

平成 2 7 年 6 月 1 6 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24520150

研究課題名(和文) 楽曲構造における確率系の構造方程式モデリングとパス解析による視覚化の研究

研究課題名(英文) Research of structural equation modeling in stochastic system and visualization by path analysis in music structures.

研究代表者

小野 貴史 (ONO, Takashi)

信州大学・学術研究院教育学系・准教授

研究者番号：10362089

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000 円

研究成果の概要(和文)：音楽は音価、音高、音強、音色のパラメーターのみならず、水平／垂直な音の蓄積（広義には和声と定義づけられる）や、より大きな枠組みによって構成される楽曲形式など様々なファクターによって時間軸上に構築され展開されるものである。本研究では複雑な楽曲構造を構造方程式モデリング（共分散構造分析）を援用することによって数理的整合性を算出し、これまで分析が困難とされてきた楽曲に内包される様々なファクターの因果関係に対してパス解析図を用いて可視化させる方法論を導き出すことに成功した。

研究成果の概要(英文)：The music is intended to be constructed by a variety of factors on the time axis expansion. These various elements to make up the music are not only note values, pitch, dynamics, tone parameters but includes accumulation of horizontal / vertical tones (in a broad sense is correlated defined as harmony) and more larger framework of the form. In this research was calculated mathematical consistency of complex musical structure by incorporated structural equation model (covariance structure analysis). Then, it was able to derive a methodology to visualized using path analysis diagram for causal relations of the various factors that are included in music analysis has been said to be difficult.

研究分野：人文学

キーワード：楽理分析 構造方程式モデリング パス解析 音楽理論

### 1. 研究開始当初の背景

音楽分析に科学的分析手法が援用されるようになったのは 20 世紀半ばを過ぎてからである。その理由は、様々な現象を数理統計学によって解析し、表面上の数値の裏に隠れた因果関係を推定する手法 / 概念が興隆したことから、そうした計算に必要な膨大なデータを解析できるコンピューターが一般化したことが挙げられる。これらの研究のアプローチ傾向は以下の 3 つの系統に分類される。

- 1) 和声及び楽曲分析に統計学手法（ただし整合性検定 “Power Analysis” はなされていない）を応用した研究。Costère, Edmond、Forte, Alles、Morris, Robert、Johnson, Tom らがそれに該当する研究を行っている。
- 2) 音楽感情価値評価に因子分析を援用した研究。谷口高士等。
- 3) 楽音の知覚認知過程に因子分析を援用した研究。Snyder, Bob や Sloboda, John の研究。

しかし、それぞれが聴取サイドからの視点であり、音楽を構成する一部の要素に焦点を絞った研究がほとんどである。

### 2. 研究の目的

学際的分野を俯瞰すると、統計解析手法は計量心理学やマーケティング分野で近年盛んに用いられている。心理データやマーケティングデータと同様、音楽作品における構造もひとつの多変量データとして数理的統計解析手法を援用すべき対象と考えた。

同時に科学的アプローチ成果を、さらに大きな枠組みにおける音楽作品の構造的解析に援用し、極力主観を排した中立的立場からの視点を確立させる必要性を痛感した。ゆえに音楽作品における俯瞰的構造分析に主観を排するための数理統計解析手法を援用する研究の必要性から、これまで行ってきた研究を踏まえて、様々な音楽的パラメーター（音高、音価、音強、音色、+）を統計解析におけるファクター（因子）として数値化し分散・共分散行列を算出し、共分散構造分析を援用する研究手法を確立することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究は複雑な楽曲構造を共分散構造分析によって数理的整合性を算出し、楽曲に内包される様々な因子の因果関係をパス解析図を用いて可視化させる手法を確立させる。

構造方程式モデリングのメリットは異なる対象群の因子構造の関連を一度に分析できるところにある。従って、本研究課題は確率系（レゾー）の概念を共分散構造分析によって数理的整合性を証明し、パス解析図によって楽曲構造を可視化することを目的に定めた。

本研究では既存の楽曲を対象として統計的整合性から楽曲構造を可視化する新たな楽曲分析手法を提唱する。上記の方法論に従

えば、たとえば、前古典派に定型化された初期ソナタ形式の平均化データと、巨大に拡張されたリストやマーラーのソナタ形式との間の相関関係を確率系の視点から解析することが可能となり、それらをパス解析図によって可視化できるのである。

具体的には、観測的統計分析の立場をスタート地点とし、回帰分析と分散分析を組み合わせた比較的新しい統計解析法である構造方程式モデリング（Structural Equation Modeling）を援用しつつ算出された、複雑な変数の因果関係や相互関係を図（パス図 = Pass Diagram）で視覚表現する方法を用いた。つまり音楽作品における様々なパラメーターを数値尺度が均一化された多変量因子として扱い、同時に解析するアプローチである。本研究では小品ながら極めて複雑な構造を持つことで名高いアルバン・ベルクの『3 つの管弦楽小品』op.6 ~ 「行進曲」(Marsch) をこれらの手法を用いることによって分析した。

### 4. 研究成果

#### 1. 楽曲の成立データ

アルバン・ベルクの『管弦楽のための 3 つの小品』(Drei Orchesterstücke) は、1914 年 9 月 8 日から 1915 年夏にかけて作曲された。初演は 1923 年、アントン・ヴェーベルンの指揮によるベルリン・フィルハーモニーで、第 1 曲（「前奏曲」Präludium）と第 2 曲（「輪舞」Reigen）のみ。全曲の初演は 1929 年の改訂を経て 1930 年、オルデンブルクでヨハネス・シューラーの指揮による。オリジナルの自筆譜は The Morgan Library :

Museum Music Manuscripts Online. <http://www.themorgan.org/music/manuscript/114222> で閲覧できる。出版譜と自筆譜を見比べてみると 1914 年 8 月から、という日付を持つ自筆譜と 1929 年の出版に際しての印刷譜改訂版との差は微細なものである。曲の編成は拡大された 4 管編成。第 3 曲は「行進曲」と題され（“行進曲”と言っても西洋音楽文化では宗教儀礼 “Procession” の意味合いも含まれる）マーラーの交響曲第 6 番や『ヴォツェック』の行進曲との類似が顕著である。ピエール・ブーレーズは「伝統的形式に若干準じているものの、性格的素材は極端に拡大され、オーケストラ技法は複雑を極め、ひとつのイデーが 1000 にも増幅されている」（Boulez, 1957）と評している。今回はアドルノをして、「この小品を分析するには 1 冊の本の分量が必要である」（アドルノ、2014）と言わしめた第 3 曲「行進曲」に焦点を当てて数理的分析を試みた。

#### 2. 楽理的分析

本作品を楽理的に分析した先行研究は極めて少ない。ベルクがシェーンベルクやウェーベルンとともに導入する 12 音技法以前の作品で（この次に作曲されたオペラ『ヴォツェック』ではじめて本格的に 12 音技法が使

われる) 表現主義の頂点を極めた複雑な書法は機能と和声を基盤とするフレーズ生成分析(ハインリヒ・シェンカー等)や、オン・ビートな原始主義作風には効果的なリズム細胞の分割分析(ブーレーズ等) 音列構造分析(シュトックハウゼンやリゲティ)のどれを持って適切な結果は得られない。古典的フォームを基盤としつつも調性を持たずアモルフな不協和音の連鎖とリズム側面も原始主義のような楽曲の中心的ファクターとはならない表現主義の諸作品は、何らかのテキスト分析か史的展開を読解する音楽史的アプローチに終始しがちである。その中で、デリク・ピュフェットによる分析はベルクがこの作品を書く上でインスパイアされたマーラーの諸作品との関係性を中心にかなり詳細に楽理分析しており、大変示唆に富んでいる。ピュフェットはこの小品を次の5つのセクションに分割している。 Introduction : bars 1-32 / Main section [Exposition] : bars 33-90 / Development : bars 91-126 / Reprise : bars 127-154 / Coda : bars 155-174 (Puffett, p.138)。

こうしてベルクの作品を見ていくと、この小品は「行進曲」とは名ばかりの擬態的楽曲構成はラヴェルの『ラ・ヴァルス』(1920)との近親性を感じさせるし、よりエクスペリメンタルで即物的なシェーンベルクの同時期の作品よりもロマン的視野からカオス(科学的意味合いでのカオスではない)への希求を極限まで追求するベクトルに向かっている。また伝統的な“行進曲”のフレーズを散りばめつつも、それらが回帰的楽式構造として反復発展することはない、かなり恣意的フォームに拠っている。

### 3. 数理的分析

ピュフェットの分割法に従ってさらにフェーズを細分化し、スコアに指定されたテンポの推移をグラフ化したものが「Figure 1-A」である。Hammer と記された部分はマーラーの第6交響曲第4楽章同様にハンマーが使われている箇所である。1~15 は細分化されたユニットのポジションである。

同様に[Figure 1-B]はダイナミクスの変動、[Figure 1-C]は楽器の垂直ラインにおける厚みの推移を時系列グラフ化したものである。[Figure 2]は1929年版に基づいている6種類の演奏における15のフェーズそれぞれの演奏時間を算出したものである。グラフを見てもわかるように、録音年に40年以上の差がありながらも平均曲線をなぞるようなテンポ推移がなされており、相関係数は全てにわたって $>0.8$ と数理的には多重共線性が認められる。唯一フェーズ8の個所でカラヤンが大きく反行する動きを見せているが、統計学的には平均化され多重共線性とカウントされる。Rosbaud と Karajan では聴取上ではかなりの相違を感じるのだが、テンポ設定における数理的データでその差異を証明することはできない。

Figure 1-A

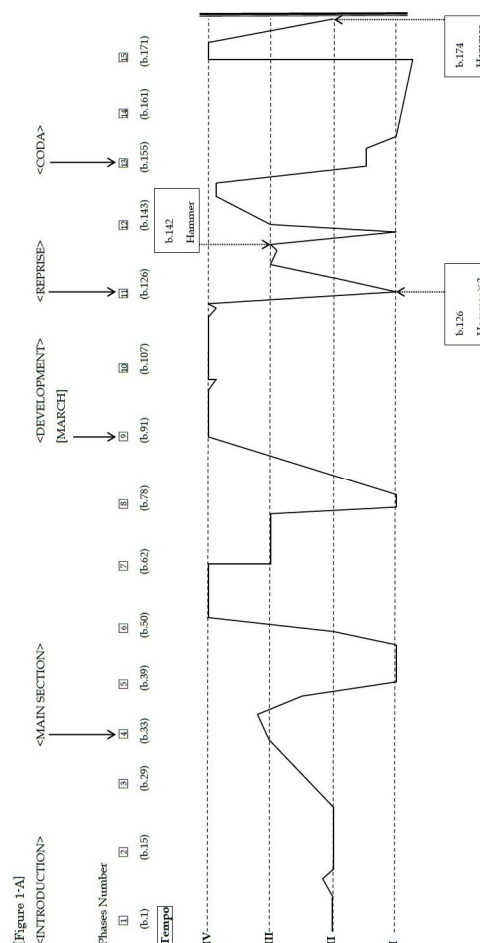


Figure 1-B

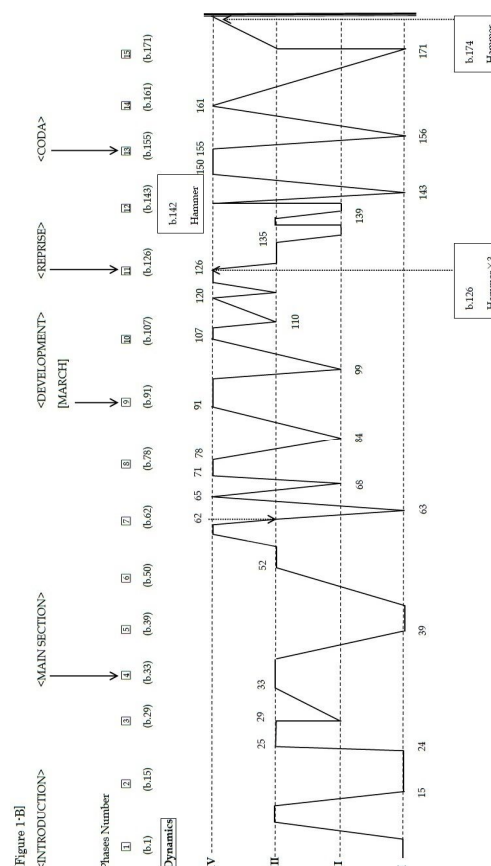


Figure 1-C

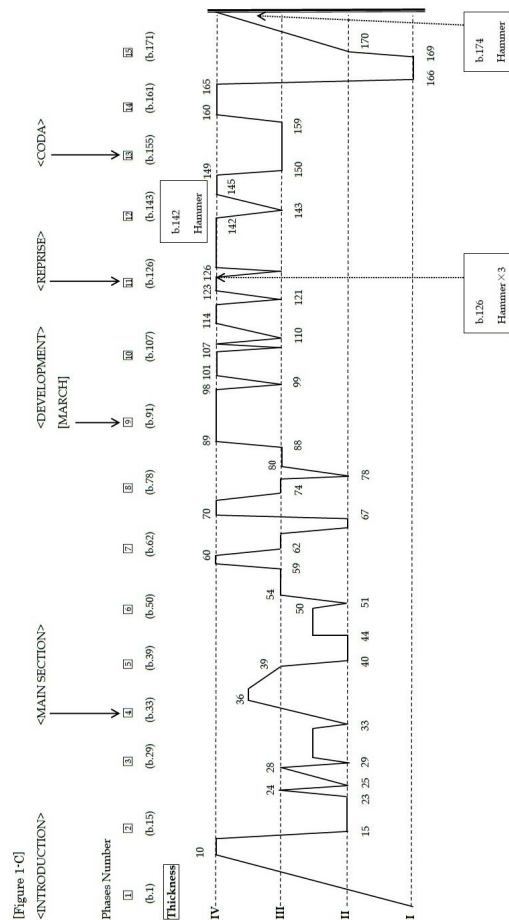
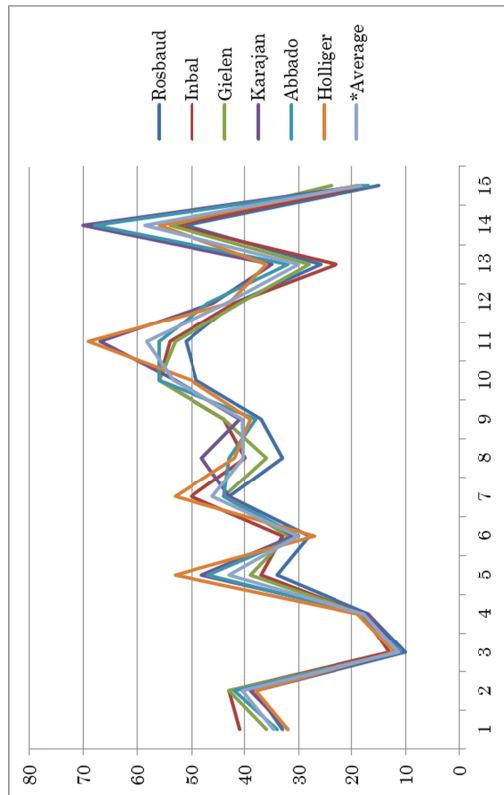


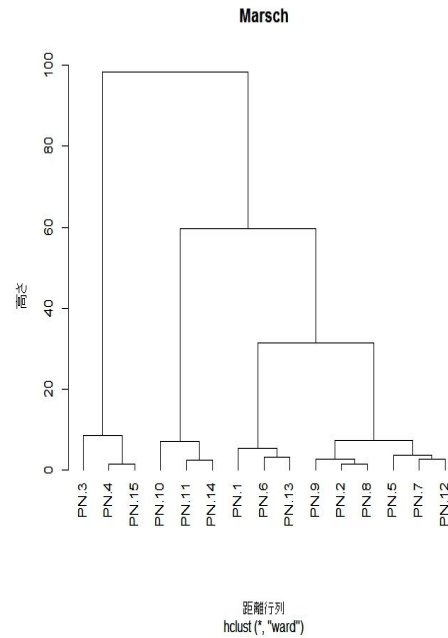
Figure 2



x=time, y=phase

続いて[Figure 3]は[Figure 1]で数値化されたデータを分析したもので、ウォード法による階層的クラスター分析結果とそのヒートマップである。[Figure 4]は構造方程式モデリングによるパス解析図である。

Figure 3



ヒートマップ

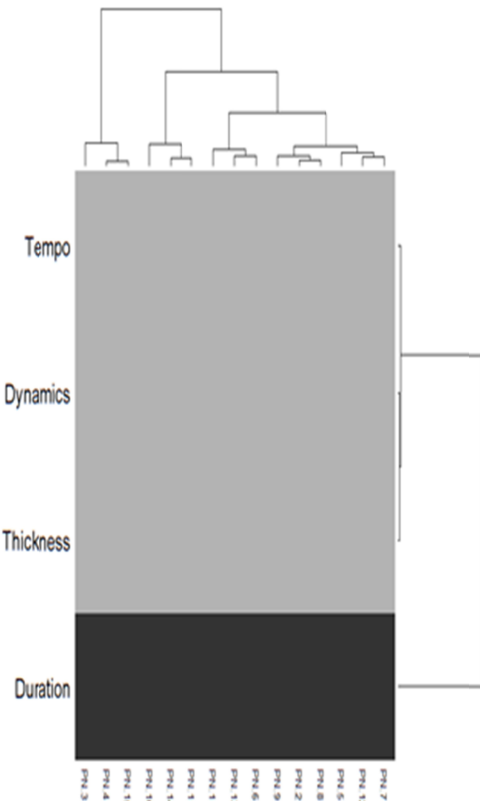
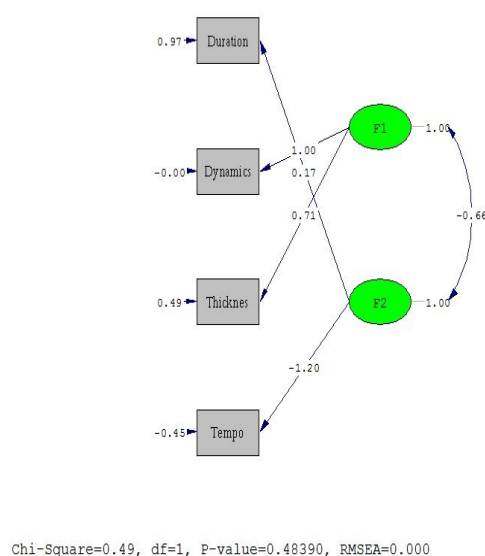


Figure 4



クラスター分析では切片 10 で全てのフェーズが結合されており、各フェーズの音響的变化が数理統計学的にはさほど変化していない、という結果である。構造方程式モデリング結果はパス解析図の通りであり、ファクター1 は Dynamics と Thickness、ファクター2 を観察すると Duration だけが他の要素と独立していることがわかる。

こうして数理解析結果から得られたデータを見る限り、楽理的にフェーズ分割をしたものが数理構造を有していることは辛うじて証明できたものの、明白な機能的展開はなされていないという結論に至った。急激なテンポ変化と激しいダイナミクスの変化は、いわば数理的カオスの一歩手前、という段階であると言える。ここが本作の“美の論理”として普遍性を獲得し得た根拠であろう。さらにオーケストレーション上も、いわばベタ塗りであり楽器群のフェーズごとのキャラクター分割配置（原色配置とも言う。マーラーの師アントン・ブルックナーの諸作品にその傾向は著しい）は皆無に等しい。これはシューマン、ブラームスに顕著な融合配置によるオーケストレーション手法に起因したものであり、技術的な優劣を判定する基準ではない。ただし、Principal Part と Secondary Part を明確に分離して書いているにも関わらず対位法的な効果はさほど聴取できない。表現主義的作風下におけるシェーンベルクの『5つの管弦楽曲 op.16』（ピュフェットによればベルクはこの作品の影響下に本作を作曲したとしている）と比較すれば、その対位法的書式の技術には大きな差がある。

しかし、ベルクのこの小品は、明らかに“音楽”として聴取できる。同じように、たとえばアルバム全編が *ff* で覆い尽くされているセル・テイラーの『アキサキラ』や、30 分間

*pp* で Dynamics も Thickness も変化しないモートン・フェルドマンの『コプトの光』も“音楽”として聴取されている。これらは必ず何らかの数理的構造を有しているはずである。もし、そういった構造を炙り出そうとするならば、より細かなフェーズ分割と説明変数の設定が必要となる。

#### <参考文献>

- 1) Alban Berg; “3 Orchesterstücke Op.6” (Second Version), Universal Edition (1954), International Music Score Library Project [http://imslp.org/wiki/3\\_Orchesterst%C3%BCcke,\\_Op.6\\_\(Berg,\\_Alban\)](http://imslp.org/wiki/3_Orchesterst%C3%BCcke,_Op.6_(Berg,_Alban)) にて同エディションが無料でダウンロード可能。
  - 2) テオドル・W・アドルノ; 『アルバン・ベルク』 - 極微なる移行の巨匠 -, 平野嘉彦・訳, 法政大学出版局 (2014)
  - 3) Pierre Boulez; “Le Donaine Musical” LP: Baden-Baden Domaine musical de Pierre Boulez : ADES 14.066-2 (1957)
  - 4) Derrik Puffett; “Berg, Mahler and the Three Orchestral Pieces Po.6”; “The Cambridge Companion to Berg” ~ Part 2: pp.111-144, Cambridge University Press (1997)
- \* 数理データ解析の多重共線性算出演算ソフトは R、構造方程式モデリング及びパス解析図作成は LISREL による。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

小野貴史、音楽、あるいは虚構（フィクション）としての時間、信州大学教育学部研究論集 6 号、2013、pp. 129 - 142、査読有

齊藤忠彦、小野貴史、音楽聴取時の心理的指標と生理的指標の比較 - NIRS を用いた脳活動計測を通して -, 日本感性工学論文誌、Vol.11、2012、No.3:pp. 427-434、査読有

〔学会発表〕(計 12 件)

小野貴史、“Have a good night”、シアターオーケストラ特別公演、2015 年 4 月 23 日、北とぴあ・つつじホール（東京都北区）

小野貴史、“Cromatismo della Lista”、シアターオーケストラ特別公演、2015 年 4 月 23 日、北とぴあ・つつじホール（東京都北区）

小野貴史、アルバン・ベルクの『3つの管弦楽小品』～「行進曲」における構造方程式モデリングによる分析、音楽音響芸術研究 2014 年度研究会、2014 年 9 月 20 日、東洋大学白山キャンパス（東京都文京区）

小野貴史、“Scherzo - Trio”、Ensemble sans-limite 2014 定期公演、2014 年 8 月 8 日、ティアラこうとう・小ホール（東京都江東区）

小野貴史、“Zero tolerance for Multi-collinearity”、第11回まつしろ現代美術フェスティバル<サウンドアート>部門招待作品、2013年11月4日、松代藩文武学校槍術所(長野市)

小野貴史、“Omnia tempus habent”、第11回まつしろ現代美術フェスティバル<サウンドアート>部門招待作品、2013年11月4日、松代藩文武学校槍術所(長野市)

小野貴史、音楽における“前衛”の存在論 - 高柳昌行のスタンスから - 、音楽音響芸術研究 2013 年度研究会、2013 年 9 月 8 日、東洋大学白山キャンパス(東京都文京区)

小野貴史、“La tentation d'exister”、Ensemble sans-limite 2013 定期公演、2013 年 8 月 9 日、ティアラこうとう・小ホール(東京都江東区)

小野貴史、音楽における時間と虚構性の問題、音楽音響芸術研究 2012 年度研究会、2012 年 9 月 23 日、立教大学新座キャンパス(新座市)

小野貴史、“Locus Solus”、Ensemble sans-limite 2012 定期公演、2012 年 8 月 3 日、ティアラこうとう・小ホール(東京都江東区)

小野貴史、“What the hand dare seize the fire?”、第10回まつしろ現代美術フェスティバル<サウンドアート>部門招待作品、2012 年 7 月 15 日、松代藩文武学校槍術所(長野市)

小野貴史、“Strange attractor”、古川愛ヴァイオリン・リサイタル、2012 年 6 月 11 日、すみだトリフォニー・小ホール(東京都墨田区)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

小野 貴史 (ONO, Takashi)  
信州大学・学術研究院教育学系・准教授  
研究者番号: 10362089

### (2)研究分担者

( )

研究者番号:

### (3)連携研究者

( )

研究者番号: