

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震波を用いた解析に基づく地殻構造と地震・火山活動の関係の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ウ．広域の地殻構造と地殻流体の分布

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ア．列島及び周辺域のプレート運動，広域応力場

イ．上部マントルとマグマの発生場

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震発生や火山形成過程を理解する上で重要である日本列島下の地殻について、地震波形を用いた解析により、モホ面などの地震波速度不連続面の形状や上部・下部地殻の三次元地震波速度構造に加え、短波長不均質構造の詳細な空間分布を高精度で推定する。得られた結果を基に、地震活動や火山分布と地殻不均質構造の関連性、および火山性流体の分布を明らかにする。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は、ランダム媒質における短周期地震波動伝播の数理的基礎の構築、および東北日本・紀伊半島における地殻不均質構造の推定を行う。数理的基礎の構築では、1Hz 以上の高周波数地震波のエンベロープに着目し、自由表面を持つランダム媒質におけるベクトル弾性波のエンベロープの理論導出、PS 変換散乱を考慮した輻射伝達理論に基づく、強いランダム不均質媒質におけるエネルギー多重散乱モデルの構築、などを行う。また、日本列島の地殻内の三次元地震波速度構造を推定し、火山や地殻活動と地殻内不均質構造の関係を考察する。特に、和歌山県下の群発地震活動などの特異な地殻活動と不均質構造の関係を明らかにする。さらに、火山体における人工地震や自然地震の記録の収集および予備解析、地震波形記録の収集・処理などを行い次年度以降の解析のための手法およびデータセットを作成する。

平成 22 年度は、Hi-net データの解析に基づき、短周期 S 波の散乱と内部減衰の地域性を明らかにする。また、地震波形からモホ面での反射波や変換波を見出し、直達波と反射波/変換波との走時差を読み取る。

平成 23 年度は、冪乗型スペクトルを持つランダム弾性媒質における最大振幅遅延・最大振幅減衰を統計パラメータのみで記述し、S 波エンベロープの解析から日本列島における短波長不均質構造及び内部減衰構造の空間分布を推定するインバージョン手法を開発する。また、sP depth phase を用いたトモグラフィを行い、太平洋下の速度構造の空間分解能を向上させる。モホ面での反射波/変換波の走時差データをインバージョンし、モホ面の形状を推定する。

平成 24 年度は、前年度に開発した手法を実データへ適用し、日本列島における不均質構造及び内部減衰構造の空間分布を明らかにする。また、火山体における人工地震や自然地震の記録を解析し、輻射伝達理論に基づく散乱係数を推定する。さらに、後続波の走時データを用いて、速度トモグラフィにより地殻（特に下部地殻）の詳細な速度構造を推定する。

平成 25 年度は、これまでに得られた結果を総合的に解釈し、日本列島における第四紀火山の分布や地震活動と地殻・最上部マントルの不均質構造の関係および火山体における不均質構造と火山性流体の分布・挙動との関係を明らかにする。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

1. ランダム不均質構造における短周期地震波の伝播 –速度境界の与える影響の定量的考察–

短周期地震波の直達波近傍のエンベロープは、主にランダムな不均質速度構造による多重前方散乱によって、その時間幅を拡大し、最大振幅の着信は遅れる。マルコフ近似理論は統計的パラメータを用いてエンベロープを直接導出することができるが、これまで速度構造が段階的に変化する場合を取り扱うことができなかった。本研究 (Emoto et al., 2012) では、角度スペクトルの概念を導入することにより、これを可能にした。平面 P 波が鉛直入射する場合でも、散乱波はゼロと異なる入射角分布を持つために水平動成分には PS 変換波群が形成される。この理論は、差分法との比較によって検証することができた (図 1) 。

2. ランダム不均質構造中のダブルカップル型震源による短周期地震波のエンベロープ形状に関するシミュレーション法の開発。

短周期地震波形エンベロープから震源輻射特性を求めるには、波動エンベロープの理論導出が重要である。本研究 (Sawazakiet al. 2011) では、放物近似に基づいたモンテカルロシミュレーションによってダブルカップル型震源から輻射されたベクトル波動のエンベロープを導出する方法を新たに構築した。この理論をもとにして中国地方の地震の短周期記録を解析し、周波数が高くなるに従って輻射パターンが崩れてゆくものの、それなりにダブルカップルの輻射パターンが残っていることを見いだした。

3. 強い不均質場における波動伝播の数値モデリングを行い、自由表面におけるモード変換・実体波-表面波の変換散乱の定量化を行った。また、強い不均質性をもつ活火山と一般的な地殻の比較研究を行うために非火山地域においても小規模アレイ観測を実施し波動場のモード分離・エネルギー分配の定量化を行った (図 2) 。

4. 遠地 P 波のトランスバース成分解析を Hi-net データに適用し、日本列島の地殻およびマントル浅部の短波長不均質強度の空間分布を明らかにした。その結果、第 4 紀火山およびその周辺、平野域などで短波長不均質性が強いこと、活断層域では必ずしも短波長不均質性が強くないことなどが明らかとなった。

5. 東北日本弧において、散乱による見かけの振幅減衰を考慮した解析により内部減衰の三次元構造を推定した。第四紀火山下は周囲に比べて高減衰を示すこと、東北弧と Kuril 弧の衝突帯付近に高減衰域が分布することを明らかにした。

6. 西南日本における速度ゆらぎの三次元構造を推定した結果、別府島原地溝帯付近は深さ 0-20km に速度ゆらぎの短波長成分に富む媒質が存在することがわかった。また日向灘南西部に速度ゆらぎの長波長成分に富む媒質が存在し、北部伊豆弧に存在する古い島弧と類似した特徴を示すことがわかった。この結果は沈み込んだ九州パラオ海嶺が存在するという構造探査の解釈と矛盾せず、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唆する。

7. 日高地域下の詳細な地震波速度構造を求めると、マントル物質（橄欖岩に相当）が通常の内陸地殻領域（深さ 35km 以浅）まで深部から西に向かって貫入する箇所が数か所見つかった。すなわち高速度層と低速度層の互層構造を見出した。その層の傾きはおよそ 40-60 °程度であり、走行はほぼ南北となっていた。その互層の境界のうち、日高変成帯下は 1970 年の M6.7 日高山脈南部地震の断層面に、浦河沖下は 1982 年の M7.1 浦河沖地震の本震断層面に対応していた。その互層の境界は陸上の地質構造線もしくは活断層の空間分布とも対応していた。2つの地震は、異常に深部で発生する内陸大地震であるが、本研究により既存の弱面（物質境界）を利用して発生していることが示された（図 3）。

8. 1995 年兵庫県南部地震，2007 年能登半島沖地震，2008 年岩手・宮城内陸震源域周辺の詳細な速度構造を推定したところ，いずれの地震についても震源域下の下部地殻に地震破堤速度域が存在することが明らかになった (Tong et al., 2011, Padhy et al., 2011)。また，常磐地域の詳細な三次元地震波速度構造を推定した結果，東北地方太平洋沖地震以降に活動が非常に活発化している茨城県北部からいわき市にかけての領域直下の下部地殻および最上部マントルに低速度域が分布することが明らかになった。この低速度域は太平洋プレート内の含水鉱物の脱水により浅部に供給された水の分布と対応すると考えられ，常磐地域の地震活動は深部起源の流体の存在と密接に関係していることを強く示唆している（図 4）(Tong et al., 2012)。

- (8) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- Cheng, B., D. Zhao, G. Zhang (2011), Seismic tomography and anisotropy in the source area of the 2008 Iwate-Miyagi earthquake (M 7.2). *Phys. Earth Planet. Inter.* 184, 172-185.
- Emoto, K., H. Sato and T. Nishimura (2012), Synthesis and Applicable Condition of Vector Wave Envelopes in Layered Random Elastic Media with 2Anisotropic Autocorrelation Function Based on the Markov Approximation, *Geophys. J. Int.* 188, 325-335.
- 北 佐枝子, 長谷川昭, 中島淳一, 岡田知己, 松澤暢, 勝俣啓 (2011), 日高地域下の詳細な地震波速度構造：島弧 島弧衝突と 1982 年浦河沖地震, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会.
- Omuralieva, M.A., A. Hasegawa, T. Matsuzawa, J. Nakajima, and T. Okada (2011), Lateral variation of the cutoff depth of shallow earthquakes beneath the Japan Islands and its implications for seismogenesis, *Tectonophysics*, 518-521, 93-105, 2012.
- Padhy, S., O.P. Mishra, D. Zhao, W. Wei (2011), Crustal heterogeneity in the 2007 Noto-Hanto earthquake area and its geodynamical implications. *Tectonophysics* 509, 55-68.
- Sawazaki, S., K., H. Sato and T. Nishimura (2011) Envelope synthesis of short-period seismograms in 3-D random media for a point shear-dislocation source based on the forward scattering approximation: Application to small strike-slip earthquakes in southwestern Japan, *J. Geophys. Res.*, 116, B08305, doi: 10.1029/2010JB008182.
- Takahashi, T., K. Obana, Y. Yamamoto, A. Nakanishi, S. Kodaira, and Y.Kaneda (2011), Spatial distribution of random velocity inhomogeneities in the western part of Nankai subduction zone, Abstract T21B-2354 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec.
- Tong, P., D. Zhao, D. Yang (2012), Tomography of the 2011 Iwaki earthquake (M 7.0) and Fukushima nuclear power plant area. *Solid Earth* 3, 43-51.
- Tong, P., D. Zhao, D. Yang (2011), Tomography of the 1995 Kobe earthquake area: Comparison of finite-frequency and ray approaches. *Geophys. J. Int.* 187, 278-302.
- Zhao, D., W. Wei, Y. Nishizono, H. Inakura (2011), Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan: Insight into fluid and magmatic activity. *J. Asian Earth Sci.* 42, 1381-1393.

(9) 平成 24 年度実施計画の概要：

- ・地震波エネルギー伝播・エネルギー分配における非等方散乱の影響および異方性不均質性の検討を行う。

・北部伊豆弧の内部減衰構造を推定し，速度ゆらぎや速度構造との関係や東北日本弧と構造の違いを議論する.

・ sP depth phase を用いた九州の前弧域の地下構造を推定する.

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

趙大鵬・西村太志・岡田知己・山本希・中島淳一・他

他機関との共同研究の有無 : 有

海洋研究開発機構 : 高橋 努

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

電話 : 022-225-1950

e-mail : zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp

URL : <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 中島淳一

所属 : 大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

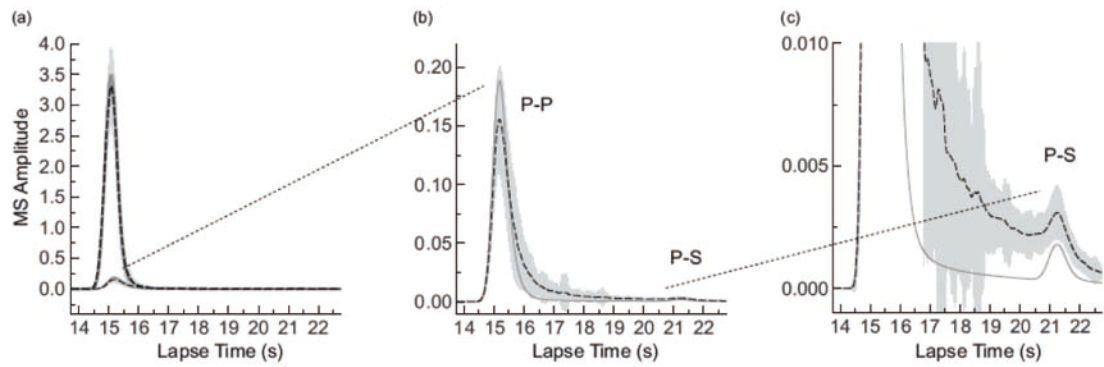
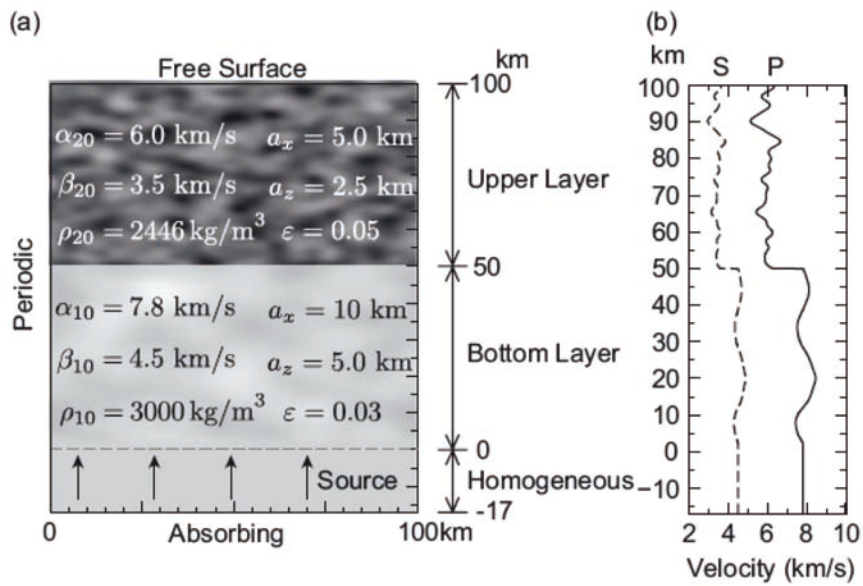


図 1. (上) ガウス型パワースペクトルを持つ 2 次元非等方ランダム不均質構造へ下部からパルス型平面 P 波が入射. (下) 自由表面における上下・水平動成分の MS エンベロープ. 実線はマルコフ近似理論, 点線は差分法によるエンベロープ (Emoto et al., 2012).

Toyota evt110320_2101
Hypocentral distance = 168km

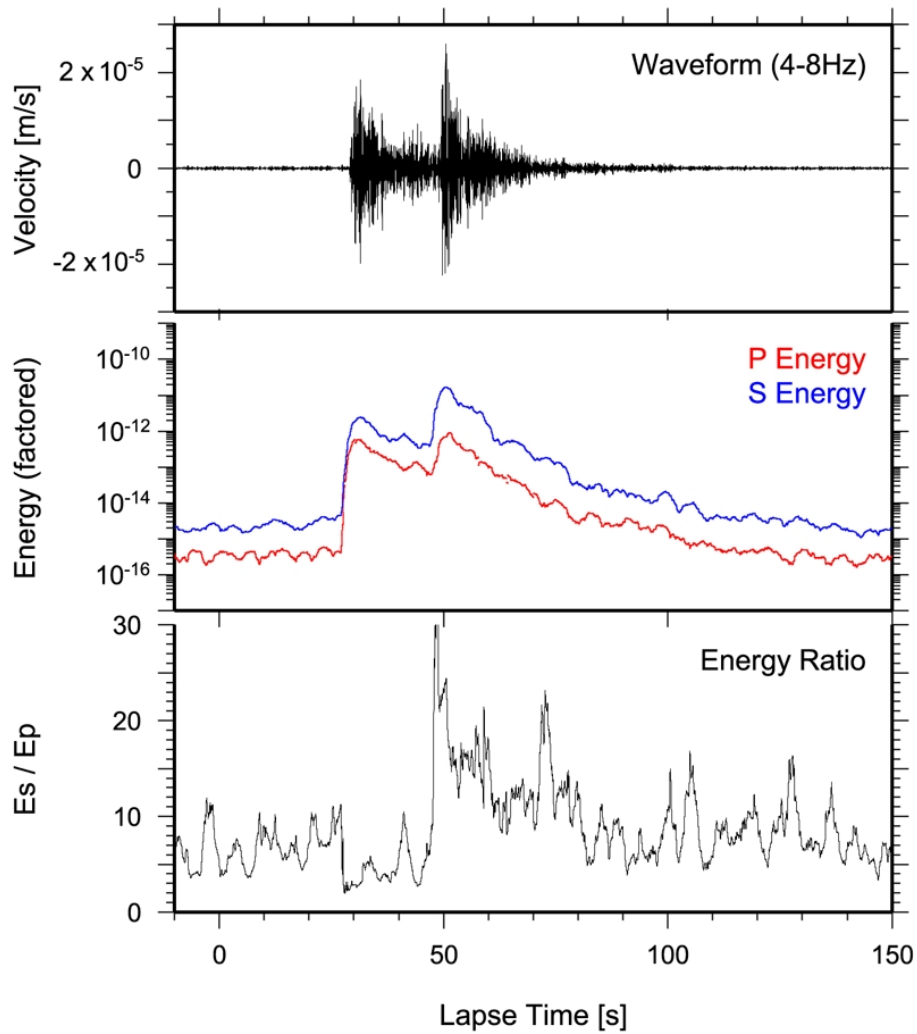


図2. 非火山地域におけるモード分離・エネルギー等分配成立過程の観測例. 非火山地域 (愛知県・豊田市) において小規模地震計アレイ観測を行い, エネルギー等分配成立過程の観測的実証を行った. その結果一般的な地殻構造では変換散乱係数は火山地域に比べ約 1/50 程度であることが明らかになった.

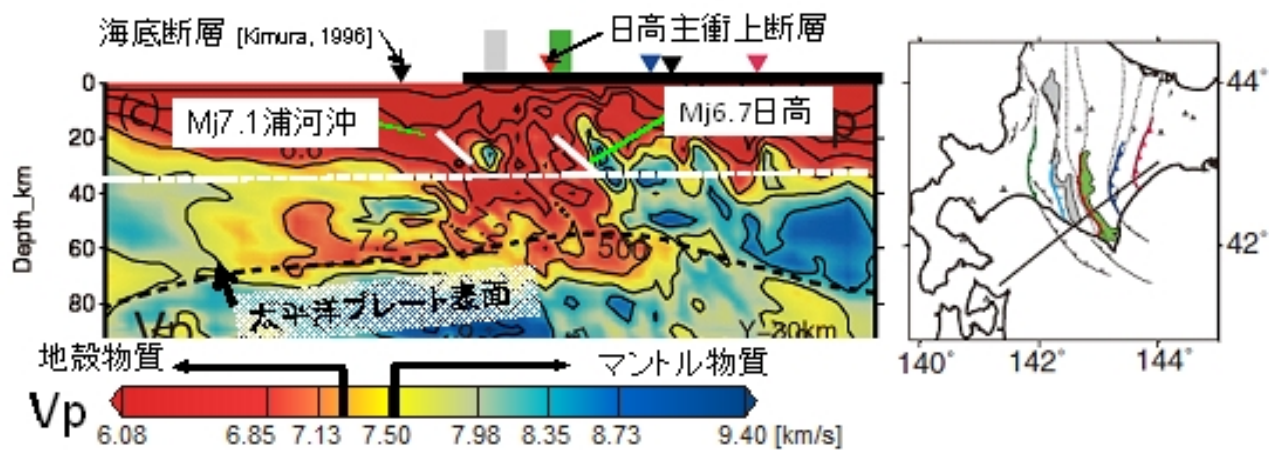


図3. 合同観測データも用いて推定された北海道島弧会合部のP波速度構造。(a) 断面図。白線は本研究による1970年日高山脈南部地震のメカニズム解から推定される断層面の位置と、森谷ほか[1983]による1982年浦河沖地震の断層面の位置を示す。印は地質境界もしくは衝上断層の位置を示す。日高変成帯および神威古潭帯の位置を緑線および黒線で示す。白点線および黒点線はモホ面および太平洋プレート表面の位置。

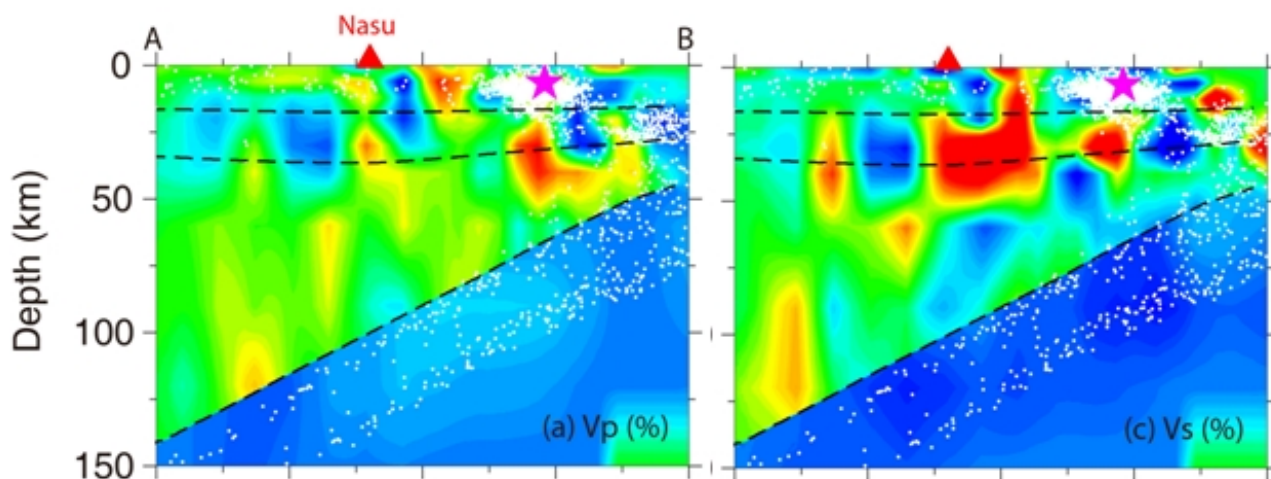


図4. 2011年4月11日福島県浜通の地震(紫星)の震源域を通る島弧横断方向の鉛直断面図。(a) P波, (b) S波速度構造