

小特集—近年の音響信号処理における数理科学の進展—

小特集「近年の音響信号処理における数理科学の進展」にあたって*

牧野 昭二 (筑波大学)**

43.60.Ac

1. はじめに

私が音響エコーキャンセラを研究・実用化した20年前には、教師有りの最小二乗誤差推定(二次統計量までの利用に相当)が主流だった。しかし、2000年頃から、高次統計量の利用をはじめ、もっと複雑かつ柔軟な統計モデルの活用が盛んに研究されるようになった。私の研究も独立成分分析(independent component analysis: ICA)やスパースモデルなどに移って行った。最適化手法に関しても、単なる最急降下法や勾配法だけでなく、教師無し最適化, expectation-maximization (EM) アルゴリズムによる最尤推定, 補助関数法の導入など、多岐にわたる発展があった。

音響分野は、デジタル信号処理の発展と共に進歩してきた側面があり、その中で使われる数理科学的な理論がその進歩の鍵を握っている。しかし、数理理論は難解であることが多く、その有用性や応用価値が分かりにくい。そこで、近年の音響技術における数理的な発展に着目し、そのエッセンスを各専門分野の第一人者の方々に解説していただき、広く興味を集めることを目的としてこの特集を企画した。想定される読者層としては、学部生などの真の初心者というよりも、本学会に参加するボリュームゾーンである修士・博士課程学生及び企業研究者の方々(ある程度の基礎知識はすでにある方)とし、次なる研究のヒントを得られるような特集をあえて狙ってみた。

2. 本小特集について

本小特集では、より最新の内容とするため、近年の音響信号処理における数理科学の発展に寄与している研究を5種類ピックアップし、独創研究奨

励賞板倉記念や栗屋潔学術奨励賞等を受賞された新進気鋭の若手に詳細な解説をご担当いただいた。

「非負値行列因子分解の音響信号処理への応用」では、近年、音楽信号処理等で盛んに研究されている非負値行列因子分解(non-negative matrix factorization: NMF)に関して、その基本原理及び最新動向を解説していただいた[1]。実世界には、パワースペクトル、画素値、頻度など、非負値で表されるデータが多い。複数の音源の音響信号が混在する多重音のパワースペクトルから個々の音源のパワースペクトルをうまく取り出すことができれば、雑音除去や音源分離などに役立てることができる。非負値のデータを加法的な構成成分に分解することを目的とした多変量解析手法であるNMFについて、アルゴリズムの定式化、基本的な性質、音響信号処理の問題に焦点を当てた改良・拡張のアイデアについて解説していただいた。

「補助関数法による最適化アルゴリズムとその音響信号処理への応用」では、音響信号処理において利用されている補助関数法の数理科学について、その基礎理論及び応用例などを解説していただいた[2]。音源位置を推定する、音源分離のための分離行列を推定する、などの音響信号処理における様々な問題は、最適化問題として定式化することができる。しかしながら、こうした最適化問題は一般に非線形で、解くためには反復計算が必要であり、解法によっては収束に時間がかかったり、解が発散してしまうなどの問題が生じることがある。これに対し、著者は近年、補助関数法という最適化の枠組みに注目し、様々な音響信号処理の問題に対して、この適用を試みておられる。補助関数法は、EMアルゴリズムの一般化ともいうべき枠組みであり、有効な補助関数が見つかった場合には、単純で簡潔な更新式が得られ、目的関数の収束が保証されるという長所を有する。本特

* Foreword to special issue on recent mathematical advances in acoustic signal processing.

** Shoji Makino (University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8577) e-mail: maki@tara.tsukuba.ac.jp

集では、この補助関数法の原理を解説し、音響信号処理への応用事例を紹介していただいた。

「確率モデルを用いた音声強調—雑音抑圧、音源分離、残響除去、統合技術及びその応用—」では、統計モデルに基づく雑音・残響抑圧同時最適化問題に関して、その基礎理論・最新動向及び応用技術を解説していただいた [3]。日常環境には所望の音声以外に様々な音が存在するため、マイクロホンで得られた信号から目的外の音による干渉（雑音、残響、他話者の音声）を取り除き、所望の音声を強調することが重要である。近年提案されている音声強調技術の根底には、確率モデルを用いた統計的推定の考え方がある。本解説では、統計的推定の観点から各音声強調方法を体系的に整理し、各方法の共通点や相違点を明らかにしていただいた。そして、各種の音響的干渉に対する音声強調方法、及びそれらを統合した複数種類の音響的干渉に同時に対処するための方法を概説していただいた。

「高次統計量に基づく非線形雑音抑圧処理の数理解析とその応用」では、音声強調処理における音質を定量的に記述する新しい技術として近年提案されている高次統計量ベースの手法に関して、その基礎理論と最新動向を解説していただいた [4]。スペクトル減算やウィナーフィルタ、最小二乗誤差短時間振幅スペクトル推定などの単一チャネルの非線形雑音抑圧手法は、強力な雑音抑圧性能を有する一方で、非線形処理に伴って生じる非線形残留雑音、いわゆるミュージカルノイズの発生が問題となる。一方、高次統計量の変化量と人間が知覚するミュージカルノイズ発生量と強い関連があることが主観評価実験により示されると共に、高次統計量に基づくミュージカルノイズ発生量の客観指標値が提案されている。高次統計量を数理的に解析することによって、非線形雑音抑圧手法間の比較や、ミュー

ジカルノイズ発生量を抑制するためのパラメータ制御が可能となる。本特集ではこの非線形残留雑音について着目し、高次統計量を基にしてその発生量を数理的に解析する方法を示すと共に、その解析結果を基にした応用例を紹介していただいた。

「音場再現技術における数理問題—波面合成・高次アンビソニックスの数理—」では、波面合成やアンビソニックスにおける数理問題に関して、概説していただいた [5]。音場再現技術とは、多数のスピーカを用いて、ある領域の音場を、所望の音場と物理的に等価となるように制御する技術である。数理問題として見ると、対象領域内の目的音場が与えられた場合に、スピーカで出力すべき信号を求める、一種の逆問題となる。本特集では、連続系物理モデルの解析解に基づく手法である、波面合成法と高次アンビソニックスに焦点を当て、一つの関係式から両手法を導出するところからはじめ、統一的に議論していただいた。

3. おわりに

本特集では、音響分野における最新技術を「数理科学」という切り口から俯瞰することを試みた。今回の特集が読者のみなさまにとって有意義であれば幸いである。

文 献

- [1] 亀岡弘和, “非負値行列因子分解の音響信号処理への応用,” 音響学会誌, 68, 559–565 (2012).
- [2] 小野順貴, “補助関数法による最適化アルゴリズムとその音響信号処理への応用,” 音響学会誌, 68, 566–571 (2012).
- [3] 吉岡拓也, 中谷智広, “確率モデルを用いた音声強調—雑音抑圧, 音源分離, 残響除去, 統合技術及びその応用—,” 音響学会誌, 68, 572–577 (2012).
- [4] 高橋 祐, 宮崎亮一, 猿渡 洋, “高次統計量に基づく非線形雑音抑圧処理の数理解析とその応用,” 音響学会誌, 68, 578–583 (2012).
- [5] 小山翔一, “音場再現技術における数理問題—波面合成・高次アンビソニックスの数理—,” 音響学会誌, 68, 584–589 (2012).