

氏 名	ご とう よし たか 後 藤 由 貴
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 77 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻
学 位 論 文 題 目	Stochastic approaches to inverse problems in plasma wave analysis (プラズマ波動の逆問題に対する確率的アプローチ)
論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 藤 亨 教 授 松 本 紘 教 授 橋 本 弘 藏

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、科学衛星で観測されたプラズマ波動に関する逆問題に対して、確率的手法を適用することにより二次的な情報を引き出す信号処理法について検討している。プラズマ波動の伝搬方向の分布推定と同波動を用いた電子密度分布のトモグラフィーの問題は共に不適切逆問題であり、従来型のモデルフィッティングによる求解では適当な解が得られないケースがある。本論文では、解の確率的探索、確率差分方程式を利用した柔軟なモデリング、確率変数を用いた評価関数を適用することで、各問題に対し解を柔軟かつ安定に求める方法について議論している。

第一章では、プラズマ波動と逆問題について概要を説明した後、プラズマ波動観測からの伝搬ベクトル方向推定と電子密度分布推定に関する二つの逆問題について研究背景を述べ、推定に用いられているモデルフィッティング法の問題点を示している。また、本研究で利用するあけぼの衛星の観測機器およびオメガ信号に関して説明している。

第二章では、プラズマ波動の伝搬ベクトル方向の推定法として本研究で考案した手法について述べ、擬似観測データおよび実観測データに適用した結果について議論している。提案法は、適用モデルに特化した数値計算法と、擬似焼きなまし法の原理を利用した確率的な前処理とを導入した新しい手法である。提案法を擬似データに適用することにより正確な伝搬ベクトル方向の分布を短時間で推定できることを示している。また、二方向から同時に到来したオメガ信号の到来方向推定に成功したことを示している。

第三章では、地球プラズマ圏のグローバルな電子密度分布推定法として本研究で考案した手法について述べ、オメガ信号を想定した擬似観測データに適用した結果について議論している。提案法は、現実的な解分布を安定に導出できるように、従来型のパラメトリックなモデルとノンパラメトリックな確率モデルとを組み合わせた自由度の高いモデルを利用し、確率変数により定義された評価関数に基づいて最適解を求める新しい手法である。擬似観測データを用いて、解の唯一性、モデルの柔軟性を確認している。

第四章では、第三章で述べた提案法をあけぼの衛星で得られたオメガ信号の実観測データに適用し、得られた結果が物理的に問題なく、提案法が実観測データに対して有効に動作することを確認している。また、あけぼの衛星の巨大データセットに適用する場合の提案法の利点についても述べた。

第五章では、第三章で述べた提案法が自然波動であるホイッスルにも適用できることを検証している。すでに停波されたオメガ信号の代わりにホイッスルのスペクトルを利用することで、提案法の適用対象をより一般化している。また、今後の地球周辺の衛星ミッションにおいてどのような観測がグローバルな電子密度分布の推定に必要なか議論している。

最後に第六章では本研究の成果をまとめ、提案した逆問題解法の一般化により、本成果が現在様々な分野で始まりつつある発見科学的な研究への足掛かりとなることを述べている。

論文審査の結果の要旨

本研究では、プラズマ波動に関する以下に示す二つの逆問題に対して確率的な手法を適用することにより、近年の信号処理手法の中で最も本質的な課題の一つである柔軟なモデリング、安定した解の評価および計算量の縮小を実現し、実用的な手法を開発したことが主要な成果である。さらにこれらの性能を、擬似観測データを用いた数値シミュレーションと、あけぼの衛星で得られた実データを用いて検証し、高い実用性を有することを示している。

まず第二章では、問題の一つである衛星で観測された電磁界データからプラズマ波動の伝搬ベクトル方向分布を推定する問題を取り扱っている。提案された手法は、従来最も有効な手法とされていた波動分布関数法の最大の問題点である多大な計算時間を、エネルギー関数の概念を用いた確率的な前処理を導入することにより大幅に低減し、実用性を著しく高めた点で画期的な成果である。またその有効性を、実データを用いて立証した点も高く評価できる。

第三章以下では、もう一つの重要な課題である、衛星観測から地球プラズマ圏のグローバルな電子密度分布を推定する問題を取り上げている。従来法が固定したモデルに基づくパラメータ推定に偏っていた点を改め、従来型のパラメトリックなモデルとノンパラメトリックな確率モデルとを組み合わせるという独創的な発想に基づく自由度の高いモデルを導入することによって、観測誤差を柔軟に吸収し、かつ高精度に電子密度推定を行う手法が確立された。第四章では人工電波であるオメガ信号の観測データを用いてその有効性を実証している。第五章ではそれをさらに発展させ、すでに停波したオメガ信号に代わって自然界に存在するホイスラを用いる手法を提唱し、ノンダクト伝搬のホイスラのスペクトル形状を利用することで原波形が未知であることの制約を克服するアイデアを提起している。これらの成果により、今後の衛星観測において軌道に沿った電子密度のみでなくグローバルな分布が推定できる道が開かれた点は、特筆に価する成果である。

このように、本研究はプラズマ波動の研究に新たな視点を導入すると共に、その領域にとどまらない発見科学的な逆問題解法の研究分野にも資する所が大きい。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年1月24日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。