

氏 名	セサル アーロン モヤ フェルナンデス Cesar Aaron Moya Fernandez
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2771 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学位論文題目	Two alternative inversion techniques for the determination of seismic site response and propagation-path velocity structure: spectral inversion with reference events and neural networks (地震動のサイト特性と伝播経路の地下構造を推定するための地震記録を用いた2つのインバージョン手法の開発: スペクトル・インバージョン法とニューラル・ネットワーク)
論文調査委員	(主 査) 教 授 入 倉 孝 次 郎 教 授 岡 田 篤 正 助 教 授 久 家 慶 子

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、地震動のサイト特性と伝播経路の速度構造を地震動の観測記録から異なった2つのインバージョン手法で推定する方法の開発とそれらの検証を行った。

第1部では、基準地震を用いることにより、サイト特性と伝播経路のQ値をスペクトル・インバージョンで推定する方法が述べられる。任意の観測点における、ある1つの地震と基準地震のスペクトル比の対数表現は、伝播距離とQ値の関数として表される伝播特性、その地震の電源特性、および基準地震の震源特性の線形結合で表される。また任意の地震からの2つの異なるサイトのスペクトル比の対数は伝播特性とそれぞれのサイト特性の線形結合で表せる。この連立方程式を解くにはサイト特性か震源特性に関して少なくとも1つの拘束条件が必要とされる。従来は拘束条件として岩盤上の観測点のサイト特性は地表面効果のみと仮定して解かれてきた。しかしながら、最近の観測記録の蓄積から、一般的にこの仮定は成り立たないことがわかってきた。一方で、M4程度の小地震の中にはその震源特性が $\cdot^2$ モデルでよく近似できるものがあることも明らかになってきた。従って、基準地震としてM4程度の小地震で、その震源スペクトルが $\cdot^2$ モデルで近似できるものを選べばより精度の良い解が可能となる。本研究では、解析に基準地震を含む多数の地震からの多数の観測点のデータを用いて上記の解を求めた。基準地震の震源特性が $\cdot^2$ モデルであるという拘束条件を加えることにより、サイト特性は地点間の相対値ではなく基盤からの増幅特性として求められる。本手法が2000年鳥取県西部地震の余震系列からのK-NetおよびKik-Net観測点の記録に適用され、地震近傍域の観測点の絶対値としてのサイト特性が推定された。精度あるP-S検層による速度構造が得られている観測点に対してこの手法で得られたサイト特性と理論的計算結果が比較され、有効性が認められた。

第2部では、ニューラル・ネットワークを用いて観測記録から震源-観測点間の地下構造を推定する方法が研究された。ネットワークは多数の異なった速度構造に対する合成波形を用いて伝播経路速度構造と地震波形の関係を学習する。学習の後、実際の観測記録がネットワークに入力として入れるとそれに対応する最適速度構造が推定される。本手法が2003年鳥取県西部地震の余震域の近傍に位置するKik-Net観測点(SMNH01)で得られた4つの余震記録に適用され、震源と観測点を結ぶ地域の地下構造の推定が行われた。はじめに、1次元構造を仮定して計算された合成記録を用いて、ネットワークは震源-観測点の速度構造と地震波形の関係を学習した。学習の後、4つの余震の観測記録を代入するとそれぞれに対応して異なった地下構造が推定された。得られた構造の有効性はフォワード・モデリングで合成された波形と観測記録の比較で確かめられた。次に、観測点の周りが1次元構造ではなく盆地状の形状を有する3次元構造からなると仮定して合成記録を用いた学習を行い、4つの観測記録を同時に満足する3次元構造を推定する試みがなされた。種々の3次元構造モデルを用いたテストの結果、75%の構造モデルが70%以上の合致度で推定されることが確かめられた。

論文審査の結果の要旨

本研究は、観測記録から地震動のサイト特性を評価する方法および地下構造を推定する方法に関して2つのインバージョン方法の開発を行っている。強震動の予測研究における精度高いサイト特性の評価および震源破壊過程の波形インバージョンのための精度高い地下構造の評価は結果の信頼性を高めるために極めて重要な課題にかかわらずこれまで研究が遅れていた課題である。これまでのサイト特性の評価方法は相対的な増幅特性としては精度高い結果が得られるが、基盤岩から地表までのトータルな増幅特性については精度が低い。また強震動記録を用いた波形インバージョンにはグリーン関数評価のための地下構造の推定精度が決定的となるが、観測記録に基づく地下構造の推定のインバージョンに関して精度高い方法が確立されていなかった。本研究では第一部で前者について第二部で後者について新規性のあるオリジナル研究を行っている。

第1部では、基盤から地表までの地震動のサイト特性について相対値ではなく増幅特性そのものを推定する方法を研究している。観測記録の対数スペクトルは一般に震源、伝播経路、サイト特性の和で表わされるが、方程式の性質から複数の震源と複数のサイトそれぞれの特性を推定するには少なくとも1つの拘束条件が必要である。これまでの研究では岩盤上やボアホールを利用した地中の観測点を基準点と考え、基準点のサイト特性を理論的に推定することで拘束条件としていた。しかしながら、近年地震観測の詳細な研究で岩盤サイトやボアホールサイトも特有のサイト特性を持ち、理論的に推定することは必ずしも容易ではないことがわかってきた。本論文では、小地震の中にその震源スペクトルが $\cdot^2$ モデルでよく近似できるものであることを利用して、基準点観測の代わりに基準地震という考えを設定して拘束条件とする方法を示している。基準地震の震源スペクトルについては、震源位置は近いが地震規模が異なる2つの地震スペクトル比から、 $\cdot^2$ モデルによる近似の有効性が検証されている。数値実験および実際の観測記録を用いて本手法の有効性が検証されている。

第2部では、観測記録の波形データから地下構造を直接推定するためにニューラル・ネットワークの適用の有効性が研究された。これまで地震記録から地下構造の推定は、P波やS波などの顕著な位相の走時を用いてなされてきた。この従来の方法は地震記録の中の特定位相の時刻のみをもちいているので地震波に含まれる多くの情報が捨てられていることになる。本研究では、はじめに多数の異なる速度構造に対する合成波形を用いてネットワークに速度構造と地震波形の関係を学習させる。その際出力として地下構造を構成する層の速度値のみでなく層の厚さもパラメーターとしている点が極めて新奇性がある。一次元構造モデルを仮定して合成された波形を用いて本手法の有効性の検証がなされている。一次元構造についての実際の観測記録を適用して得られた速度構造は種々の方法で得られた地下構造と比較して有効なことが確かめられている。さらに三次元構造についても速度構造をあたえて合成された波形記録の関係をネットワークに学習させて有効性の吟味がなされている。その結果は設定された速度構造の75%以上が合致率70%以上となった。地震波形記録から三次元構造を直接推定する方法ははじめての試みであり、本研究がオリジナリティーのあることを示している。

以上の理由より、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項についての試問を行った結果、合格と認めた。