

音楽作品の計量的特徴抽出

Quantitative Feature Extraction from Musical Scores

平野 充 山元 啓史
Michiru Hirano Hilofumi Yamamoto

東京工業大学 大学院社会理工学研究科
Graduate School of Decision Science and Technology, Tokyo Institute of Technology

The purpose of this paper is to propose a framework that allows us to extract features from musical scores and to compare musical compositions quantitatively. Conventional approaches to analyzing musical compositions were normally subjective and ambiguous. Quantitative analyses, on the other hand, yield objective and reproducible results. Our framework pay attention to attributes of objects like key, meter, or instrumentation when comparing. Appropriate variables are composed of factors extracted from musical scores. As a case study using the framework, fifteen movements of early symphonies by Mozart were examined. Results showed that types of movement of Mozart's early symphonies were distinguishable in terms of quantitatively extracted features.

1. はじめに

本研究の目的は、音楽作品の楽譜から楽曲の特徴を計量的に抽出し、楽曲同士の比較分析を行なう研究の枠組みを提案することである。

音楽作品は、時代、国、ジャンル、作曲家といったグループごとにそれぞれ異なった様式（共通する特徴）を持つと考えられ、それらによって比較して論じられることがしばしばある。しかし、こうした様式概念は漠然としており、音楽作品が持つ特徴を記述する包括的な手法は確立していない[大宮 88]。

本研究が提示する枠組みは、音楽作品に内在する特徴を計量的に記述することにより、楽曲同士の客観的な比較を可能にする。楽曲同士を比較することで、特定の作品群における類似性の有無等を検証することができる。

音楽に記号学概念を導入したナティエは、音楽作品を創出レベル（音楽作品が作られる過程に関する事柄）、中立レベル（創出の痕跡）、感受レベル（音楽作品から感じ取られる事柄）の3段階に分けられるとし、音楽分析にはそれらのレベルの組み合わせ方により様々な視点のものがあろうことを指摘した[Nattiez 87]。本枠組みでは、観察者の主観に左右されない中立レベルの特徴を記述し、創出レベルおよび感受レベルの特徴は記述しない。より広い視野を持つ音楽研究のためには創出レベルや感受レベルの視点を持つことが不可欠だが、それは本枠組みで中立レベルの特徴に基づいた分析結果を得た後に、その解釈の段階において行うべきことである。

本研究では、楽譜を材料とした分析を行なう。楽譜は音楽の一側面を一定のルールに従って可視化したもので、中立レベルとみなせる。物理的な音響そのものも中立レベルとみなせるが、ひとつの作品に対する音響は一定でなく、演奏によって様々に変化するため、作品に固有の特徴を見出しにくい。また、異なる作品を同じ基準で比較することも困難である。音楽には複合的な要素が結びついており、楽譜から得られる情報はわずかであるが[大崎 02]、楽譜から読み取れる情報のみによって音楽の特徴を記述する研究は、音響も含めた幅広い音楽研究の基礎として位置づけられる。

本研究では特に微視的な視点の枠組みを提示する。この視点は、従来の和声法、対位法、管弦楽法が取り扱ってきたような、一つ一つの音符の連関に着目するものであり、楽式論のような巨視的な視点と対をなすものである。

本稿の以下の部分は、次のように構成される。§2. では分析の枠組みの提示する。§3. では§2. で提示した枠組みを一つの研究事例へ適用することを試み、枠組みの有効性について考察する。§4. では前の2節を踏まえて、本研究の結論を述べる。

2. 計量的特徴抽出による楽曲分析の枠組み

2.1 楽曲の属性

研究のはじめに、対象となる作品群の属性を明示して、分析の目的を明らかにする。共通した特徴を持つとされる作品群は、作品の何らかの属性を共有していると考えられる。したがって、分析対象となる作品群における、属性の共通点と相違点を明確にすることで、分析によって得られた対象の特徴の類似性が、どの属性に依拠しているかを検証することができる。

楽曲の属性には、楽曲そのものを規定するものと、楽譜上の音楽とは直接関係しない背景情報の二種類がある。

楽曲そのものを規定する属性には、調（調号）、小節数、拍子、速度等の標記、楽器編成、といったものがある。これらは楽譜上に音楽が記述されるための前提となる要素であり、音符や休符などの中身を入れる器に例えることができる。

背景情報である属性には、多楽章構成の作品における楽章の位置、ジャンル、作曲家、作曲年、作曲あるいは演奏された場所、作曲の動機、といったものが挙げられる。

従来、楽曲が分析的に論じられる際に、以上のような属性に関する情報が重要な要素として扱われることが多かったが、本枠組みでは、特徴抽出の段階においてすべての対象をその属性に依らず等しく扱い、考察の段階において属性についての考慮をする。

2.2 音楽要素の抽出

楽譜には、音符や休符の他に、さまざまな記号や文字情報が書かれている。こうした、楽譜から抽出できるさまざまな要素は、表1に示すように、その要素が持つ情報のレベルに応じて低次から高次へと階層的に考えることができる。

第1段階では、音を出す指定の有無（音符であるか休符で

表 1: 楽譜から抽出できる要素．下の要素ほど情報のレベルが高次になる．

情報のレベル	要素	情報の種類	
低次	1	音符または休符	音の有無に関する情報
	2	音価（時間軸），音高（音高軸）	音符自体に備わる情報
	3a	アーティキュレーション記号（スラー，スタッカートなど）	音価に関係する付加的な情報
	3b	装飾音，装飾記号，グリッサンド	音高に関係する付加的な情報
	4a	強弱記号（ピアノ，フォルテ，クレシェンドなど）	ディナミック（音の強弱変化）に関する情報
↓	4b	速度記号（リタルダンド，アツェレランドなど）	アゴーギク（速度変化）に関する情報
	4c	奏法記号（ピッツィカート，弱音器，ペダルなど）	音色に関する情報
	高次	5	発想記号（ドルチェ，エスプレッシオーヴォなど）

あるか）が問われる．第 2 段階は，音価（音の持続時間の相対的關係）と音高（絶対的な音の高さ）である．楽譜は時間軸と音高軸によって構成されており，音価と音高はそれぞれの軸に対して一つの音符が持つ情報である．第 3 段階には，音価や音高に関する付加的な情報が挙げられる．スラー，スタッカートといったアーティキュレーションに関する指定は，音価の長さの微妙な変化を要求するものである．こうした指定がなされた箇所の実際の音価は楽譜に正確に書き表されず，演奏者に委ねられる．表 1 ではこうした音価に関する付加的な情報を 3a と表した．同様に，前打音，後打音といった装飾音，トリルやターンといった装飾記号，グリッサンド等は音高に関する付加的な情報と考えられ，3b と表した．第 4 段階（4a, 4b, 4c）に含まれるのは強弱記号，速度記号，奏法記号であり，これらは音の強弱変化，速度変化，音色に関する情報である．第 5 段階は，ドルチェ，エスプレッシオーヴォ等の発想記号であり，楽想に関する，より主観性の強い情報である．

楽譜から要素を抽出する際には，以上のような，要素の持つ情報のレベルを考慮する．

2.3 変数の設定

楽譜から抽出した音楽要素を用いて，楽曲の特徴を示すような変数を設定する．変数の設定方法には多様な可能性があり，分析の目的に応じて工夫しなくてはならない．例えば共時的な視点に立って，同時点に置かれた複数声部の音高に着目することで，ハーモニーの特徴を示す変数を設定することができる．また，通時的な視点に立って，隣り合う音符同士の音高の推移や音価の変化に着目することで，メロディーやリズムの特徴を示す変数を設定することができる．あるいは，両方の視点を組み合わせ，複数声部間の音型の継時変化に着目することで，対位法の特徴を示す変数を設定することができる．

2.4 分析手順

本節の最後に，本枠組みで楽譜から要素を抽出し，変数を測定して分析するまでの手順について述べる．まず，材料となる楽譜の画像ファイルを用意する．次に，楽譜の内容を電子的に処理するために，楽譜作成ソフトを用いて楽譜表記フォーマットの MusicXML 形式に変換する．MusicXML 形式とは，楽譜上の情報を `<pitch>`（音高）`</pitch>`，`<duration>`（音価）`</duration>` というようにタグを用いて入れ子構造的に記述する形式である．MusicXML 形式に変換することにより，楽譜のデータを文字列として扱うことが可能になる．その後，分析の目的に応じて分析者が設定した変数を，コンピュータープログラムを用いて測定する．複数の変数を測定する場合は，多変量解析などの統計学的手法を用いて結果を解釈する．

3. 研究事例

本節では，§2. で提示した枠組みを，一つの研究事例へ適用することを試み，枠組みの有効性について考察する．

3.1 目的と背景

本研究事例の目的は，モーツァルトの初期交響曲を構成する楽章に関する問題（後述）について，前節で提示した枠組みを用いて答えることができるかどうかを検証することである．

本事例における問題設定は，多楽章形式の作品の楽章種別が，楽譜上の音楽要素で区別されるのか，あるいは外的要因（楽曲全体における位置，言葉による指示）で区別されるのか，という点である．ここでは特に，モーツァルトの初期交響曲を例にとって調べる．

西洋音楽の歴史では，17 世紀頃から，複数の楽曲を一組にまとめた器楽曲（歌唱を伴わず，楽器のみで演奏される楽曲）が作曲されるようになった [Grout 60]．一つの楽曲を構成する小曲を楽章と呼び，楽曲が複数の楽章から成る形式を多楽章形式と呼ぶ．多楽章形式の作品は，各楽章のテンポ（演奏速度；通常各楽章の冒頭に標記される）や雰囲気が対照的である場合が多く，特に 18 世紀中頃に発展した古典派音楽においては，似通った楽章構成の型が，ソナタ，交響曲，協奏曲といったさまざまなジャンルで共有されるようになった [Grout 60]．そのため，楽章種別ごとに共通した音楽様式を持ち，単に楽曲全体の中での位置や言葉による指示（速度標記）という外的な要因だけで区別されるのではないと考えられるが，詳細な分析はなされていない．

モーツァルト（Wolfgang Amadeus Mozart, 1756 - 1791）は古典派を代表するオーストリアの作曲家で，35 年の生涯に 40 曲近くの交響曲（オーケストラで演奏される多楽章形式の作品ジャンル）を作曲した．そのうち最も初期の作品群は，8 - 10 歳の頃（1764 - 1766 年）に，父レオポルトに連れられた西欧旅行の途上で作曲された．これらは，この旅行中に交流したクリスティアン・バッハ（Johann Christian Bach, 1735 - 1782）ら，当時の著名な作曲家の作品をモデルにして作曲したと考えられている．これらの作品はモーツァルトにとって初めてのオーケストラ作品の作曲であったが，先達の手法を十分に吸収しており，モデルとなった作品群に質的にまったく見劣りがないと言われている [Zaslav 89]．したがって，この時期のモーツァルトの作品に見られる特徴は，同時期の音楽界の傾向をある程度反映していると考えられる．

モーツァルトが初期交響曲を作曲した時代は，バロック時代から古典派時代への移行が進みつつあった時代と現在ではみなされており，交響曲というジャンルそのものが多く作曲されるようになった時代でもあった．したがって，モーツァルトの初期交響曲について知見を得ることは，モーツァルトの創作の初期段階についての理解を深められるばかりでなく，交響曲のジャンル史の視点からも意義のあることである．以上が，本研究事例がモーツァルトの初期交響曲を対象とする理由である．

表 2: 対象楽曲 (K.16, 19, 19a, 22, 45a) の各楽章の主要な属性。対象名の先頭の数字は K 番号を, アンダースコアに続く数字は楽章の番号を表す。楽器編成の「弦」は弦楽器 4 声部 (第 1 ヴァイオリン, 第 2 ヴァイオリン, ヴィオラ, チェロとコントラバス) を, 「Ob2」はオーボエ 2 声部を, 「Hr2」はホルン 2 声部を表す。

対象名	調号	小節数	拍子	速度等の標記	楽器編成
16_1	b3	120	4/4	Molto allegro	弦+Ob2+Hr2
16_2	b3	50	2/4	Andante	弦+Ob2+Hr2
16_3	b3	108	3/8	Presto	弦+Ob2+Hr2
19_1	#2	78	4/4	Allegro	弦+Ob2+Hr2
19_2	#1	45	2/4	Andante	弦+Hr2
19_3	#2	106	3/8	Presto	弦+Ob2+Hr2
19a_1	b1	93	4/4	Allegro assai	弦+Ob2+Hr2
19a_2	b2	60	2/4	Andante	弦+Hr2
19a_3	b1	104	3/8	Presto	弦+Ob2+Hr2
22_1	b2	98	4/4	Allegro	弦+Ob2+Hr2
22_2	b2	57	2/4	Andante	弦+Ob2+Hr2
22_3	b2	97	3/8	Molto allegro	弦+Ob2+Hr2
45a_1	#1	84	4/4	Allegro maestoso	弦+Ob2+Hr2
45a_2	なし	84	2/4	Andante	弦+Hr2
45a_3	#1	112	3/8	Presto	弦+Ob2+Hr2

3.2 方法

3.2.1 材料

本研究事例で材料とする楽曲は, モーツァルトが作曲した交響曲のうち, 現存しているものの中で最も初期 (1764 ~ 1766 年頃) に作曲された 5 曲 (K.16, 19, 19a, 22, 45a) である。各曲に付される K.16 といった番号はケツヘル作品目録番号 (以下, K 番号) で, モーツァルトの作品の同定に用いられる [Köchel 62]。本稿では, 最新の第 6 版の番号 (上記) を用いてこれらの作品を区別する。

本事例が着目するのは, 各交響曲を構成する楽章がそれぞれに持つ特徴であるため, 本稿の以下の部分では, 一つ一つの楽章を一曲とみなして分析を行なう。材料となる 5 曲の交響曲はいずれも 3 つの楽章で構成されているため, 本研究では 15 の楽曲を取り扱うことになる。対象楽曲の楽譜には, Bärenreiter 社刊行の新モーツァルト全集を用いる。これは国際モーツァルトウム財団によりウェブ上で研究用に公開されている^{*1}。

3.2.2 データ処理

本事例では, 主成分分析を行なうことで, 各対象について測定される 8 個の変数 (後述) のうち, どの変数が対象の特徴に対して強く影響するかを検証する。

3.2.3 枠組みの適用

本分析では, 各対象の楽章種別ごとに, 異なる特徴が観測されるかどうかを検証する。

本分析で取り上げる 15 個の楽章について, 主要な属性をまとめたものが表 2 である。この表にまとめた属性は主に楽曲そのものを規定する属性である。背景情報については, 対象名の楽章位置のみを含めた。ジャンル, 作曲者, 作曲年, 作曲あるいは演奏された場所, 作曲の動機については, 今回の対象内で同一か, ほとんど同じとみてよいため, 考慮しないことにした。

表 2 から, 楽章位置と拍子および速度等の標記の間に大きな相関関係があることがわかる。拍子は, 例外なく第 1 楽章が 4/4 拍子, 第 2 楽章が 2/4 拍子, 第 3 楽章が 3/8 拍子である。速度等の標記は, 第 2 楽章がすべて Andante (歩くような速さ) で, 第 3 楽章は 22_3 が Molto Allegro (とても速く) と

なっている他は Presto (速く) である。第 1 楽章は, 一部に Molto, assai (とても), maestoso (荘厳に) といった修飾語が併記されているが, 基本となる速度はすべて Allegro (速く) である。よって完全に一致しないが, 第 1 楽章が Allegro, 第 2 楽章が Andante, 第 3 楽章が Presto であると大まかに言える。楽章位置と他の属性の間のこうした相関関係を, モーツァルトはこれらの交響曲を作曲する際の定型としていたと考えられる。したがって, 本分析の対象において, 楽章種別とは楽章位置, 拍子, 速度等の標記を内包した属性であるとみなせる。

楽器編成は, ほとんどの対象が弦楽器 4 声部とオーボエ 2 声部, ホルン 2 声部の計 8 声部で, 19_2, 19a_2, 45a_2 のみオーボエを除いた計 6 声部である。よってこれらはほぼ同じ規模の編成とみなせ, 後述するように, 本事例では第 1 ヴァイオリン声部のみから変数を測定するため, 楽器編成の属性は同一と考える。調号と小節数は, 各交響曲の中で, 相対的な変化が見られるものがあるが, 本事例が測定する変数にはあまり影響しないため, 考慮しない。

本分析では, 対象の交響曲を編成する複数声部の中から, 第 1 ヴァイオリン声部に用いられる音符の音高と音価のみを抽出し, これから設定した変数を対象の特徴と考えて比較する。第 1 ヴァイオリン声部は一般的に楽曲の中で中心的な役割を担う声部であるため, この声部の特徴が楽曲全体の特徴を代表していると仮定する。抽出する音高と音価は, 表 1 における第 2 段階の要素で, 比較的低位の情報である。

変数として, (a) 最頻出音高, (b) 最高音高, (c) 最低音高, (d) 音高の種類数, (e) 最頻出音価, (f) 最長音価, (g) 最短音価, (h) 音価の種類数の計 8 つを設定する。(a) ~ (d) は音高についての変数で, (e) ~ (h) は音価についての変数である。音高の値は MIDI ノートナンバーによって表現する。MIDI ノートナンバーは, 中央八音の 60 を基準として, 半音ごとに 0 から 127 まで割り振られた番号である。(a) 最頻出音高は, 曲中に現れる持続時間の合計が最も長い音高の値である。この値を音高の代表値とみなす。重音 (同時の演奏される複数の音) がある場合, それぞれの音高が別々に現れているときと同じように考え, 重音と同じ長さの持続時間を計上する。そのため, すべての音高の持続時間の合計と曲全体の長さは必ずしも一致しない。(b) 最高音高と (c) 最低音高は, それぞれ曲中に現れる最も高い音高と最も低い音高の値である。(d) 音高の種類数は, 曲中に現れる音高の値の異なり数で, 音高の多様性を示す。音価は, 四分音符の音価を 1 とし, 相対的に表現する。タイで繋がる音がある場合は, 繋がった音すべての音価を足したものを測定する。(e) 最頻出音価は, 曲中で最も発音回数が多い音価の値である。これを音価の代表値とみなす。(f) 最長音価と (g) 最短音価は, それぞれ曲中に登場する最も長い音価と最も短い音価の値である。(h) 音価の種類数は, 曲中に現れる音価の値の異なり数で, 音価の多様性を示す。

3.3 結果

主成分分析の結果を表 3 にまとめた。第 4 主成分 (PC4) までの累積寄与率が 0.8830 であることから, 8 つの主成分のうち, 上位の 4 つの主成分で元のデータの 88.3% が説明できる。

第 1, 第 2 主成分の散布図と第 1, 第 2 主成分得点の散布図を一つの図に重ねて示したものが図 1 である。この図から, 第 1 主成分は, 正の向きに (a) 最頻出音高, (b) 最高音高, (f) 最長音価, (h) 音価の種類数の 4 変数から, 負の向きに (e) 最頻出音価, (g) 最短音価の 2 変数から主に成っていることがわかる。また, 第 2 主成分は正の向きに (c) 最低音高から, 負の向きに (a) 最頻出音高, (d) 音高の種類数の 2 変数から主に成っていることがわかる。さらに, 5 つの交響曲のすべての第 1 楽

*1 NMA オンライン 新モーツァルト全集デジタル版, 入手先 <http://dme.mozarteum.at/DME/nma/start.php?l=3> (参照 2016-3-7)。

表 3: 主成分分析結果．第 1 行が標準偏差，第 2 行が寄与率，第 3 行が累積寄与率をそれぞれ表す．

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Standard deviation	1.7709	1.2983	1.1905	0.9083	0.6639	0.4918	0.4089	0.2936
Proportion of Variance	0.3920	0.2107	0.1772	0.1031	0.0551	0.0302	0.0209	0.0108
Cumulative Proportion	0.3920	0.6027	0.7799	0.8830	0.9381	0.9683	0.9892	1.0000

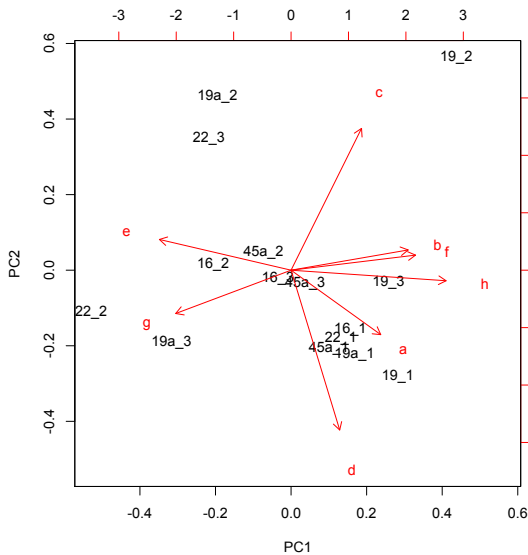


図 1: 第 1, 第 2 主成分の散布図と第 1, 第 2 主成分得点の散布図を重ねて示した図．横軸は第 1 主成分に，縦軸は第 2 主成分にそれぞれ対応している．赤色で示される a-h は元の変数で，主成分の値（下側および左側の目盛）を表している．矢印の向きと長さによって，変数間の関係がわかる．16_1 などで示される対象は，主成分得点（上側および右側の目盛）を表している．対象名については表 2 を参照．

章が図の右下にまとまって分布していることと，第 2 楽章と第 3 楽章は図の中央に位置するものから，遠く離れているものまで様々であることがわかる．

3.4 考察

第 1 主成分は，主に音価に関する変数が強く関係している．特に (f) 最長音価が (g) 最短音価と逆向きであり，(h) 音価の種類数と近い向きを示していることから，第 1 主成分は音価の幅の広さとその間の多様性を示す指標であることがわかる．それに対し第 2 主成分は，音高に関する変数が関係している．(c) 最低音高と (d) 音高の種類数が逆向きであることから，第 2 主成分は音高の下限の低さと音高の多様性を示す指標であることがわかる．

各交響曲の第 1 楽章は図 1 の右下にまとまって分布しており，これは第 1 主成分で正の値を，第 2 主成分で負の値をとることを意味している．特に (a) 最頻出音高と (d) 音高の種類数の 2 変数の値の大きさが第 1 楽章の共通した特徴であることがわかる．すなわち，第 1 楽章は高めの音高が多く用いられ，また音高の種類も豊富である傾向がある．

第 2 楽章は，図の中央に分布するもの (16_2, 45a_2) と，図の中央から離れて分布するもの (19_2, 19a_2, 22_2) の 2 種類がある．K.19 の第 2 楽章 (19_2) は，(b) 最高音高，(c) 最低音高が大きい値をとることから，音高の上限と下限がとも

に高めであることがわかる．一方 K.22 の第 2 楽章 (22_2) は，(e) 最頻出音価，(g) 最短音価において大きな値をとっており，長めの音価が多く用いられ，音価の下限も長めであることがわかる．このように，第 2 楽章は楽曲によって他と違った大きな特徴を持つことがあるが，特徴の現れ方はそれぞれ異なる．

第 3 楽章は，第 2 楽章と同じように図の中央付近のもの (16_3, 45a_3) と中央から離れたもの (19_3, 19a_3, 22_3) があるが，前者はより中央に近く，後者の離れ方も第 2 楽章ほど顕著ではない．

以上のように，本分析で測定した変数を観測することで，モーツァルトの初期交響曲の各楽章が，種別によって異なる特徴を持つことがわかった．このため，§2. で提案した，楽譜から楽曲の特徴を計量的に抽出し，楽曲同士を比較する研究の枠組みは，本事例が提起した問題に答えるのに有効であった．

4. おわりに

本研究は，音楽作品の楽譜から楽曲の特徴を計量的に抽出し，楽曲同士の比較分析を行なう研究の枠組みを提案した．この枠組みは，分析者の音楽的経験や背景知識，感性に依存しない実証的な楽曲分析を行なうための基盤となる．この枠組みを適用した研究事例においては，比較的低次の要素である音高と音価によって設定した変数を用いて，モーツァルトの初期交響曲が楽章種別ごとに区別される結果を示すことができ，枠組みの有効性を確認できた．

参考文献

- [Grout 60] Grout, D. J.: *A history of western music*, WW Norton (1960), (邦訳：西洋音楽史，服部 幸三，戸口 幸策 訳，音楽之友社 (1971))
- [Köchel 62] Köchel, L. R. v.: *Chronologisch-thematisches Verzeichnis sämtlicher Tonwerke Wolfgang Amadé Mozarts nebst Angabe der verlorengegangenen, angefangenen, von fremder Hand bearbeiten, zweifelhaften und unterschobenen Kompositionen*, Breitkopf und Härtel (1862)
- [Nattiez 87] Nattiez, J.-J.: *Musicologie générale et sémiologie*, Christian Bourgois, Paris (1987), (邦訳：音楽記号学，足立 美比古 訳，春秋社 (1996))
- [Zaslaw 89] Zaslaw, N.: *Mozart's symphonies: context, performance practice, reception*, Oxford University Press (1989), (邦訳：モーツァルトのシンフォニー，磯山 雅 監訳，永田 美穂 訳，東京書籍 (2003))
- [大崎 02] 大崎 滋生：音楽史の形成とメディア，平凡社 (2002)
- [大宮 88] 大宮 眞琴，LaRue, J.: *スタイル・アナリシス 1*，音楽之友社 (1988)