

解 説

音楽分析への AI 手法の応用†

坪 井 邦 明†

1. まえがき

人工知能 (Artificial Intelligence; 以下 AI と略) の歴史は長く、計算機の歴史とほぼ同じといえる。最初のディジタル電子計算機は、1940 年代の中葉に開発され、1950 年代にはすでにゲームの研究として、チエスなどのプログラムが書かれている。計算機による外国語の機械翻訳の研究もこの時期に始まっている。

音楽の創造や研究に計算機を利用する試み^{2), 3)} も、計算機開発にさほど遅れず始まった。L. A. Hiller と L. M. Isaacson の、乱数を用いた確率的な計算と試行錯誤で旋律を合成するプログラムで作曲した「イリアック組曲」は、1957 年に出版されている⁴⁾。

当時は音楽の作曲なども、数学の問題を自動的に解くのと同様、AI 研究の一端を担うものと考えられていた⁵⁾。ところが AI の定義は時代とともに変化し、上述の音楽処理は現在では AI とは呼べない。当時の AI 研究は、文字どおり知能に重点を置いていた。知能とは、問題解決の方法をあらかじめ計算機に与えるのではなく、計算機が自ら問題を吟味し、判断して、探索によって解を発見することであった。

AI の重要な話題は知識の利用に移り、知識情報処理という言葉がよく使われるようになった。特に近年の AI への社会的注目の原因是、知識工学^{6), 7)}あるいはエキスパートシステム⁸⁾の実用化にある。これは特定領域の専門家の知識を用いて、現実の問題を、人間の専門家と同等に判断するものである。もちろん、計算機自体の性能の飛躍的な向上や価格の低廉化も、AI の実用化を助けた大きな要因である。

このような AI 手法や環境の進展から、当初はできなかった音楽の処理が、身近な廉価な機械でもできるようになってきた。初期の統計的な音楽分析もそれなりに成果を収めたが、計算機が音楽の構造を理解する

ところまで進めば、さらに有用であるに違いない。

本稿では分析型の AI 応用について述べるが、設計型としての作曲・編曲、制御型としての演奏への応用なども重要である。とりわけ自動演奏や知的な電子楽器は、楽曲を分析・解釈し、演奏方針を設計し、演奏を（共演者や聴衆にも反応しながら）制御するなど、AI を総合的に活用できる領域である。これら音楽諸領域への AI の応用に関しては文献¹⁸⁾がある。

2. AI の諸手法

上述のように、現在の AI では知識の扱いが中心課題である。問題や知識の種類によって、さまざまな知識表現法が考えられる。しかし知識は表現されただけで使われなくては価値がない。そこで、知識表現には知識の利用法も同時に考えなくてはならない。

知識表現は基本的に、宣言的手法と手続き的手法とに分けられる。宣言的手法では事実の静的集合として知識を表現し、手続き的手法では目的を達成するための手続きを記述する。近年の AI の発展の中では、宣言的手法が強調されてきたが、音楽ではその性質上、手続き的手法も重視されている¹⁹⁾。いずれにも長短があり、実際には両方を組み合わせることが多い。

音楽における知識には、

- ① 音楽そのものを表す知識
- ② 音楽に対する処理に必要な知識

の二つがあり、これに

- ③ 知識自体に関する知識（メタ知識）

が加わる。①は人間の記憶構造などにも関連しており、音楽の認知科学において重要な問題である²⁰⁾。一方、分析など具体的な処理を目的とする場合、②が重要となり、操作を加える対象のデータとしての ①は楽譜水準の記号列とすることが多い。

音楽の記述と表現については文献²¹⁾に概観がある。

2.1 プロダクションシステム

AI システムの構築に現在広く用いられているのはプロダクションシステムである。これは、

† AI Applications for Music Analysis by Kuniharu TSUBOI
(Institute of Industrial Science, University of Tokyo).

† 東京大学生産技術研究所（現在浜松職業訓練短期大学校）

IF (前提) THEN (帰結)

の形のルールで表した知識の集合と、内部状態や外部環境の状態を保持するワーキングメモリ (WM), 及び WM の状態に照らして前提部が成立するルールを選択し起動 (WM を更新) するインタプリタの 3 要素からなる。このおののを人間の長期記憶、短期記憶、及び脳のメカニズムに対応させると、認知モデルによく一致するので、AI 研究の初期から用いられてきた。

おのののルールは独立なので、知識の可搬性や可読性が高い。また、ルールは宣言的にも手続き的にも読める。しかし一方で、知識を構造的に表し難く、特にルール数が増すと効率は悪くなる。初期状態から目標状態に向かって推論する前向き推論が基本で、次々に与えられる音を解釈する音楽の認知モデル²²⁾でよく使われるが、後向き推論や両方向の混在型もある。

黒板モデルは、おのののは一種のプロダクションシステムであるデーモンが、黒板と呼ばれる共有メモリを介して通信しながら、並列協調動作をするものである。一つの音楽の流れを、複数の観点から分析して総合的な結果を得る²³⁾などの場合に有効である。

2.2 フレーム

フレームは、一つの概念のもつ属性をスロットとその値で記述し、概念同士の関係を宣言的に表現するもので、人間の記憶構造のモデルとしても適している。属性の中で重要なのは、意味ネットワークの場合と同様、概念間の関係であり、抽象（類）—具象（個物）の関係、全体一部分の関係をとおして、上位概念から下位概念への属性の継承が行われ、これにより実世界の錯綜した知識が階層的に整然と表される。スロットにはデフォルト値や、手続き的知識を埋め込むことができる。なお、他のシステムでの事実的知識の部分に適用することで、さらに有効なものとなる。

音楽は、長三和音—I 度の和音—G のコードというような上位概念一下位概念の関係が強い。また音楽形式は大楽節一小楽節一動機のような階層性をもつが、その各部分は単に分割されるだけでなく、音楽として成り立つには、部分同士が互いに類似（同一）や対比の関連をもたねばならない。音楽のこのような複雑な構造を表現するのに、フレームは有効である。

2.3 述語論理

論理による知識の表現は自然で、形式的に整っており、特に一階述語論理は推論法も明確に定義できる。

一階述語論理のサブセット（ホーン節）に基づく計

算機言語 Prolog が多く計算機で普及している。Prolog はリスト処理、強力なパターンマッチング、自動バックトラックなどの機能を有し、言語であると同時に AI ツールとも呼べる。

Prolog をツールとしてみれば、後向きのプロダクションシステムと類似に動作する。また、そのままトップダウンの構文解析機とみることができ、DCG (確定文法)¹⁰⁾ と呼ばれる構文解析手法のほか、ボトムアップの構文解析手法¹¹⁾なども開発されている。これらは文脈自由文法と同等だが、Prolog のプログラミング機能を自然に埋め込むことができ、それによってある程度の文脈依存性や意味処理を扱うよう拡張できる。さらに、Prolog を用いて意味ネットワークやフレームも容易に実現できる¹²⁾。音楽分析や楽譜水準の作曲では、Prolog が今後かなり有用となろう。

一階述語論理以外にもいろいろな論理が研究されているが、様相論理¹³⁾、とくに時相論理など時間に関する様相論理は音楽には重要であろう。音楽認知モデルが様相論理を用いて考えられている¹⁴⁾。

2.4 不確実・不完全な知識

音楽における知識には、他の分野と同様あるいはそれ以上に、曖昧さや不完全性がともなう。

実際の音楽は必ずしも確定的ではなく、一面で確率的な振舞いが顕著である。しかしさらに重要なことは、音楽知識に現れる概念に必ずしも明確な定義がないことである。たとえば「旋律の終わり近くになって高い音が現れる」という場合の“高い”などは明確に定義できない。このような不確実な知識には、確率付き推論や Fuzzy 推論が用いられる¹⁵⁾。

音楽知識は必ずしも、整然と体系化されていて、どんな音楽にもいつも適用できるというものではない。たとえば機能和声の理論は非西洋の音楽では成り立たない。また、音階認識の枠組みとしてよく引き合いに出される 4 度のテトラコルドと 5 度のペンタコルドのように、ある場合には成り立ち他の場合は成り立たない、互いに矛盾を含む知識があることがある。知識の中に変数が埋め込まれる場合もあり、たとえば機能和声における機能と実際の和音との対応は、調性を念頭に置かねばならない。これらの問題には、仮説推論など、最近話題になっている高次人工知能⁹⁾のパラダイムの適用が期待される。

3. 音楽分析

分析とは、複雑な事柄を単純な要素に分け、その成

り立ちをはっきりさせること、あるいは、一つの概念をその属性や単純な概念に分けることである。音楽分析は、音楽学的立場や分析の目的・対象などによって、いろいろ考えられるが、本稿では記号(楽譜)水準での楽曲を対象にした分析に限定し、演奏分析や音響分析などには触れない。

3.1 情報論的音楽分析

計算機の開発された1940年代は、C. Shannon の情報理論や N. Wiener のサイバネティックスの概念がまとめられた時期でもある。このような背景から、機械翻訳でさえ、当時は辞書さえ完備すればその作業の大半は情報論的に行えると考えられた。このころ始まった音楽の計算機分析も、情報論的なものであった。

音高(あるいはその跳躍)、音価及びそれらの組み合わせパターンの出現頻度や推移確率、それらから求まるエントロピー(旋律全体のあるいは部分ごとの)やその他の統計量を用いる情報論的研究が行われてきた。初期には手作業による理論的検討が主であったが、やがて、民族音楽学における民族様式の比較、作曲家の特徴抽出、音楽史における時代様式の定量化などが行われ、ある程度の成果があげられた^{24), 25)}。

このように、情報論的音楽分析は、おもに他の楽曲(あるいはジャンル)との(様式上の)比較のために、その属性を定量的に特徴量として抽出する作業であった。計算機上でこのような処理が大量のデータに対して行えるようになる以前には、多くの場合、音楽学者の直観的洞察に頼っていた。これに対して、ある意味で客観的な方法を与えたものといえる。

3.2 構造的音楽分析

情報論的な手法には、音楽的に重要な要素とそうでないものを区別し難く、他の音楽理論と結び付けられないなどの問題があった^{26), 27)}。それは言語の本質がアルファベットの統計的性質だけでは分からぬのと同様である。

音楽には言語での辞書に相当するものはないが、構造的な性質など、言語と似た側面もある。C. L. Boilesの生成文法によるメキシコ原住民族の音楽分析以来、1970年代以降の民族音楽学ではむしろそのような言語的あるいは記号的な方法²⁸⁾が注目されている。

上述の研究は実際に計算機処理によるものではないが、AIの一分野である自然言語処理の研究はかなり進み、構文解析をして、ある程度の意味理解ができるところまでできている。そこで、統計的手法に代って

(あるいはそれに加えて)、言語理論や言語処理の手法を応用した音楽分析¹⁸⁾が可能になる。

たとえば、西洋音楽におけるいわゆるアナリーゼ(楽曲分析)とは、音楽作品を、音楽形式、主題、和声、旋律、様式などの観点から眺め、これらがどのように有機的な関連と内的均衡によって作品を構成しているかを調べる学問である。ここで用いられるリーマン流の機能和声理論は、そのまま構文規則として読めるようによく体系化されていて、計算機処理に馴染みやすい²⁹⁾。また、拍節をもったリズムパターン³⁰⁾や、音楽形式³¹⁾も構文的に捉えられる。

このような観点からの分析を構造的分析と呼ぶことにし、以下にその具体的な有用性の例をあげる。

計算機による自動演奏が盛んになり、拍節に基づく自動的な強弱やテンポの制御³²⁾など、人間の演奏に近づける試みがあるが、まだ機械的な観も強い。本格的な曲想を付けるには曲の深い解釈が必要で、現段階では少し困難と思われるが、もう少し浅い解釈(和声分析やフレージングなど)でも有用であろう。また、多くの電子楽器は平均律に固定的に調律されるが、現実の歌唱やバイオリンなどでは純正律で演奏されたり、導音が高めになるなど、平均律に収まらない。微小音程が調整できる電子楽器も現れ始めているが、ある音を固定的に調整すれば済むものではなく、機械(楽器)が調性や和声を分析的に把握できれば好ましい。

単旋律への自動的な和音付けも、一般には需要がある。旋律に自動的に和音伴奏が付けられれば、素人には魅力であろう³³⁾。また、採譜システムで不確実な音高を同定するには、人間と同じように旋律を認知的に処理するのが好ましいが、その手掛かりの一つとなるのは和声である³⁴⁾。

いわゆる和声の処理は、和声学の CAI などで行われてきたが、転回形や各調性でのすべての和音の網羅的な記述は大変で、AI 手法の応用が期待される。

3.3 音楽の解釈

音楽要素がもつ「意味」には、次の3種類が考えられる。

- ① それ自体の直接的な意味(物理的な意味)
- ② 音楽全体の構成の中でもつ、状況関係あるいは機能としての意味
- ③ 表現しようとしている内容としての意味

前述の構造的音楽分析の対象は②であるが、③を重視し、音楽要素の表現する情緒的な内容を言語的に定着させようとする立場もある。これは文学的な性格の

強いもので、音楽解釈学とも呼ばれる。

計算機処理(AI)で「解釈」と呼ぶのは、与えられた入力データに対して、システムが(普通は先驗的に)有するモデル(カテゴリに関する知識)との対応をとり、入力に意味を与えることである。たとえば画像データはもともと具体物を反映したものであるから、その具体物がなにであるか、あるいはそれがどのような状態にあるかを見発見することが解釈になる。

ところが音楽は普通、(少なくとも一意に)対応する具体物はない。したがって、音楽解釈学の意味での解釈は、詩の暗喩の解釈と同じかそれ以上に困難である。それより現段階で重要なのは、次の音楽認知の問題であろう。

3.4 音楽の認知

結果として有用なものが得られればよいという立場ではない、AIのもう一つの領域(目的)は、人間の認知の問題を計算機モデルによって探求しようという科学的な侧面にある。音楽は言葉で説明し難いことから、他に比べて音楽の認知過程^{16), 17)}の解明は容易ではないが、一方で、それを純粋な形で扱うことができるとも考えられるため、興味がもたれている。

音楽の認知過程も、音楽分析がその基本になるが³⁵⁾、前述のような音楽分析では、たとえば和声が厳密に分析されても、認知過程の解明にはならない。T-S-D-Tなどという終止形がなぜ終止感(まとまり感)を与えるのかが説明されねばならない。機能和声に代って、Schenker の提案した階層的な分析法もよく用いられ、計算機上に実現された例もある³⁶⁾が、やはりそのまま認知モデルに使えるとは考え難い。

これに対して、E. Narmour の暗意一実現モデル³⁷⁾は、旋律を、旋律の動きが生み出す期待(暗意)が、遅延・逸脱され、そして実現される過程とみるもので、AI、特に認知科学から注目されている^{27), 35)}。しかし、この期待は、どのようにして生ずるのか。これは、旋律に関するスキーマの問題となる。

阿部ら^{22), 38)}は、短い旋律に対してそれを終止させるような音を導出する心理実験を行い、その結果から、プロダクションシステムを用いた認知モデルを構築し、人間の旋律処理に関するスキーマを論じている。この研究から、洋楽熟達者と邦楽熟達者とでは異なったスキーマに依存することが見いだされている。

4. いくつかの例

以下に若干の具体例を示すが、現代音楽の作曲や演

奏における計算機の利用に比べ、音楽分析へのAIの応用例はそれほど多くはない。

4.1 和声の分析

計算機による和声分析の研究は、T. Winograd がかなり初期に行っている²⁹⁾。これはシスティック文法で表した和声理論によって、自動的な和声分析をするものであったが、そこでは自然言語の処理法の開発も一つの目標であった。しかし現在では、構文解析はかなり手軽に行える環境にある。

ここではもっと簡単な、単旋律への和音付けを例に、Prologによる構文解析手法^{10), 11)}の利用について述べる^{39), 40)}。これは二つの処理に分けられる。一つは、旋律上のある特定の区間(たとえば1小節)に対して各音を和声的に解釈できる和音の候補を推論する処理、もう一つは、和音の列が終止形(カデンツ)に照らして矛盾なく解釈できるように和音候補を絞る処理(和声進行の決定)である。(和声分析については文献45)などを参照。)

ある部分旋律に当てはまる和音を求める場合、その旋律の音を多く含む和音を選ぶだけではなく、旋律の動きにも注意せねばならない。旋律を音程の跳躍と順次進行に分け、跳躍は和声音間で起き、次に補助的な音(経過音、刺繡音、倚音、逸音など)が付加されると仮定すると、下に模式的に示すような、和音から階名列への書換え規則が表せる。部分旋律 S の和音の推論は、その部分旋律の階名列を導出する和音 Cを見つけることになる。

```

S → ε
S → [C の和声音], S
S → [C の和声音 a], [a の刺繡音], a で始まる S
S → [C の和声音 a], {b は C の和声音},
      [a b 間の経過音], b で始まる S
S → {a は C の和聲音}, [a への倚音],
      a で始まる S
S → [C の和聲音 a], [a からの逸音]

```

ここで、{}は条件を示す Prolog のゴール(プログラムの呼び出し)、[]は終端記号であり、終端記号は音階上の音(臨時記号を含む)とする。ただし[]の記述も単なる辞書参照ではなく、必要な引数をもった Prolog のゴールである。このような拡張により、たとえば「刺繡音の前後には同じ和聲音がある」などの、文脈に依存した情報が扱える。

ところで音楽は、計算機言語のように整然とは構文規則に従わず、上の規則にはおのれの適用の好ましさ

がある。確率文法や Fuzzy 文法などが使えるが、簡単には、各構文規則に（不）適切さを示す数値を与える方法もある。解析全体の不適切さは、使われた規則の不適切さの総和とする。和声音の導出の不適切さは 0 であり、刺繡音・経過音の導出は 0 もしくは小さな値でよい。倚音や逸音には少し不適切さを増やす。拍を考慮に入れればさらに有効である⁴¹⁾。

さらに、実際の旋律はこのような単純な音だけで構成されてはいない。たとえば補助音の補助音も考えねばならないから、もう少し複雑で、再帰的な定義が必要になる。しかし、大きな不適切さで非和声音すべてを受け付ける下のような規則は、煩雑な規則をいちいち用意する代わりにもなる。

S → [非和声音], S

和音の連結を選ぶのにも和音間の遷移確率を用いる程度では十分でない。そこで機能和声理論の終止形を構文規則として利用することになるが、代理和音の使用での制約³⁹⁾、一つの機能単位に終止形が入れ子になる場合（ドッペルドミナントや一時的転調など）や、転調前後の不完全な終止形などのため、文脈に依存した情報を扱う必要がある。これは上述の場合と同様に、構文規則の記述を拡張することで対処できる。もっと本格的な和声分析には、偶成和音も問題になる。Winograd はそれを、上述の不適切さと同様の方法で扱っている²⁰⁾。

4.2 日本音楽の音階論的分析

民族音楽学では、採集した音楽（民謡）の整理分類がまず必要である。それに基づいて音楽の伝播や変容が論じられる。その分類の一つの基準は音組織である。日本の伝統的な音組織はテトラコルド理論⁴⁶⁾に基づいて研究されることが多いが、必ずしも音組織同定の明確な基準があるのではなく⁴⁷⁾、研究者によって結果が異なる場合もある。これに対して、計算機を用いた音階分析は、次の二つの音楽学的意義がある。

① 常に同じ基準で一貫した処理ができるから、その意味で客観的な結果が得られる。

② 計算機の判断を検討することで、人間の知識を明確化し、洗練することができる。

ここでは、テトラコルド理論に基づく日本伝統音楽の音階論的分析にプロダクションシステムを用いた例⁴²⁾を示す。なお、文献⁴⁷⁾は AI ではないが、音楽学の立場から行ったものとして示唆に富んでいる。

テトラコルド理論はまず、核音に注目する。核音は、音組織の中心をなす音で、旋律中で音高が安定し

ていて、終止音ともなる。核音同士は協和音程（完全4度、稀に完全5度）をもって積み重ねられる。完全4度の核音の枠の間に一つだけ中間音のある音組織をテトラコルド（5度枠の場合はペンタコルド）と呼び、これが積み重なって音階が構成される。中間音の音程を半音単位で分類すると、テトラコルドは4種類あり、それに対応して音階も4種類となる。

旋律の中から核音を発見し、音組織を同定するための知識をプロダクションルールとして表現する。典型的な例を、下に示す。

IF 旋律中に音 X があり、

かつ 旋律中に X より完全4度高い音 Y があり、

かつ 旋律中の音 X と音 Y の間に音 Z があり、

かつ 音 Z は音 X より半音高い

THEN

音 X と音 Y を核音とする都節のテトラコルド

がある

もっと不完全なパターンからテトラコルドを発見するルールも用意し、ルールには優先順位を設定する。旋律中にテトラコルドを発見すると、島駆動方式で解釈をその前後に伸ばし、二つのテトラコルドの接合部では解釈を音階に発展させる。

ここで問題となるのは、日本音楽では核音やテトラコルドの種類が曲の途中で変化することが多いことである。これは一種の転調と呼べる。音程の跳躍や旋律の折り返しなどを基準に旋律を分割し、その各区間ごとに核音候補を求める⁴³⁾こともできるが、ここではあらかじめ旋律を分割することはせず、転調に関するルールを用意して、これに対処した。独立に発見された異なった音組織候補の接合部分において、このルールは禁止的に働き、音組織の不自然な接合を棄却する。禁止ルールという特殊なルールを利用するするために、専用のプロダクションインタプリタを構成した⁴²⁾。

なお、ここで用いた島駆動方式ではなく、バケットラックを含む左から右へ処理する方式は、前節で述べた構文解析と同様に扱える⁴³⁾。その際、前節の和声音はここでは核音になり、非和声音が中間音になる。前節の和声進行はここでの転調に似ているが、機能和声のような規則は見あたらない。

5. あとがき

計算機技術は高性能な計算機環境や AI ツールを提供できるが、それが実際になんらかの——たとえば医療や音楽の——役に立つためには、そのための具体的

な知識が必要である。医療用の問診システムを医者の協力なしに技術者単独で構成しようなどとは誰も思わないだろうが、音楽の場合、技術者自身の知識や経験でもある程度の音楽システムは構築できるかも知れない。しかしそれには限度がある。一方、本当に音楽学上有益な情報処理が、技術的には簡単なものである場合もある⁴⁴⁾。今後の音楽情報処理——本稿で触れた領域ではことに——の発展にとって、情報処理と音楽学との両分野の研究者間の交流がいかに重要であるかを、本稿の執筆をとおしてあらためて痛感させられた。

謝辞 日頃から有益な示唆をいただき、本稿執筆に際してもご協力くださった音楽情報科学研究会各位、東大生研の石塚満助教授ならびに同研究室各位に、深謝いたします。

参考文献

- 1) 音楽大事典、平凡社 (1981-1983).
- 2) 西村恕彦監修、音楽情報科学研究会編：bit 別冊「コンピュータと音楽」、共立出版 (1987).
- 3) 坪井邦明：コンピュータミュージックと音楽情報処理、テレビジョン学会誌、Vol. 42, No. 1, pp. 49-55 (1988. 1).
- 4) リンカーン編 (柴田、徳丸ほか訳)：コンピューターと音楽、カワイ楽譜 (1972).
- 5) スレイグル、J.R. (南雲、野崎訳)：人工知能—一発見的プログラミング——、産業図書 (1977).
- 6) Barr, A. and Feigenbaum, E. A. eds. (田中、淵監訳)：人工知能ハンドブック (I, II, III), 共立出版 (1983-1984).
- 7) 特集「知識工学」、情報処理、Vol. 26, No. 12 (Dec. 1985).
- 8) 特集「エキスパートシステム」、情報処理、Vol. 28, No. 2 (1987).
- 9) 特集「高次人工知能へ向けてのパラダイム」、人工知能学会誌、Vol. 2, No. 1 (1987. 3).
- 10) Pereira, F. and Warren, D.: Definite Clause Grammars for Language Analysis, Artificial Intelligence, 13, pp. 231-278 (1980).
- 11) Matsumoto, Y. and Tanaka, H.: A Bottom-Up Parser Embedded in Prolog, New Generation Computing, No. 1, pp. 145-158 (1983).
- 12) 田中、小山、奥村：知識表現形式 DCKR とその応用、コンピュータソフトウェア、Vol. 3, No. 4, pp. 12-20 (1986).
- 13) 堂下、西田、三浦：様相論理とその情報処理への応用(I)様相論理、情報処理、Vol. 29, No. 1, pp. 2-10 (1988).
- 14) 石塚 満：曖昧な知識の表現と利用、7) 所収、pp. 1481-1486.
- 15) Baroni, M. and Callegari, L. eds.: Musical Grammars and Computer Analysis, Olschki, Firenze (1984).
- 16) 波多野謙余夫(編)：音楽と認知、東大出版会 (1987).
- 17) Deutsch, D. eds.: The Psychology of Music, Academic Press (1982).
寺西、大串、宮崎監訳：音楽の心理学(上・下)、西村書店 (1987).
- 18) Roads C.: Research in Music and Artificial Intelligence, ACM Computing Surveys, Vol. 17, No. 2, pp. 163-190 (1985).
野瀬、坪井訳：音楽と人工知能に関する研究、コンピュータ・サイエンス ('85), pp. 39-64, 共立出版 (1987).
- 19) Laske, O. E.: Toward an Explicit Cognitive Theory of Musical Listening, Computer Music Journal, Vol. 4, No. 2, pp. 73-83 (1980).
- 20) 平賀 譲：音楽認知のための知識表現、16) 所収、pp. 97-130.
- 21) Roads, C.: An Overview of Music Representation, in 15), pp. 7-37.
- 22) 阿部、星野、山本：メロディー認知スキーマについての研究——終止音導出過程のシミュレーション、音楽音響研究、MA 84-3 (1984).
- 23) 平田、青柳：普通の国のあるふれた曲の認識システム——アリフゼロ——、日本ソフトウェア科学会第4回大会, pp. 17-22 (1987).
- 24) ピアース(鏡目訳)：サイバネティックスへの認識(第13章情報論と芸術)、白楊社 (1963).
- 25) 坂崎 紀：音程進行による旋律の定量的分析、音楽学, Vol. 28(2), pp. 101-117 (1982).
- 26) 波多野謙余夫：音楽への情報論的接近、音楽学, Vol. 14, pp. 54-64 (1968).
- 27) Meehan, J. R.: An Artificial Intelligence Approach to Tonal Music Theory, Computer Music Journal, Vol. 4, No. 2, pp. 60-65 (1980).
- 28) 峰岸由紀：音楽記号学の諸問題、音楽学, Vol. 23, No. 2, pp. 134-144 (1977).
- 29) Winograd, T.: Linguistics and Computer Analysis of Tonal Harmony, Journal of Music Theory, Vol. 12, No. 1, pp. 2-49 (1968).
高田訳：言語学と調的和声のコンピュータ分析、bit 別冊「コンピュータと音楽」, pp. 228-249 (1987).
- 30) Longuet-Higgins, H. C.: The Perception of Music, Proc. R. Soc. Lond. B 205, pp. 307-322 (1979).
- 31) 小谷、高田、田子、野瀬：音楽記述用文法の提案、第32回情報処理学会全国大会, 6 W-4, pp. 2143-2144 (1986).
- 32) 玉木、加藤、楠本：リズム奏法機能をもつ自動演奏システムの試作について、第32回情報処理学会全国大会, 6 W-6, pp. 2147-2148 (1986).
- 33) 藤本、水野、高島、鶴田：パーソナルコンピュー

- タミュージックシステム——メロディーからの自動編曲——, 第 35 回情報処理学会全国大会, 5 Ff-4, pp. 2787-2788 (1987).
- 34) 新原, 高水, 今井, 井口: 自動採譜における AI 的手法の適用, 音楽音響研資, MA 85-17 (1986. 2).
- 35) 村尾忠廣: 楽曲分析における認知, 16) 所収, pp. 1-40.
- 36) Smoliar, S. W.: A Computer Aid for Schenkerian Analysis, Computer Music Journal, Vol. 4, No. 2, pp. 41-60 (1980).
- 37) Narmour, E.: Toward an Analytical Symbolology: The Melodic, Harmonic and Durational Functions of Implication and Realization, in 15), pp. 83-114.
- 38) 阿部純一: 旋律はいかに処理されるか, 16) 所収, pp. 41-68.
- 39) 坪井邦明: 和声・文法・プロローグ, 音楽情報科学研究会活動報告, No. 1, pp. 58-63 (1987).
- 40) 坪井, 石塚: Prolog 上の編曲支援システムにおける音楽情報の記述と和声処理, 昭 63 信学全大 SA 7-8 (1988).
- 41) 佐野, 高田, 西村: 和声分析エキスパートシステムの試作, 第 36 回情報処理学会全国大会, 3 K-10 (1988).
- 42) 坪井, 石塚: 知識工学手法による音楽解析の試み——日本民謡の旋律構造解析, 音楽音響研資, MA 83-8 (1983. 9).
- 43) 坪井, 石塚: Prolog による旋律構造の認識, 第 29 回情報処理学会全国大会, 4 L-11 (1984).
- 44) 金城, 坪井, 高田: 民謡研究における旋律比較法——歌詞音列間距離の計測, 音楽学, Vol. 33, No. 3 (1988).
- 45) 島岡 謙: 和声と楽式のアナリーゼ, 音楽之友社 (1954).
- 46) 小泉文夫: 日本伝統音楽の研究, 音楽之友社 (1958).
- 47) カーク・マスデン: 単旋律における調性——核音の意味の考察とコンピュータによるその決定への試み——, 東京芸術大学, 音楽研究科修士論文 (1985).

(昭和 63 年 3 月 3 日受付)