

審査の結果の要旨

氏 名 植野 夏樹

本論文は、音響信号や音場などの様々な音響的物理量の計測問題を包括的に扱ったものである。この音響計測技術は、音波動を扱う様々な応用技術の基礎をなす重要なものである。音響計測は、未知量をその間接的な観測を基に決定・推定する問題であり、逆問題の一種として捉えることができる。逆問題は、未知量と観測値の間の線形性を仮定する線形逆問題と、線形性を仮定しない非線形逆問題に分類される。様々な音響計測問題は、理想的な観測条件の下では線形逆問題として扱うことができ、実際に従来研究の多くは観測の線形性を仮定している。しかし、現実の多くの計測問題では、しばしば観測が非線形な飽和現象の影響を受けるため、このような非線形性を考慮した音響計測問題の包括的な理論の確立が望まれる。そこで本研究では、非線形飽和現象を考慮した逆問題理論の確立、及びそれに基づく種々の応用問題への適用を目的としている。本論文は全6章から構成されている。

第1章「Introduction (序章)」では、従来の音響計測問題の概要およびその総括を行っている。特に、実環境において生じる非線形逆問題に関して言及し、その解決が急務であることを述べている。

第2章「Related Studies and Problem Statements (関連研究と問題提起)」においては、本研究が扱う逆問題のクラス及び関連研究の詳細を述べた後に、本研究で解決すべき問題を明確化している。逆問題とは、未知量と観測値の関係、すなわち順問題が与えられた下で、観測値を基に未知量を決定・推定する問題である。多くの音響計測では、順問題のみに基づいて観測値から未知量を一意に決定することは困難であるため、未知量に対する何らかの先験情報を基に妥当な解を求める最適化問題として定式化されるのが一般的であった。この最適化問題では、推定値と与えられた観測値との間の乖離を評価する損失関数と、先験情報に基づく正則化関数との和を最小化すべき目的関数として定義される。本章では、対象とする逆問題に関し、飽和現象に由来する観測の非線形性が原因で、最適化の容易さと観測ノイズへの頑健性を両立するような損失関数の定式化が提案されていないことを指摘している。

第3章「Proposed Formulation and Optimization Algorithms (提案する定式化と最適化アルゴリズム)」においては、第2章で述べた問題を解決するような定式化を新たに提案し、従来の定式化との理論的な比較を行っている。ここでは、飽和を表す関数の

原始関数を用いて損失関数を定義し、この損失関数のいくつかの有用な性質を明らかにしている。また、従来の損失関数との比較を通じて、提案された損失関数が最適化の容易さと観測ノイズへの頑健性を両立していることを述べている。また、様々な正則化関数と組み合わせた際の最適化理論及び具体的な最適化アルゴリズムについても説明している。

第4章「Restoration of Saturated Sound Signal（飽和音響信号の復元）」においては、飽和した音響信号の復元問題について述べている。従来の信号復元問題の多くは、例えばA/D変換器におけるハードクリッピングのような特定の飽和現象を想定し、飽和現象の後には観測ノイズが印加されない条件を想定していた。しかし現実の観測問題として、センサや増幅器における飽和現象を想定する場合は、飽和現象の後にも観測ノイズが生じる場合がある。このような問題に対して、第3章で提案した定式化に基づく信号復元手法を提案し、従来の手法よりも観測ノイズに頑健な信号復元が実現されたことを数値実験によって確認している。

第5章「Measurement of Sound Field（音場の計測）」においては、音場計測問題における逆問題について述べている。ここでは、音源方向に関する事前情報を与えることで推定精度を向上させる手法、及び飽和現象の影響を受けた観測値から音場を推定する手法の2つを提案している。従来の音場計測の問題では、音場を有限個の基底関数を用いて表現することが一般的であり、基底の取り方が不適切であった場合に推定精度が劣化する問題があったが、本研究では、無限次元のヒルベルト空間の知見を利用することでこの問題を回避している。また、提案手法の有効性を数値実験によって確認している。

第6章「Conclusion（結論）」では、本研究の成果がまとめられている。

以上、本論文は要するに、従来の音響計測では考慮されてこなかった非線形逆問題に関して統一的な定式化を行い、それを飽和信号復元や音場計測に適用して効果的なアルゴリズムを導出し、その有効性を評価実験で検証・確認したものである。本論文で提案された理論を導入する事により、従来では不可能とされてきた高精度かつ実用的な音響計測が可能となる。これは様々な音響信号解析や音場解析システムの拡張を与えるものであり、システム情報学に対する貢献が大きいと判断される。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。