

海底MTデータからさぐる海洋上部マントルの電気伝導度異方性

松野 哲男^{1,2}, 馬場 聖至², 歌田 久司²

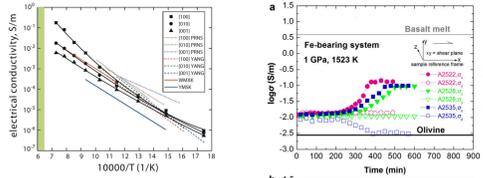
1 神戸大学 海洋底探査センター 2 東京大学 地震研究所

要旨

海洋上部マントルの電気伝導度異方性は、観測データから裏づけることができれば、マントル構造やマントルダイナミクスに重要な手がかりを与える可能性がある。海底MTデータは、海洋上部マントルの電気伝導度異方性を推定するために有効であるが、そのデータは注意深く解析する必要がある。その理由は、室内実験から予想される海洋上部マントルの電気伝導度異方性が大きくないこと(せいぜい1オーダー程度)と、観測データには異方性構造のシグナルと地形効果も含まれた構造不均質のシグナルが同時に含まれるためである。そのような海底MTデータではあるが、そこから電気伝導度異方性を推定するための有効な方法の一つとして次のようなものがある。地形効果の補正を更新しながら最初に1次元の等方性電気伝導度構造を推定し、その後その等方性構造からの差として異方性電気伝導度構造の推定を行うものである。そこで、この方法の有効性を確認するために、「ふつうの海洋マントル」(NOMan)プロジェクトで得られた観測データから推定された北西太平洋の1次元等方性構造モデルをもとに、当該地域で可能性のあるいくつかの異方性構造モデルを真の構造として設定した上で、シンセティックテストを行った。このテストでは、設定した異方性構造モデルに対する観測データの振る舞いを調べるフォワードモデリングと、現実の北西太平洋周辺の3次元の海底地形・海洋-大陸境界とその下に真の1次元異方性電気伝導度構造を設定したモデルから生成した擬似データのインバージョンを含む。また、同じ異方性構造モデル推定方法をNOManプロジェクトで得られた観測データに応用した結果について示す。

導入

電気伝導度異方性: 水や部分溶融体の存在で生じる可能性 [Dai & Karato, 2014; Zhou et al., 2014など]



上: 平均的な上部マントル含水量におけるオリビン単結晶4.0 GPa電気伝導度 [Dai & Karato, 2014]

右: 剪断条件下の玄武岩メルトの電気伝導度 [Zhou et al., 2014など]

電気伝導度異方性は、マントルの構造やダイナミクス(含水量、部分溶融量、剪断・応力分布など)の解明に有効である [例えば、Evans et al., 2005; Baba et al., 2006]。

しかし一般に、構造推定のデータとなるMTレスポンスには異方性のシグナルも構造不均質(海底地形も含む)のシグナルも含まれ、これらの解明や区別には注意がいる。

そこで、観測MTデータからの異方性構造の推定可能性や推定方法についての研究を行う

本研究の内容

- ◆シンセティックテスト
- ◆フォワードモデリング
- ◆インバージョン

北西太平洋の海底MTアレイデータ(NOMan A海域)から推定された1次元等方性電気伝導度構造[Baba et al., 2012; in prep.]をもとに、可能性のあるいくつかの異方性構造を設定[Baba & Utada, 2016 EM seminar]し、海底地形が平坦な場合(1-D)と現実の3次元海底地形・海洋-大陸境界がある場合(3-D/1-D)のMTレスポンスを計算[Pek & Santos, 2002; Baba & Seama, 2002]し、異方性や海底地形のシグナルの様子を探る。

- ◆インバージョン

上記の、地形+異方性構造(3-D/1-D)構造モデルから計算されたMTレスポンスを擬似観測データとして、繰り返し地形効果補正と1次元等方性電気伝導度構造モデルの推定[Baba & Chave, 2005; Baba et al., 2010]を行う。地形補正には2つの地形補正式[Nolasco et al., 1998; Baba and Chave, 2005]を用い、1次元等方性モデル推定[Constable et al., 1987; Key, 2009]には2つの回転不変量(DeterminantとSSQ[Rung-Arunwang et al., 2016])などを用い、使用したものの違いによる結果の検討も(今後)行う。

- ◆観測データへの応用(まだ解析の途中です)

上記のインバージョンをNOMan A海域の観測データに適用する。

シンセティックテストの結果の要約

- ◆フォワードモデリング

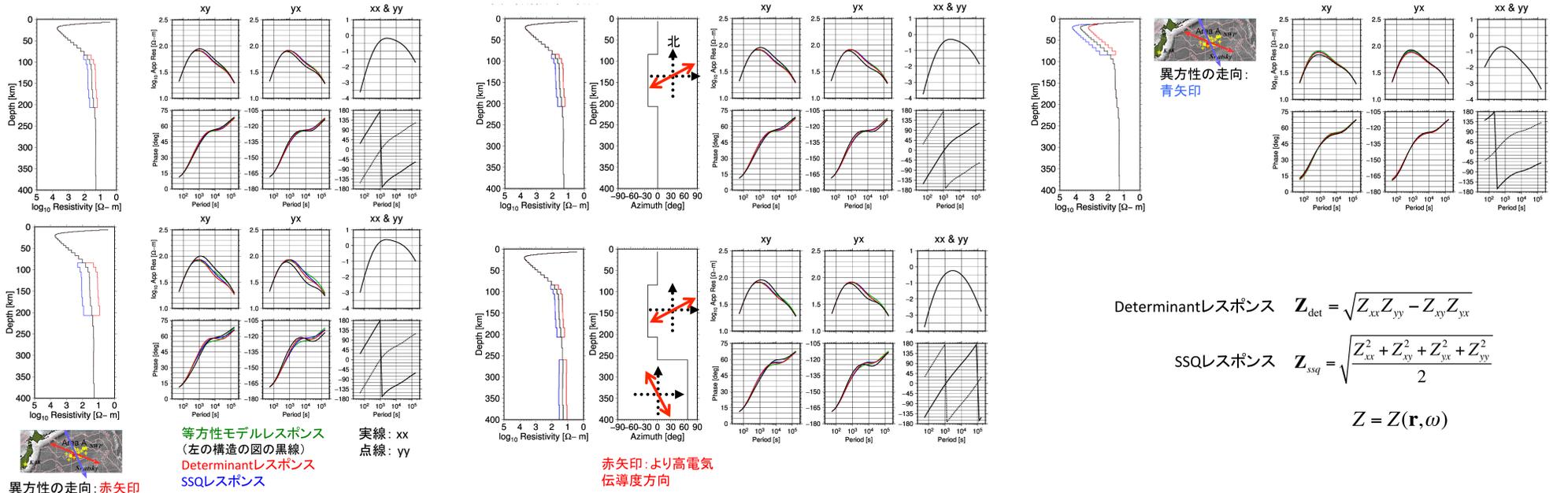
◆高電気伝導度のアセノスフェア中の異方性は、等方性構造のMTレスポンスや、異方性構造の回転不変量レスポンス(DeterminantとSSQ)とは異なるMTレスポンスをもたらす。これらのレスポンスの違いは、異方性のある層の厚さや異方性の強さによる。
◆異方性の強さが0.5オーダーの場合、DeterminantとSSQレスポンスはどのような異方性構造でもほぼ同じである。強さが1オーダーの場合、これらのレスポンスは互いに異なる。
◆電気伝導度異方性の走向は、MTレスポンスの対角成分(xx, yy成分)の位相によく現れる
◆低電気伝導度のリソスフェア中の異方性は、MTレスポンスに大きな影響を与えない。

- ◆インバージョン

◆真の電気伝導度構造が異方的である場合、地形補正と等方1次元インバージョンから推定される電気伝導度構造モデルは、高電気伝導度の影響を受けて、高電気伝導度側に推定される可能性がある。これは、異方性構造の場合の回転不変量レスポンスが、異方性層の高電気伝導度の影響を受けているためである。

◆真の電気伝導度構造が異方的であっても、繰り返し地形補正と等方1次元インバージョンの方法 [Baba and Chave, 2005; Baba et al., 2010]は、地形効果はある程度取り除くためには有効である。しかし地形補正後であっても、地形効果は特にMTレスポンスの対角成分に残っている可能性があり、観測データから異方性構造を推定する場合に考慮する必要があるかもしれない。

フォワードモデリング(海底地形が平坦な場合)

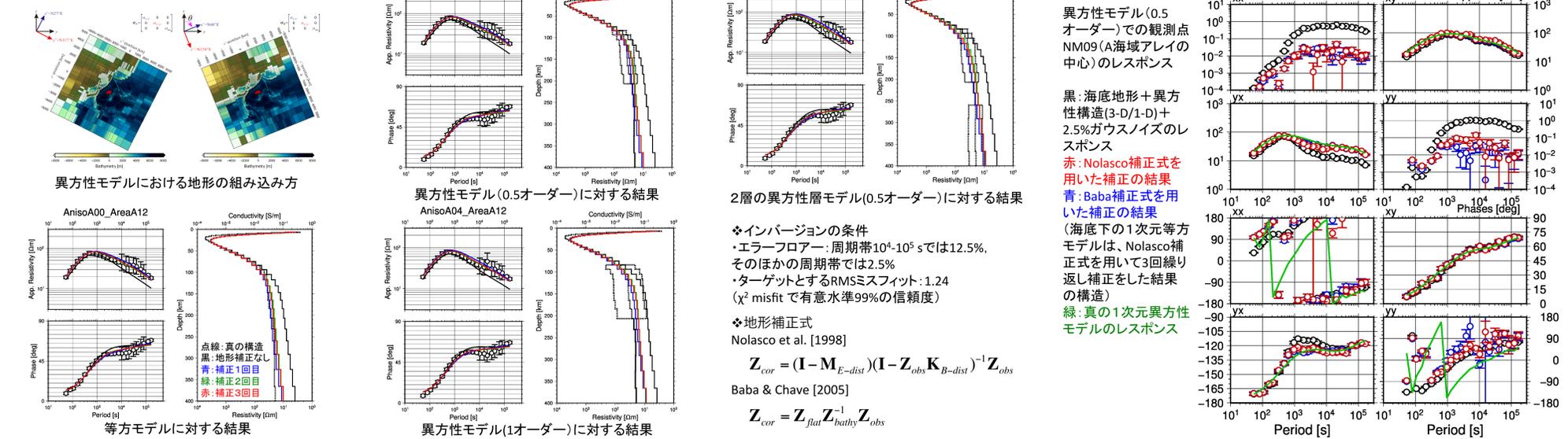


$$\text{Determinantレスポンス } Z_{det} = \sqrt{Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx}}$$

$$\text{SSQレスポンス } Z_{ssq} = \sqrt{\frac{Z_{xx}^2 + Z_{yy}^2 + Z_{xy}^2 + Z_{yx}^2}{2}}$$

$$Z = Z(\mathbf{r}, \omega)$$

インバージョン(地形補正を含む)



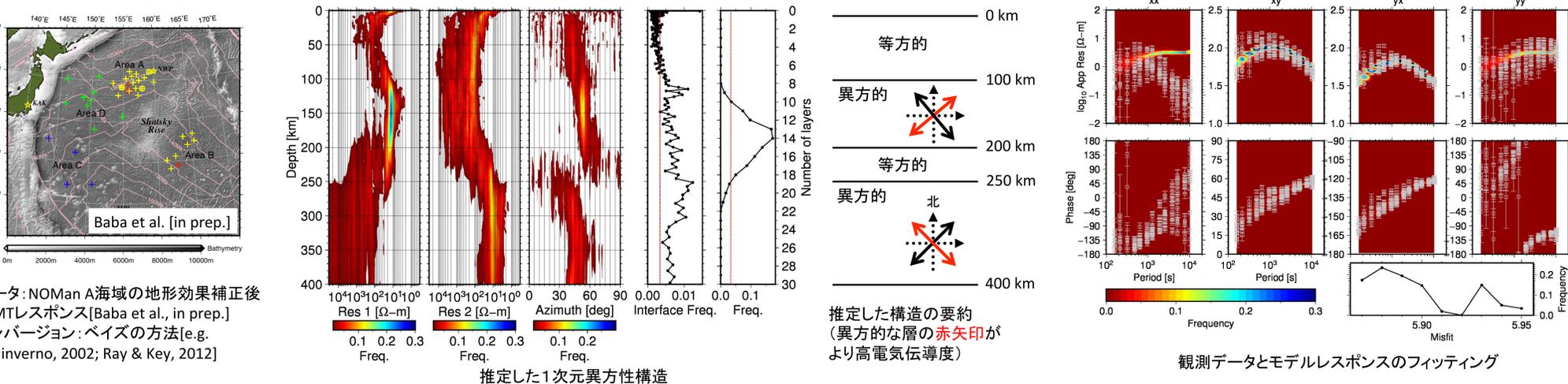
異方性モデル(0.5オーダー)での観測点NM09(A海域アレイの中心)のレスポンス

黒: 海底地形+異方性構造(3-D/1-D)+2.5%ガウスノイズのレスポンス
赤: Nolasco補正式を用いた補正の結果
青: Baba補正式を用いた補正の結果
(海底下の1次元等方性モデルは、Nolasco補正式を用いて3回繰り返し補正をした結果の構造)
緑: 真の1次元異方性モデルのレスポンス

◆インバージョンの条件
◆エラーフロア: 周期帯 10^4 - 10^5 sでは12.5%, そのほかの周期帯では2.5%
◆ターゲットとするRMSミスフィット: 1.24 (χ^2 misfitで有意水準99%の信頼度)

◆地形補正式
Nolasco et al. [1998]
 $Z_{cor} = (I - M_{E-dist})(I - Z_{obs} K_{B-dist})^{-1} Z_{obs}$
Baba & Chave [2005]
 $Z_{cor} = Z_{flat} Z_{bathy}^{-1} Z_{obs}$

観測データへの応用(まだ解析の途中です)



データ: NOMan A海域の地形効果補正後のMTレスポンス[Baba et al., in prep.]
インバージョン: ベイズの方法[e.g. Malinverno, 2002; Ray & Key, 2012]

推定した構造の要約(異方的な層の赤矢印がより高電気伝導度)

観測データとモデルレスポンスのフィッティング

推定した1次元異方性構造