

解説



音楽情報の理論†

川野 洋竹

1. まえがき

コンピュータが生まれて約 10 年をへて、その芸術への応用（コンピュータ芸術）が始まるが、その最初の試みは音楽を対象とするものであった。古来音楽は算術や幾何学と並ぶ自由 7 科の一つで、現代考えられている芸術よりもむしろ数学に属していたといえる。音楽は無限な自然音響のなかから選ばれた有限個の楽音で構成されるが、その楽音の組織には一定の振動数をもつ音高と 2 音間の振動数の比で規定される音程からハーモニーを作りあげる数学的規則のあることが知られ、この比の規則をつかって楽音を一定の順序に配置した固有の音律が適用される。こうして音楽の美しさはハーモニーと比という数学的規則に支配され、この音律から得られるさまざまな音階の一定の秩序のうえに音楽の曲が構築されることになる。またその楽曲の時間的流れの中でも、各音は一定の長さや拍節のある連結の周期的に反復する構造から生じるリズムをなして規則的に進行する。このようなことは音楽が芸術として構造的に数学的規則性をもつこと、そして音楽に対する数学適用の可能性を示すものといえる。

リズムの型と音階（そして調性）が決まったとしても、楽曲が芸術的に創造されるものであるということは、そこに音楽家の自由が働いていて、構造の中に規則を逸脱した偏倚が現れるであろうことを意味する。たとえば旋律をつくる音列は千差万別でその構成にユニフォームはみられない。しかしこの自由な選択によって構成される一見偶然に見える楽曲の構造も決してたまためなものではなく、意味表現のうえから一定の制約やパターンをもつであろう。これら緩やかな規則には統計的傾向性があるであろうから、数学的に確率論や情報理論を使うことが可能であろう。そして楽曲

のこのような数学的構造は計算機を音楽（作曲や演奏）に適用することの理論的根拠を提供するものといえる。

しかし音楽は E. Hanslick¹⁾ のような「音の流れ動く形式」につきるものとは思われない。表面的にみればそこには音の流れ以外のなにものもない。そしてこの楽曲の表面構造をつくっているのは高さ、長さ、強さそれに音色をもつ音の和声の流れであるから、この浅い層に対しては数学的分析が可能であろう。しかし表面構成には創造的無秩序がとれない、その背後に心で感じられ理解される感情的意味の背景の深層があり、それは感覚的音として耳もとで現に鳴っているというよりもむしろイメージとして存在するものである。芸術作品はいずれもそうであるが、音楽作品も同様、物理的過程とは異質に、心の中で体験的に形成される独自のイメージ的存在である。たとえば音楽の時間は物理的に測定される時間ではなく、心の感受性や情緒、期待感や緊急によって体験的に分節化される独自の内的構造をもったイメージとしての時間である。このようなイメージとしての存在は広く「記号」といわれる。

記号はその典型例の言語にみるように、単なる音声や線描ではなく、それら中性かつ透明な物的媒体の背後にもろもろの概念や想念を現出させ、その動きはもっぱらこの背景で演じられるといえる。イメージは主観的なものであるから個性をもち、その内的構成にユニフォームな規則をあてがうことはできないが、そうかといって全くの任意性があるわけではない。言語の例から分かるように、イメージ構成には(1)アルファベットに(2)構文規則、意味規則そして用法(pragmatics)が当然に働く。つまりイメージは広義で論理的に表現される。そしてこのイメージの内的表現は計算や形式論理をとるといふより、もっと sophisticated な記号処理の過程となる。楽曲も本質的にイメージ存在であるとすれば、その内部に記号的表現の仕組を蔵しているといえる。

† Informatics of Music by Hiroshi KAWANO (Department of Humanities, Faculty of Engineering, Tokyo Metropolitan Institute of Technology).

竹 東京都立科学技術大学工学部人文系

周知のように計算機は AI をもち、その仕組の核心は記号処理であるといえる。ゆえに楽曲の表面を処理する数値計算をこえて、その主観的イメージの内面にまで入って個性的構造を柔軟に処理するのに計算機の AI 機能の新しい役割が期待される。計算機音楽の可能性について以上のような観点から考察してみたい。

2. 音楽の記号過程

音楽は他の芸術と同じく言語に準じてコミュニケーションである。それは音楽家 AB の心の中にある曲イメージを作品を媒体として聴き手 C の心に移す過程をなす。そこで作品とはイメージを表現すべく形式化された音の流れでありそれ自体は物理的対象であるが、音楽家の刻印になるその形式構造に対する聴き手の解釈によって、その中に可能性として眠っていた意味内容が現前化され、元のイメージとして聴き手の心に再生される。そこで音楽家は歌手である場合を除き楽器を曲イメージから生成される制御コマンドで演奏し、音として響く作品を作りあげる。ここでは音楽家と聴き手は直接結ばれる。音楽家は自分の熟知する曲イメージを細大もらさず忠実に音にするであろうから、聴き手はその音に強制されながらも自然に音楽家の心の中にあつたであろう曲イメージを自分の中に再生させることができるであろう。ここでは(1)演奏コマンドは、目らつくりあげた詳細な曲イメージから十分えられるし、(2)聴き手はほぼ受動的に音の流れを受容し、その演奏に曲イメージがきちんと反映しているかぎり、その理解は自然に得られ、そこに解釈のトラブルといったことはなく、芸術学上の問題点はないといえる(図-1)。

ところが音楽家 AB は、即興曲の場合を除き、次第に分業化し、作曲家 A と演奏家 B に分化する。そして作曲家と演奏家の間に必然的に楽譜が介在するようになる。作曲家 A は自分の心の中に楽曲をイメージとして創作するが、今度はそれをすぐ演奏するのではなく一応楽譜という形に変換する。演奏家 B は作曲家が書いてのこした楽譜をみてこれに解釈を施し、その解釈によって再現された曲イメージに従って、先の音楽家 AB の場合と同じ演奏行為をする。

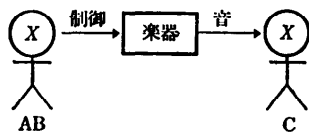


図-1 即興コミュニケーション

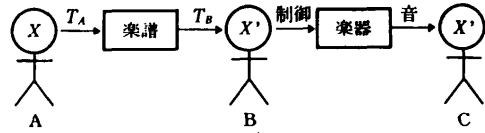


図-2 楽譜と演奏によるコミュニケーション

こうして作りだされる音の流れとしての作品は聴き手の耳に入り、理解される過程は即興の場合に準じると考えられる(図-2)。

さてここから生じるいくつかの問題を考えてみたい。まず作曲家は楽譜を書くが、楽譜というものは本質的に不完全であるということがある。作曲家は心の中に曲イメージ(X)をつくりあげるが、彼はそれを完全に楽譜の中に再現することはできない。イメージXはその全体の sophisticated な構造が直観的明瞭さをもって与えられるであろうのに対し、楽譜は5線譜上に一定の約束された表記に基づいて有限個の要素から構成される有限な構造をとる。楽譜は作曲家の曲イメージを表現するための論理構造を備えるが、その表現は抽象的、部分的であり、両者の間には存在論的ギャップが厳存する。つまり楽譜が有限な、その形式構造によって記号的に表現するイメージX'は原曲イメージXからかなり距たったものとなっている。

そこでつぎに演奏家Bが登場する。彼がまずせねばならないことは不完全な楽譜のイメージX'をXに復元する解釈の仕事である。しかしこの復元の仕事は原理的に失敗する。まず演奏家と作曲家は時代も地域も距てた別の人間であるから、その音楽的経験と心の構造は本質的に異質である。作曲家Aが元曲イメージを楽譜に抽象化する変換規則をT_Aとし、演奏家Bが目前の不完全な楽譜を記号的に分析しこれを元曲イメージにまで具象化する逆変換の解釈規則をT_Bとするとき、解釈による元曲イメージの完全な復元が可能なのはT_A=T_Bの条件が満たされる場合にかぎられるが、AとBは違う心の構造をもっているとすれば、結局元曲イメージの演奏家による復元は不可能になる。(たとえT_A=T_Bで復元がなったとしても、XとX'は、いずれも別個の心的存在であってみれば、その同一の保証はやはり得られない。)こうして演奏家Bのもつ曲イメージX'は彼固有の解釈規則T_Bによって作曲とは独立の楽譜から得られたもので、作曲家がもつたであろう元曲イメージXと合致する必要はないことになる。

演奏家の曲イメージXは楽器を制御して音を作り作品を仕上げるのに十分な詳細構造をもつたものにな

り、演奏家は X' の情報で直接に楽器を動作させるであろうから、楽器から流れでる音の構造と X' のイメージ構造の間には原理的に1対1の変換がなりたつとよい。そうすると演奏家の数と同じだけ、ひとりの作曲家の作品が存在しうることになる。音楽はこうして複製芸術としての性格をもたされる。

演奏家のもつ曲イメージ X' を具体化した楽曲は詳細な形式構造をもたされていて、そのままの姿で聴き手の心に再現されることは即興の場合と同様である。ここで聴き手の中に再生されるイメージは演奏家のイメージ X' と同じと考えられてよい。ここでいえることは作曲家の中にあつた元曲イメージ X は聴き手の中では最終的に X' に変質すること、そしてこれが音楽という芸術的コミュニケーションの本質であるということである。このことは作曲家の中の元曲イメージ X の存在を不要とする。作曲家はもともと楽譜が表現しうるかぎりの有限かつ不完全な曲イメージしかもっていなかった。それはもともと直観的細部を欠いたスケルトンのような抽象的イメージにすぎなかった。そして作曲家はこのスケルトン・イメージを楽譜として表現したのだ。演奏家はこれに主観的な潤色と肉づけを加えて具体的作品とし、聴き手にあたかも作曲家の意図したイメージであるかのごとくに伝える。これが音楽コミュニケーションの生態図であろう。

ここで音楽学的議論の対象となるものはなにかといえば、(1)楽譜、(2)流れる音としての作品、及び(3)両者をつなぐ曲イメージということになる。 (1)と(2)は物理的存在であるのに対して(3)は心的存在である。楽譜は音符や表記用の符号をアルファベットとし、それらがリズム、旋律、和声、ダイナミックスその他の表情となつてある種の感情的意味を表現しうよう、記号論の論理(構文規則と意味規則)に従つて構成され、有限離散的でかつ抽象的な巨視的構造をそなえて、設計図としての性格をもたされる。一方作品はこの設計図に基づいて制作された製品のようなもので、解釈によって細部まで肉づけされた具象的イメージをそのまま具体化したものであるから、連続的になり響く。しかも楽譜よりはるかに豊かに有意味な分節化を施された sophisticated な微視的構造をもち、演奏家の人格の反映である様式すらともなう。そしてその存在が一過的であるため、テープやディスクに記録されて二重に物理的存在とされる。こうして楽譜と作品は物理的対象であるが、それぞれ固有の巨視的または微視的な形式構造によって曲イメージ X

または X' を可能態として蔵している。この可能的曲イメージは、それぞれ X は作曲家、 X' は演奏家と聴き手との心の中で現前化される。これらの曲イメージは観念の対象であるが、階層的に構造化されるとともに、感覚的前景から意味表現の中景層をへて曲全体の楽想を表す最奥の背景層にいたるまで固有の分節化構造をもつ。この心的内容は内省される以外にないが、本来イメージとしての論理構造をもっており、十分に科学的議論の対象となり、コンピュータ上に、AI モデルによって言語的に記号表現されるがゆえに、そのメカニズムをソフトウェア科学的に考察する道が開かれることになる。

こうして音楽というコミュニケーション過程は以上の3種の音楽学上の対象に内→外と外→内の記号変換を適用するという形をとり、次のようにまとめることができる。

- 1) 作曲 スケルトン曲イメージ X → 楽譜
- 2) 解釈 楽譜 → 演奏むき具象的曲イメージ X'
- 3) 演奏 曲イメージ X' → 作品(楽曲)
- 4) 鑑賞 作品 → 曲イメージ X'

3. 音楽の意味表現

楽譜に一定の解釈を施すことによって楽曲作品ができ、それは楽曲の形式構成に依存して一定の感情的意味(イメージ X')を表現するものとなる。楽曲の表現する意味内容がどのような生態を示すかということは、それを生成したり理解したりする仕組みをアルゴリズム的に解明するうえで必要であろう。

音楽作品は文学作品などと違って、ある対象やできごとを指示し描写することがなく、自由な抽象的形式で感情を表現するものと考えられている。音楽美学における情緒説(Affektenlehre)がそれで、たとえば旋法や音階は固有の感情表現をもち、長音階が明るく、短音階が悲しげな感じを表すことはよく知られているし、リズムでもワルツの三拍子が躍動感をもち、緩やかなテンポは落ち着いた感じになる。和音についても協和音、不協和音がそれぞれの感情を示すが、旋律でもその進行する線の方向や傾斜度、またその形状などによって独特の感情的意味のある主題や音形が作られる。伝統的な情緒説に対し、音楽の感情表現をいま一つの形式的契機である時間性に着目して自律的に純化させたものはエネルギー説である。音楽の形式は時間的に流れる音の動的構成になっている。時間は物理的には長さや間隔の属性をもつが、イメージとなるとき心

に緊張と弛緩をあたえ、緩急軽重の運動感と力性を示す。そこにはさらにまた音の進行の変化が起こり、また音形の変動が生じ、この動きの変化は力のイメージをつくる。そればかりではない。イメージとしての時間は現象学的に言えば意識の働きの形式であり、想起によって過ぎ去った音は再生されて現在の音に合体し、期待によって現在の音はまだ鳴らない未来の音を含蓄する。こうして現在の音は意味的まとまりと幅のある形姿をもたされ、それらが動きながら出現し変形し消滅する。この音の動きは意識の中に働く意図や関心の焦点化を受けて独自に分節化され、そこでもっと高次な感情的意味が表現されることになる。

以上のような音楽の表現特性を L. Meyer²⁾ は情報理論の独特な転訳によって説明する。彼によれば音楽は音の流れであり、いま鳴っている音はつぎに現れるであろう音への期待を、含蓄された意味としてもつ。東の空が白む色は日の出を含意するというわけである。楽曲における音の流れは、作曲・演奏の過程で音がアルファベットから創造的自由によって選択されながら時系列としてストリングに構成される。したがってこの音ストリングは確率過程となり、独特な不確定性と傾向性を示すようになる。聴き手は作曲家・演奏家とは異なるが、鑑賞に際して、同一のアルファベットをもちながら楽曲上に音の出現を期待する独自の主観的確率システム LT を有し、それによって自分の確率システムに依存しながら、聞く音に含蓄の意味を感じる。

$$LT = \left(\dots C D E F G A B \dots \right) \quad (1)$$

ところで、楽曲の中に出現する音の客観的確率過程は聴き手ではない作曲・演奏者が音を選択する異なった確率システム CP による。

$$CP = \left(\dots C D E F G A B \dots \right) \quad (2)$$

そこで聴き手は LT 上の確率の高い期待どおりの音を楽曲のほうからうるとは限らず、CP 上の客観的確率に依存する音の出現によるその期待はすれは強いショックと含蓄の意味の変質をもたらす。この期待はすれは高情報となって表現に生動力を与えるとともに、曲の終結で最終的に満たされる期待の充実感と満足感を高めるものである。Meyer はこれらの意味表現を次の3種に分けている。

(1) 仮定的意味 (hypothetical meaning). 現在聞いている音の短期記憶が後続する音への期待と暗示を

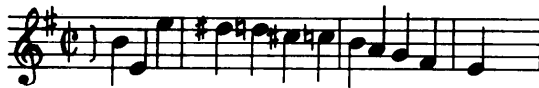
与えるが、この可能性への期待としての意味は式(1)の確率システム LT (特定の短期記憶によって条件づけられる)に規定され、その確率密度によって明瞭になったり (低エントロピ)、曖昧なものになったり (高エントロピ) する。

(2) 顕示の意味 (evident meaning). 実際に現れる音は聴き手の確率システムの密度に従うとは限らない。期待しない音が頻繁に出現したり、期待する音が滅多に現れなかったりすることは、作曲・演奏者と聴き手の心の確率システムが違ふとすれば、当然のことといえよう。こうして出現音の期待逸脱は新鮮な驚きの感情を引き起こし、生動的な曲の表情をつくりだすと同時に、この逸脱音の経験はそのような音の学習によって聴き手をそれに馴らせ、その確率システムを変えてゆく。

(3) 決定的意味 (determinate meaning). 楽曲を聞き終ってその全体が総括的に把握され、その意味内容が決定的に理解される。それまでの経過で式(1)の初期確率密度 P' は、顕示の意味を味わうショックと困惑の中で変容をうけ、作品が客観的に現している式(2)の確率密度 P へと、しだいに類似度を強めてゆくはずである。こうして決定的意味は学習された新しい確率システムを使って作品の意味表現の全体を総括的に理解したものとなり、とくに楽曲の終結する満足感と全体的まとまりへの充足と安定の感情となって味わわれる。

Meyer は楽曲の意味の豊かさとして、(1)傾向性の期待と(2)妨害による流れの攪乱そして(3)目標への到達をあげ、楽曲にグローバルな構造的傾向が顕著であるにもかかわらず、その進行の過程に傾向を妨げる逸脱や遅延の無秩序がマイクロに発生し、曲の流れはこれらの妨害と闘いそれをのりこえる長い道程のあげく、はじめの傾向性が指向した目標到着が達成されるという体験の特性をあげる。たとえば彼はジュニアニーの「コンチェルト・グロッツ」の主題とバッハの「前奏曲とフーガ」の主題を比べ、両曲とも初めにオクターヴ跳躍があり、ついで漸次下降しながらそのギャップを埋めてゆくという傾向の旋律構造をもつが、ジュニアニーの方はその傾向性がならん乱されることなくスムーズに充足されるのに対して、バッハの方は、その充足に多くの経過的装飾音の妨害が介入し、その間傾向性に逆らう跳躍が2回も起こって終結への到達を攪乱し遅延させており、しかしこの無秩序がバッハの曲をより芸術的にしているという(図-3)。

ジェミニアーニ



パッサ



図-3 ジェミニアーニとパッサの比較

(L.Meyer: Some Remarks on Value and Greatness (参考文献 2) より)

以上のような音楽の表現構造は、楽曲を音高だけでなく音程列としてみても和音進行としても同様にいえるところである。しかしこのような観点から捉えられる表現はあくまで音の局所的近接結合だけを考慮したストリングとしての表面のものにすぎない。音楽の感情表現には楽曲の表面の形式感情以上に意味内容があると考えられる。楽曲は生きた音の変容する流れであり、話し言葉や詩の朗読のように強弱、緩急、上昇・下降の変動による分節化が施されている。分節化には楽曲の表面にちかい層における下位分節化 (articulation) ともっと内面の上位分節化 (phrasing) があり、下位分節化では音が近接結合して、A. Moles³⁾ が“objet sonore”とよぶ最小の塊りとしての意味単位 (例、モチーフ) ができるし、上位分節化では彼が“cellules”とよぶ、モチーフをいくつかつないだもっと大きな意味の塊 (例、主題)、いわゆるフレーズができる。したがって楽曲の内部では主題をめぐる感情のドラマが展開される。主題は順次登場すると、その全体を役割分担するモチーフ群がそれぞれに変奏的に姿を変えながら着いたり離れたり、拡大したり縮小したり、移動したり逆行したりしながら、対立と協調の交錯のなかで再構成されながら劇的展開を遂げ、やがて主題は順次退場して一曲を完結させる。ここにはある具象的感情内容 (たとえば、善が悪と葛藤して勝利する、または敗北する) の表現がみられる。

さらにまた民族音楽やロマン派の標題音楽にみられるように、楽曲にはもっと深層に観念や思想の文学的表現に準じた内部構造がある。たとえばベルリオーズの固定楽想やリスト、ワグナーの示導モチーフはいずれもある描写的意味をもった人物や事件や状態を表す意味的にまとまった音形 (図-4) で、それらは曲の中



図-4 ワグナー「ニーベルングの指環」の「剣」の示導モチーフ

で旋律、リズムそして和声的に変容しながら劇の筋の進展を役者のように担っている。このような表現をする楽曲は聴き手に文学作品や劇のようなイメージを想像させ、美的というよりはむしろ倫理的感動を与えるに違いない。

4. 楽曲の構造—ストリング、トリー、フレーム社会

楽曲は鳴りひびく音の流れのうえに意味を表現する記号として独自の論理的構成をもつが、この構成アルファベットのレベルに応じてそれぞれの固有な構造を示す。

楽曲構成の最小の単位は現在の時点で知覚的同定可能な、高さ、長さ、強さと音色の複合性質をもつ音楽素材から選ばれ、この表面レベルにあっては楽曲は間 (休止) もふくめ有限個の音楽素材のストリング配列の構造となる。ストリングでは音は前後の隣接音とだけ局所的結合関係を結び、その結合は一意的に規定されるというよりは、芸術的創造の自由にもとづく任意性を持ち、確率統計的性質を示す。この統計的性質はひとつひとつの音の出現のみでなく、音の多連結合についてもいえ、楽曲をマルコフ・チェインたらしめている。これは作曲・演奏において音をつくる行為が、それまで自らがすでにつくった先行音列の記憶に確率的に条件づけられるということである。そして音列結合の確率を条件づける先行音列の数を増やせば、それだけ高次化されたマルコフ・チェインの情報量は低下するから、自然な楽曲ストリングの結合は相当幅のある近隣音の間に働くことが知られるが、C. Shannonの推測ゲーム実験⁴⁾でも確かめられるように、マルコフ・チェインの次数はたかだか8次程度で情報量の低下が止まり、確率過程としてのストリング構造が楽曲の自然な表現の構造を十分に反映しえないことが分かる。

楽曲のストリング構造の中には L. Hiller⁵⁾ があげている旋律規則 (例、定旋律は主音ではじまり主音で終わる。長短7度のスキップ禁止。スキップのあとはステップ。同一3連音の禁止など) のようなもっと強い拘束があるといえる。またストリング音には拍や間

があり、これらはストリング音列をあるまとまりの対象として下位分節化しているし、楽曲が特定の音階上に構築されているかぎり、主音の位置づけによって固有の調性を持ち、その中で主音はもっと大きな音列の塊り（フレーズ）を上位分節化しているであろう。こうしてストリング表層の内部にはフレーズ構造が潜んでいると考えられる。

リズムについても同様なことがいえる。音列では強拍音(/)は前後の弱拍音(-)をとりこんで、塊りとしてのリズム型を形成し、したがって一つのリズム型には一つの支配的強拍音がある。いま強弱2拍子の4連リズム ABCD (///-//-/ -) (/の数は拍の強さ)があるとき、4個の強弱2拍のリズム型が最下層Ⅲでみられるが、そのうえの中層ⅡにはAの強拍音とCの強拍音の支配する2個の4拍子リズム型がみられ、さらに最上層Ⅰには最強拍音Aの支配する8拍子リズム型があるということができ、ここに次のような階層的な分節化構造を認めてよいであろう。

$$\left[\left[\left[\overset{A}{/} / / - \right] - \left[\overset{B}{/} / / - \right] \right] - \left[\left[\overset{C}{/} / / - \right] - \left[\overset{D}{/} / / - \right] \right] \right]$$

楽曲にフレーズ構造の階層があり、表層から深層へと全体が構文解析木のように調性的に統合される様子を描いてみせてくれたのは H. Schenker⁶⁾であった(彼は楽曲を楽譜レヴェルで考察する)。彼によれば楽曲は表面的には複雑な構造を示すが、その最奥部には抽象的で単純な骨格曲(Ursatz)があり、それが展開生成されたものであるという。骨格曲は自然音階上に独自の調性と主音を有し、それによって規定される主和音(I)と下属和音(V)からなるI→V→Iの和声的進行を支える低音部(Bassbrechung)と、これらの和音を水平散開(Auskomponierung、和音構成音を拾って横に並べること)させて得られる高音部の基本旋律線(Urline)とからなる。

楽曲は分節化されて上位フレーズ構造に還元(Reduktion)され、はじめに前景層が得られるが、この還元をついで前景層に施すことによって中景層をえ、最終的に背景層としての骨格曲が得られる。表面的には異なるさまざまな楽曲が、還元してゆけばいずれも内部に、基本パターンの同じ骨格構造をもつという考えは、Schenkerの楽曲分析が音楽におけるトリー型構文解析であることを示していて興味深い。

楽曲の還元ではまずその表面から(1)和声的成分とならない不協和な音、(2)弱拍の経過部や装飾音、(3)冗長な反復音などが消去され、その結果前景構造

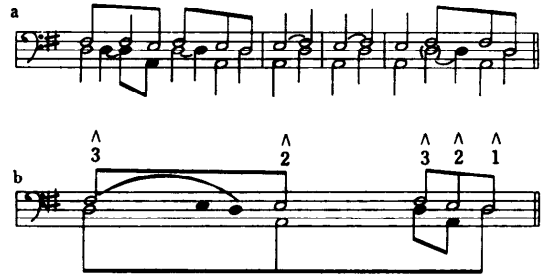


図-5 ベートーヴェン「第9」終楽章の主題に対する還元 (Harvard Dictionary of Music より)

が得られる。さらにI、Vの和声的成分の音を中心に隣接音を吸収して上位の代表的音列を得ながら数段階にわたってより深い中景構造を順次析出し、最終的にはI、V以外(ⅡやⅣ)の和音をI、Vに吸収還元して骨格曲の背景構造をうる。図はベートーヴェンの第9交響曲の最終楽章の主題に還元を施して得られた中景構造(a)とそれの骨格曲(b)(基本旋律線は3度進行 $\hat{3} \rightarrow \hat{2} \rightarrow \hat{1}$ 、低音部はI→V→I、ただし $\hat{1}$ は根音、 $\hat{8}$ はオクターヴである)を示している(図-5)。骨格曲を最終的に支えているのは主和音I、さらにはその根音 $\hat{1}$ の調性ということになり、原理的に楽曲はすべて固有音階の主音 $\hat{1}$ から階層的に生成展開されることになる。

Schenkerの楽曲構造論は機能和声による調性音楽を対象とし、そこにはChomskyの生成変形文法理論の萌芽がみられるが、この論理をさらに意識的に民族音楽の楽曲(楽譜レヴェル)分析に適用するCh. Boilés⁷⁾において、これまで述べてきた楽曲の階層的フレーズ構造モデルはもっと鮮明に呈示されている。彼はメキシコのテピファ族の宗教儀礼歌をとりあげ、それらを独自の生成文法でフレーズ構造化し、その意味表現を理解することを試みる。その書き換え変形規則を簡略化して次に示す。

- 1) #Song# → // Continuum // + // Continuum //
- 2) // Continuum // → Noun Phrase + Verb Phrase
- 3) Noun Phrase → Noun + Adjective + Relative
- 4) Relative → Relative Dummy + Noun + Vb Adjective
- 5) Verb Phrase → Participle + Verb
- 6) Verb → Tense + Vb Marker
- 7) Tense → Past, Present, Future
- 8) Relative Dummy → WH (= who, whom, whose, which)
- 9.1) Noun → Motive / _ Adjective

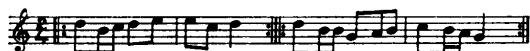
- 9.2) Participle→Motive / __VbMarker
- 10) Motive→Modifiers in Motival Nucleus
- 11.1) Modifier→Interval / in Motival Nucleus
- 11.2) Adjective→Interval / __Motive, Motive__
- 11.3) Tense→Interval / __VbMarker
- 12) Motival Nucleus ↑



- 13) VbMarker→

(/ は右辺が左辺の書き換えの条件であることを示す)

Motive(10) は一種のフレームをなし、Motival Nucleus のリズム構造の中に Modifier というスロット (12) の*印) を有し、それに Interval データを保つことによって観念の意味表現をする。Interval (音程) 値は平均律音階 G₃~G₅ を 0~2450 とする絶対音高間の差からえられ、上昇型 (例 175 r) と下降型 (例 350 f) に応じ、また文脈に依存してそれぞれが固有の観念を表す。そこで次のような歌が与えられるとき、その前半部の楽曲構造は図のような構文解析木で記述されることになる (図-6)。



このように構造化されたテピファの歌はその終端音程記号に次のような意味が与えられる。

350 f + 175 r → Divine Thought

175 r + 175 r → Act of giving

175 r → Presence

0 → Being in a place

350 f → Asking pardon

175 r + → Future

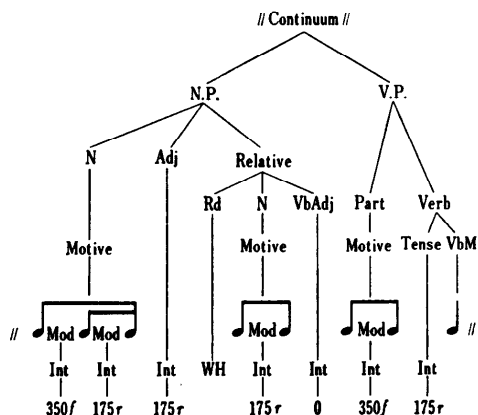


図-6 テピファの歌の構文解析

Boilés はこのように与えられる要素の意味列を、析出された解析木によって言語テキストとして分節化再構成し、この歌が次のような意味を表現していると結論する。“The given divine thought, whose presence will be in that place, where there will be pardon asked.”

上述の Schenker と Boilés はいずれも楽曲構造を表面的ストリングにとどめず、その内部の深い構成をトリーとして階層的に捉えることによって、イメージを表現する音の記号としての論理に迫ったものといえる。しかしこれらの生成文法的理論は楽曲の正規な構造を静的に記述するにすぎず、変形と逸脱をむしろ正常とする芸術作品の独特な個性的論理構造 (脱論理構造ということにする) のアルゴリズムとしては限界がある。この限界を超えるには「強い AI」の導入が必要であろうが、現状では五里霧中というところである。M. Minsky⁹⁾ はこのような芸術性のある音楽の脱論理構造 (及び理解の仕組) について新しいフレーム社会の理論を提案している。フレームは世界からデータを得てこれを構造化して理解する AI の認識機構であるが、そのためフレームはあらかじめ認識すべき対象世界の仮の構造図式をもっている。ただフレームは (1) 先天的に固定され、しかも (2) その対象世界が局所的であるため、大きな世界の予期されがたい動態を認識するのに、フレームを集团的に協調させる社会システム (“the Society of Mind” と呼ぶ) を必要とする。フレーム社会はその成員である対外フレームによって対象の局所的表層構造をその図式に編入して論理的に認識するとともに、深まってゆく内部の全体認識については、内部担当フレームが、対外フレームのもたらす処理結果をデータ駆動的にアド・ホックに統合する内部処理を動的に結合し蓄積するという形をとる。Minsky の描くところによればこの音楽のフレーム社会には (1) Feature-Finders (FF), (2) Measure-Takers (MT), (3) Difference-Finders (DF), そして (4) Structure-Builders (SB) という成員がいて、FF が音を認知すれば MT はこれを受けて拍節を捉えリズムを認知する。ついで DF は MT のメッセージにより曲の動きの変動があればそれをイベントとして捉え、その結果 SB は楽曲のより大きな構造とその表現を理解する。これらのフレーム集団は楽曲の比較的表層に近いところを担当するが、同じようなフレーム集団は内部の層にも存在し、そこでは上述集団の結果をみて音形→フレーズ→反復進行や

和音→和声の理解が達成され、さらに各層の関係から調性や対位法が認識されるようになる。Minsky はここでフレーム集団の活力の中心的担い手として DF のデモニック役割を強調する。DF は楽曲の構造の逸脱・偏倚で活力をあげ、秩序や規則性に対しては眠っている。したがって冗長な曲はフレーム集団を活性化しないが、変化する曲の流れは DF を通じて集団を活性化し、集団間に活発な相互作用をもたらす。その結果、フレーム社会は表現豊かな曲を全体的に理解することができる。ここで特筆すべきは、対外フレーム集団がルーチン化した作業をするのに対して、社会システムの内部にいるフレーム集団の作業にはあらかじめ決まったプランはなく、状況的に相互に依存しながら楽曲の構造化と理解の仕事を経験的に組み立ててゆくことである。このフレーム社会の理論は、楽曲が表面的には固い規則性の局所的構造をとるけれども、深い内面の全体的構造では緩やかで動的な組立をもち、その本質は原理的に不定型であることを示し、芸術作品としての楽曲の構造に迫っていて興味深い。

5. 作曲と解釈

コンピュータ音楽が芸術を目指すとするれば、芸術の本質である創造性に基づく個性的表現が可能にならねばならない。個性的とは機械的合理をこえた脱論理をもつものとするれば、コンピュータ音楽でもそのような計算モデルが要請されることになろう。そして前述(2)の考察に従えば、コンピュータ音楽学の観点からそのような本質的課題を背おわされているのは作曲と解釈の分野ということになろう。

創造的自由(それは内発的自律的に作曲過程をいわば無から生成する)を真に反映する作曲としては、(1)ストリング型確率モデルと(2)トリー型文法

モデルが考えられる。前者はもっとも古い古典的作曲法で情報理論のマルコフ過程モデルによるシミュレーションとして曲を生成するものであるが、大概⁹⁾はこれに、たくさん曲を聴くことによってメロディが自然に生まれるという芸術心理学的比喩をあて、AIとの興味ある関係を示唆した。それに先立つ L. Hiller⁶⁾のモデルも情報理論によったが、旋律と和声の規則を優先させ、エキスパート作曲システムの可能性への道を開いたものとして面白い。確率モデルへの作曲規則の適用は曲の自然近似性をあげることを狙ったといえるが、その後筆者¹⁰⁾はマルコフ・モデルの次数をあげるとともに、曲にフレーズ構造を導入して小節間の上位マルコフ・チェーンを優先的に生成させ、表層の終端マルコフ・チェーンをこれに従属させることによって作曲の近似度をあげることができた。

後者の文法モデルによる作曲では、Schenker 理論を topdown に使う S. Smoliar¹¹⁾の実験が知られる。そこではまず音階が初期設定され、ついでその主要な和音を水平散開させて骨格曲を作る。つぎにここから中間層を順次生成しながら最終的に前景表層の曲を完成させる。この生成変形には順列、反復、挿入、削除などの規則がある。Smoliar にあってこれらの変形規則はすべて LISP 関数をなす。たとえば、いま2音間の中間経過音を生成する関数 PT、音を1オクターヴあげる関数 OT を与え、音列を増殖させて上位層からより下位の層を展開生成する汎関数 PROLONG (引数は3個 A, B, C。A は関数、B は音列トリー、C は B 中の関数 A を適用するサブ・トリーのアドレス)を使って、第3オクターヴ目の A 音(A3)と第4オクターヴ目の D 音(D4)の音列(SEQ) (それはハ長調 CMAJ である)を再帰的に以下のように展開させる。

```
(PROLONG '(LAMBDA(X)(PT X CMAJ))
  (PROLONG '(LAMBDA(X)(OT X 1))
    PROLONG '(LAMBDA(X)(PT X CMAJ))
      '((A 3)(D 4)SEQ)
        '((0)))
          '((0 2 2)(0 3)))
            '((0 2)))
```

ここでは次のように PROLONG を再帰的に適用するたびに曲が階層的トリー構造をなして増殖展開するようすが伺える。

0. ((A 3)(D 4)SEQ)・・・初期骨格曲
1. ((A 3)((B 3)(C 4)SEQ)(D 4)SEQ)・・・0. に PT を適用

2. ((A 3)((B 3)(C 5)SEQ)(D 5)SEQ)・・・1. に OT を適用
 3. ((A 3)((B 3)((C 4)(D 4)(E 4)(F 4)(G 4)(A 4)(B 4)SEQ)(C 5)SEQ)(D 5)SEQ)・・・2. に PT を適用
- 以上は部分的であるが、フレーズ構成をなす Schenker 的作曲の手続きの実行結果である。Smoliar の方

法は文法モデルを汎用的に使用するが、Boilés のように対象をたとえばテレビファの歌に限定すれば、その有効性をもっと高めることができるであろう。

このような文法モデルは全体的統一性をもった曲の生成には役に立つが、内部構造として矛盾対立や葛藤のドラマをもち、また調性的にも曖昧な、まとまりを欠く不完全さを特色とするモダニズムの曲に対しては、むしろ Minsky 的なフレーム社会モデルのほうがふさわしいといえる。しかしそのような作曲の試みはまだみられない。

一方、解釈は自動演奏の基礎をなすが、楽譜のスケルトン・イメージ X を演奏用イメージ X' へとミクロに豊穣化する知的作業はこれまで人の手に委ねられてきている。しかしコンピュータの演奏は解釈まで自らやるものであってほしい。そのためには次の手順が求められよう。

1) すぐれた演奏の物理的音データから楽譜に明示されている以上の、音色、強弱、緩急、そしてフレーズ構造を含意する間をとりだす。

2) 上で得た演奏データを構文・意味分析し、そのフレーズ構造をみだし、意味づけを与える。

3) 解釈規則の析出

4) 与えられた楽譜に解釈規則を適用し、その演奏用データを生成する。

高澤¹²⁾はこのためフーリエ変換を使って(1)の演奏音の音高・音長を分析同定し、それから近似演奏データ X' (楽譜と呼ばれる)を得て表現力のある自動演奏を試みている。また三好¹³⁾の自動演奏実験では演奏イメージ (Uni データ構造をもつ)を生演奏の分析からえたり、または楽譜から「ミュージック・コンパイル」によって生成する研究がなされている。これらの解釈研究はいずれも演奏曲 X' の表層データの生成に関係するが、表層データにおける演奏表情の生成は曲の内部の有意なフレーズ構成に規制されるといえる。これに対して、田口¹⁴⁾は演奏分析から多くの解釈規則 (作法という)を導きだし、これらを組みこんだ演奏曲 (楽譜という)の自動演奏を試みるとともに、さらに進んで演奏曲の内部に動く分節化構造を想定し、フレーズ構造をもつ演奏曲のデータ構造を記述するため、MUSE という言語を考案して知能演奏をいま一つ前進させる道を用意した。これらの解釈のアルゴリズムとその実現をめざす努力は、いずれもまだ部分的、断片的であるが、コンピュータ音楽にとって、作曲と並んでもっとも重要な意義を担っている研究分

野をなす。そしてこの分野の研究を総合して進めるには、今後音楽家や音楽学者との協同が欠くべからざるものとなってこよう。

6. むすび

楽曲は耳で聞くもので外からみれば物理的構造をもった音の流れであり、そのかぎりコンピュータの計算対象となる。そしてこの物理的楽曲データを操作することによってさまざまなコンピュータ音楽の展開が試みられてきた。しかしそのような表面の内側には人間の音楽的思考を反映するイメージの生成的表現の観念的構造があり、その記号的表現を対象として独特なアルゴリズムと芸術的脱論理手法による記号処理で楽曲の内的操作や分析・再構成をすることが、音楽の芸術としての創造性をコンピュータのうえに再現するのに重要なことである。ここではしたがって、人間の音楽的創造のイメージング機構に焦点を合わせ、そのシミュレーションとして人間らしい芸術性豊かなコンピュータ音楽をいかに実現するかというアイデアと方法をめぐっていくつかの試論的考察を試みた。つまり強い AI としてのコンピュータ音楽への道を探ることが本論の主旨となったが、現在流行のコンピュータを人間の音楽能力を支援する道具とする弱いコンピュータ音楽が、音楽家の分身として真に創造的道具となるのにも、コンピュータ自身に創造性を与える強い AI 型コンピュータ音楽が目指されねばならない。

参考文献

- 1) Hanslick, E.: Vom Musikalisch-Schönen, J. Ambrosius Barth (1902).
- 2) Meyer, L.: Emotion and Meaning in Music, Univ. of Chicago Pr. (1956); Meaning in Music and Information Theory, JAAC., Vol. XV, No. 4 (1957); Some Remarks on Value and Greatness, JAAC., Vol. XVIII, No. 4 (1959); Explaining Music, Univ. of California Pr. (1973).
- 3) Moles, A.: Théorie de l'Information et Perception Esthétique, Flammarion (1958).
- 4) Attneave, A.: Applications of Information Theory to Psychology, Holt, Rinehart and Winston (1959).
- 5) Hiller, L.: Experimental Music, McGraw-Hill (1959).
- 6) Schenker, H.: Der Freie Satz, in: Neue Musikalische Phantasien, III (1956).
- 7) Boilés, Ch.: Tepehua Thought-Song: A Case of Semantic Signaling, Ethnomusicology,

- Vol. 11, No. 3, pp. 267-292 (1967).
- 8) Minsky, M.: A Framework for Representing Knowledge MIT, AI Lab., AI Memo, 306 (1974); Music, Mind and Meaning, MIT, AI Memo 616 (1981); The Society of Mind, Simon & Schuster (1985).
 - 9) 大槻説乎: 電子計算機による作曲, 数理科学, 創刊号, pp. 56-59 (1963).
 - 10) 川野 洋: 音楽計算機による楽曲処理システム, 都工短大研報, 4, pp. 105-118 (1975).
 - 11) Smoliar, S. et al.: The Modeling of Musical Perception on a Digital Computer via Schenkerian Theory, Univ. of Pennsylvania, Music Project Report, No. 4 (1975).
 - 12) 高澤嘉光: 採譜から自動演奏へ, コンピュータと音楽 (bit 別冊), pp. 131-141 (1987).
 - 13) 三好和憲: 総合音楽情報システム, 上掲誌, pp. 148-153 (1987).
 - 14) 田口友康: System MUSE for Automated Music with Electronic Piano pf 15, ピアノ自動演奏システムの作成と演奏表現の定量的分析, 甲南大学総合研究所叢書, 2, pp. 1-18 (1987); 自動演奏と演奏モデル, コンピュータと音楽 (bit 別冊), pp. 42-53 (1987).
 - 15) Langer, S.: Feeling and Form, Routledge & Kegan Paul (1953).
 - 16) Keller, H.: Phrasierung und Artikulation, Bärereiter-Verlag (1955).

(昭和 63 年 2 月 10 日受付)