

審査の結果の要旨

氏 名 韓 昭 領

本研究は、多くの科学的、工学的応用において求められるシステム同定問題に、確率論的逆問題解析法を適用したものである。船舶海洋工学の幾つかの問題に適用し具体的解析法を示している。逆問題解析法はここ30年位で、技術的重要性と知的挑戦の観点から、船舶海洋工学を含む多くの計算機を利用した学問分野で急速に発展をとげた。しかし、逆問題解析法では解の存在自体が問題になる場合や、存在してもその不安定性から計算上の困難が生じる事がまま起こる。現実には計測値から解析する場合には避けられないデータのばらつきや誤差が解析をより困難にする。より洗練された数学的取り扱いが求められている。

そこで提案されたのが確率論的逆問題解析法である。決定論的逆問題解析法が数学的安定化を通じて直接的に解の点推定を求める方法であるのに対して、確率論的逆問題解析法は計測データ（観測された結果）を確率過程の一つの結果だと仮定し、推定したい事柄（その原因）を、確率的な意味で求めることである。そのことで、確率論的方法は、システムの変化や、中に含まれるパラメータの変動を考慮した頑健性 (robustness) のある方法となっている。近年、この確率論的方法は、計算機の容量上の制限が緩和され、頑健性 (robustness) や信頼性 (reliability) の要求が大きくなるに伴い、様々な科学分野で広まってきた。しかし、まだまだ工学分野での応用は数が限られている。特に船舶海洋工学での応用はこれからと言える。

本研究では船舶海洋工学での計測データに基づく確率論的逆問題解析法による頑健 (robust) で信頼性 (reliability) のある解法を確立することを目指して、**Bayesian inference, probabilistic modeling** や **Markov chain Monte Carlo simulation** を利用した確率論的逆問題解析法を示している。適用例として、次の三つのテーマが上げられている。(1) 確率論的逆問題解析法の海洋流体力学への応用。(2) 確率的非線形システム同定。(3) 確率的外力推定。

まず『確率論的逆問題解析法の海洋流体力学への応用』のテーマでは、確率的解析フレームワーク構築について詳しく述べている。そして、この解析法を利用し、確率論的逆問題解析法が今までの方法（決定論的逆問題解析法）よ

り優れていることを数値解析例で示している。特に、2次元翼を取り囲む流速分布から翼上の渦強さ分布を求める問題、遠方に広がる波面データから造波源を求める問題を様々な誤差を持つデータ主導形の観点から解き、今までの解析法に比べて頑健 (robust) な解析が可能であることを示している。具体的には、未定パラメータ推定のための、計測可能なデータを利用した自然なフレームワークの構築の可能性、推定されたパラメータに含まれる不確定性の定量化、イルポーズな問題 (解の存在性、解の一意性、解の安定性 の条件を満たされない問題) の正則化、未定パラメータ推定に影響を与える要因の解明、観測位置や観測時間などの物理的な要因がパラメータ推定に与える影響などを示している。

『確率的非線形システム同定』のテーマでは確率論的逆問題解析法に基づいた、確率的非線形システム推定方法を提案している。この方法は、非線形システムの情報が分からないとき利用可能なノンパラメトリックな方法である。この方法は、今まで船舶海洋工学分野でよく使われていた、同定の問題に非線形システムの形を仮定するパラメトリック法に比べて、推定効率を落とさずにより頑健性 (robustness) がある。それに加えて、ここで提案した方法は同定したシステムの信頼性 (reliability) を定量的に示すことができ、利用したデータや条件に関して 同定品質も評価可能であることを示した。同定問題の適用例として、前進速度、アペンデージの影響を考慮した船体の横揺れの水槽実験を行い、多様な物理的状況の中で船体の横揺れ減衰力推定を行い、確率論的逆問題解析法の適用性と有用性を示している。

『確率的外力推定』のテーマでは非線形システムに加わる外力を確率論的逆問題解析法を利用して推定する方法を提案している。この方法は、直接計測できない種類の外力を、計測したシステム応答データを利用して間接的に推定する。適用例として、船体に働く波強制力の水槽実験を行い、この方法の有用性を示している。波強制力は直接計測が難しい環境荷重の一であり、船舶海洋分野では、波強制力は運動を拘束した状態 (diffraction 問題) でしか計測することができなかった。しかし、運動状態 (free floating) での波強制力を計測する問題に本法を適用し、初めてその結果を求めた。この全く新しい計測法により、今後、freak wave 中の船体に働く荷重や、デッキ上の海水打ち込み、大波高追い波中の進路不安定や復元性喪失等、大波高時の船体運動に伴う諸問題への活用が期待される。

本研究により船舶海洋工学分野の諸問題において、定量的な非線形システム同定が可能であることが示され、推定精度の信頼限界を定量的に示すことが可能であり、逆問題解析上のイルポーズな問題の解が合理的に平滑化されること、決定論的パラメータ表示無しに非線形特性が解析できる事を示した。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。