

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20740261

研究課題名(和文) 非弾性減衰構造の推定手法の構築と東北日本・北部伊豆小笠原弧の地下不均質構造の解明

研究課題名(英文) A new inversion approach to estimate the intrinsic attenuation structure: Method and application to the northeastern Japan and northern Izu arc

研究代表者

高橋 努 (TAKAHASHI TSUTOMU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・研究員

研究者番号：90435842

研究成果の概要(和文)：

本研究では、数 Hz 以上の地震波の最大振幅から非弾性減衰構造を推定する手法を構築し、東北日本及び北部伊豆小笠原弧に適用した。東北日本の前弧側は概ね弱い減衰を示し、第四紀火山下や本州弧とクリル弧の衝突帯付近で減衰が強いことが明らかになった。北部伊豆小笠原弧では第四紀火山下で減衰が強く、前弧側は東北日本前弧側よりも弱い減衰を示すことを新たに解明した。独立成分分析により、内部減衰や速度ゆらぎは第四紀火山下や衝突帯の構造を特徴づける重要な物理量であることが示された。

研究成果の概要(英文)：

This study proposed an inversion analysis of the maximal amplitudes to estimate the 3D structure of intrinsic attenuation. Application in the northeastern Japan clarifies the weak attenuation in the forearc side, and strong attenuation beneath the Quaternary volcanoes and collision zone between the Honshu and Kuril arcs. Study in the northern Izu arc revealed that strong attenuation regions are distributed beneath the Quaternary volcanoes, and that attenuation in the forearc side is weaker than the forearc side in the northeastern Japan. Independent component analysis extracts some components that are related to tectonic conditions. These components are characterized by large contributions from the attenuation and inhomogeneities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：地震学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：非弾性減衰・地震波散乱・東北日本・北部伊豆小笠原・独立成分分析

## 1. 研究開始当初の背景

地球内部の非弾性減衰は、地震波伝播過程の研究や地下の温度構造および流体分布を定量的に評価する上で重要な物理量である。プレートの沈み込みによる地震活動が活発

で、第四紀火山も多く分布される島弧においては、数 Hz 以上の地震波を用いて高い空間分解能で非弾性減衰の三次元構造を解明することが特に重要である。しかし地下の媒質は幅広い空間スケールでの不均質性をもつ

ため、地震波は多重散乱の影響も強く受け、伝播距離の増大とともに波形が崩れ最大振幅が減衰する。過去の研究では、直達P波やS波の最大振幅やスペクトル振幅の距離減衰に着目し減衰構造を推定しているが、多重散乱による振幅減衰の補正が困難であったため、非弾性減衰によるエネルギー損失だけを抽出することはできなかった。近年、本研究課題の代表者らは、ランダム媒質中における波動伝播の統計的解釈に基づき、地下の媒質がもつランダムな速度ゆらぎの空間分布を推定する手法を提案した。ここでランダムな速度ゆらぎは、平均速度からのゆらぎ成分を表し、散乱による波形の崩れに直接寄与する。この研究により速度ゆらぎの三次元構造を得ることができ、散乱による見かけの振幅減衰を事前に評価することが可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究課題は上記の背景に基づき、多重散乱による振幅減衰を適切に補正することで、地殻・最上部マントルの非弾性減衰構造を新たに解明し、島弧における地下構造の解釈を進める。減衰構造の推定では、震源のエネルギー輻射量や観測点近傍の地盤増幅特性といった振幅に影響を与える要素の推定も重要である。本研究では、これらの影響もそれぞれ適切に考慮して減衰構造と同時推定する手法を構築する。この手法を東北日本と北部伊豆小笠原弧に適用し、地震波速度やランダムな速度ゆらぎの三次元構造と非弾性減衰の関係を検証する。媒質を定量化する物理量が6個となることから、統計的な手法による次元低減も行い、これらの物理量から抽出できる媒質の特徴について議論する。

## 3. 研究の方法

本研究は、以下の3つから構成される。非弾性減衰構造を安定して推定する手法の開発・検証、東北日本と北部伊豆小笠原弧への手法の適用、得られた構造を用いた媒質の解釈である。

### (1) 構造イメージング手法の開発・検証

減衰構造の推定において、震源のエネルギー輻射量や観測点近傍での振幅増幅の効果も同時推定するには、未知数間のトレードオフが生じるため適切な先験的情報を導入することが必須である。震源や観測点の影響は強く周波数に依存することが知られており、過去の研究では震源スペクトルの規模依存性を表す経験則に強く依存した条件や観測点の影響を定数で表現するなどの手法が用いられていた。しかしこれらの仮定からのばらつきが大きいこともよく知られており、より適切な条件で解析を行う必要がある。近年広帯域地震観測網が整備され、M4~5以上の

地震の震源メカニズム解や地震モーメントが安定して推定されるようになった。地震モーメントは低周波数側のエネルギー量を規定する物理量となる。よって本研究では既存の地震観測網で決定された地震モーメントだけを先験的情報として参照し、観測点近傍の構造の影響は全て未知数として推定することとした。解くべき問題は非線形問題となり、また複数の局所解が存在する可能性がある。よって本研究では、最適解を見つけることが困難な問題に幅広く用いられている交換モンテカルロ法[Hukushima & Nemoto, *J. Phys. Soc. Jap.*, 1996]を用いた解析プログラムを作成した。

散乱による見かけの振幅減衰の評価は、多重前方散乱近似に基づいた数値シミュレーションにより行う。この方法ではランダムな速度ゆらぎを持つ媒質中における振幅減衰のアンサンブル平均が得られる。一方解析に用いる観測波形は振幅のばらつきが大きく、アンサンブル平均に比べ系統的に大きな値を持つと考えられる。よって、人工データを用いたテストにより減衰構造や他の未知数がどの程度影響を受けるかを評価した。

### (2) 東北日本と北部伊豆小笠原弧での解析

東北日本と北部伊豆小笠原弧の解析では、ランダムな速度ゆらぎ分布の推定と共通のデータを用いた。東北日本弧では、(独)防災科学技術研究所のHi-netで得られた速度波形記録を用いた。北部伊豆小笠原弧では2006年に(独)海洋研究開発機構が海底地震計40台を用いて行った三ヶ月間の観測で得られた速度波形記録と、八丈島や青ヶ島に展開されている(独)防災科学技術研究所のF-net及びHi-netの速度波形記録を用いた。どちらの領域でも沈み込む太平洋プレート周辺で発生した中小規模地震を対象とした。地震モーメントはF-netにより決定された値を参照し、東北日本弧では393個のうち91個、北部伊豆小笠原弧では690の地震に対して4個の地震モーメントを参照した。インバージョンに用いるデータは4-8Hz, 8-16Hz, 16-32Hzの水平動2成分のS波エンベロープの最大振幅、未知数は減衰構造の他、震源におけるエネルギー輻射、観測点近傍の地盤増幅の効果である。

### (3) 独立成分分析による構造の解釈

上記の解析により得られた非弾性減衰構造は、主に火山分布と関連した構造の空間変化を示すが、非火山地域でも減衰の強さに変化がみられた。これまで他の研究で得られている速度構造やランダムな速度ゆらぎも、火山下以外で値が大きく変化することが分かっており、これらの特徴を客観的に捉えることが媒質の解釈を進める上で重要である。特

に速度ゆらぎはその実体を岩石モデルなどと比較することが難しく、その解釈が確立していない。また非弾性減衰は岩石資料からも測定できるが、扱う岩石資料のサイズや用いる弾性波の波長が大きく異なり、直接比較することは妥当ではない。そこで本研究では、得られた構造だけに基づいて解釈を進めるため、主成分分析や独立成分分析による媒質の特徴抽出を行った。抽出された成分とテクトニクスなどを比較することで、媒質の性質と観測量の関連を検証した。

#### 4. 研究成果

当初の計画で考えていた既知の地震モーメントを参照する手法は概ね安定していたが、高周波数側のエネルギー輻射量の推定が安定せず、減衰構造の推定に大きな影響を与えることが初期の解析で分かった。そこで過去の震源スペクトルの研究成果を考慮し、高周波数帯域のエネルギー輻射量を地震モーメントに基づいて制約を与えることをインバージョンの初期段階に導入した。また解析を複数のステップに分割して制約を除去することで、最終的な結果に系統誤差が生じないようにした。その結果、人口データを用いたテストや自然地震データの解析において、減衰構造や震源のエネルギー量を安定して推定することが可能となった。また最大振幅が持つ振幅のばらつきや系統的なずれは、主に観測点近傍の地盤増幅の推定値に系統誤差を与えるものの、減衰構造の推定結果にはほとんど影響しないことが示された。

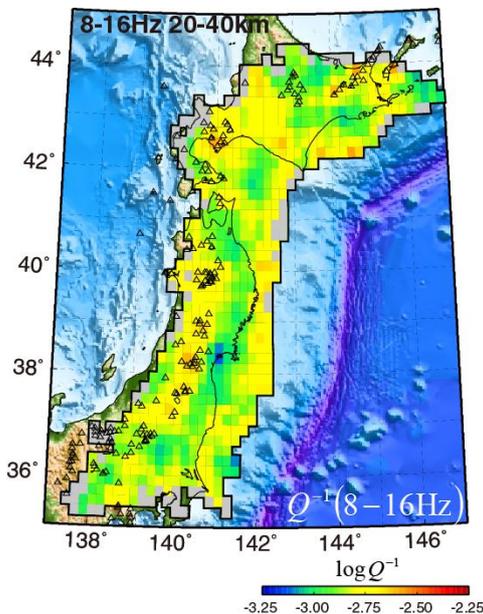


図1 東北日本弧の深さ20-40kmにおける非弾性減衰の分布。暖色系ほど減衰が強いことを表す。△は第四紀火山を表す。

東北日本における解析では、本州の火山フロント前弧側で系統的に減衰が弱く、第四紀火山下の他、本州弧とクリル弧の衝突帯付近に減衰の強い領域が見られることが分かった(図1)。本州弧前弧側の弱い減衰は従来も報告されていたが、散乱による見かけの振幅減衰を補正したことで、従来よりも弱い減衰定数が推定されている。また前弧側と背弧側で減衰の周波数依存性が大きく異なり、前弧側では周波数の約0.5乗に比例するのに対し、火山下や衝突帯では周波数の約0.3乗に比例することが分かった。

北部伊豆小笠原弧では、火山分布と対応した減衰構造の空間変化が明らかになった。八丈島付近と青ヶ島付近で特に強い減衰域が見られ、この高減衰域は地殻から深さ50km付近まで広がっていた。火山フロント前弧側は東北日本と同様に弱い減衰を示したが、東北日本に比べてさらに減衰が弱いことが分かった。これは島弧の形成年代の違いなどが原因として考えられる。

独立成分分析による構造の解釈は、速度構造がよく推定されており、速度ゆらぎや内部減衰も十分な空間分解能で得られている東北日本において行った。速度構造はP波速度とS波速度の二つを用い、速度ゆらぎと内部減衰はそれぞれ二つの物理量の組み合わせで表現されている。これら計6個の物理量に対して前処理として主成分分析を行った結果、第四主成分まででデータの約92%の特徴を説明できることが分かった。第一主成分では、東北日本のほとんどの場所で深さとともに主成分得点が増加するが、本州弧とクリル弧の衝突帯付近では深さ依存性が弱く、深さ60km付近でも浅い領域に分布する媒質と類似した特徴を示した。また独立成分分析では、深さとともに単調に値が増加する成分と、衝突帯付近で深さによらずほぼ同じ値を示す成分、構造のスケール依存性を強く反映する成分などが抽出された。これらの独立成分は、深さとともに増加する温度構造を反映した成分や、岩石の種類を反映した成分、微細構造の分布を反映した成分とそれぞれ解釈することができる。

独立成分分析の結果から、本州弧とクリル弧の衝突帯付近では地殻物質が深さ60km付近まで分布していると考えられる。この特徴は近年稠密な速度構造推定から得られた解釈とも矛盾しない。また第四紀火山下では短波長の速度ゆらぎに富み、減衰の周波数依存性が弱いという特徴が顕著に現れている。マグマの存在や、それによって形成される巨視的な速度不均質が火山下の構造を特徴付ける重要な性質であることを示す。これまでの構造の解釈では、弾性波速度だけに着目して衝突帯や第四紀火山下の構造が議論されているが、独立成分分析の結果はい

ずれも減衰や散乱の寄与が大きく、非弾性減衰や速度ゆらぎが媒質を特徴付ける重要な物理量であることを示す。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① 高橋努, 尾鼻浩一郎, 他 5 名, Random inhomogeneities in the northern Izu-Bonin arc estimated by tomographic inversion of peak delay times of S wave seismograms, Journal of Geophysical Research, 査読有, 116, 2011, B03303.

② 高橋努, 佐藤春夫, 他 2 名, Tomographic inversion of the peak delay times to reveal random velocity fluctuations in the lithosphere: method and application to northeastern Japan, Geophysical Journal International, 査読有, 178, 2009, 1437-1455.

[学会発表] (計 7 件)

① 高橋努, Intrinsic absorption structure of S-wave in the northeastern Japan and northern Izu-Bonin arc, 2010 AGU Fall Meeting, 2010 年 12 月 15 日, Moscone Convention Center (米国 サンフランシスコ)

② 高橋努, 北部伊豆小笠原弧における内部減衰構造, 日本地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 27 日, 広島国際会議場 (広島)

③ 高橋努, マルコフ近似法に基づく最大振幅のインバージョン解析から推定した東北日本における内部減衰構造, 日本地震学会 2009 年秋季大会, 2009 年 10 月 21 日, 京都大学(京都)

④ 高橋努, マルコフ近似法に基づく最大振幅のインバージョン解析による内部減衰構造推定, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 17 日, 幕張メッセ(千葉)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

高橋 努 (TAKAHASHI TSUTOMU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部  
ダイナミクス領域・研究員

研究者番号: 90435842