

## 別紙 4

報告番 -	※ -	第
----------	--------	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 Reconstruction methods for inverse scattering problems  
(散乱逆問題における再構成手法について)

氏 名 古屋 貴士

## 論 文 内 容 の 要 旨

散乱逆問題とは、散乱した波からその散乱の原因となる障害物を求める問題である。工学では非破壊検査、医学ではトモグラフィといったように多岐にわたる分野で応用され、数学上では、放射条件を満たす外部領域上のヘルムホルツ方程式の解の漸近挙動に現れる散乱振幅からその領域を求める問題として定式化される。

本論文は、著者がこれまでに得た散乱逆問題の再構成手法に関する研究成果をまとめたものである。再構成手法とは、散乱振幅から未知の障害物を導くアルゴリズムを構成する手法のことで、大きく分けて反復法とサンプリング法の二つの種類がある。

反復法とは、ニュートン法のように反復的に最適化問題を解くことで未知の障害物を推定する手法である。著者は、ドイツ気象庁データ同化ユニットリーダーPotthast氏との共同研究において、反復法に分類される **Kalman filter** を用いた新しい再構成手法を導出した。従来の手法は全方向に関する散乱振幅を全て集めてから反復することが主流であったが、これは、ある一つの方向に関する散乱振幅のデータを観測した段階で障害物を推定し、その推定を考慮しつつ次に観測する異なる方向のデータを用いて新たに障害物を更新する、これを繰り返すことで少しずつ真の障害物へ近づけるというものである。従来の手法と比べて計算コストが少ない点や、全方向のデータを観測し終えるのを待たずに少しずつ障害物を推定できる点などの利点がある。

サンプリング法とは、障害物の推定を最適解に委ねるのではなく、ヘルムホルツ方程式の解の特性を利用し障害物を直接再構成するものである。サンプリング法は、テスト用の格子点と未知の障害物との位置関係を判定する指標関数を散乱振幅から構成し、その指標関数の発散具合によって格子点が障害物の境界のどの程度近くにあるのかを推定し、未知の障害物の大きさや形状を推定することができる。著者は、サンプ

リング法の中の Factorization method と Monotonicity method に関する研究に携わり、それぞれにおいて次の貢献を行った。Factorization method では、それぞれ異なる性質を持つ複数の障害物が混在する問題に対して、従来の Factorization method では必要と考えられていた障害物に関する先天的仮定を減らすことに成功した。最初の Monotonicity method はフランクフルト大学の Harrach 氏が境界値逆問題において提唱した手法であり、著者はその Monotonicity method を亀裂の散乱逆問題や上半平面上の散乱逆問題などへ拡張することに成功した。

反復法とサンプリング法の特徴を述べると、反復法は少ない観測データに対しても再構成を行うことができるが、それなりに良い初期推定がなければ真の障害物へ収束することはできない。一方、サンプリング法は全方向の散乱振幅に関する多くの観測データを必要とするが、反復法において必要な初期推定を要さないという利点を持つ。サンプリング法において、特定の方向のみの散乱振幅に関する少量の観測データからの再構成法については、今後研究すべき重要な課題である。

本論文の主要の貢献は散乱逆問題の理論的部分であるが、プログラミング言語「Python」を用いて再構成に関する数値実験も行い、視覚的に散乱振幅から障害物が再構成されることを確認した。