

パネル討論：

コンピュータサイエンスとしての音楽情報処理 — 計算モデルの構築

井口征士 (大阪大学 / LIST), 小坂直敏 (NTT 基礎研究所),
竹内好宏 (亀岡高校), 橋本周司 (早稲田大学), 平賀 譲 (図書館情報大学)

音楽は人間の普遍的活動の1つとして、実践的であれ、研究的であれ、それに対する様々なアプローチが可能である。音楽情報処理を1つの分野として見た場合、その全体に共通して存在する、あるいは根底においてそれを統合する要因の1つとして、計算モデルの構築がある。この点において、音楽情報処理は他のアプローチに対する独自性を有し、またそれゆえに大きな貢献をもたらさう。

計算モデルという言葉はここでは可能な限り広い意味で考えている。音楽自体の構造やその解析・生成についてはもちろんだが、音楽を聴く人間の認知のメカニズムやプロセス、さらには音楽を形成していく上でのあらゆる手段やプロセスがモデル化の対象になりうる。たとえば MAX のような音楽システムであれば、音楽を作っていく上での要素やそれらの結合の仕方が計算モデルであり、ユーザはそれが提供する概念をもとに操作を行う。

計算モデルの特徴は、対象を客体化し、形式化すること、その結果として動作やメカニズムが透明であり、実験や検証に当てうること、その上で様々な操作を行える一方、自律的に動作させるようにもできること、物理的制約などにとらわれず、論理レベル、概念レベルでの定式化が行われることなどがあげられる。この最後の点における自由度はきわめて大きい。したがって一口に計算モデルといっても、様々な形態のものがありうる：

- A. 実現すべき機能が明確であり、その達成が第一義的であるもの。
- B. 一般的な計算的枠組 (ニューラルネット・カオス等) の音楽への適用を試みるもの。
- C. 音楽・音響・認知等の既存の理論のインプリメントを目指すもの。
- D. 理論段階から独自のモデルを構築しようというもの。

もちろんこれらは網羅的でも、互いに独立でもない。たとえば A の機能の実現は、程度の差はあれ、すべての場合に共通するものではある。また D についても、やはり程度の差はあれ、すべての場合にそういった要素が含まれていると言える。

これは1つには、計算機という、何の予備知識

も持たないハコの上に機能を実現するには、すべてを1から構築しなければならないという事情による。そこでは当たり前と思われるようなことが実は大変難しかったりする (たとえばビートトラッキング)。これは、個々の判断を人間の専門知識に委ねることの多い音楽理論や、人間の能力そのものの発見・検証を目指す音楽心理学とは対照的かつ相補的な関係にある。

対象を形式化し、精密化することを要求され、それを旨とするのは、音楽情報処理の大きな特徴・メリットであるが、一方では弱点にもなっている。ともすれば「情報処理」の比重が大きくなり、「音楽」の方がなくなるにせいかねないからである。これは対象の極端な単純化や矮小化、音楽的観点からの評価や検討の欠如、他分野の知見の調査・参照不足といった形で現れる。極端な場合、工学的成果としては認められても、音楽的にはなんら知見をもたらさないケースも見られる。

しかし筆者個人としては、音楽情報処理は十分他分野と連関を持ち、インパクトを与える潜在的可能性を有すると考える。もちろんすでに計算機は、特に創作面において、確固とした位置を音楽の中で占めている。しかしここで念頭にあるのは、計算モデルの定式化という、概念レベル、理論レベルでの役割である。現在のところ、我々は音楽そのものについても、音楽認知についても十分な理解には達していない。これは1つには記述・定式化のための道具や枠組がなかったためと考えられる。計算的観点とそのための土台となることを期待したい。

パネリストにはそれぞれの専門の立場から、音響合成・分析、音楽構造分析、演奏モデル、感性情報処理など音楽情報処理の様々な側面における計算モデルの現状を紹介いただき、問題点や今後の展望について検討していく。[平賀記]

パネル討論会

コンピュータサイエンスとしての音楽情報処理 -- 計算モデルの構築

井口 征士

大阪大学基礎工学部システム工学科 & イメージ情報科学研究所

- 1 定量的なアプローチ（ベンチマーク）の功罪。
 - ・ ME（医用電子技術）の初期に起こった混乱に似ている。
 - ・ 物理量のベンチマークか、知覚量のベンチマークか。
- 2 人文科学と自然科学の狭間。
 - ・ イースター島モアイ像調査の道中で。
 - ・ 小泉文夫先生の音階理論はコンピュータには無理。
- 3 「役に立つ」か「立たない」か・・・
 - ・ MMOより使いやすいはず。
 - ・ メログラフより正確なはず。
- 4 分析モデルより予測モデルを・・・
 - ・ 交通事故時の視覚はブラインドである。
 - ・ 音楽を聴きながら、何を予測しているか。

先日、八重洲古書館で大正5年発行の田邊尚雄著「最近科学上より見たる音楽の原理」（550頁の単行本）という書物を見つけた。今から81年前にこのような音楽科学に関する書物が発行され、発行後3年で1000部を売り尽したことが、再版の序に記されている。かなり専門的な音楽原理、音響物理について記述しているにも拘わらず、初版の凡例の最初に「此の書は通俗書であって専門的著述では無い。従って・・・」とあり2度びっくりした。

また付録には、11ページに渡って「進んで斯學を研究する人の採るべき方針とその参考書」が掲載されている。参考文献の行間に、極めて示唆に富んだ指針が述べられているので、一部引用する。もちろん縦書きである。

「先づ初めに本書と同程度の書で特に優れたもの二三を紹介して置く。

William Pole :- Philosophy of music (London, 1879)

扱て本書を読み終わつてから尚ほ進んで斯學を研究するには先づ音楽の理論及び實際に通曉しなければならない。然る後に數學、物理學、心理學、生理學等の知識と相待つて音響學、音響心理學等の研究に入るのである。それで絶へず理論と實際と併行し實驗に重きを置いて研究をしなければならない。實驗の伴はざる理論は凡ての科學に於て危険であることを忘れてはならぬ。音楽原理の實驗に最大の必要なる條件は、耳が常規を逸する程に鋭敏であることである。

音楽の理論といふのは樂典、和聲法、對位法、作曲法、聲樂法、器樂法、管絃樂法等の學問をいふのである。之等は泰西に無數の参考書があるから一々之を述べない。

音楽理論の研究は音楽の實際とよく併行しなければならぬ。それ故ピアノ、オルガン、ヴァイオリン、箏、三味線の五樂器は少なくとも之を正當に演奏し得る丈けの力を養成しなければならない。特に出来る限り機會を利用して管絃樂合奏隊に加はるか、又は之を指揮することを心掛けられんことを希望する。

・・・」

音響分析・合成における計算モデルについて

小坂 直敏 (NTT 基礎研究所)

音楽情報処理としての音響分析・合成について、コンピュータサイエンスとして以下に研究を展開すべきか考察する。音響分析・合成研究の目的は、

1. 新しい音楽の創作/演奏に必要な楽音作成
2. 楽音の発音機構などの音響物理的解明
3. 音理解/合成する情報処理システムの構築

などがある。1. は芸術、娯楽、教育など実際の音楽に資するため、ともいえる。2. は真理探求型の科学研究と位置付けられる。

3. は音声を対象とした音声言語・コミュニケーションの研究とも関連する。いずれもコミュニケーションをシステムとして実現することが課題である。また、音源分離、音場制御などの工学的テーマは3. の要素技術であり、また、聴覚から音楽認知・知覚までの科学的研究とも深い関連がある。

また、これまでの音楽研究では、音信号に含まれる情報の中で、ピッチ、音程、音階、和音、音律、メロディなどピッチ情報を根底にした音楽情報を対象としたものが多かった。しかし、近年音声言語研究で、より豊かな理解、およびより自然な合成をするため、韻律および音色の研究が増えている。音楽知覚の分野では、音色の研究は音色の印象に対する多次元空間での位置などの分析研究が主であった。しかし、近年音色のより自由な制御という課題に取り組む合成研究も増えつつある。

音響合成には、大きく二つの立場がある。

1. 現存する音を表現する計算モデルを構築し、このモデルに立脚した上での音響操作
2. 原音の表現モデルのない楽音の合成

1. はいわゆる分析・合成モデルである。すなわち、波形、スペクトル、ハーモニクスなど、音色に影響を与える特徴を分析(推定)するモデルとそれを用いて原音を再合成するモデルを併せ持つ。Phase vocoder, LPC, 正弦波重畳モデル (sinusoidal model) などはこの分類における代表的なモデルである。

音の表現モデルは音声符号化研究では必須でありこの分野の影響が大きい。また、分析モデルを持たず、知覚レベルでしか原音と整合が取れないものにFM音源方式がある。これは、モ

デルが非線形式であり、原音に対するモデルパラメータの推定アルゴリズムを持たず、合成モデルのみが考案されているものである。合成では、別分析によって知られているスペクトルパラメータが付与される。これは、広義の分析・合成モデルといえる。

granular synthesis は概念的には波形レベルで分析・合成可能であるが、分析モデルはまだ考案されていないようだ。分析モデルが考案されていない音表現モデルは発展途上の分析・合成モデルと考える。つまり、分析モデルが考案されさえすれば任意の音が表現できるという潜在性がある。

音素材に対し、これらの表現形式を適用して伸縮、変調、ピッチ変化などの変形操作を行なうことにより新たな音響合成が行なわれる。近年では音色制御(モルフィング)などのダイナミックな制御を狙う研究テーマも一般的になってきた。今後もこれらの音表現方式と応用としての音響合成は伝統的な実証研究の枠組の範疇で発展していくであろう。

一方、2. はカオス合成に見られるように、魅力的な数理モデルから直接音合成を行なうものであり、これを「創造的な音合成」と筆者は命名している。ランダム系列を音に変えるなどもその代表的なもので、音楽家は長くこれらを愛用してきた。

しかし、後者は、学問としての位置付けが難しい。計算モデルとして、どのような音のクラスが表現できるか、を議論することが学問として必要であろう。また、学問として扱うにはまだ未熟な段階にあるともいえる。そのため、このような音の合成研究は、まず、

1. 創造的な音合成による楽曲の作成
2. auralization(可聴化)への応用

などのアートの幅広い応用を行なうべきである。こうした成功例をいくつか見出した後、その理由を検討する過程で数理的モデルの価値を議論してことが学問として成立する条件だと考える。

今後は、物理学としての楽器音響はますます高性能化、詳細化していくであろう。これと並行して、音の表現に関する問題は今後も普遍的に検討される必要があろう。特に発展途上の分析合成モデルの充実と創造的な音合成の学問への昇格が期待される。

音楽認知研究から演奏や音楽教育へのモデリング

竹内好宏

京都府立亀岡高校音楽科

1. 認知科学的視点

人間の諸活動を様々な情報の処理過程であるとする立場（認知科学的視点）からは、音楽の諸活動も情報処理の1つの分野として位置づけられる。もちろん現実に人間が行う様々な音楽活動を科学しようとすれば、そのどれを取っても複雑で複合的である。

しかし、知覚や認知構造の複雑さをより精緻に追及するだけでなく、現実の演奏や作曲あるいは音楽教育に適用できる計算機モデルや理論モデルを構築していきたい。

2. 演奏解釈理論と計算機

Meyerは「音楽における情動と意味論」を著わし音楽的な意味の構造について論じた[1]。そこでは音楽における音楽的な意味構造の研究が行われたのであるが、その理論を適用した楽曲分析理論は、Meyer-Jackendoff-Narmourといった研究に発展してきた。近年の音楽分析や自動演奏の計算機モデルではこれらの理論を応用しているものが多いが、そこで話題になるのは多くの場合、計算機モデルの工学的な課題であることが多い。一方、音楽理論そのものを計算機を用いて検証するということができるが、あまり研究がない。難しい研究だが、音楽そのものを客観的に研究する意味で今後の重要な課題であろう。

3. 演奏分析と計算機

今日MIDI情報などの発達によって、実際の演奏を数値的に記述できるようになった。これは、近代医学におけるX線診断やCTの発明に匹敵するものと言える。近代医学の進歩はより客観的で精密な診断が可能になることによって、よりの確な治療ができるようになったことに起因している。これまでの演奏評論は、評論家の主観的なものが多かったが、以後様々な演奏を数値化して記述できれば、演奏そのものを客観的に観察し評価することができるであろう。また演奏解釈研究と関連した研究が行えれば、演奏学という学問領域が確立できるのではないかと。

4. 音楽教育と計算機

近年各学校にコンピュータが配備され、CAIが音楽分野でも行われつつある[2]。そこで行われている内容は主にDTMが中心であり、音楽そ

のものを情報科学するという方向とは関連していない。DTMは従来人間が行ってきた音楽活動を計算機によって自動化するものであり、ツール以上の機能を果たしてはいない。もちろん、私が実践しているような音楽と他の芸術などを複合的に扱えるマルチメディア・アートの取組は計算機を用いることによって可能となる[3]。しかし、音楽情報科学で研究されている内容が実際の音楽教育や演奏分野ではあまり利用されていないことは残念なことである。

例えば、Seashoreが論じたように演奏情報は楽譜情報が様々な変容したものである[4]。一方、DTMによるCAIの取組では「楽譜を入力すれば、演奏技術を持たない生徒でも楽譜通りの演奏ができる！」という機能が注目されすぎて、演奏における微妙な演奏変数の変化についてはあまり利用されていない。しかしTwo Finger pianoのようなツールを用いれば、微妙な演奏表情を簡単に生成できる。

音楽教育における計算機利用については、他にも様々な利用の可能性がある。しかし、工学科学サイドからも音楽サイドからも、明確なモデルの提案はあまりみられない。これは計算機に関する音楽サイドの認識不足が一因であろうが、音楽情報科学研究者も音楽教育の実践にどのように関わっていけるかを、現実問題として考えていく必要性がある。

5. おわりに

システムやソフトを作成しても、それによって音楽や音楽情報処理の何が新たに研究なり検証できるかが、明確でなくてはならない。また音楽サイドにおいては、計算機を用いたどのようなモデルが必要なのかを、音楽教育や音楽研究の重要な課題として真剣に検討する時期であると言えよう。さらに、今後は音楽研究に関わる心理学・コンピューターサイエンス科学・教育学・演奏学などの研究者が協同して、課題の抽出からその解決まで行うことのできる共同研究体制の確立が望まれる。

参考文献

- [1]L.Meyer:The Emotion and Meaning of Music.University of Chicago Press. (1956)
- [2]斎藤忠彦:DTMは表現支援メディアになりえるか、音楽教育学23-3,pp.25-29 (1994)
- [3]竹内好宏「マルチメディアアートの制作指導と評価」高等学校教育課程運営改善講座資料、文部省 (1994)
- [4]C.E.Seashore: In Search of Beauty in Music,New York:Ronald (1938)

感性的メディア技術としての音楽情報処理とその評価

早稲田大学理工学部 橋本周司

1. なぜ音楽か？

「情報工学の教育研究の対象のひとつとして、なぜ音楽を選んでいるのか」。個人的な研究歴の中で後付けの必然性はあるものの、実際のところ、ただ、かって一つの楽器の演奏に取り組み、ある種の音楽の力に魅せられたことがあり、今でも音と音楽が好きだからである。

音楽と工学の関係にある割り切れなさがが気になっていたが、それが最近の感性情報処理という言葉でうまくすくい上げられた気がしている。また、習性で従来形の衣服をまとめて話してはいるが、この分野には従来の工学を突破するという大それた夢も持っている。したがって、「モデル化、評価」など、既成の工学的課題を突きつけられると、すっと話に乗ってしまうと同時に、“また、何で？”と気の重くなる自分が眼を醒ますのである。

2. 感性情報処理

物理的な波形の測定や信号変換を行ってきた工学が、記号を扱い知識情報を処理するようになり、今や感性情報の処理を射程に入れ始めている。音楽は、構成において論理的であると同時に、人間の情緒的な側面に深く係わるものであり、感性情報処理の重要な対象のひとつである(表1)。

表1 情報処理の階層

階層	メディア	支配則	分野	評価原理
物理レベル	光、音、力	物理法則	信号処理・計測	説明可能性 因果的無矛盾
意味レベル	言語、シグナル 図形、数式	論理、文法	知識情報処理	証明可能性 論理的無矛盾
感性レベル	音楽、絵画 表情、仕草	主観、共有性	感性情報処理	共鳴可能性 合成的無矛盾

このように、信号、記号、知識、感性と処理対象の変化に伴って、その評価原理も当然変わってくる。また、実際のシステムでは、表1の各階層はその前の階層を含むものである。つまり、感性レベルの音楽情報処理には、意味レベルと物理レベルの処理が含まれる。したがって、音楽情報処理の計算モデルはそれらに対応して階層的になる。自動伴奏を例として見れば、主演奏の音響(またはキータッチ)処理、楽譜との対応付けおよび伴奏生成が主な階層を形成し、それぞれに種々の計算モデルが有り得る。

3. 音楽によるコミュニケーション

音楽は、言語では伝えきれない感性的な自己表現とその伝達の媒体としての役割を持っている(図1)。工学はその色々な曲面での道具を提供する。この道筋を大雑把な信号処理手順としては、

- i) 変換(信号化) ii) 認識(記号化)
- iii) 理解(復号化) iv) 生成(符号化)

となる。その中で、i) ii) を中心とする楽譜認識、採譜など物理的信号の分析に関するものは、従来の科学技術の枠組みである程度議論することもできるが、iii) iv) が中心となる自動伴奏、自動演奏、楽音生成などには、人間の(しかも感性的)なモデルの構築が不可欠である。これらは広い意味でのマン・マシンインタフェースの問題であり、使い勝手と生成する音楽の質が問題となる。音楽では特に後者が大事であり、しかも評価が難しい。

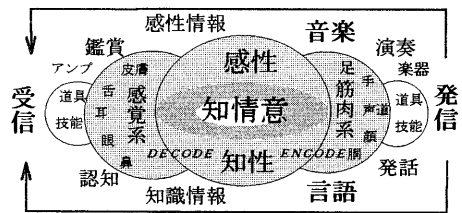


図1 音響によりコミュニケーション

4. 再びなぜ音楽か？

音楽学が「科学」を標榜するならば、工学とはかなり近い仲にある。共に音楽現象の分析と記述を行うからである。音楽情報処理の他にない魅力は、音楽家という全く異なる人々の存在にある。音楽家はモデル化や分析ではなく音楽の生成を生業としている。そこでは、ユニバーサリティではなくパーソナリティが問題となる。また、音楽演奏は民衆に向けて行われる。工学も民衆のためのものであるが、音楽によって工学は民衆(人間)との新しい変革のための接点を持つことになった。我々には現在のところ計算モデル以上の武器はないが、音楽の場合、その正否は、客観的・分析的指標ばかりでなく、シンセシスによって民衆により評価される必要がある。音響信号処理から音楽情報処理に入った時、すでに我々は、情報理論などの従来の工学的枠組みを越えた新しい地平に立っているのである。