つパートとそれ以外で奇麗に色付けがなされている。ここではほとんどのパートのリズムが同じものの、ヴァイオリンだけが上昇音型などと旋律の役割を担っており、距離の定義がうまくいっていることを示している。そして、図 11 では下降音型の旋律に加わるパートが少しずつ増えていく様子がよく分かる。このように全体の役割の変化が一目で分かる事により、見やすくなる

¹<http://lilypond.org/>

だけでなく曲の構造の理解も支援できると考えられる。

以上の実験結果を見ると、比較的単純な特微量を用いたにもかかわらず、提案手法は妥当な色付け結果を示すことができ、スコアリーディングの支援が可能な楽譜を生成できる能力を持っていると言える。

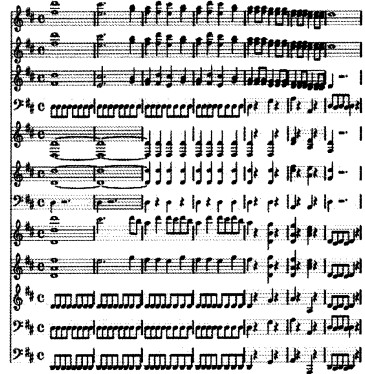


図 7: 生成した色付け楽譜 (12~18 小節, $K = 3$)



図 8: 生成した色付け楽譜 (12~18 小節, $K = 4$)

5 考察

実験結果より提案手法の有用性が示された。それは提案手法が定義した 4 つの特微量が音楽の 3 要素であるリズム、旋律、和声を考慮していたことや、楽器の違いによる響きの特微量、拍の重要性を考慮した拍節構造行列が合奏における役割を表現するのに適したものであったからだと考えられる。

曲にはフレーズと呼ばれる音のつながりの単位が存在するが、今回の実験では $L = 1$ 、すなわち 1 小節を 1 フレーズとした。そのため異なる



図 9: 生成した色付け楽譜 (39~42 小節, $K = 2$)



図 10: 生成した色付け楽譜 (43~45 小節, $K = 2$)

るフレーズ (例えば、メロディーと伴奏) が、あるタイミングで同じ長さの同じ音を演奏している場合、これらの音をまとめてしまうと、フレーズが分断され、スコアの可読性が低下してしまうといった点がいくつか見受けられた。パート間のマッチングは、ある程度の時間単位をもって行う必要があると言える。しかし、単純にフレーズの長さを長くすれば良いというわけではなく、長くするとそれだけフレーズの境界を超える可能性が高くなり、その結果クラスタ数が増え逆に可読性が低下してしまうことになりかねない。フレーズの長さやクラスタ数はトレードオフの関係にあるので、フレーズの境界を正しく推定することはそれだけで十分研究の価値がある。

前川らは、フルスコアから小編成のスコアへ自動編曲する際に入力をフレーズごとに分割する手法を提案している [7]。彼らは音符外情報 (速度変化記号・音量変化記号・リハーサルマーク) と音符情報 (特に音の長さ) を用い、対象楽曲についてフレーズの境目を提示することに成功している。

このことから新たな特徴量として音の強弱



図 11: 生成した色付け楽譜 (49~52 小節, $K = 4$)

の情報を定義し、適切なフレーズの境目ごとにクラスタリングを行うようにしたいと考えている。

6 おわりに

本稿ではスコアリーディング支援のための色付け楽譜を生成できる、オーケストラスコアの自動色付け手法 ScoreIlluminator について述べた。フレーズ検出や和声解析などの複雑な処理をせずに 4 つの特徴量をもとにパート間の距離を定義しクラスタリングを行うことでスコアの色付けを実現した。また実験結果から提案手法の有用性を確認することができた。

提案手法は今回の実験で得られた色付け楽譜の同色のパートを簡約化することでピアノリダクション自動編曲 [6] やコンデンススコア自動生成 [1] などにも応用可能であると考えている。

参考文献

- [1] 遠山 紀子, 松原 正樹, 斎藤 博昭: リズム特性を用いたコンデンススコア自動生成手法の提案, 情報処理学会音楽情報科学研究会, 2007-MUS-69-10, Vol.2008, No.89, pp.41-44, 2008.
- [2] 渡邊 ふみ子, 藤代 一成, 平賀 瑠美: デジタルスコアによる楽曲学習支援インタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.45 No.3, pp.710-718, 2004.
- [3] やさしく弾ける!![色付きコード譜] シリーズ, ドレミ楽譜出版社.
- [4] 田中すみ: いろいろおふた 音楽を教えるアイデアを!, シンコーミュージック, 2005.
- [5] D.Ó Mairín. "A Geometrical Algorithm for Melodic Difference." Melodic Similarity - Concepts, Procedures and Applications, Computing in Musicology II, MIT Press 1998.
- [6] 藤田 顕次, 大野 博之, 稲積 宏誠: 習熟度を考慮した複数量楽譜からのピアノ譜生成手法の提案, 情報処理学会音楽情報科学研究会, 2008-MUS-77-10, vol.2008, No.89, pp.47-52, 2008.
- [7] 前川 博志, 江村 伯夫, 三浦 雅展, 柳田 益造: 楽譜情報に基づいたフルスコアの自動フレーズ分割に関する検討～標準的な吹奏楽スコアから小編成用への自動編曲を目指して～, 音楽音響研究会, 2005.