

楽曲判定における和音の転回情報の効果

足達花絵^{†1} 岡部正幸^{†2} 梅村恭司^{†1}

楽曲の作曲者の判定のために圧縮プログラムを用いる方法が知られている。本研究では、音高を特徴とする方法とクロマベクトルを比較した。クロマベクトルは、西洋音楽において1オクターブを12半音とする音楽的な知見に基づいた、有効な特徴量だと知られる。一方、オクターブを無視するために、音高や和音の転回などの情報が失われるという問題がある。そこで、音高や和音の転回情報を保持するために、クロマベクトルを88次元に拡張した。しかし、88次元のベクトルに表現すると、各楽曲のデータの長さが長くなるため、圧縮のために必要な辞書の長さも同様に長くなるという問題がある。そこで、ブロックソート法という圧縮法を用いることにより、辞書の長さの問題を解決し、88次元のベクトルが有効となった。また、評価においては、作曲家5人、各15曲のピアノ曲を対象に作曲者の判定を行い、全ての作曲者間で1%有意を達成した。

Considering Chord Inversion on Estimating the Composers of Scores

KAE ADACHI^{†1} MASAYUKI OKABE^{†2}
KYOJI UMEMURA^{†1}

There are several reports to use compression program on estimating the composer of scores. In these methods, it is an open problem what kind of features in the scores should be considered. In this paper, we propose to use data format that retains chord inversion, so that chord inversion should be considered on estimating the composer. Though Chroma Vector is known to be effective representation format of data unit to compress, Chroma Vector ignores chord inversion in its nature. We have expanded the 12-dimensional Chroma Vector into 88-dimensional Pitch Vector. There is one problem of the 88-dimensional Pitch Vector as data unit. Since the length of data corresponding to each score becomes longer than that of Chroma Vector, the compression program needs to use longer strings to analyze the data and needs to use dictionary of longer strings. We have solved the problem with careful choice of the compression algorithm. We have found that block-sorting method is suitable for this task. In our experiment, we have chosen the scores of piano piece of five composers. We have selected famous 75 scores (15 scores for each composer). We have computed the distances among all scores. We have estimated the composer assuming that score of the same composer is close to each other. We have obtained statistically significant results (1% level) for all pair of composer, and thus outperformed Chroma Vector method.

1. はじめに

楽曲の作曲者の判定のために圧縮プログラムを用いる方法がいくつか知られている。類似性の定量化と分類技術の組み合わせを様々な替えて作曲者の判定を行っている報告[3]では、類似性を定量化方法の1つとして圧縮プログラムが用いられている。我々も、楽曲間の距離として圧縮プログラムを用いた類似度を使用して作曲者の判定を行う報告を行った[4]。

また、判定のための特徴量としてクロマベクトルが広く用いられる。クロマベクトルは、西洋音楽において1オクターブを12半音とする音楽的な知見に基づいた有効な特徴量である。一方、オクターブを無視するために、音高や和音の転回などの情報が失われるという問題がある。転回により、度数や音程の関係（長、短など）が変化することから、音高の情報を欠如したままでよいのか疑問がある。

本研究では、音高の情報を保持するために、クロマベクトルを88次元に拡張し、その有効性について検証を行った。しかし、88次元のベクトルで楽曲を表現すると、圧縮のた

めに必要な辞書の長さが長くなるという問題がある。そこで、ブロックソート法という圧縮法を用いることにより、辞書の長さの問題を解決し、88次元のベクトルが有効となった。また、提案手法において、連続的なデータである楽曲データ区切る単位についても検討した。

評価においては、作曲家5人、各15曲のピアノ曲を対象に作曲者の判定を行い、全ての作曲者間で1%有意の結果を達成した。

2. 提案手法

ここでは、圧縮プログラムを用いた作曲者の判定方法及び、実験における楽曲データの特徴量抽出方法と手順について述べる。

2.1 類似判定のための関数

類似判定のための関数として、Keoghらが提案するCDM(Compression-based Dissimilarity Measure)[1]を用いる。参考文献[2]でNCDと呼ばれ、音楽に対して応用されている尺度と等価である。

CDMは、式(1)により求められる。

$$CDM(x, y) = \frac{C(xy)}{C(x) + C(y)} \quad (1)$$

^{†1} 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系
Toyohashi University of Technology Computer Science and Engineering
^{†2} 豊橋技術科学大学 情報メディア基板センター
Toyohashi University of Technology Information and Media Center

x, y: 文字列

C(x): 文字列 x を圧縮したファイルサイズ

C(xy): 文字列 x, y を連結し、圧縮したファイルサイズ
 時系列データ同士が類似しているほど、連結し圧縮したデータサイズ C(xy) は、各々に圧縮したデータサイズを足しあわせた C(x) + C(y) より、圧縮に必要な辞書などの情報を共有するため、CDM は小さい値となる。楽曲の類似判定においては、この辞書の情報が音の遷移の共通パターンとなる。

また、CDM は圧縮プログラムの方式により、認識する共通パターンが変化し、その結果として、性能が変化するという特徴がある。

2.2 データ

CDM を利用するために、楽曲を文字列化する必要がある。本研究では、楽曲の転回の効果について議論したいため、楽曲の判定のために広く用いられているクロマベクトルと、転回情報を保持する 88 次元への拡張方法を以下に述べる。また、用意した楽曲データは作曲家 5 人、各 15 曲であり、実験に使った曲のリストは、付録として示す。

(1) クロマベクトル

西洋音楽において、1 オクターブは 12 半音と定義されている。それに基づき、実験では 12 次元のクロマベクトルを用いる。図 1 に楽曲からのクロマベクトルの作成方法を示す。まず、音が鳴っている時を 1、鳴っていないときを 0 とし、各時間の音程のオクターブを無視して取り出す。取り出す音は主旋律だけではなく、伴奏を含んだすべての音である。図 2 のように取り出した 0, 1 の文字列をデータの時間の早い方から順につなぎ合わせる。この方法で作成したクロマベクトルは、同時間に鳴っている音を 0 と 1 で全て表すため、転調があっても音の遷移は影響を受けない。しかし、オクターブを無視しているため、和音の基本形や転回形などといった区別をすることはできない。

(2) 88 次元へ拡張したピッチベクトル

ここでは、(1) のクロマベクトルを 88 次元に拡張する方法を示す。クロマベクトルの作成では、各時間の音程のオクターブを無視して取り出していたが、ここでは、音高をそのまま取り出し、音が鳴っている時を 1、鳴っていないときを 0 とし文字列化する。つまり、ある時間に鳴っている音が、クロマベクトルでは 12 次元のベクトルで表されていたのに対し、88 次元のベクトルで表されることになる。ここで、対象としている楽曲はピアノ曲であるので、88 次元のベクトルであれば、オクターブの情報が残る、和音の基本形と転回形は別の形の文字列となる。

(3) 転調への対応

両方のベクトルについて、作曲者の判定に用いる情報として転調情報を含ませたくない。そのため、転調があったとしても同じような文字列としたい。このために、0 と 1 で表現されたベクトルに区切り記号をいれずに、連結するように文字列化した。この文字列に変換すると、転調があったときに影響を受けるのは、文字列の最初と最後の 0 の数だけであり、中間の文字列は影響を受けない。結果として、転調された楽曲も類似していると判定できる。

(4) 最小単位の音符

楽曲を文字列にするときにどの音符を最小と単位にするかという問題がある。短い音符を単位とするほうが、もとの楽曲の情報を失わないという考え方もあるが、軽微なバリエーションがあっても同一性を保持したいときには、短い音符は無視したほうが良いという考え方もある。両方のベクトルについて、データは 1 曲ごとに 32, 16, 8 分音符を最小の単位とした 3 つのデータを作成した。



図 1 楽曲の文字列化 1

000000000000100000000000...000000000010

図 2 楽譜の文字列化 2

2.3 評価

本実験では作曲者の判定のために K-NN (k 近傍法) を使用した。K-NN は、特徴空間における最も近い訓練例に基づいた統計分類の手法である。以下に本実験で用いた未知データのラベル決定方法の手順を説明する。

1. 未知データと各データの CDM を計算し距離とする。

2. 未知データとの距離が近い順に k 個選び、最も多いデータのラベルを未知データのラベルとする。

この方法で、すべての作曲者間において判定を行う。

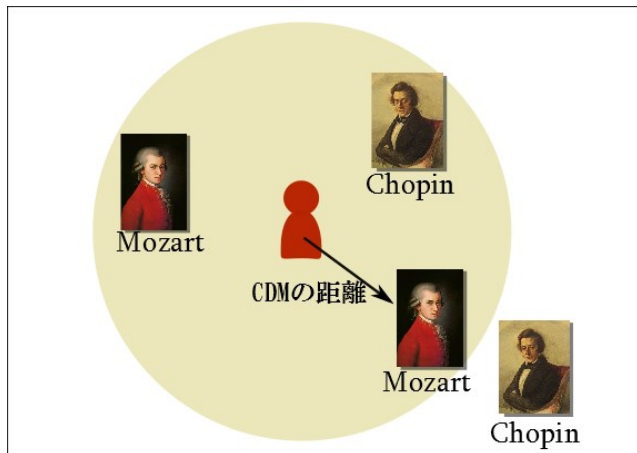


図 3 KNN の例

3. 実験

実験では、作曲者 5 人、各 15 曲の楽曲を用意し、2.2 節の方法でクロマベクトルと 88 次元のベクトルを作成した。類似関数として Keogh らの CDM を用いて作曲者間の距離を算出し、5 人の作曲者間で総当たりを行い、その符号検定の有意水準を求めた結果が各実験結果の表である。

以下に符号検定の手順を具体的に示す。まず、作曲者を 2 名選ぶ。次に、ある作曲者のある曲を一つ選ぶ。その曲の作曲者が不明であると仮定して、その曲と作曲者の分かっている残りの 29 曲との CDM の距離を計算し、距離の近い 3 曲を求める。その 3 曲の作曲者のうち多い作曲者を、選んだ曲の作曲者と推定する。こうすると推定結果の判定が 30 個できるので、これを正解が偶然以上に多いかを判定する。この手続きを図 4 に示す。

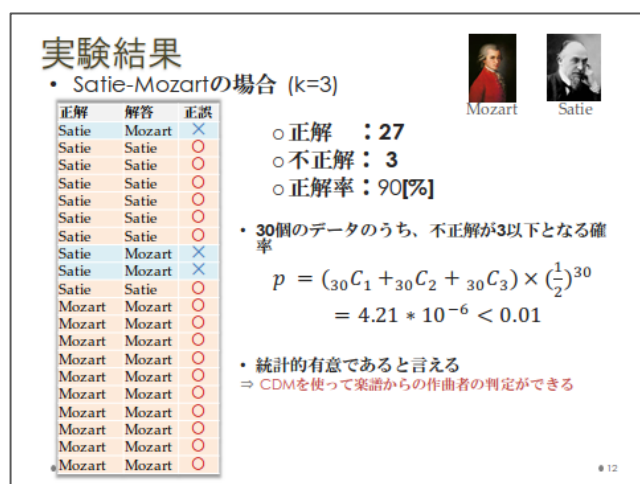


図 4 2 組の作曲者についての有意水準の計算

3.1 転回情報の効果

クロマベクトルでは、オクターブを無視するために音高

や転回情報を保持出来ないという問題があった。ここでは、クロマベクトルを 88 次元に拡張し、音高の情報を保持できるベクトルとクロマベクトルを比較する。

表 1, 表 2 は、それぞれクロマベクトルと 88 次元ベクトルで実験を行ったときの有意水準である。クオンタイズは 16 分音符に設定し、圧縮方式は先行研究[4][5]にて良い結果を得ることができた bzip2 を使用している。クロマベクトルでは、Chopin-Debussy, Chopin-Satie において、有意水準は 5% を越え作曲者の判定能力がないと言える。対して 88 次元ベクトルでは、全ての作曲者間において、1% 有意を達成している。また、殆どの組み合わせにおいて、88 次元ベクトルの方が、クロマベクトルに比べ性能が良いことがわかる。以上より、音高の情報が作曲者の判定において、重要であることが示唆される。

表 1 有意水準 (クロマベクトル)

	Bach	Mozart	Chopin	Debussy
Mozart	0.0081			
Chopin	0.0081	0.0081		
Debussy	0.0002	0.0081	0.4278	
Satie	0.0002	0.0002	0.1002	0.0026

表 2 有意水準 (88 次元)

	Bach	Mozart	Chopin	Debussy
Mozart	0.0081			
Chopin	0.0026	0.0007		
Debussy	0.0007	0.0000	0.0007	
Satie	0.0000	0.0026	0.0026	0.0007

3.2 使用する圧縮方式の違いについて

本研究において、音高を保持するためにクロマベクトルを 88 次元に拡張した。しかし、これにより、最小単位の音符を 8 分音符に設定した場合においても、1 小節の文字列は 500 文字を超えることとなり、圧縮に必要な辞書の長さの問題が生じる。このような問題があっても適切に圧縮できるような圧縮プログラムの選択が重要である。

3.1 節では先行研究で良い結果が得られていた bzip2 を用いていたが、bzip2 の他に gzip を用いて同様の実験を行った。

表 3, 表 4 は、圧縮プログラムの方式として bzip2 及び gzip を用いて実験を行った結果である。最小単位の音符の設定は 16 分音符としている。表 3 の bzip2 を用いた場合はすべての作曲者間において 1% 有意を達成しているのに対して、表 4 の gzip を用いた場合では、1% 有意を達成している組合せは、Bach-Debussy, Mozart-Chopin のみとなり、性能は bzip2 にかなり劣る。

gzip が殆どの場合において作曲者の判定能力を有しない

のに対し、bzip2 が全ての作曲者間において、高い性能を有する理由としては、2 つの圧縮方式の違いに関係があると考えられる。gzip は、LZSS 法とハフマン符号化を組み合わせた圧縮方式であり、辞書の長さに制限があるのに対し、bzip2 はブロックソート法を用いた圧縮方式で、並び替えに使用する文字列の長さに制限を持たない。よって、表 3、表 4 のような結果となったと考えられる。

表 3 有意水準 (bzip2)

	Bach	Mozart	Chopin	Debussy
Mozart	0.0081			
Chopin	0.0026	0.0007		
Debussy	0.0007	0.0000	0.0007	
Satie	0.0000	0.0026	0.0026	0.0007

表 4 有意水準 (gzip)

	Bach	Mozart	Chopin	Debussy
Mozart	0.1002			
Chopin	0.0214	0.0081		
Debussy	0.0002	0.4278	0.2923	
Satie	0.0214	0.1808	0.1002	0.1002

3.3 最小単位の音符の検討

最小単位の音符は、連続的である楽曲データをある単位で区切るときの単位となる。最小単位の音符が身近ければ装飾音などより細かく原曲に近いデータを取ることができ、大きければより粗いデータをとることになる。

表 5、表 6、表 7 は、それぞれ最小単位の音符を 32 分音符、16 分音符、8 分音符とし実験を行ったときの有意水準である。最小単位の音符を 32 分音符とした場合、Mozart-Chopin において有意水準が 5% を越え作曲者の判定能力がない。また、8 分音符を最小単位の音符として設定した場合、Mozart-Chopin で有意水準が 5%、Mozart-Debussy、Chopin-Debussy で有意水準が 1% を越え判定が出来ないことがわかる。

3.2 節で述べたように、bzip2 を用いればデータの長さに制限はないので、原曲により近いデータを用いることで、さらに精度の向上が見込めると考えた。実際、最小単位の音符を 8 分音符に設定すると、作曲者の判定に必要な情報も落ちてしまう。さらに、最小単位の音符が 32 分音符など細かくすると、より原曲に近い情報を保持することができるが、判定精度は低下した。この理由として、楽曲において、32 分音符より短い長さの音が楽曲に出現することは、装飾音符などを除いて多くない。この結果は、楽曲の作曲者の特徴は装飾音までには表現されていないと解釈できる。

表 5 有意水準 (32 分音符)

	Bach	Mozart	Chopin	Debussy
Mozart	0.0081			
Chopin	0.0007	0.1808		
Debussy	0.0002	0.0026	0.0081	
Satie	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000

表 6 有意水準 (16 分音符)

	Bach	Mozart	Chopin	Debussy
Mozart	0.0081			
Chopin	0.0026	0.0007		
Debussy	0.0007	0.0000	0.0007	
Satie	0.0000	0.0026	0.0026	0.0007

表 7 有意水準 (8 分音符)

	Bach	Mozart	Chopin	Debussy
Mozart	0.0081			
Chopin	0.0081	0.1002		
Debussy	0.0081	0.0214	0.0214	
Satie	0.0000	0.0000	0.0026	0.0026

4. おわりに

本稿では、圧縮プログラムを用いた楽曲における作曲者の判定において、クロマベクトルを 88 次元へ拡張し、和音の転回情報の効果について、検討を行った。実験により、音高情報を保持することが可能である 88 次元ベクトルでは、全ての作曲者間で 1% 有意を達成し、クロマベクトルより良い性能を示すことを確認し、作曲者の判定において転回情報が重要である可能性を示した。特徴ベクトルを 12 次元から 88 次元に拡張したことにより、データの長さがクロマベクトルに比べ非常に長くなる問題に関しては、圧縮方式として bzip2 を用いることにより、作曲者の判定を可能にした。また、最小単位の音符を 32、16、8 分音符の 3 つに設定し実験を行った。bzip2 を用いることで、8 分音符ではなく 16 分音符を用いることで効果が出ることを確認できた。しかしながら、32 音符まで短くすると別の問題が生じることも分かった。




参考文献





- 1) Eamonn Keogh, Stefano Lonardi, Chotirat Ann Ratanamahatana, Towards Parameter-Free Data Mining: Proceedings of the tenth ACM SIGKDD, pp. 206-215, 2004
- 2) Rudi Cilibrasi and Paul M. B. Vitányi. Clustering by compression. *IEEE Transactions on Information Theory*, 51:1523-1545, 2005.
- 3) Yoko Anan, Kohei Hatano, Hideo Bannnai, Masayuki Takeda, Ken Satoh, "Polyphonic Music Classification On Symbolic Data Using Dissimilarity Functions", 13th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2012)

- 4) 足達花絵, 岡部正幸, 梅村恭司: 圧縮類似度による楽譜からの作曲者の判定, DEIM Frum 2013 D1-1
 5) 村上雅紀, 岡部正幸, 梅村恭司: 赤外線センサによる行動予測実現性のためのデータ照合, Deim2011 B9-3

付録

付録 A.1 楽曲データ一覧

作曲家	タイトル
 J.S.Bach	無伴奏ヴァイオリンのためのパルティータから「シャコンヌ」 BWV1004
	フランス組曲 第5番, BWV816
	G線上のアリア
	2声のインベンション第1番 BWV772
	2声のインベンション第2番 BWV773
	2声のインベンション第3番 BWV774
	2声のインベンション第4番 BWV775
	2声のインベンション第5番 BWV776
	2声のインベンション第6番 BWV777
	2声のインベンション第8番 BWV779
	カンタータ第140「目覚めよと呼ぶ声あり」
	平均律クラヴィア集第1番
	平均律クラヴィア集第2番
	平均律クラヴィア集第3番
	平均律クラヴィア集第6番
 Chopin	エチュード Op.10-3「別れの曲」
	エチュード Op.10-4
	エチュード Op.10-5「黒鍵」
	エチュード Op.10-12「革命」
	エチュード Op.25-9「エオリアン・ハーブ」
	エチュード Op.25-12「大洋」
	ワルツ Op.18「華麗なる大円舞曲」
	ワルツ Op.64-1「子犬のワルツ」
	ワルツ Op.69-1
	マズルカ Op.7-1
	マズルカ Op.33-2
	前奏曲 Op.28-15「雨だれ」
	ポロネーズ第6番 Op.53「英雄ポロネーズ」
ノクターン Op.9-1	
ノクターン Op.9-2	
 Debussy	前奏曲集第1巻より「亜麻色の髪の乙女」
	前奏曲集第1巻より「沈める寺」
	アラバスク 1番
	アラバスク 2番
	美しき夕べ
	夢
	小さな黒人
ベルガマスク組曲「パスピエ」	

 Satie	ベルガマスク組曲「プレリュード」
	ベルガマスク組曲「メヌエット」
	ベルガマスク組曲「月の光」
	子供の領分 「ゴリウオーグのケーキウォーク」
	子供の領分 「クラドゥス・アド・バルナツスム博士」
	子供の領分 「雪が踊っている」
	子供の領分 「人形のセレナーデ」
	快い絶望(1906~13年時期の6つの作品)
	幻想ワルツ
	グノシエンヌ第1番
 Mozart	グノシエンヌ第2番
	グノシエンヌ第3番
	ジュ・トゥ・ヴ(おまえが欲しい)
	金の粉
	貧しき者の夢
	空想歌(くぼんだ夢)
	優しく
	ヴェクサシオン(いやがらせ)
	ジムノペディ 第1番
	ジムノペディ 第2番
 Schubert	ジムノペディ 第3番
	オジーヴ 第1番
	アヴェ・ヴェルム・コルプス
	戴冠式ミサより「アニュス・デイ」
	春へのあこがれ
	ウィーンのソナチネ第1番 第4楽章 K.439b
	歌劇「ドン・ジョヴァンニ」よりツェルリーナの aria
	ピアノのためのフーガ ト長調 K.375g
	メヌエット
	行進曲 K.544
 Beethoven	フィガロの結婚
	ピアノソナタ第3番 K281
	ピアノソナタ第8番 イ短調 1楽章 K.310
	ピアノソナタ 第11番 第2楽章 K.331
	ピアノソナタ 第11番 第3楽章 K.331
	ピアノソナタ 第15番 第1楽章 K.545
	ピアノソナタ 第15番 第2楽章 K.545