

## 論文審査の結果の要旨

氏名 長谷川 慶

本論文は新たな高精度理論波形計算手法を開発し、その有用性を確認した論文である。任意不均質媒質に対し高精度な理論波形を計算する手法は、(1) 多数の点を用いた演算子を用いることにより演算誤差を抑える手法、と(2) 小数の点を用いながらも数値解の誤差を最小に抑えるように演算子を最適化する手法、の二種類に大別される。前者は様々な研究者により様々な手法が提案され続けているのに対し、後者は論文提出者の所属する研究室により提案され、長年研究が続けられてきた。これまでの研究で、(1) 自由振動理論に基づく最適化基準の設計、(2) 固有値理論に基づく安定化基準の設計、(3) 特殊な問題に対する最適演算子の導出がなされてきた。本論文は、これまでの研究を発展させ、最適化基準・安定化基準を満たす系統的な最適演算子導出手法を確立し、任意不均質媒質・任意異方性媒質・各種座標系に対する高精度計算手法を導出した。また本手法と代表的な多点演算手法との計算パフォーマンスについて比較考察し、本手法及び多点演算子法が有利になる問題条件を推論し、典型的な問題設定を用いて実証した。これらの成果は、多点演算子法を補完する新たな高精度計算手法の基本的枠組を完成させたと言える。

本論文の章立てと主たる論旨は以下の通りである。本論文は6章と付録からなる。第1章はイントロダクションであり、理論波形計算手法を概論し、最適演算子手法の特色とこれまでの研究のレビューが述べられている。第2-4章は手法の説明であり、第2章で最適演算子の系統的導出方法、第3章で一般座標系(特に球座標系)への拡張、第4章で安定条件の解析について述べられている。第5章で多点演算子手法とのパフォーマンスの比較に関する議論及び数値実験を行い、既存の多点演算子手法には短波長の不均質がある時に大きな誤差が生ずるという限界があることを指摘するとともに、本手法は媒質によらず比較的一定の精度を維持するというロバスト性を持つことを示した。第6章で結論が述べられ、ロバストなパフォーマンスを持つ本手法開発の意義を強調している。また付録で多点演算子法の誤差の振る舞いを議論し、これまで指摘されてこなかった誤差要因が存在することを指摘している。

理論波形計算は地震学の基礎的課題として位置づけられている。また計算機資源が豊富になるにつれ、球面調和関数やフーリエ関数などの解析解を活用した近似的手法に代

わり、純粋数値的な厳密な手法の重要性がますます増してきている。この研究動向の中で、高精度の数値的理論計算手法の新たな枠組を作った本論文の独創性と意義は自明である。高精度理論波形計算ソフトウェアはコミュニティの基盤ツールとして用いられ、内部構造推定・震源過程推定・震動予測など、様々な研究の進展に資している。基盤ツールは任意媒質に対して計算できることが要件となるため、本論文により最適演算子手法の基盤化への道筋が示されたと言える。非弾性減衰の導入、適切な吸収境界条件の導入、コードの最適化など、特別な困難は見当たらないものの今後解決すべき課題は残っている。しかし本論文により示されたロバストなパフォーマンスは、既存の多点演算子手法を用いた基盤ソフトウェアに代わりうる潜在能力を有することを示しており、この点において本論文の成果は今後の地震学の発展に貢献することが期待される。

なお、本論文はロバート・ゲラー氏及び平林伸康氏との共同研究であるが、論文提出者は演算子導出、安定条件解析、ソフトウェア開発、数値実験の実施のほぼすべてを担当し、本論文において中心的な役割を果たしていると判断される。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。