

# コンピュータサイエンスとしての音楽情報処理

平田 圭二

NTT 基礎研究所

1996年3月8日

情報処理学会に音楽情報科学研究会が発足したのは1993年4月であった。これまで、計算機と音楽を組合せると面白そうという理由で音楽情報処理という分野に興味を持たれた方々が多いだろう。その音楽情報処理のコミュニティが次の段階に進むためには、音楽情報処理を科学、工学の一分野として位置づける作業が必要ではないかと思う。これはつまり、得られた研究成果がどの程度一般性のあるものか、他の研究と比較してどこがどの程度改善されたのか、ということが明確に述べられるように研究対象を設定し、方法論を確立することである。そのための有効な手段として、研究者間で共通の標準的な例題の設定や、データを交換するための標準的な音楽記述言語の提案が考えられる。

音楽情報処理には自動演奏の表情付け、拍の追従、伴奏システム、楽譜認識、音楽認知、自動作曲/編曲、採譜システム、音楽表現などのサブ領域があるが、本パネルでは、これらサブ領域でアクティブに研究を進められている研究者の方々にパネルをお願いし、共通の標準的な例題の是非や標準的な音楽記述言語、形式について、フロアの皆さんと一緒に議論したいと考えている。また、音楽学や作曲/演奏の分野からもコメントをお願いし、幅の広い議論を進める予定である。

## 1 はじめに

情報処理学会に音楽情報科学研究会 (SIGMUS) が発足したのは1993年4月であった。それから約3年間の活動を行ってきたが、その間、多くの方々に興味を持って頂けたと思っている。しかしその一方で、興味を持って研究会に参加してはみたものの、適当な教科書が無いために研究分野全体を見通すのが難しかったり、研究者がどんな問題意識を持って仕事を進めているのか理解できなかったり、“So what?”な発表があったり、理工学系の研究発表とはちょっと雰囲気の違いの違う発表があったりなどで、興味を失ってしまった方々もまた多いのではないかと思う。

これは音楽情報処理に携わる者としては、大変残念なことである。そもそも、音楽情報処理という新しい研究分野が生まれるきっかけは、とにかくそこに研究者の興味が存在したからであった。コミュニティが誕生後間もなく人数も少ない頃には、研究対象が面白いというだけでそのコミュニティにとどまることもできた。しかしコミュニティの人数が増え、新しい知見を得たり、新しいシステムを研究開発し技術を高めて行くような活動が、組織や体制として要求されるようになって来ると、研究対象が単に面白いというだけでは、そのコミュニティの求心力は

弱いと言わざるを得ない。

筆者は、音楽情報処理が十分強い求心力を持つ研究対象になり得ると確信しているのだが、折角研究会に参加された方々が、それを認識する前に興味を失ってしまうという状況は非常に残念である。このため、新しい知見を得たり、新しいシステムを研究開発し技術を高めて行くような活動を現在より組織的に推進し、その成果を具体的に示す必要がある。音楽情報処理は、研究対象が単に面白いという段階から次の段階に進まなくてはならないと思う。そこで、現在の音楽情報処理の研究開発においては、比較や評価がきちんとできる枠組や方法論の構築が急務ではないだろうか。

そのための第1ステップとして、研究者間で共通な標準的な例題の必要性、データを交換するための標準的な音楽記述言語の必要性をテーマに据えたパネル討論会を開くことを考えた。

## 2 音楽情報処理とは

本節では、音楽情報処理がどのような研究分野なのかを概説する。まず簡単にその発展の歴史を振り返る。

### 2.1 音楽作品の創作

音を電氣的に生成する試みは計算機が誕生する以前よりいくつもあり、音楽の創作に計算機を利用する試みは1940年代よりすでに始まっている。黎明期

---

Music Information Processing as Computer Science.

Keiji HIRATA.

NTT Basic Research Laboratories

における計算機の利用法は、主として (1) 乱数を用いた作曲、(2) 音合成システム、(3) 楽曲の統計的分析であった。(3) の流れは音楽心理学、音楽認知科学の分野へとつながり、(1)、(2) の流れが現在のコンピュータ音楽の世界へとつながっている。ここで言うコンピュータ音楽は、いわゆる Desk Top Music であるとかポップス系の音楽とは一線を画するようなジャンルの音楽を指している。敢えて言葉で表現すれば、調性感やリズム感が少ない実験的な音楽である。

コンピュータ音楽の研究では、基本的に音楽作品を創作することを目的として、その計算機利用や技術開発が進んできた。一般には新しい分野であると思われがちであるが、意外にその歴史は古い。コンピュータ音楽のコミュニティでは、コンピュータ音楽国際会議 (International Computer Music Conference, ICMC) という会議が最も規模が大きく、すでに 20 年以上続いている。ICMC は、情報処理学会関連の通常の (国際) 会議の雰囲気とはかなり異なり、音楽作品発表 (コンサート) と論文発表が同格に扱われ運営されている会議である (むしろコンサートの方に比重を置いていたと言っても良いだろう)。ある面では SIGGRAPH と似ているかも知れない。

この ICMC を中心とするコンピュータ音楽のコミュニティでは、例えば、新しい音を合成するための音響技術の応用、新しい楽器、アルゴリズムックコンポジションなど、音楽作品を創作するための実証的な研究が主体であった。このような発展をして来たコミュニティであったために、計算機に関連した会議やジャーナルでは、コンピュータ音楽に関する論文はあまり発表されて来なかった。マーケット的にもそれほど大規模ではないために、容易に入手できる情報や資料もそれほど多くない。しかし一方で、計算機関連のコミュニティとのつながりが薄かったために、科学や工学の一分野としてよりも、音楽やアートの一分野として発展してきたように感じられる<sup>1</sup>。

## 2.2 音楽家と技術の関係

筆者は、上述のように発展してきたコンピュータ音楽コミュニティに対して、次のような観察が成り立つと思う：

優れた音楽作品を作るということと技術的な高さの間にはそれほど強い相関がない。

一例を挙げれば、市販の MIDI シーケンサを購入し、優れた音楽作品をすべて打ち込みで制作することが

<sup>1</sup> 後発国である日本では多少事情が異なる面もある。

可能である。つまり音楽作品の善し悪しは、作品で用いられた技術の高さよりも作品のコンセプトにより強く依存しているように感じるのである。

コンピュータ音楽を作曲、演奏する際の音楽家と技術の関わり方の基本パターンには次の 2 通りがある。パターン 1: 音楽家やアーティストの思いついたコンセプトが先にあって、それを音楽などで具体化する時に、既存の利用可能な技術を組合せ、足りない部分は (自分で) 開発する。パターン 2: 音楽を意図せず開発された技術 (例えば vocoder や LPC) が先にあって、それを音楽家が知り、音楽作品の創作へ応用し、作品として仕上げる。実際には、パターン 1 と 2 が複雑に入り組んだ形をしている。

いずれにしても、音楽家から見た時、優れた技術が音楽作品の創作意欲を活性化する一助となっている面はある。しかし、計算機技術から見た時、音楽家の提示するコンセプトがその時点での技術レベルに照らして実現困難というケースはあまりなく、計算機の応用技術としても、それ自身が計算機の研究を推進するきっかけや原動力となることは残念ながら少ない。

## 2.3 ここ 10 年の新しい研究の流れ

計算機と音楽の境界領域において、先の音楽作品を創作するためのコンピュータ音楽の研究という流れに対して、ここ 10 年ほどの間に、優れた音楽作品を創作することを第一義の目標としないような研究の流れも生まれている。それは例えば、音楽認知モデル、楽譜認識、採譜システム、ビートトラッキング、音楽知識表現などである。さらに個人で楽しむことを目的とした自動作曲、編曲システムや伴奏システムなども含めても良いだろう。これは先の (3) の流れとは独立したものである。これらの研究分野が生まれた大きな理由は、良い意味でも悪い意味でも研究対象として面白いから、音楽を入出力するための周辺機器が安価に入手できるようになったからであろう。

以上述べたような、従来のコンピュータ音楽の研究と、ここ 10 年位の間に生まれて来た新しい研究の両者を指して本稿では音楽情報処理と呼んでいる。筆者は、この境界領域の研究分野が、これからの計算機の適用範囲を広げ、新しいマーケットの創出のきっかけとなり、さらには計算機技術に貢献できるくらいにまで成長して欲しいと願っている。

### 3 今の音楽情報処理に必要なこと

科学や工学として音楽情報処理が進展するためには、どのような態度や作業が必要なのだろうか。非常に基本的な話で恐縮であるが、ある研究結果を他者の結果や自分の以前の結果と比較し、評価し、問題点を見つけ、改良するという繰り返しを健全に遂行することが、現在の音楽情報処理の研究においても一度認識されるべきことではないかと考える。

#### 3.1 何を指すべきか

前節では、音楽的な優劣と技術的な高低にはあまり相関がない、という観察が成り立つと述べた。しかし、ここで筆者の考える音楽情報処理の目指すべき方向は、

音楽的に優れた評価を達成するためには  
技術的に高いレベルが要求されるような  
研究対象の設定と方法論の構築

である。音楽のような、その評価結果を主観が大きく左右するような対象でも、問題を適切に分解し抽象化、標準化することで、かなり安定な評価が可能になるのではないかと思う。

音楽的であるということは、知的な振舞いの一種と考えて良いだろう。この意味において、知的な現象を一般に扱う AI の態度が参考となる。AI では、知的な現象をより一般的な抽象的なレベルの言葉（コンピュータサイエンスの言葉、工学レベルの言葉、数学など）に翻訳し、翻訳後の世界で議論を行っている。また評価に関しては（いろいろ議論はあるようだが）チューリングテストという概念が存在し実際にコンテストも開かれている。

芸術的な演奏や音楽作品だけが音楽ではないし、音楽作品の創作が第一義の目標でない研究分野も存在している。対象の問題点を整理し、客観的な比較ができる部分に限定して議論を進めることは十分可能であろう。実際すでに、そのような流れに乗りつつある（乗っている）分野も見受けられる（例えば、拍の追従、音楽認知認識、音響信号処理など）。

#### 3.2 共通で標準的な例題

SIGMUS や ICMC などでの研究発表を聴く際、得られた成果がどの程度一般性のあるものなのか、他の研究と比較してどこが改善されたのか、ということがあまり明確でないと感じることが多い。その理由の 1 つは、取り上げる例題や問題がバラバラだからではないかと思う。

例えば SIGMUS で比較的多くの人が興味を持って取り組んでいるテーマに、自動演奏の表情付け、伴奏システムがある。そこでの評価はどのようにして行われているのかと言うと、例えば、システムの演奏を聴いて音の強弱、長短、テンポがどれくらい上手く制御されているのか、伴奏がどれくらいスムーズなのかを研究者の耳で判断している。しかし、この比較には主観が入る余地が多く、同一曲でも優劣に関して安定した評価結果を出すのは難しい。ましてや、例題曲が異なれば比較するのは不可能である。同一の研究者でも時期によって取り組む例題曲が変わったりすることがあるが、そうなると以前の自分のシステムより、どの部分がどの程度改善されたのかさえ曖昧になってしまう。

ここで筆者は、研究者間で共通な標準的な例題の必要性を感じる。つまり、自分の以前のシステムとの比較や他のシステムとの比較のために、少なくともシステムに与えるデータは揃えるべきではないだろうか。標準問題として何曲か、何小節かを選んでおき、その曲の自動演奏の表情付けや伴奏をすることで、比較検討を行うのである。伴奏システムの場合は、独奏者についても例題の振る舞いを規定する必要があるだろうし、比較検討の方法についてもガイドラインが必要になるだろう。そして、タイプの異なる複数の曲を標準例題として選ぶことにより、限られた例題に対してだけではあるが、提案された技法の一般性を検証することができる。このような考え方は、一般のベンチマークという言葉に対応するだろう。

#### 3.3 標準的な音楽記述言語と形式

音楽情報処理において、共通の例題を設定したり標準的な評価手法を規定するという考えをさらに進めていくと、その例題データやシステムの出力結果は、お互いに比較可能な記法で記述されている必要があることに気付く。例えば現在、Standard MIDI File (SMF) という defacto 標準の形式が存在し、実際に広く利用されている。音符レベルの情報をやりとりするのに SMF は適しているとしても、音色そのもののデータを記述することはできないし、楽譜データやさらに高次の音楽構造を記述するような場合にも適していない。

現実には、さまざまなレベルでの音楽記述言語の標準化活動はいくつか存在しているのだが[?], いずれも広く普及するには至っていない。音楽情報処理の研究者の殆どは、購入した（導入した）システムの記述フォーマットをそのまま使う（例えば csound の

Score であるとか NeXT 上の開発ツール Music Kit など) か、或は自分で簡易フォーマットを設計している。これでは例題データを共有したり出力結果を比較することは殆ど不可能である。世の中に普及しない標準化活動は虚しいものであるが、現在の音楽情報処理にとって、研究者間でやりとりする共通の例題を記述するための標準的な音楽記述言語と形式の必要性は認めざるを得ないと思う。

### 3.4 評価するのは誰か

計算機を含む科学や工学のコミュニティにおいて、CPU のベンチマークテストのように、定量的な測定にある一定の意味づけがされているような対象や概念というのは案外少ないものである。最終的には、各研究者が自分の主観を頼りに比較や評価を行わねばならない場合も少なくない。それでも科学や工学が健全に発展しているのは、コミュニティ全体が研究成果を評価しているからである。音楽情報処理の研究開発においても、コミュニティ全体で研究成果を評価するという仕組みを確立すべきであると思う。そのためには、前述した共通で標準的な例題及び音楽記述言語と形式がかなり有効な手段となるのではないだろうか。

一方では、コンテストのような形式を利用して、何人かの有識者による順位づけを行うという評価も有効だろう。もちろんこの時、システムに与えられたデータ、出力されたデータはオープンにし誰でも容易に入手可能な状況が望ましい。

システムを特定のハードウェアに依存しない形で実現するように心掛ければ、システムはソフトウェアとして流通することができ、第三者による追試が可能となる。このプラットフォームの共通化、システムのソフト化は共通で標準的な例題とは多少趣が異なるが、コミュニティによる評価という意味で、これも音楽情報処理の発展には欠かせない要件に思える。

例題データが共有化され、出力結果の比較が容易に入手でき、各システムが第三者にとって容易に利用可能であるような状況は、新しく音楽情報処理に参入する研究者にとっても、そのメリットは計り知れないものがある。

## 4 パネラ及びコメンテータ

以上のような背景をもとに、今回のパネルを企画した。まずパネラ (5 名) のお名前、所属、ポジション発表のタイトル、コメンテータ (2 名) のお名前、所属を表 ?? にまとめた (五十音順)。各パネラは、現在、自動演奏の表情付け、拍の追従、伴奏システム、楽譜

認識、音楽認知という分野の第一線でアクティブに仕事をされている方々である。各パネラには、

- どうやって何を評価しているのか
- 自分の書いた論文に載っている例題曲やサンプルを何故どのように選んだのか
- 共通の例題を設定する必要があると思うか
- 共通の例題を設定することは可能か

などについて忌憚のない意見を述べて頂く予定である。

また、古くから音楽家の世界では、様々なコンクールが開かれその演奏技能の優劣が競われてきた。例えば予選ではバッハやモーツァルトの曲が課題曲として与えられて基本的な表現力や技能が試され、本選ではさらに能力の差が際立つような課題曲が与えられたりする。このようなコンクールという評価システムは、音楽情報処理のためのベンチマークを考える上で 1 つの参考となるだろう。よって、音楽学や音楽家の立場からも多くの貴重なコメントや議論が期待できると考え、現在、音楽学と作曲・演奏の分野で精力的に活躍されている方をコメンテータとして各 1 名お願いした。

同時に、音楽データの記述法の標準化及びシステムのソフトウェアとしての流通という切口も視野に入れてパネルを進めて行こうと考えている。

## 5 比較や評価に関連する研究事例

本稿でこれまで述べて来たことは、コンピュータサイエンスを含む一般の工学や科学の世界では常識と言って良いだろう。しかし、メタな方法論は認識されていたとしても、新しく誕生した分野において、それを領域固有の方法論にまで具体化する作業は、それほど容易ではなくまた時間を必要とするものである。本章では、比較や評価に関連するこれまでの研究事例を紹介し、パネル討論をする際の参考資料としたい。

### 5.1 音楽情報処理における事例

ここでは、音楽情報処理における様々な対象について比較や評価を扱った最近の論文を Computer Music Journal よりピックアップし紹介する。

(1) 文献 [?] は、様々なレベルの音楽表現のための言語、規格、システム (KL-ONE, Score, MIDI, UPIC など) を、表現能力の完全さ (どこまで低レベルのデータが表現できるか) と構造的な一般性 (どこ

表 1: 各パネル及びコメンテータ (敬称略五十音順)

片寄 晴弘	(財) イメージ情報科学研究所	演奏は誰が上手?
後藤 真孝	早稲田大学大学院 理工学研究科	ビートトラッキングにおけるベンチマーク
堀内 靖雄	千葉大学 工学部	伴奏システムの協調動作の評価
松島 俊明	東邦大学 理学部	楽譜認識は本当に難しいのか
村尾 忠廣	愛知教育大学 音楽教室	音楽認知と音楽情報科学 ~
		音楽情報科学 < から > の < ための > 音楽用語の再検討
志村 哲	大阪芸術大学 芸術学部	
栗 孝之	国立音楽大学 音楽デザイン学科	

まで高レベルのデータが表現できるか) の 2 つのパラメータで分類し定性的に比較している。

(2) 楽譜エディタは、対象としては比較が容易な部類に入ろう。文献 [?] には、Macintosh 上の楽譜エディタ (Finale, Encore など) が各機能毎に評価され詳細な表にまとめられている。

(3) ZIPI という規格は、もともと MIDI に対する不満が動機となって誕生したのであるが、文献 [?] では、その ZIPI が MIDI の欠点 (バンド幅, 楽器の操作性, コマンド体系など) をどのように克服しているかが述べられている。

(4) 文献 [?] では、ビブラートを表現する 2 つの方法に対して、抽象化, モジュラリティ, 柔軟性, 透過性, 拡張性に関して優劣を議論している。

これらの文献を通して感じるのは、定量的な比較が少ない、どうあるべきかという目標が曖昧なまま評価を行っている、研究の流れや技術が体系化されていないので、網羅的な比較しかできない (重要なポイントに絞りが切れていない)、原因と結果の因果関係が曖昧、という点である。前章で述べた、共通で標準的な例題の設定や標準的な音楽記述言語によるデータの交換は、この現状を改善する一助になると思う。

## 5.2 事例: ゲームプログラミング

音楽情報処理とのアナログで捉えると大変興味深い分野の 1 つにゲームプログラミングがある。

ゲームプログラミングという研究分野は、チェス, 将棋, 囲碁といったゲームの強いプログラムを作ることを目標にして研究が進められてきた。人間の思考過程や状況把握等のモデル化を行い、様々なレベルで意思決定を下すシステムを構築する必要がある。ゲームに強いプログラムを作るためには、系統的な探求が必要であり、必然的に技術レベルも押し上げられていく。そして強いゲームプログラムを作るこ

との副産物として多くの有用なアルゴリズムが開発され新たな概念が創出される。実際、問題点を切り出し、それに名前を付け、研究コミュニティでその問題意識を共有し、アルゴリズムレベルに帰着させ、得られた結果を普遍化するという作業が繰り返されている。

チェスに関して、その最強システムは、人間の世界チャンピオンレベルにまで達しており<sup>2</sup>、マスコミの注目を集めるまでに至っている。そのチェスでは“強いプログラム = 技術的に高いレベル”という図式が成立しているそうであるが、将棋や囲碁に関しては、強いプログラムと技術的な高さの間にはまだ十分な相関が見られないとのことである。もちろん、ゲームプログラミングの研究者は、将棋や囲碁に関してもいずれは“強いプログラム = 技術的に高いレベル”という図式が成立するという仮説を持っている。

計算機の研究対象としてのゲームプログラミングは、(1) ルールが明確であり計算機に乗せ易い、(2) 勝敗によって評価することができる、(3) それ自体が面白い、という特徴を持っている [?]. (3) はともかく、音楽情報処理で (1) が成り立つ部分はどこにどの程度あるのか、音楽情報処理で (2) に対応する特徴は何か、を再考する必要がある。

ゲームプログラミングにおいて得られた教訓的な経験則の 1 つは、“有用なアルゴリズムは、それを実際のゲームプログラムの中に組み込み改良することによってのみ生まれる”である。開発したゲームプログラムを実際に対戦させその勝敗によって評価を下すという作業は、音楽情報処理において共通で標準的な例題を設定しその結果を比較するという作業に対応しているのではないかと思う。

<sup>2</sup>本稿を書いている時点で、カスパロフと Deep Blue は、1 勝 1 敗どうしである。

## 6 今後の予定

今回のパネルには、3 時間という比較的長い時間が割り当てられている。しかし、このテーマについて議論し、パネラ、コメンテータ、フロアの方々に十分に意見交換して頂くためには、3 時間でもまだ足りないと感じている。さらに、人数の制約さえなければ、是非、パネラ、コメンテータをお願いしたい研究者の方々が大勢いらっしゃる。そこで、次回の SIGMUS 研究会にて、引続き同様のテーマでパネル討論会を行う予定を組んで頂いた。次回の SIGMUS 研究会 (第 15 回音楽情報科学研究会, 日本音楽知覚認知学会との共催) の開催日程は:

平成 8 年 5 月 25 日 (土) ~ 26 日 (日)  
広島文化女子短期大学

である。詳細な案内は、学会誌の会告や研究報告を参照されたい。

## 7 おわりに

本パネルは、特に具体的な結論を出すことは考えていない。共通で標準的な例題を設定して研究成果を比較検討するという考え方に対して、実際に音楽情報処理に携わる研究者がどのような態度をとるのか、というのを考えるキッカケになるだけでも大変有益なのではないかと思っている。

謝辞: NTT 基礎研究所 小坂直敏氏より、本稿のドラフトに対して有益なコメントを頂いた。

## 参考文献

- [1] A. Belkin, Macintosh Notation Software: Present and Future, CMJ, 18(1), Spring 1994.
- [2] H. Honing, The Vibrato Problem: Comparing Two Solutions, CMJ, 19(3), Fall 1995.
- [3] 松原, 最近のゲームプログラミング研究の動向, 人工知能学会誌, 10(6), Nov. 1995.
- [4] D. Sloan, Aspects of Music Representation in HyTime/SMDL, CMJ, 17(4), Winter 1993.
- [5] G. Wiggins, E. Miranda, A. Smaill and M. Harris, A Framework for the Evaluation of Music Representation, CMJ, 17(3), Fall 1993.
- [6] M. Wright, A Comparison of MIDI and ZIPI, CMJ, 18(4), Winter 1994.