

低頻度ピッチクラスセットの2-gramパターンを用いた モーツァルトの交響曲と弦楽四重奏曲の比較分析

平野 充 ・ 山元 啓史 (東京工業大学)

本研究の目的は、モーツァルト (Wolfgang Amadeus Mozart, 1756 - 1791) が作曲した交響曲と弦楽四重奏曲の間で、出現頻度の低いピッチクラスセット (PCセット) の使用法が異なるかどうかを明らかにすることである。PCセットはピッチクラス (同じ名前を持つ音の高さの集まり) の組み合わせを表現したもので、これを用いることで楽曲のメロディやハーモニーの特徴を計量的に分析できる。モーツァルトの交響曲 39 曲と弦楽四重奏曲 23 曲の第 1 楽章を対象に、弦楽器声部の PCセットを小節ごとに集計し、低頻度 PCセットの使用法について調べた。分析の結果、モーツァルトの交響曲において、低頻度 PCセットと PCセット {0, 4, 7} (長三和音に相当) による 2-gram パターンの割合が、弦楽四重奏曲の場合と比べて低いことがわかった。

Comparison between Mozart's Symphonies and String Quartets Using Infrequent patterns of Pitch-Class Set

Michiru Hirano / Hilofumi Yamamoto (Tokyo Institute of Technology)

The aim of the present study is to clarify the differences in the usage of infrequent patterns of pitch-class set (PC set) between Mozart's symphonies and string quartets. PC sets, which is representation of combinations of pitch classes, make it possible to quantitatively analyze melodic and harmonic features of musical compositions. We employed 39 symphonies and 23 string quartets composed by Mozart and collected PC sets of string section within a measure. The results indicated that the 2-gram patterns between infrequent PC set and PC set {0, 4, 7}, which corresponds to major triad, are less frequent within Mozart's symphonies than the case of string quartets.

1 序論

本研究の目的は、モーツァルト (Wolfgang Amadeus Mozart, 1756 - 1791) が作曲した交響曲と弦楽四重奏曲の間で、出現頻度の低いピッチクラスセット (以下、PCセット) の使用法が異なるかどうかを明らかにすることである。

交響曲と弦楽四重奏曲の弦楽器声部の編成は、第 1 ヴァイオリン、第 2 ヴァイオリン、ヴィオラ、チェロの 4 声部において共通しているが、各声部を演奏する人数 (交響曲では複数人、弦楽四重奏曲では 1 人のみ) の点で異なるほか、

リズム、メロディ、ハーモニーといった、楽譜から観察可能な音楽的特徴に違いがあることが指摘されている (Hickman 1981: 194)。しかしながら、例えばハーモニーに関して、交響曲の場合は全体的にシンプルで不協和音がたまにしか使われないのに対して、弦楽四重奏曲の場合はより多くの不協和音が用いられ、より大胆な和声進行をする (Hickman 1981: 194)、といった指摘には明確な根拠がない。

これらの違いを客観的に説明するのに、PCセットを用いる方法がある。PCセットとは、あ

る範囲に現れる音符のピッチクラス¹の組み合わせパターンで、0から11の整数の集合として表現される (Forte 1973: 3). 音楽の3要素 (リズム, メロディ, ハーモニー) のうち, 音高に関わるのはメロディとハーモニーなので, PCセットは, メロディやハーモニーを機械的に縮約したものであるといえる. したがって, 楽曲間にPCセットの使用法の違いがあれば, それはメロディやハーモニーの特徴の違いを反映している可能性がある. 通常, メロディやハーモニーの分析の際は, 和音の形成に寄与しない一時的な音を非和声音として除外する, メロディや和音の範囲を適切な箇所区切る, といった, 経験と感覚にしたがった主観的な操作をするため, 分析者によって結果に異同がある. しかしPCセットの分析は, あらゆる楽曲を一律に, 明確な定義に基づいて行なうため, 網羅的で再現性が高いという利点がある.

筆者らはこれまでに, モーツァルトの交響曲と弦楽四重奏曲の弦楽器声部について小節ごとのPCセットを調べ, そのうちの出現頻度が高いものの割合が両者の間で異なる (平野・山元 2017) こと, そして, これら高頻度PCセットの2つが連続するパターン (2-gram パターン) にも両者の間で特徴の違いがある (Hirano and Yamamoto 2018) ことを明らかにした.

高頻度PCセットは多くの楽曲で幅広く多用されるもので, 長音階を構成するすべてのピッチクラス (C, D, E, F, G, A, B) からなる {0, 1, 3, 5, 6, 8, 10} や長三和音の構成音 (C, E, G) からなる {0, 4, 7} が代表的である. 一方で, 低頻度PCセットは特定の楽曲においてごく稀にしか使われないものである. 慣用的でない低頻度PCセットの使用は, 偶然の産物か, 作曲家の意図によるものかのいずれの場合もありうるが, 結果として楽譜に残った使用法の特徴が, 高頻度PCセットの場合と同様に交響曲と弦楽四重奏曲の違いを説明するのに貢献するかどうかは検討に値する.

低頻度PCセットは種類が多い (本研究の範

¹オクターブの違いを無視した, 同じ音名を共有する音高 (ピッチ) の集合. 例えば, ピッチクラスCにはオクターブの異なるさまざまな高さのC (ド) の音が含まれる.

囲で, 頻度1のPCセットだけで34種類) 上に, 各々が限られた回数しか出現しないため, 種類ごとに傾向をとらえるということとはできない. 代わりに, 本研究では低頻度PCセットを総称して L と表記し, 「珍しいPCセット一般」としてその使用法の傾向を分析する. また, 低頻度PCセット L に該当しないPCセットは総称して「非低頻度PCセット $\neg L$ 」と表記する.

本研究では, 特に慣用的な高頻度PCセットと低頻度PCセット L との前後関係を調べるために, それらの連続パターン (2-gram パターン) を分析する.

2 方法

2.1 材料

モーツァルトが作曲した39の交響曲と23の弦楽四重奏曲 (計62曲) の第1楽章を用いる. モーツァルトは交響曲を50曲以上作曲したと考えられているが, すでに消失したものや, 偽作の疑いがあるものなどがある (ザスロー・カウデリー 2012: 208-209). また, 序曲やセレナードという, 他のジャンルから転用された交響曲も数に含む場合がある. 本研究では, モーツァルトの作であることが確実な現存作品のうち, はじめから交響曲として構想された39曲を材料として用いる. 弦楽四重奏曲は, モーツァルトが作曲した23曲すべてを用いる. 作品の同定にはケッヘル作品目録 (第6版) による番号を用いる. 本研究の材料の一覧を表1, 表2に示す.

各曲の楽譜は, ベーレンライター社刊行の「新モーツァルト全集」による版を用いる. 楽譜はすべて, MusicXML 形式に変換

表1: 分析に用いる材料 (交響曲39曲). 番号はケッヘル作品目録 (第6版) による.

K. 16	K. 19	K. 19a	K. 22	K. 45a
K. 43	K. 45	K. 48	K. 73	K. 74
K. 75b	K. 112	K. 114	K. 124	K. 128
K. 129	K. 130	K. 132	K. 133	K. 134
K. 161a	K. 161b	K. 162	K. 162b	K. 173dA
K. 173dB	K. 186a	K. 186b	K. 189k	K. 300a
K. 318	K. 319	K. 338	K. 385	K. 425
K. 504	K. 543	K. 550	K. 551	

表 2: 分析に用いる材料 (弦楽四重奏曲 23 曲).
番号はケッヘル作品目録 (第 6 版) による.

K. 73f	K. 134a	K. 134b	K. 157	K. 158
K. 159	K. 159a	K. 168	K. 169	K. 170
K. 171	K. 172	K. 173	K. 387	K. 417b
K. 421b	K. 458	K. 464	K. 465	K. 499
K. 575	K. 589	K. 590		

する. この操作により, 楽譜に書かれた音符等の情報が文字列で構造的に記述され, コンピュータプログラムによる処理が可能となる. 例えば, 1 つの音符に関する情報は `<note></note>` タグの内部に記述され, その中で特に音高は `<pitch></pitch>` タグと `<octave></octave>` タグを用いて記述される.

2.2 PC セットの定義

PC セットは, 構成要素となるピッチクラスを数値で表現する. 本研究では, 構成要素の数値を波括弧 `{}` で囲って表記する. 構成要素の数値は以下の手順で定める.

(1) 該当箇所に見れた音符のピッチクラスを表 3 に示した 0 から 11 の整数に置き換え, これらの重複を削除する. (2) 各要素 (整数値) を昇順に並べ, 先頭の要素に 12 を足して末尾に移動した順列を PC セットの要素数の分だけ作成し, それらのうち先頭と末尾の要素の差が最も小さいものを選ぶ. この操作によって 1 つに定まらない場合, 先頭と 2 番目の要素の差, 3 番目の要素との差, というように, 末尾から 1 つ前の要素までの差を順に調べ, 最小となるものを選択する. 最後まで複数の候補が残る場合は, それらの各要素間の差がすべて等しいため, いずれを選択しても構わない. (3) PC セット内の各要素から先頭の要素の数値を引き, 先頭の要素が 0 となる形に変換する.

手順 (1) の通り, 該当箇所において 1 回以上出現したピッチクラスは, 出現回数によらず一律に扱われる. 手順 (2) と手順 (3) は, 同じ音程関係を共有するピッチクラスの組み合わせを, 1 つの PC セットに縮約するための操作である. 例えば 3 つのピッチクラスの組み合わせである長三和音には, 音高の並び順によって, 低い方から見て (a) 長三度+短三度, (b) 短三度+

完全四度, (c) 完全四度+長三度の 3 通りの音程関係の形 (転回形) があり, また (a) の形にしたときの最も音高の低いピッチクラスの種類 (根音) によって 12 通りある. そのため, 同じ長三和音である 「C, E, G」 と 「F, A, C」 は手順 (1) によって `{0, 4, 7}` (長三度+短三度, 根音 C) および `{0, 5, 9}` (完全四度+長三度, 根音 F) と異なる形に変換される. これらを同一視するために, まず後者を手順 (2) によって `{5, 9, 12}` とすることで, 3 要素間の音程関係を (a) の形に統一し, さらに手順 (3) で `{0, 4, 7}` に変換することで, 根音を C に揃える. これらの操作によって, 転回形や調性によらず長三和音なら `{0,4,7}` と表記される.

なお, 手順 (2) の操作において採るべき形が 1 つに定まらない例として, 「C, F \sharp 」 (三全音), 「C, E, G \sharp 」 (増三和音), 「C, D, E, F \sharp , G \sharp , A \sharp 」 (全音音階) などがある. これらは手順 (1) によってそれぞれ `{0, 6}`, `{0, 4, 8}`, `{0, 2, 4, 6, 8, 10}` と変換されることからわかるように, 1 オクターブを等分割する音程関係で, 手順 (2) の操作で作成するすべての順列が同じ転回形となるが, 手順 (3) によって最終的に 1 通りの形となる.

ところで, Forte (1973) では上記に加えて別の操作も行なうが, 本研究では採用しない. その操作とは, 手順 (2) に際して, 各要素の数値を 12 から引いて昇順に並べ直した順列も候補に加えることである. 例えば `{0, 4, 7}` (長三和音) であれば, 転回形の `{4, 7, 12}`, `{7, 12, 16}` の他に, `{0, 4, 7}` の各要素を 12 から引いて昇順に並べ直した `{5, 8, 12}` とその転回形 `{8, 12, 17}`, `{12, 17, 20}` も候補に加え, そこから条件に合う `{5, 8, 12}` が選ばれる. これは手順 (3) によって `{0, 3, 7}` (短三和音) に変換される. すなわち, この操作はピッチクラスの順列の音程関係を, 音高が低い方から見た場合と高い方から見た場合とを同一視するためのものである. そのため, 上記の例では長三和音 (低い方から長三度+短三度) と短三和音 (同様に短三度+長三度) が同じ PC セットとみなされることになる. 本研究が対象とするモーツァルトの楽曲は, ほとんどが古典的な和声理論に従っ

表 3: 各ピッチクラスと整数の対応表.

PC	C	C \sharp	D	D \sharp	E	F	F \sharp	G	G \sharp	A	A \sharp	B
	B \flat	D \flat		E \flat	F \flat	E \sharp	G \flat		A \flat		B \flat	C \flat
整数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Molto Allegro
Symphony No.40 g minor K.550 by Mozart

Measure

Pitch Classes within a Measure

↓ ↓ ↓ Digitize ↓ ↓ ↓

Pitch-Class Set {0,1,5,8} {0,1,5,8} {0,2,3,7} {0,1,3,5,8} {0,2,5,7,8}

図 1: モーツァルトの交響曲ト短調 K.550 の冒頭を例にした, PC セット取得のイメージ.

ており, その核となる長三和音と短三和音の区別が見えなくなると和声の構造を理解する上で困難が生じる恐れがあるため, 上記の操作を採用しなかった.

以上を踏まえて, 本研究における PC セット生成の具体例を示す (図 1). この例の第 1 小節では, 第 1 ヴァイオリンと第 2 ヴァイオリンにどちらも「Eb, D」, 第 1 ヴィオラに「Bb, Bb, G, G, Bb, Bb, G, G」, 第 2 ヴィオラに「G, G, Bb, Bb, G, G, Bb, Bb」, チェロとコントラバスに「G」のピッチクラスが現れており, すべての弦楽器器声部を通じて 4 つのピッチクラス (D, Eb, G, Bb) が用いられている. これらを手順 (1) に従って数値化すると, {2, 3, 7, 10} となる. 次に手順 (2) に従い, {2, 3, 7, 10} の先頭の要素 2 に 12 を足した 14 を末尾に移動した順列 {3, 7, 10, 14}, そこからさらに同様に処理した {7, 10, 14, 15}, {10, 14, 15, 19} を作成する. この中で, 先頭と末尾の要素の差が最も小さい順列は {2, 3, 7, 10} と {7, 10, 14, 15} であり, これらのうち, 先頭と 2 番目の要素の差が最も小さい {2, 3, 7, 10} を選択する. 最後に手順 (3) で, {2, 3, 7, 10} の各要素から先頭の要素 2 を引いた {0, 1, 5, 8} の形に変換する.

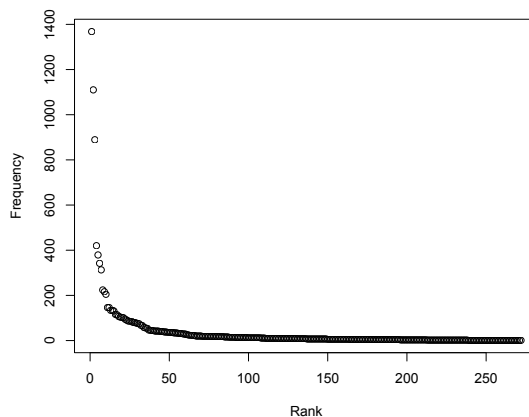


図 2: 交響曲, 弦楽四重奏曲を合わせた全楽曲 (62 曲, 10,353 小節) の PC セットのランク (横軸) と頻度 (縦軸). 平野・山元 (2017: 86) の図 2 より転載.

3 結果

3.1 PC セットの出現頻度順位と出現頻度

交響曲と弦楽四重奏曲を合わせた全楽曲 (62 曲) 中に現れる PC セットの出現頻度順位と出現頻度の関係を図 2 に示した (平野・山元 2017). 第 1 位から第 5 位までの PC セットはそれぞれ, {0, 1, 3, 5, 6, 8, 10}, {0, 4, 7}, {0, 1, 3, 5, 6, 8}, {0, 3, 6, 8}, {0, 2, 4, 5, 7} であった. 以下では, 第 i 位の PC セットを P_i と表記する.

3.2 低頻度 PC セットの決定

本研究では, 上記 $P_1 \sim P_5$ の PC セットを高頻度 PC セット, 頻度が 18 以下の $P_{76} \sim P_{272}$ の PC セットを低頻度 PC セット L とみなした. 低頻度 PC セットについて定めた上記の基準の根拠は, 図 2 のプロットを L 字型の曲線とみなした場合に, $P_1 \sim P_5$ の高頻度 PC セット

トがプロット上でL字の縦方向に占める割合(72%分)と同じだけ横方向に占める部分を低頻度PCセットLと定めたためである。なお、低頻度PCセット($P_{76} \sim P_{272}$)の出現頻度の総和は1,193で、 P_1 の出現頻度1,368よりやや低い程度である。

3.3 高頻度PCセットから低頻度PCセットへの2-gramパターン

高頻度PCセット($P_1 \sim P_5$)がそれぞれどの程度の割合で低頻度PCセットへ連続するかどうかを調べるため、「 $P_1 \sim P_5 \rightarrow L$ 」および「 $P_1 \sim P_5 \rightarrow \neg L$ 」の2-gramパターンの頻度を交響曲、弦楽四重奏曲それぞれについて集計し、 χ^2 検定の残差分析を行なった(表4)。数値が5%基準で有意に大きい項目には▲, 小さい項目には▽を表中に併記した。この結果、交響曲においては P_1, P_2, P_5 からLに連続する2-gramパターンの出現頻度の割合が有意に低く、弦楽四重奏曲においては $P_2 \rightarrow L$ の2-gramパターンの出現頻度の割合が有意に高いことがわかった。したがって、交響曲においては高頻度PCセットからLに連続する割合が低い傾向があり、とりわけ P_2 に関しては、弦楽四重奏曲において高い割合でLに進むことに比べて対照的である。

3.4 低頻度PCセットから高頻度PCセットへの2-gramパターン

低頻度PCセットがどの程度の割合で高頻度PCセット($P_1 \sim P_5$)のそれぞれへ連続するかどうかを調べるため、「 $L \rightarrow P_1 \sim P_5$ 」および「 $\neg L \rightarrow P_1 \sim P_5$ 」の2-gramパターンの頻度を交響曲、弦楽四重奏曲それぞれについて集計し、 χ^2 検定の残差分析を行なった(表5)。数値が5%基準で有意に大きい項目には▲, 小さい項目には▽を表中に併記した。この結果、交響曲においてはLから P_2, P_5 に連続する2-gramパターンの出現頻度の割合が有意に低く、弦楽四重奏曲においてはLから P_1, P_2, P_5 に連続する2-gramパターンの出現頻度の割合が有意に高

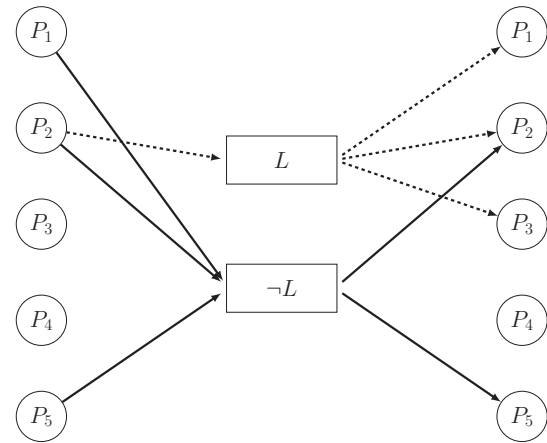


図3: 高頻度PCセット $P_1 \sim P_5$ と低頻度PCセットLまたは非低頻度PCセット $\neg L$ の間で頻度が有意に高い連続パターン。実線の矢印は交響曲、破線の矢印は弦楽四重奏曲のパターンをそれぞれ示している。

いことがわかった。したがって、弦楽四重奏曲においてはLから高頻度PCセットに連続する割合が高い傾向があり、とりわけ P_2 に関しては、交響曲においてLから連続する割合が低いことに比べて対照的である。

4 考察

表4および表5に示した結果のうち、連続する割合が有意に高いパターンを模式化した(図3)。実線で示した矢印は交響曲において有意な連続パターンで、非低頻度PCセット $\neg L$ とつながる傾向が高いことがわかる。逆に、弦楽四重奏曲の場合(破線の矢印)は低頻度PCセットLと連続する傾向がある。交響曲と弦楽四重奏曲の間で、特に P_2 において低頻度PCセットLに連続する割合の高さが対照的であった。 P_2 は{0, 4, 7}で、{C, E, G}など、長三和音の構成音がこれに該当する。

ここで、弦楽四重奏曲における $P_2 \rightarrow L$ の2-gramパターンのうち、最も頻度が高い(頻度6) $P_2 \rightarrow P_{84}$ について検証する。これらはすべてK. 464に出現している。最初に出てくるのが

表 4: 「 $P_1 \sim P_5 \rightarrow L$ 」および「 $P_1 \sim P_5 \rightarrow \neg L$ 」の 2-gram パターンの頻度.

	交響曲					弦楽四重奏曲				
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
$\rightarrow L$	▽ 36	▽ 40	46	22	▽ 11	52	▲ 28	21	14	2
$\rightarrow \neg L$	▲ 697	▲ 791	534	262	▲ 292	581	▽ 219	286	122	74

表 5: 「 $L \rightarrow P_1 \sim P_5$ 」および「 $\neg L \rightarrow P_1 \sim P_5$ 」の 2-gram パターンの頻度.

	交響曲					弦楽四重奏曲				
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
$L \rightarrow$	41	▽ 30	28	18	▽ 12	▲ 56	▲ 30	▲ 31	10	6
$\neg L \rightarrow$	692	▲ 803	553	266	▲ 290	▽ 577	▽ 220	▽ 277	125	69



図 4: $P_2 \rightarrow L$ の例. 弦楽四重奏曲 K. 464 の第 36~37 小節.

第 36~37 小節 (図 4) で, 第 36 小節の長三和音 (P_2) で一段落した後, 第 37 小節 (P_{84}) で第 1 ヴァイオリン (*Violino I*) が B から B# へ半音上行する新たなフレーズを提示している. 残りの 5 回もすべて同じパターンである.

この例からわかるように, 長三和音の P_2 によって曲が落ち着いたあとに, 普段使われない低頻度 PC セット L を用いることによって, 新しいフレーズの導入を目立たせる効果があると考えられる. したがって, こうした例では低頻度 PC セットが作曲者の意図によって用いられているという可能性があり, その場合に上記のような効果を多く狙ったのが弦楽四重奏曲であり, 交響曲ではむしろ避けられた, ということがありうる.

5 結論

本研究の結果から, モーツァルトの交響曲においては, 弦楽四重奏曲に比べて, 低頻度 PC セット L と長三和音を表す PC セット $\{0, 4, 7\}$ による 2-gram パターンが少ないということがわかった.

参考文献

Forte, Allen (1973) *The Structure of Atonal Music*: Yale University Press.

Hickman, Roger (1981) "The Nascent Viennese String Quartet," *The Musical Quarterly*, Vol. 67, No. 2, pp. 193-212, Apr.

Hirano, Michiru and Hilofumi Yamamoto (2018) "Collocation Patterns of Pitch-Class Sets: Comparing Mozart's Symphonies and String Quartets," in *Proceedings of JADH Annual Conference 2018*, pp. 29-31, Japanese Association for Digital Humanities.

ザスロー, N.・W. カウデリー (編) (2012) 『モーツァルト全作品事典』, 森泰彦監訳, 音楽之友社.

平野充・山元啓史 (2017) 「モーツァルトの交響曲と弦楽四重奏曲のピッチクラスセットを用いた和声分析」, 『じんもんこん 2017 論文集』, 83-88 頁.