

論文審査の結果の要旨

氏名 水谷 宏光

不連続面を含む複雑な地球内部構造において、高精度かつ効率的に理論地震波形を計算することは、地震学のみならず地震探査結果を用いる固体地球科学全般にとって重要なことである。現実的な地球内部構造をモデル化するには、構造全体を離散化する差分法・有限要素法など領域法的手法を取らざるを得ない。こうした離散化手法における高精度計算に関してはこれまでも研究例があるが、地球内部構造で特に重要なマントル不連続面、核—マントル境界など不連続面を考慮した高精度計算手法は地震波理論における課題のひとつとなっていた。本研究はこの課題に取り組み、不連続・不均質地球における新しい地震波形計算手法の開発を行ったものである。

本論文は「Accurate and efficient methods for calculating synthetic seismograms when elastic discontinuities do not coincide with the numerical grid (グリッドに一致しない不連続面のある媒質における効率の良い高精度理論波形計算手法の開発)」と題し、全5章で以下のように構成されている。

第1章では地震波形計算の理論や計算手法を概観し、既存の手法の弱点、特に離散化スキームにおける問題点を指摘している。こうした問題点に関しては、固有値解析の立場から離散化誤差を最小にする演算子の研究が進められてきたが、媒質中に不連続面が含まれている場合の離散化誤差や離散化演算子の研究はこれまで行われることがなかった。このような現状を踏まえ、離散化グリッドに一致しない不連続面を持った媒質において、効率的でかつ高精度の理論波形計算手法を開発するという、本論文の目的と方向性が示されている。

その後まず第2章では、本論文の理論的背景となる、固有値解析に基づいた離散化誤差の評価について、重み付き残差法およびTaylor展開（一種の有限要素法）を前提とした説明がなされている。また、この誤差評価に基づき、不連続面を含まない媒質において最適な離散化演算子を導出する研究についてレビューを行い、その中では離散化領域の端部の問題や、高次の離散化についての議論も行われている。

続いて第3章では、第2章で述べられた理論的背景に基づき、媒質内部の不連続面付近における最適な離散化演算子が定式化された。不連続面が離散化グリッドの格子点に一致しないで存在する場合、不連続面を含むグリッドセルでは導関数に不連続が生じ、第2章で用いられたTaylor展開が成り立たなくなる。そこで本論文では不連続面における境界条件

を満足するような Taylor 展開、特に変位やトラクションの連続だけでなく、運動方程式から導かれる第三の境界条件をも満足するような Taylor 展開を新たに定義した。この Taylor 展開を重み付き残差法による固有関数展開に適用して、まず次元問題における離散化演算子が導出され、引き続いて二次元 SH 問題の離散化演算子への拡張が論述されている。さらには、二次元 P-SV 問題や三次元問題における離散化演算子への拡張について、導出の概略が示された。

提案された離散化演算子は、連続媒質の最適演算子とオーバーラップさせながら組み合わせることにより、不連続面を含んだ媒質の理論地震波形計算に用いることができる。この手法は第 4 章においていくつの媒質モデルに適用され、その性能が検証された。まず次元問題に適用され、この場合、解析解が得られるので、数値解をこの解析解と比較することにより性能が評価された。その結果、本論文の手法による数値解は、不連続面を気にせず連続媒質の最適演算子を適用した場合に比べ、離散化間隔が短くなるに従い、オーダーを越える精度が得られることが示された。また、斜めの不連続面や山谷のある不連続面を持った二次元 SH 問題にも適用して、非常に細かいグリッドで計算された従来の演算子での結果と比較し、本論文の手法が高い精度を実現していることを確認した。

最後に第 5 章では今後の課題が議論され、不規則な自由表面への適用や、速度勾配のある媒質への適用、あるいは不均質グリッドでの定式化などが検討されている。

以上のように本論文は、不連続面を含む複雑な地球内部構造において、高精度の地震波形を効率的に計算するのに不可欠な数値計算理論、およびそれに基づく計算手法を求め、それらを適用した計算例からその妥当性を検証した。また、より現実的な地球内部構造への拡張の方向性も示し、地球惑星科学にもたらす意義は大きい。

なお、本論文第 3、4 章はゲラー・ロバード氏および竹内希氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。