

# Exploring Full Waveform Inversion and Wavefield Gradient Measurements

椋本, 浩太

<https://hdl.handle.net/2324/7182447>

---

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :



氏 名 : 椋本 浩太

論 文 名 : Exploring Full Waveform Inversion and Wavefield Gradient Measurements  
(全波形インバージョンと波動勾配に関する研究)

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

地震波を利用して地下構造をイメージングする手法は、資源開発や防災、地震学といった幅広い分野で応用されている。本論文は地震波イメージング手法、特に全波形インバージョンについての応用的、理論的研究、そして新しいイメージング手法開発を包括した論文である。

第一章は、地震波イメージング手法についての一般的な導入である。また、近年、地震学で注目されている均質化法と地震波イメージング手法の関連性、そして本論文の構成についても述べている。

第二章は、本論文での主な研究対象である全波形インバージョンについての基礎的な知識をまとめたものになっている。波動方程式、グリーン関数の導入から始まり、Fréchet 微分の導出・計算手法について記した。従来の研究では全波形インバージョンの入力データは変位・速度・加速度であるが、本研究では歪や回転成分についても取り扱うので、それらを入力データとするときの Fréchet 微分の基礎的な数式についても導出した。また、Newton 法、Gauss-Newton 法、Steepest Descent 法についての一般的な事項についても取り上げた。

第三章は、本論文の主題の一つである全波形インバージョンによる本州中央部の地下構造推定についてである。全波形インバージョンは観測地震波形全体を入力データとして使用することができ、他のトモグラフィ手法と比較して、波動場に関する近似などが少ないため、全波形インバージョンは最も高い解像度・精度で地下構造を推定できる手法として注目されている。日本列島はプレート境界に位置しており、多くの大規模な不均質構造を形成している。この章での目的は全波形インバージョンを使用して構造推定を行うことで、本州中央部の地下の不均質構造をより高精度・高解像度で把握することである。研究対象地域に設置されてある多数の地震計の膨大な地震波データを入力データとして、全波形インバージョンを適用した。推定した地下構造モデルの地質学的解釈、低周波地震の分布との比較などを行い、また、既知の地質構造との整合性についても確認した。推定したモデルは全波動場のフォワード計算に基づいたものであるため、観測波形の一部のみを説明するようなモデルではなく、観測波形全体を説明するモデルである。そのため、波形を用いてインバージョンを行う震源のメカニズム解の推定などに最適なものとなっていると考えられる。

第四章では、波動勾配（歪や回転成分）を入力データとした全波形インバージョンにおける微小構造の影響についての研究に取り組んだ。近年、波動勾配を観測することができる分散型音響センシングや回転地震計が地震波の観測に活用されるようになってきた。波動勾配を解析する際は、従来の変位や速度といった観測データとは異なり、波動勾配が波長よりもかなり小さいスケールの微小構造に対して大きな感度を持ち、波形が局所的に変化してしまうということに注意する必要がある。本研究では、この微小構造が波動勾配を入力データとする全波形インバージョンに与える影響について調べた。数値実験を行ったところ、波動勾配を全波形インバージョンに使用したときのみ、地下構造モデルの推定が困難になることが判明した。さらに、マルチスケールの問題を取り扱うための数学的手法である均質化法に基づいて数値シミュレーションの結果を理論的に考察したところ、波動勾配を全波形インバージョンに使用した場合、波動勾配の微小構造への感度が原因となり、全波形インバージョンによるモデル推定が不安定になってしまうことが明らかになった。次に、この波動勾配の微小構造への感度がもたらす問題を解決する手法を開発し、多数の数値実験を通して開発手法の有効性を示した。

第五章では、波動勾配の観測データから地下の微小構造を高解像度に検出する手法開発に取り組んだ。ここでは、波動勾配が変位や速度といった従来の観測データと比較して、微小構造に大きな感度を持つということに注目して新しい手法を開発した。まず、数値実験で開発した手法の有効性を確認した。その後、九州大学伊都キャンパスのフィールドに設置された分散型音響センシングを利用してフィールド実験を行った。フィールド実験では波長の8分の1のスケールのサイズの構造を検出することができた。理論的にはさらに波長よりも小さいスケールのサイズの構造も検出可能である。従来の地震波イメージングではそのようなスケールの構造推定は困難であるが、提案した手法と波動勾配の観測データを用いれば、今までにない解像度で微小構造の検出が可能であることを示した。この手法は地下のごく浅部に存在する断層などのアノマリーの探査に有用であると考えている。

最後の第六章では、本論文の結論と将来の研究展望を述べた。