

# 確率的逆問題としての音楽情報処理

嵯峨山茂樹<sup>1</sup> 小野順貴<sup>2</sup> 堀内靖雄<sup>3</sup> 堀玄<sup>4</sup> 中村和幸<sup>1</sup> 齋藤康之<sup>5</sup>

**概要:** 音楽分野の諸問題を確率的逆問題として捉えることで、問題解決への大きい前進が得られたこと、今後もその方向でさらに前進できるであろうことを議論したい。

**キーワード:** 逆問題、確率モデル、多重音解析、楽器推定、和声推定、リズム推定、テンポ推定、ジャンル推定、自動作詞、自動作曲、自動伴奏、自動運指決定、自動編曲、自動演奏

## 1. 確率的逆問題

「逆問題」という語は、熱拡散問題などの解決が困難な問題について使われることが多かったが、困難な問題に限らず、結果から原因を考えるという意味では、人間の活動の多くが逆問題の解決であるとも言える。「よい結果を得るには何を準備すれば良いか」という日常的な発想自体が、すでに逆問題である。工学は、開発したものが後に役に立つように、と設計すると考えれば、工学の本質は逆問題である。

音声認識を目的にして高度に進歩してきた確率モデル定式化は、発話の原因である発話内容を、結果である音響的観測から逆に推定する逆問題である。しかし、多くの確率的変動を含むために、確率的な変動を数理モデルに盛り込んで、結果から原因を事後確率最大化の原理で推定した。そもそも、人間は、必ず・恐らく・多分・ひょっとしたら・もしかしたら・万が一などの確率的語を使いながら、思考もそのように確率的に行っている。確率を逆問題に取り入れることは、人間がすでに普通に行っている。

## 2. 音楽情報処理における確率的逆問題

確率的逆問題の考え方は、音楽情報処理分野の多くの問題に適用することができ、多くの成果が生まれた。例えば、多重音解析、楽器推定、和声推定、リズム推定、テンポ推定、ジャンル推定、自動作詞、自動作曲、自動伴奏、自動運指決定、自動編曲、自動演奏などである。

ギター運指の自動決定の場合を取り上げると、楽譜が与えられて、それに従った左手の押弦の移行を状態遷移と考え、その状態遷移確率を、演奏者のスキルで失敗せずに押弦の移行ができる成功確率と捉え、HMMによってモデル化できる。そのような状態遷移で曲を通して成功する確率が最も高い押弦の移行経路は Viterbi アルゴリズムで決定できる。

音楽信号が与えられて和声推定する場合、隠れ状態は和音を表し、状態遷移確率は和声進行パターンの頻度に対応し、状態出力は観測される信号のスペクトルとして定式化することで、和声進行が推定できる。

講演では、このような例をいくつか挙げ、確率的逆問題としての定式化が、いかに有用で効果的かを議論したい。

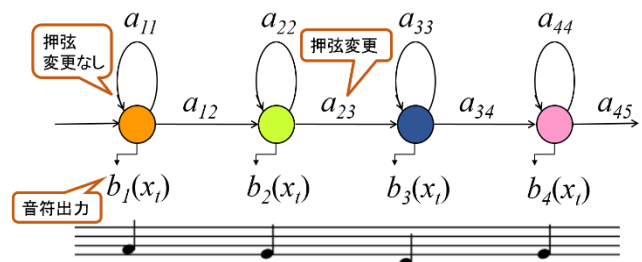


Figure 1 HMMによるギター演奏モデル

## 3. 今後の方向：複数階層の融合

今後は、音楽の作曲・演奏・信号の複数階層の数理モデルの開拓と融合を進めることで、多くの原理と手法と応用を含めた

1 明治大学総合数理学部  
School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University  
Email: {sagayama, knaka}@meiji.ac.jp

2 国立情報学研究所 / 総合研究大学院大学  
National Institute of Informatics / The Graduate University for Advanced Studies  
Email: onono@nii.ac.jp

3 千葉大学大学院融合科学研究科  
Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University  
Email: hory@faculty.chiba-u.jp

4 亜細亜大学経営学部  
Faculty of Business Administration, Asia University  
Email: hori@brain.riken.ac.jp

5 木更津工業高等専門学校  
National Institute of Technology, Kisarazu College  
Email: saito@j.kisarazu.ac.jp

成果が生まれることが期待される。音声認識・合成では音響・韻律・言語のモデル統合が鍵であることに対応する。以下の3階層の解析と生成の両面で、A: 信号階層：数理モデルと統計学習を軸にした音楽信号の多重音解析・打点検出、楽譜整合、信号の変換・加工・分離、多チャンネル音楽信号の分離、音源方向推定、歌唱音声合成など / B: 演奏階層：演奏の数理に基づく演奏解析、リズム推定、自動演奏、自動伴奏、演奏支援など / C: 楽譜階層：音楽作曲理論の数理的定式化を軸にした和声認識、楽曲構造解析、自動作曲など / D: 共通基盤：上記を支える数理モデル化や機械学習・最適化、多階層ニューラルネットなど、を階層間に渡る問題を確率的逆問題の発想で解決することが望まれる。著者らは、このような構想で、科研プロジェクトを遂行している。

## 謝辞

本研究は、部分的に学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)課題番号 26240025 の支援を受けた。