

論文審査の結果の要旨

氏名 平林 伸康

地球浅部の 3 次元速度構造探査では、観測地震波形と比較する理論波形計算が必要となる。理論波形計算手法として現在 FDM (差分法)、SEM (スペクトル有限要素法)、PSM (Pseudo スペクトル法)などが広く用いられている。本論文は、Geller and Takeuchi(1995)が導入した最適演算子を用いた FDM、SEM と、最適演算子を用いない従来の FDM について、精度・計算量・プログラミングの容易さなどの観点から優劣を評価した。また、誤差解析を行い Staggered grid 法が過大に評価されていることを指摘した。更に、不均質媒質中の内部境界の表現法として、従来の差分法において用いられている heterogeneous method が最適演算子計算においても適用可能であることを示した。以上を踏まえ、単純な不均質媒質から現実的な Marmousi モデルまでの様々なモデルについて波形計算を行い、最適演算子を用いる高精度計算手法の優位性を確認し、物理探査への応用が可能であることを示した。

本論文は 7 章からなる。

第 1 章はイントロダクションである。既存の計算スキームである PSM、SEM、FDM 等の紹介、Geller and Takeuchi(1995)に始まる最適演算子を用いた計算スキームの発展、本論文の目的・構成が述べられている。

第 2 章では、先行研究である Geller and Takeuchi (1998)に示された時間 2 次・空間 2 次精度の最適演算子 $O(2,2)$ を基に、時間 2 次・空間 4 次精度の最適演算子 $O(2,4)$ を導出した。また、Mizutani et al.(2000)による PSM の最適演算子の導出に基づき、SEM の最適演算子を導出した。

最適演算子を用いない従来の 2 次精度 FDM(CONV-2)、4 次精度 FDM(CONV4-4)と最適演算子 $O(2,2)$ や $O(2,4)$ を用いた FDM(OPT-2、OPT-4)および最適演算子を用いた SEM(SEM-OPT)について、1 次元の様々なモデルを用いて優劣を比較した。その結果、最適演算子を用いた OPT-2、OPT-4、SEM-OPT が CONV-2、CONV-4 に比して圧倒的なコストパフォーマンスを持つことを示した。一方、OPT-4 は均質媒質では OPT-2 に大きく勝るが、強い不連続を含む媒質では OPT-2 に対する優位性は著しく低下することが明らかになった。また、誤差 0.01%以下の非常に高い精度を必要とする場合は SEM-OPT が卓越するが、現実的に必要とされる精度である 0.1-1%の誤差範囲では OPT-4、OPT-2 と SEM-OPT の精度は同程度であった。これらの数値実験結果から、現実的な応用においてはプログラミングの容易な OPT-2 が優れていると結論付けた。

第 3 章では、staggered grid(SG)を用いた差分スキームが従来型のスキーム CONV-2・CONV-4 と同等かあるいは同等以下の精度しかないことを示し、安定化条件や分散関係を

用いて定量的な比較を行った。

第4章では、"heterogeneous method"の誤差解析を行い、2次スキームとして十分な精度を持つことを示した。これにより、複雑な形状の内部境界を容易に処理できることを示した。また、液体-固体境界を扱う時間領域演算子を導いた。

第5章では、単純な2次元モデルを用いて CONV-2 と OPT-2 を比較し、OPT-2 の圧倒的な優位性を確認した。

第6章では、物理探査手法の比較評価に用いられる2Dの Marmousi モデルに対する最適演算子計算を行い、OPT-2 が物理探査への応用に耐える段階にあることを示した。

第7章は全体のまとめである。

本論文は先行研究である Geller & Takeuchi(1995), Geller & Takeuchi(1998), Takeuchi & Geller(2000)等を踏まえ、先行研究には無い $O(2,4)$ 演算子と SEM に対する最適演算子を新たに導出した。更に、様々な演算子を定量的に評価し、実際の応用においては $O(2,2)$ 演算子スキームが最も優れていることを初めて明らかにした。また、 $O(2,2)$ スキームを物理探査のスキーム比較に用いられる Marmousi モデルに適用し、最適演算子を用いたスキームが物理探査への現実的応用に耐える段階にあることを示した。

なお、本論文の第2章、第3章の一部は Robert J. Geller・水谷宏光との共著であるが、 $O(2,4)$ や SEM の最適演算子の導出、計算の実行、誤差評価、安定性評価、分散関係の導出等は論文提出者が主体となって行っており、論文提出者の寄与が十分に大きいと判断できる。

従って、博士（理学）の学位を授与できるものと認める。