

## 音楽認知の計算モデル—二つのアプローチ—

片寄晴弘\* \*\*\* 上符裕一\*\* 松尾聡子\*\* 井口征士\*\* \*\*\*

\*和歌山大学 \*\*大阪大学 \*\*\*LIST

\*Email : katayose@sys.wakayama-u.ac.jp

\*URL : <http://www.sys.wakayama-u.ac.jp/~katayose/>

音楽認知の主要研究対象としては、音楽聴取、音楽解釈、音楽作曲などの領域が存在する。これらのテーマは、哲学という観点まで含めると非常に歴史のある研究対象である他、人間のモデル化というアプローチとして、主として音楽心理学の領域で研究が行われてきた。大局的な理解、あるいは精緻な検証という点においてはさまざまな優れた著述や成果があるものの、現在の情報処理技術における計算可能性を前提とした領域のブレークダウンを扱った研究はほとんどなされていないようである。本稿では、第一歩として、音楽聴取・音楽解釈を対象にやるべきこと、やれることに対して検討を行ってみたい。その上で一部の構成要素の実装について紹介することにする。

## Computational Model of Music Cognition —Two Approaches—

Haruhiro Katayose\* \*\*\* Yuichi Uwabu\*\* Satoko Matsuo\*\* Seiji Inokuchi\*\* \*\*\*

\*Wakayama University \*\*Osaka University \*\*\*LIST

The principal themes of music cognition are listening, interpretation, and composition. These have been a historical research targets from the view of philosophy. Recently Music Psychologist have been engaged in these themes. There are great achievements in meta-understanding and detailed examination in this field. But we can hardly find activities dealing with breakdown of the problems for the computational approaches. This paper tries to clarify what should be done and what can be done for music listening and music interpretation, with actual implementation of the part of the model.

## 1. はじめに

音楽認知の主要研究対象としては、音楽聴取、音楽解釈、音楽作曲などの領域が存在する。これらのテーマは、古代ギリシャ時代から、音律論が議論されるなど、哲学という観点まで含めると非常に歴史のある研究対象である。以来、音楽学、音楽心理学などの領域で研究が進められ、この分野に関する重要な成果としては、1950年代のマイヤーの情動論[1]、1970年代のヒギンズのコンピューテーショナルモデル[2]、1980年代初頭のドイチュラの旋律認識に関する研究[3]などが存在している。これらの成果に端を発するといった方が適切かも知れないが、1980年代には、認知科学という領域の成立とともに音楽理論と認知/心理学的な研究を結びつけようとした音楽認知という研究領域が確立している[4][5]。以来、ナーモア[6]やレールダール&ジャッケンドフ(以下、L&J)らの研究[7]のように、理論分野やアプリケーション分野に影響を与えつつある基礎的な理論が発表されたり、セッションシステムや音源分離など実用的なコンピュータシステムが次々と開発されている。このように、大局的な音楽能力の理解、精緻な実験的検証、あるいは具体的なアプリケーションという点においてはさまざまな成果が上がっているものの、現在の情報処理技術における計算可能性を前提とした上での音楽聴取、音楽解釈、音楽作曲のモデル化とそのブレイクダウンを扱う試みはあまりないようである。このテーマ自体、非常に大きい問題であり、筆者らのつたない考察で解明できるとは、到底考えていない。本稿では、第一歩として、音楽聴取・音楽解釈を対象に、シーズベースとして押さえておくべきポイント、現状の情報処理技術からアプローチ出来そうな点を踏まえて、領域分割を目指すことにする。

## 2. 音楽聴取について

音楽聴取の認知・知覚的な研究として、主として音楽心理学分野で取り組まれてきたものの多くは、音符すなわちシンボルを対象としたものである。音響をベースとした心理学実験も存在するが、音楽という観点からは、小さなプロセスを対象にしていることが多い。ここでは、音響をベースに音楽的イ

メージを想起させるプロセスとして、計算機科学分野において自動採譜あるいは音楽における音源分離として取り組まれてきた領域を起点として議論を進める。尚、自動採譜に関連する研究例といっても非常に、広範に渡っており限られたページで議論することは困難である。詳細については[8]などを参照されたい。ここでは、全体的な視点のみを扱う。

自動採譜のタスクは、楽音への群化問題、音楽的分析、楽譜出力に大きく分けることができる[8]。楽音への群化問題とは一つの楽音を一つの楽音として聞く機能であり、処理としては主として基本周波数の認識と考えることができる。音楽的分析とはリズム・拍子認識、楽音の音階への割当など音楽的な解析を伴った分析である。このような分析を行なった上で、さらにシンボルのグループ化、位置決めなど記譜に関する処理を行なった上で採譜という処理が完結するとされている。

この定義は、システムを実現するという観点からは妥当なものであるが、二つの問題点あるいは暗黙の前提を含んでいる。まずは、文化的な音楽コンテキストやスキーマにかかわる問題である。上記の定義は、採譜システムと言えば五線譜、音楽といえば西洋音楽という常識的ではあるが、短絡的な思考に沿った定義である。実際には、記譜法の他、そのベースとなる文化的コンテキストやスキーマが異なれば、タスク自体も異なることが予想される。例えば、アンサンブル中でのハーモニーを楽しむというタスクあるいはそれを模した採譜処理においては、「一つの楽音を一つの楽音として聞く」という切り分けはあまり意味をなさない。また、尺八の楽譜はピッチというより、運指や技法を表現したものであり、それにかかわる人間の認知・知覚、最も効率的なインプリメンテーションは五線譜の場合の処理系とは異なるものになることが予想される。

次は処理形態にかかわる問題である。上記は、逐次処理を前提にした定義である。本稿では、展望のしやすさから、「楽音への群化問題」、「音楽的分析」、「楽譜出力」という分け方によって考えることにするが、絶対的な枠組みというより並列協調分散処理のサブタスクとして働くものとして理解した方が自然である。以上のような観点から、採譜に関

連したキーワードをまとめたマップを図1に示す。ここで、音楽プリミティブとは、メロディやコードなど音楽を構成する要素をさしている。この図は、「聞く」という過程においては「音響レベルでの道具立て」「音楽レベルでの道具立て」がそれぞれのレイヤーの認識において補完・予想というタスクで使われると同時に、認識がある種の確信度をもって行われた際に、今度は、「音響レベルでの道具立て」「音楽レベルでの道具立て」が形成・強化されるという主張を表したものである。

## 2. 1 ボトムアップ処理, トップダウン処理

周波数空間における楽音への群化とは、従来、ピッチ（基本周波数）の抽出として扱われてきたものである。ポリフォニーやアンサンブルなどのように重畳した音響信号から基本周波数を抽出するのはたやすいことではない。自動採譜に関する研究では、この問題を解決するためにいくつかの工夫がなされてきた。具体的なアプローチとしては、対象となる音楽、音数に大きな制限を設けた上でのトップダウンアプローチ、ゲシュタルトに基づくボトムアップアプローチ、両者を組み合わせたハイブリッドアプローチなどに分類される。

トップダウンアプローチの利点あるいは可能性は、制約を課すことにより、純粋な信号処理における誤認識をカバーできることである。問題点としては使用できる領域が制限されることがあげられる。

これに対し、ボトムアップアプローチは、純粋な信号処理とゲシュタルトを用いているため、システムが一度成立した際の適用対象が広い。実際問題として、ボトムアップアプローチはシンセサイザ等で生成された楽音に対しては剛堅であるが、実際の楽音に適用したときには大きく認識率が落ちる結果が報告されている。実際の音響となると録音状況やノイズなどに大きく依存する。人間の聴覚においては、ノージーな現実世界でのゲシュタルト抽出機構が構成されていると考えられる。この部分をホワイトボックス的に扱おうとする信号処理を実現するか、適応可能な枠組みを用意していく必要がある。

ハイブリッドアップアプローチはトップダウンとボトムアップの両者の良い部分を統合した方法であると考えられる。実際に柏野らはその有効性を確認するシステムを制作している[9]。基本的にハイブリッドアプローチはシステムの実装、また、認知的な観点からも妥当なものであると筆者らは考えてい

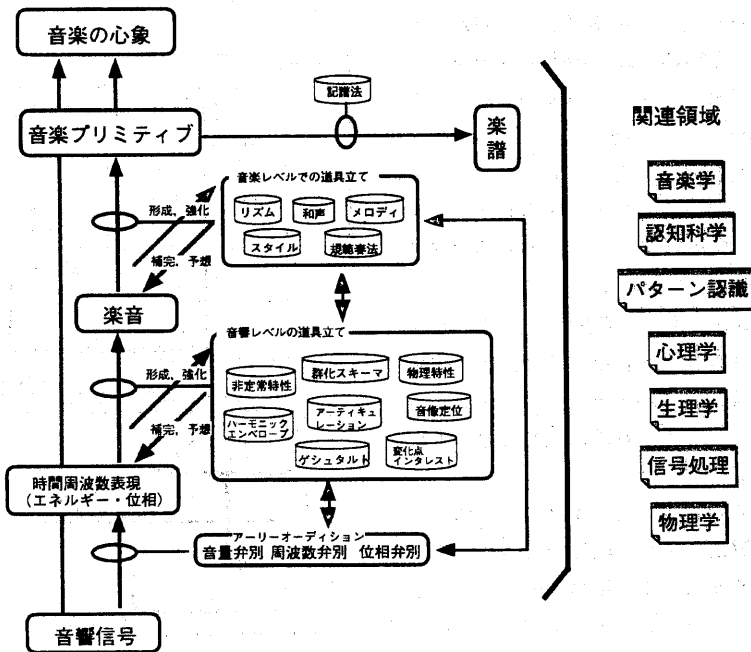


図1. 自動採譜を起点とした音楽理解のキーワードマップ

る。しかしながら、今までの研究においては、学習性あるいは適応性に関する議論はほとんどなされていかなかったように思われる。実世界での(人間の)音楽の理解を考えると、例えば、2つの混声音もユニゾンで演奏されていくと、一部異なった要素があったとしても、1つの新しい音と認識されるようになることがある。文化依存によって聞き方の根本(予測のレベル, 覚えやすさ)が変化することがある。これらの事項に対応する可塑的な適応性の枠組みを作ることで、それぞれ表出の仕方は異なるが、ボトムアップアプローチ、トップダウンアプローチの持っていた問題の解決にもつながるのではと考えている。以上、楽音への群化問題を中心に議論を行ってきたが、上位の音楽的分析についての同様のことが言えよう。

### 3. 音楽解釈

名演奏家の情緒あふれる表現は一体どのようにして生成されるかは音楽情報処理だけではなく、感性の情報処理という観点でも、興味深い対象である。実測に基づいた演奏表現に関する研究としては、1930年代後半に楽曲の繰り返しに見られる表現の類似性の計測が行われている[10]。1980年代台初頭には、音符の並びと演奏表現の計測が行われた[11]。1980年代半ばから、自動演奏を意識したコンピュータを積極的に用いる研究が行われるようになった。1984年には、拍、上位拍、小節等のそれぞれの視点における音符列の表現(音量、テンポ)の組み合わせをもとに演奏表現を行うシステム[12]、コードの変化、フレーズの変化点に応じて演奏表現ルールがどのように変わるかをアナリシスバイシンセシスの手法で解析する研究[13]が発表されている。1980年代を総括すると、1) 経験的な演奏表現理論(心理学データ)のインプリメント、2) 演奏表現を行う言語の設計に力が入れられた年代である。

1980年の終りから1990代にかけて、それまでに試みられた経験的な手法の限界が意識されるようになり、实例を元にして、演奏ルールを抽出し、演奏を生成する、あるいはデータベースから直接的に演奏を生成することというような音楽解釈シ

ステムの研究が行われるようになった[14][15]。音楽解釈システムは、機械が「感性」の領域のタスクを行うものとして出現した当初、大きな注目を集めた。その後、評価の基準が高まり、人間の初心者に見られる稚拙さとは異なった「不自然さ」の表出が指摘されるようになっていく。こうした問題を解決するためには、実装の改良だけではなく、音楽解釈のモデルや仮定自体の考察が必要である。以下、この問題について、議論してゆく。

図2に我々が取り組んでいる音楽解釈モデル[16]を示す。音楽表現を形成する要因がどのようなものであるかということに関しては、さまざまな考え方がある。伝統的な西洋音楽を扱うときの基本としては、上記でも紹介した音符列の表現、明示的に楽譜上に書かれた演奏記号の表現、フレーズ(グループ)の表現が存在している。これら表現の根拠となる情報(以下、根拠情報)のそれぞれ、あるいはその階層的な組み合わせと量的な演奏パラメータのマッピングの生成および適用が音楽解釈システムの第一の興味である。

#### 1) 演奏パラメータの扱いに関して

ほとんどの解釈システムで扱われる演奏パラメータは、音量、音符の発音・終了時刻である。音符の

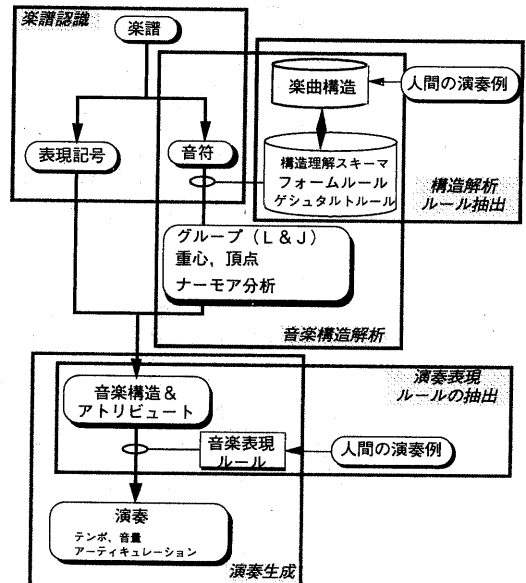


図2. 音楽解釈モデル

発音・終了時刻は、テンポとビートを基準とした音符の時間方向へのズラシという制御パラメータに投影することも可能である。手拍子やフットタッピングといった人間の処理機構から類推すると、テンポとビートを基準とした音符の時間方向へのズラシという観点で処理系を実現する方が妥当であると考えられる。従来、これらのパラメータはそれぞれ、独立のものとして取り扱われてきた。これ自体は緒についた計算機処理としては妥当な仮定である。一方で、アクセント、すなわち、ある音を際立たせるという作業一つをとっても、その音の音量を扱うアプローチの他に、音色を変化させる方法、時間的なゲシュタルトを利用してその音を際立たすなどの方法が存在する。これは、各パラメータの相互的な関連を示唆するものである。今後は、上記のアクセントなどに代表される演奏意図や形容詞的な意図を中間的な根拠情報として分離し、それに対してとりうる演奏表現の心理的等価性の検討を行うことが有効であると考えている。このあたりは、千住らが行った演奏者の意図の聴衆への伝達の研究[17]が参考になる。現在、扱われてきたパラメータはMIDIでの操作性ということで、限定されていた。現在の計算機能力は、音響そのものを扱うレベルに達しつつある。今後は、音色や、ビブラートなどの演奏パラメータの扱いも行われるようになるだろう。

## 2) 根拠情報の不足に対する対応

しばしば、システムにより再合成された演奏に対し、音楽学の専門家から、「この部分」は絶対にこのような表現にしないと指摘されることがある。その大きな要因の一つとして、根拠情報の不足をあげることができる。

ルールベースシステム[14][15]では、LHSにあたる根拠情報に当たるものがなければ、その部分の演奏法の抽出、また、情緒ある演奏の生成は不可能である。ニューラルネットワーク[18]は一見この問題には強そうであるが、十分な根拠情報をネットワーク内部で捉えうる機構を持つと思われる研究例を筆者は知らない。実情としては、入力パターンとして根拠情報を扱う必要があり、ルールベースが抱えているのと同様の問題を有しているようである。同様の問題は、事例ベースや大量データベースに基づく

手法[19]にも当てはまる。事例ベースシステムにおいては、類似性を示すタグ付けが必要である。似ているかどうかの判断の難しさは、根拠情報抽出の困難とよく似ている。

これらの問題意識から、L&JやNarmourらの音楽認知理論を根拠情報として利用する動きがあり、一定の成果が上がっている。しかしながら、1) 主観に基づいた判断基準を持つ理論の実装、2) 様式の扱い、3) 理論自体の正当性検証、などの検討課題が残されている。また、グループ(フレーズ)を解析(理解)するための、計算可能なモデル化も存在していないという大きな問題もある。これについては、後で簡単に考察を行う。

## 3) 単調性、非線形性をカバーするための枠組み

もう一つの根本的な問題は、根拠情報と演奏パラメータの単調性や線形性の保証という問題である。どのような手法を用いるのであれ、単調性が補償されない領域の問題解決を数理的に扱うのは非常に難しい。従来の研究が暗黙の内に単調増加性や線形性を前提としているが、その条件に関しては、ほとんど議論されて来なかった。これらの前提自体は妥当な過程であると考えるが、矛盾点を最小限にするための機構や、作曲者や演奏者、様式など付帯的なものとして扱われてきた情報自体の、根拠情報としての扱いが必要になるであろう。

## 4) フレーズ表現と音楽的グルーピング

音楽演奏において、フレーズの表現がもっとも重要だという音楽専門書も多い。フレーズングの基本は、そのフレーズ(音楽的グループ)を自然なまとまりとして表現するための手法である[20][21]。2小節以上の比較的大きなフレーズの表現に関しては、1) フレーズとフレーズの間を挿入する、2) フレーズの頂点に向かって、加速(アツチェレランド)し、頂点から、減速(リタルダンド)する。3) フレーズの頂点に向かって、クレッシェンドし、頂点からデクレッシェンドする、4) 3)において、フレーズの頂点前に最高の音量に達した際には、その音量を保ったままで、テンポを遅らす、などの表現が行われる。これら、表現上のパラメータを探ることがフレーズ表現の基本的な課題である。加えて、人手を介さずに学習を行い、未知

曲に適應しうるシステムにするためには、フレーズの自動的な解析機構が必要である。従来の研究では、例えば、小節線にのみに基づいたフレーズ（グループ）分けの実行、また、フレーズの真ん中を強制的に頂点と割り当てるなどの処理を理由とする不自然な演奏生成が存在した。我々は、このような問題意識から、楽譜情報を入力として、自動的に、フレーズ分け、頂点を求める手法の構築法を探ってきた。具体的には、L&Jのプロロンゲーションリダクション（緊張－弛緩に関する還元的構造解析法）の理論が有用であるという見方に達している。L&Jの理論においては、リダクションを行うための基本的なルールが記述されている。しかしながら、それらのルールを使用するためのメタルール（プレファレンスルール）の扱いに関して明確な基準が明示されていない。その大半は、主観的な処理として扱われてきた部分に位置する。結論として、L&Jの提示したルールをインプリメントしても、還元的構造解析を行うことは不可能である。これに対し、メタルールを様式の一部として、教示演奏例、教師の具体的な教示から抽出・学習することが必要になろう。すなわち、1) 音列と教示された構造的解析木のセットから、構造解析手法を習得する、2) 教示演奏例の演奏パラメータから、グルーピング（構造解析表現）を推定する、というサブセットに領域を分解することが必要であると考えている。

#### 4. 具体的インプリメンテーション

以上のように、音楽聴取・音楽解釈に関して、全体的な枠組みとして取り組むべきこと、一部については、実施すべき研究のサブセットを示してきた。この章では、具体的に手をつけた部分として、解釈システムの中から、学習・適應に関する処理、聴取に関するものとして、リアルタイムの音列予測について簡単に紹介する。

##### 4. 1 解釈における学習・適應

##### 1) 重回帰分析の繰り返しによる演奏パラメータの抽出[22]

重回帰分析は、対象となる観測値（目的変数）が説明変数の一次結合で表されるという仮定に基づいて、最小二乗法で結合の係数を求める手法である。

特性としてロバスト性が高く演奏パラメータのようにバリュー情報を引き出すには非常に有効な方法である。問題点としては、線形性の仮定のため、EBLのようなアンド条件を扱うことは出来ないということがあった。そこで、説明変数の論理積を新たな説明変数として追加して、イタレーションを行うことにより、非線形な対象にも適用できるような工夫を行った。これにより、(1) 楽譜中で用いられる場所が異なるため、同じ演奏記号が異なった演奏表現を生み出すことがある。この現象を再現することができる。(2) 抽出された演奏表現法が人間の演奏者に利用しやすい形態である。(3) 特定の曲に特化するだけでなく、(年代・演奏者等でグルーピングされる) 複数の曲に共通する特徴も抽出できる。(4) インタレーションの回数をフィッティング度合の制御パラメータとすることができる、というような特徴を持つ演奏ルール抽出システムを構成することが出来た。

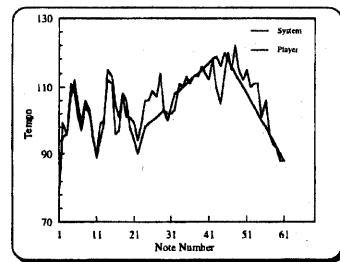


図3. 重回帰分析を用いた演奏ルールの抽出と再現

##### 2) コーパスを用いた構造解析[23]

3章で述べたように、プロロンゲーションリダクションによる解析を行うためには、主観的なプリファレンスルールを客観的に与えてやる必要がある。ここでは、ルールを与える、あるいは学習するというのではなく、コーパス（与えたデータベース）を元に、解析を行う機構の試作を行ってみた。コーパスとしては、メロディ中の各音の音名、コード、タイムスパンリダクションの重要度、それに対する構造解析例を与えている。これを元にシステムは、共起関係の確率を保持しておき、未知曲の解析を行う。現時点では、コーパスの規模が圧倒的に小さく、第一位の適合率(正答率)を見るかぎりには、

スムージングを行った場合で50%を越えるあたりである。また、編曲者別に実験を行った結果では、コーパスに収められているものと同じ編曲者の曲の場合はスムージングを適用しないほうが高い適合率を示し、逆に編曲者の異なる曲ではスムージングを適用したほうが高い適合率を示すことが確認されている。コーパスベースの音楽構造解析に関しても、徐々に知見が得られつつある。

#### 4. 2リアルタイムの音列予測[24]

次の進行を予測するというタスクは、それまでに蓄えられたデータの合理的な解釈を与えるモデルの作成と等価である。コンクリンらは、与えたバッハのコラールのメロディーから、音楽の多次元性を考慮したエントロピーモデルを作成し、予測能力の評価、さらに、作曲に対する応用例を示している[25]。この研究自体は、メロディ進行の長期記憶のモデルとして非常に興味深い。一方、短期記憶、あるいは、原始的な聞き方という観点からは、リアルタイムに与えられた信号のみに基づく予測も興味深い。階層構造を含めた構造の変化点に対するインタレストという点については、マイヤーやナーモアらに代表される音楽学ベースの理論においても重視されていないが、無視できない視点であると考えている。

リアルタイムに与えられた信号のみに基づく予測としては、バーコーらが、実音に対するリズムの予測システムを開発し、注目を集めた。我々は、忘却モデル、シェパードの音高の知覚モデル[26]、手法的には自己回帰モデルに基づいた、メロディのリアルタイム予測システムを開発した。第一候補として予測した結果の一例を図4に示す。図中の影を付した音符は正しく予測できたものを表している。後半ほど、予測が当たることが読み取れる。

基本的に、本手法は、現在、単音記憶数や、周期など短期記憶にかかわるパラメータや、シェパードの提案した音高の知覚モデルの重視度などを人間が与えるという形で動作している。まずは、リアルタイムで動作するという特徴を生かしての認知科学系研究のためのシミュレーションシステムとして利用していきたい。



図4. メロディの予測結果

#### 5. ディスカッション

以上、聴取、解釈を中心に考察を述べ、一部、サブテーマに対する取り掛かりを紹介した。ここで扱おうとしたテーマ自体非常に大きな問題であり、各サブテーマのそれぞれが、独立可能な大きな研究テーマである。ここで紹介した具体例自体が検討の対象となる進行中のテーマであることをご理解いただきたい。

ここでは、作曲という問題については、特に扱わなかった。しかしながら、予測モデルが逐次的な作曲システムになりうることや、出来上がった作品候補が作品として認定される際に必要な評価には、聴取機構が使用されるということからすると、作曲過程における多くの部分が聴取、解釈のモデル化でカバー出来るのではないかと考えている。

今までの考察を通じて、議論できていないのは、創造性に関する部分である。歴史的に見て、創造性は、内挿的な処理に起因して、発生・進化した部分もあるが、外挿的なプロセスを通じて発生・進化したと考えるべき部分も多い。それを許すためには、卓越した才能に裏付けられたアーティストのチャレンジと、より大きな視点での美的基準が不可欠である。さらに、作品そのものやそれがトレンドとなつて、歴史的に残っていくことからすると、社会的な美的基準の審査を伴っているはずであり、その部分

も考えあわせなければならぬ。このように、より大きな視点で、かつ、変化しうる美的基準を、どのように捉えていったらよいか、正直な所、筆者にはつかめない。複雑系として、マクロ的には扱おうるのかも知れないが、不可能だと思いたい部分もある。このあたりは、経済が予測できないのによく似ているように思われる。

## 5. おわりに

本稿では、第一歩として、音楽聴取・音楽解釈を対象に、領域の整理を目指した。取り組むべきサブシステムを示すと程度筆者らの立場を示すという点では目標を達成できたと考えている。一方で、問題が予想以上に大きく、自己矛盾を起さないでまとめていくということの困難さを本稿をまとめる過程で身をもって体験した。今後は、特にコラボレーションを通じて、モデルの精密化をはかるのと並行して、サブシステムの充実を図っていきたい。

## 謝辞

第2章のキーワードマップの作成に関しては、柏野邦夫、後藤真孝両氏に貴重な意見を頂きました。感謝いたします。また、第4章の音列予測に関しては、日産科学振興財団の補助を受けています。

## 参考文献

- [1] L. B. Meyer: *Emotion and Meaning of music*, University of Chicago Press (1956)
- [2] H.C. Longuet-Higgins, *Perception of Melodies*, *Nature*, 263, 646-653 (1976)
- [3] D.Deutsch and J. Feroe: *The Internal Representation of Pitch Sequence in Tonal Music*, *Psychological Review*, No.88, pp.503-522 (1981)
- [4] 波多野誼余夫(編), 「音楽と認知」, pp.12-17, 東京大学出版会, 東京 (1987)
- [5] 平賀: 音楽認知研究の諸問題, 情報処理学会研究報告, 94-MUS-6, pp.15-22 (1994)
- [6] E. Narmour: *The analysis and Cognition of Basic Melodic Structure*. University of Chicago Press (1990)
- [7] Lerdahl and Jackendoff: *A Generative Theory of Tonal Music*. MIT Press (1983)
- [8] 片寄晴弘: 自動採譜, 音楽情報処理の技術的基盤, 平成4年度文部省科学研究費総合研究(B)「音楽情報科学に関する総合的研究」(1993)
- [9] 柏野, 木下, 中臺, 田中: 音楽情景分析の処理モデルOPTIMAにおける和音の認識, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-DII, No.11, pp.1762-1770 (1996)
- [10] C.E.Seashore: *In Search of Beauty in Music*, New York: Ronald (1938)
- [11] A.Gabriellson et al.: "Interplay between analysis and Synthesis in Studies of Music Performance and Music Experience", *Music Perception*, 3, pp.59-86 (1985)
- [12] M. Clynes: *Secrets of Life in Music*, pp.225-232, Proc. ICMC (1984)
- [13] L. Frydon and J. Sundberg: *Performance Rules for Melodies: Origin, Functions, Purposes*, pp.221-224, Proc. ICMC (1984)
- [14] H. Katayose et al.: *Expression Extraction in Virtuoso Music Performance*, Proc.ICPR, pp.780-784(1990)
- [15] G. Widmer: *Understanding and Learning Musical Expression*, Proc. ICMC, pp.268-275 (1993)
- [16] 片寄, 竹内: 演奏解釈の音楽理論とその応用について, 情処研94-MUS-7, pp.15-22 (1994)
- [17] M. Senju and K. Ohgushi: *How are the players ideas conveyed to audience?*, *Music Perception*, 4, pp.311-323 (1987)
- [18] N. Todd: *A Model of Expressive Timing in Tonal Music*, *Music Perception*, pp.33-58 (1985)
- [19] J.L.Arcos, et al.: *SaxEx: A Case-based Reasoning System for Generating Expressive Musical Performances*, *Proceedings of ICMC, Thessaloniki*, pp.329-336 (1997)
- [20] 保科 洋: 音楽における表現の基礎について, 全日本学校音楽研究会『教材の研究と指導』(1989)
- [21] 竹内好宏: グループ構造を明示する演奏変数の研究, 音楽知覚認知学会第14回例会資料, pp.23-28 (1994)
- [22] 青野, 片寄, 井口: 重回帰分析による演奏ルールの抽出, 情処研報95-MUS-11 (1995)
- [23] Uwabu, Y., Katayose, H., Inokuchi, S.: *A Structural Analysis Tool for Expressive Performance*, *Proceedings of ICMC, Thessaloniki*, pp.121-124 (1997)
- [24] 松尾聡子, 青野裕司, 片寄晴弘, 井口征士: リズム・メロディ列の予測モデルと音楽構造の分析, 第41回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp.399-400 (1997)
- [25] Darrel Conklin, Ian H. Witten: *Multiple Viewpoint Systems for Music Prediction*, *Journal of New Music Research*, Vol. 24, No. 1, pp.51-73 (1995)
- [26] R.N.Shepard: *Structural Representations of Musical Pitch*, D.Deutsch (ed.), *The Psychology of Music*, pp.343-390, Academic Press, New York (1982)