

## 論文の内容の要旨

論文題目 新しい散乱重合法に基づく深部地殻構造マッピング  
— 広角反射法データへの適用 —

氏 名 武田 哲也

1. はじめに 大陸地殻では、1980年代より COCORP や Lithoprobe 計画によって高密度の深部地殻構造探査が行われるようになった。これらの研究では、浅部構造探査や石油探査に使用していた反射法解析を導入することにより、それまで明らかにされていなかった下部地殻の不均質構造(reflective lower crust)の状態や Moho 面の形状といった地殻深部の構造を『視覚的』にマッピングすることに成功した。一方、島弧地殻から構成される日本では、屈折法(広角反射法)を主体とする探査が行われ、P 波・S 波やその反射波等の走時のみを使用して地殻の速度構造が求められてきた。しかし、屈折法探査による波形データには、しばしば大きな振幅を持つ広角反射波が確認される。これらの広角反射波には、記録時の観測測線が長いために地殻深部からの情報が含まれており、地殻深部構造をマッピングすることができる可能性がある。これらの広角反射法データを使って反射法的に波動場全体をマッピングする研究は、これまで吉井(1990)以外にはほとんど報告されていない。本論文では、この屈折法探査の波形データを用いて波動場全体をマッピングする新しい手法を開発し、最終的に実データに適用して島弧における深部地殻構造の新しい知見を得ることを目的とした。

2. 新しい手法開発 これまでの反射法解析の主要な方法として CMP 重合法と散乱重合法とがある。CMP 重合法では、共通な反射点(CMP)をもつ発震点と受振点の組み合わせで観測された波形記録を、あたかも CMP 直上に発震点と受振点を共に設置して記録したように変換し

(NMO 補正)、更に反射波だけを強調するために CMP 毎に足し合わせる。この手法は計算が簡便であるため、比較的变化の緩やかな構造の場合には地下のイメージを容易に得ることができ、また得られたイメージは比較的シャープである。しかし構造が水平方向に不均質であったり、反射面が大きく傾斜したりする場合には正しい像が得られない。一方、散乱重合法では等方一次散乱を仮定し、受振点の波形記録の振幅は、散乱点と考えられる場所全てからの足し合わせであると考え、その振幅を散乱点全てに等しく振り分ける。そして全波形記録の振幅を振り分けし、それを足し合わせることによって真の散乱点だけが強調される。この手法は傾斜の大きな面に対しても正しくマッピングすることができる(migration 効果)が、そのためには十分な精度の速度構造に基づいて計算する必要がある。また重合数が不十分であるとイメージを劣化させる欠点がある。元々、広角反射法データは粗い観測点密度のもとで記録されており、重合数はかなり不足する。また島弧の地殻構造では、一般的に水平方向の不均質は大きい。したがって、これらの手法をそのまま適用しても十分なイメージを得ることはできない。そこでこの島弧の広角反射法データに適用可能である新しいマッピング手法を開発した。これは散乱重合法を基本としながらも散乱重合法と CMP 重合法の利点を合わせ備えた特徴を持つ。従来の散乱重合法との違いは、等走時曲線上に振幅を振り分ける際に、散乱角の 2 等分線の鉛直方向から角度  $\theta$  を使用し、同時に control factor として“F”という量を導入したことである(図 1)。control factor の導入により、これまで別々の手法であった CMP 重合法と散乱重合法を一つに結びつけただけでなく、control factor の値を変化させることにより、シャープなイメージが得られる CMP 重合法から migration 効果のある散乱重合法へと容易に調節でき、その両手法の中間にあたる処理が可能となった。そして control factor の適切な値を選択することにより、求める条件にもっとも合ったイメージを得ることができる。そして、マッピングの際に必要な散乱波走時マップの作成には、有限差分による走時計算法を採用する。この利点は、速度場全体で発震点からの走時場と受振点からの走時場を求めて、単にそれらを足し合わせるだけで一気に速度場全体の散乱波走時が求められる点である。この方法は、全グリッドに散乱点を仮定して一つずつ走時を求めていく ray tracing などの走時計算法よりもはるかに簡単で早い。

**3. テスト** 広角反射波のようにその走時が初動に近い相を使用する場合には波形が引き伸ばされるストレッチング効果が問題となる。最初にその影響について検証することにした。その結果、全てのデータを無条件に使用した場合には、明らかにストレッチング効果によりイメージが劣化している。そこで、使用するデータに引き伸ばし比率に制限を設けた(例えば 190%)。これにより引き伸ばされた波形の与えるイメージの劣化を相当抑えることができる。そして次に散乱波走時マップを作成するときに発生するヘッドウェーブによる誤マッピングの可能性について検証した。これは、下層が上層より速度が速い場合に、オフセットが大きくなるにつれてその層境界直上付近では直接到達する波より下方より到達するヘッドウェーブの方が早くなり、誤った散乱波走時場を作るために生じる。そこでテストではヘッドウェーブを含む場合と含まない場合の走

時場を用意し、両者を用いた計算結果を比較した。それによると、ヘッドウェーブの影響により誤った位置にマッピングされてもその振幅値は小さいことが確かめられた。また、先程のストレッチング上限の設定と control factor の導入により、誤マッピングする領域は予め殆ど除去されており、結局ヘッドウェーブの影響を考慮しなくてもよい。そして今度は、前 2 つのテストの結果を踏まえて control factor に伴うマッピングイメージの変化を確かめた。F=1 のときは散乱重合法にもっとも近い。確かに傾斜面は正しい位置にマイグレーションされているが、観測密度不足から生じる人工的ノイズによるイメージ劣化が表れている。CMP 重合法にもっとも近い F=320 の場合では、人工的ノイズによるイメージ劣化はないが、連続性が乏しく、よく注目すると反射面は 1 枚に収束しておらず、その傾斜角も正しくイメージングされていない。一方 F=40 はその中間の処理にあたり、人工的ノイズも抑えられ、反射面の連続性もあり、前二者の欠点を補ってバランスがよい。従って control factor を調節することにより、求める条件のイメージを得ることができる。そして最後に、同じ速度構造モデルで波形データに人工的に走時と振幅にノイズを加えた場合のテストを行った。これは後に適用する実データは全体的に S/N 比が小さいので、このようなノイズの大きなデータに対する control factor の効果を検証した(図 2)。その結果を見ると、従来の散乱重合法(F=1)ではノイズに埋もれ、CMP 重合法(F=320)では連続性に乏しく、両者とも反射面のイメージが得られていない。しかし F=40 の場合はノイズの中にも傾斜する 2 枚の反射面をはっきりと確認できる。つまり、これまで目的に応じて control factor を自由に選択していたが、ノイズが大きくなるとその選択範囲は狭くなり F=40 といった中間の処理がきわめて有効となる。

4. 実データへの適用 紀伊半島をほぼ南北に走る河内長野-紀和測線と琵琶湖を東西に走る藤橋-上郡測線の 2 つの広角反射法データに本手法を適用した。その際使用する速度構造は初動走時を用いたインバージョンにより推定した。両結果とも、ノイズテストの場合と同様に CMP 重合法や散乱重合法だけからは得られなかった地殻深部のイメージを control factor の調節により得ることができた。そしてその得られたイメージからは、河内長野-紀和測線では紀伊半島下で北西に沈み込むフィリピン海プレートの沈み込み角が深さ 40km ほどで大きく変化していることを発見し、また沈み込みのプレート上面と震源分布には 10km のギャップが少なくとも深さ 50km まで続いて存在することがわかった。これはそれまでの CMP 重合法による過去の研究からはわからなかったことである。そして藤橋-上郡測線では、reflective な下部地殻での不均質の程度を『視覚的』に捉えることができた。この地域の下部地殻はかなり不均質度が強く、これは白亜紀後期からの火成活動によって熱的に地殻の改変を受けたためだと考えられる。また琵琶湖北部の深さ 50km に存在する反射面は、震源の深さ分布の外挿からフィリピン海プレートの上面を捉えている可能性が高い。

5. まとめ 本研究では、粗い観測密度の広角反射法データに対してもマッピング可能な手法を開発した。今回 control factor を導入することにより、散乱重合法と CMP 重合法による処理だけでなく、その両手法の中間に当たる処理をも可能にした。これにより求める条件に合った

control factor を自由に選択できる上、ノイズが大きいデータを扱う場合でも適切な control factor の選択によりデータの持つ情報を最大限引き出すイメージングが可能になった。また本手法を2つの測線に適用して、新たな地殻深部のイメージを得ることができ、実際のデータに対する有効性も実証された。この手法は、これまでマッピングが困難であった他の地域の広角反射法データにも適用可能である。

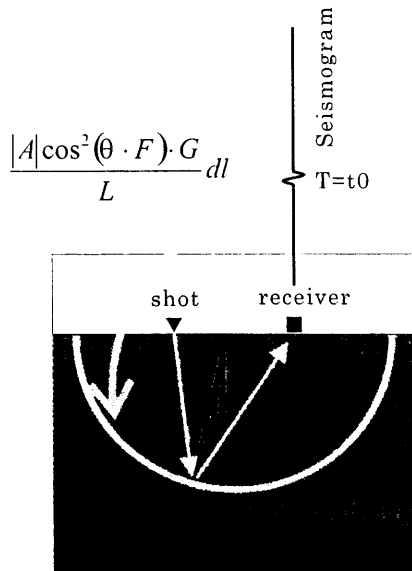


図1 新しい散乱重合法によるマッピング概念図。Aは振幅値、 $\theta$ は散乱角2等分線の鉛直からの角度、Fは本手法に導入した control factor、Gは幾何減衰補正項、Lは散乱波等走時曲線長、dlはその線素である。

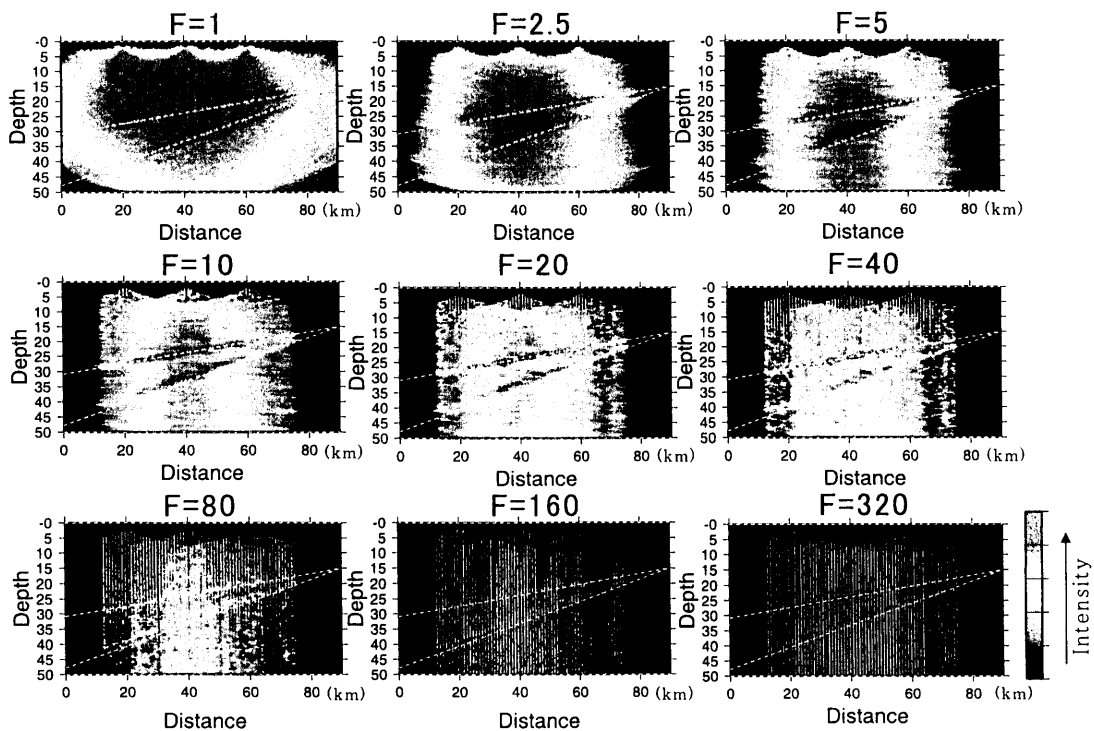


図2 ノイズの大きなデータに本手法を適用した結果。波線は設定した反射面を示す。