

様式 6

平成 17 年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)

1. 研究種目名 特定共同研究(B) 2. 課題番号 2003-B-04
3. 研究課題(集会)名 和文：リソスフェアの短波長不均質構造の物理的解釈
英文：Toward the physical interpretation of small-scale inhomogeneous structure of the lithosphere
4. 研究期間 平成 17 年 4 月 1 日 ~ 平成 18 年 3 月 31 日
5. 研究場所 東京大学地震研究所および各研究分担者の所属機関
6. 研究代表者所属・氏名 茨城大学 河原 純
(地震研究所担当教員名) 山下輝夫
7. 共同研究者・参加者名(別紙可)
別紙 1 参照。
8. 研究実績報告(成果)(別紙にて約 1,000 字 A4 版(縦長)横書)(別紙に作成)
別紙 2 参照。

- 10・成果公表の方法(投稿予定の論文タイトル、雑誌名、学会講演、談話会、広報等)
別紙 3 参照。

- 備考
- ・研究成果を論文等で発表される場合、以下の形式の文章を謝辞等に記載して下さい。
(英語)This study was supported by the Earthquake Research Institute cooperative research program.
(和文)本研究は、東京大学地震研究所共同研究プログラムの援助を受けました。
 - ・特定共同研究 B については、プロジェクト終了年度に冊子による報告書の提出が必要です。
 - ・研究成果について、本所の談話会、セミナー、「広報」での発表を歓迎いたします。

(別紙1) 7. 共同研究者・参加者名

共同研究者名	所属・職名	備考
河原 純	茨城大学理学部・講師	研究代表者
山下輝夫	東京大学地震研究所・教授	地震研究所担当教官
蓬田 清	北海道大学大学院理学研究科・教授	
村井芳夫	同・助手	
小菅正裕	弘前大学理工学部・助教授	
佐藤春夫	東北大学大学院理学研究科・教授	
中原 恒	同・助手	
前田拓人	同・大学院生	
高橋 努	同・大学院生	
高木伸昌	同上・大学院生	
後藤暢哉	茨城大学大学院理工学研究科・大学院生	
齋藤竜彦	産業技術総合研究所・日本学術振興会特別研究員	
小原一成	防災科学技術研究所・主任研究員	
浅野陽一	同・任期付研究員	
古村孝志	東京大学地震研究所・助教授	
吉本和生	横浜市立大学大学院国際総合科学研究科・準教授	
西上欽也	京都大学防災研究所・助教授	
宮澤理稔	同・助手	
笥 楽磨	神戸大学理学部・助手	
西條裕介	神戸大学大学院自然科学研究科・大学院生	
松本 聡	九州大学大学院理学研究院・助教授	

(別紙2) 8. 研究実績報告 (成果)

本年度、本課題では次のような副課題を設けて、主として各所属機関における個別研究として推進した。(1) 現実の地球内部構造に相応しい非一様・非等方不均質構造モデルの検討と、それによるエンベロープ形成や散乱の素過程の理論的・実験的研究。(2) 散乱波の周波数・方位角依存性の測定技術や、散乱体の非一様・非等方分布構造の推定法の開発・改良。(3) Hi-netなどのデータの利用による日本列島の不均質構造のマッピングとそのテクトニックな解釈。(4) 震源域近傍の不均質構造の詳細な推定と、その結果と震源過程との関連の解明。(5) 不均質構造を説明する試験的物理モデルの導入とその妥当性の検討、およびモデルパラメータの取り得る範囲を推定する試み。

個別の研究成果の発表と議論を行い、課題全体としての研究を深化させることを目的に、平成18年1月12日および13日に地震研究所第2会議室において研究集会を開催した。集会では内外から多数の参加者があり、24件の研究発表があった。その概要を以下に述べる。まず(1)については、亀裂密集領域や異方性ランダム媒質などの、現実のリソスフェアを意識した不均質構造モデルの波動伝播特性の研究、および全または半無限ランダム媒質中の3次元弾性波エンベロープの理論的合成に関する研究が報告された。(2)については、コーダ波エネルギーから内部減衰係数(Q_i 値)の空間分布を求める手法、雑微動記録の相互相関解析に基づくレイリー波群速度の“速度構造”のトモグラフィ、S波エンベロープのピーク遅延時間データを用いたリソスフェアのS波速度揺らぎのトモグラフィ、決定論的な走時トモグラフィと確率論的な走時残差解析の融合を目指す試みなど、様々なインバージョンの新手法が提案され、かつ応用例が示された。なお、雑微動の相互相関解析は近年その有効性が広く知られるようになったが、1次元問題についてその有効性を証明する理論的研究も報告された。さらに、アレイ地震記録のウェーブレット変換処理によって、個々の散乱体からのコヒーレントな散乱波を検出する方法が提案された。この方法は、散乱波の素性(反射波的回折波等)に関しても一定の情報を与えるので、散乱体の物理的実体を推定するための有効な手段になるかも知れない。(3)については、K-NETやHi-net等のデータを用いた東北地方および近畿地方の減衰構造の推定結果が報告された。(4)については、2004年新潟県中越地震や2005年福岡県西方沖地震の震源断層近傍域の散乱体のマッピングや、S波偏光異方性解析による断層破碎帯内の亀裂分布の推定結果が報告された。(5)については、深発地震記録に基づくフォワードモデリングによるプレート内部のラミナ構造の推定や、(2)で求められた減衰構造の物理的実体をテクトニックな議論に基づき推定する試みが報告された。また、地熱地帯における人工地下亀裂の形状や内部状態をS波偏光異方性や亀裂波(亀裂面に沿う界面波)の観測から推定する試みが紹介された。さらに、月震記録に基づくフォワードモデリングにより月の浅部不均質構造を推定する惑星科学的研究も紹介された。上記の諸発表に加え、地下の不均質性の非一様に由来すると考えられる地震波エンベロープの振幅・半値幅異常の精査や、遠地地震のコーダ波エンベロープが指数関数形よりも冪乗則に従うという新たな報告、2004年スマトラ沖地震により生じたレイリー波によって励起された深部低周波微動が流体起源であることの地震学的証拠、ACROSSアレイを用いたプレート間反射波検出の試みなど、多彩でかつ独創的な研究が紹介された。発表後には活発な質疑応答も行われ、非常に有意義な研究会であった。

今年度は本課題の最終年度にあたり、本課題の最終目標である副課題(4)、およびそのための

解析手法の開発に関する副課題(2)について、特に活発な研究発表がおこなわれたことが大きな特徴である。本課題の過去3か年の実施期間においても、新しい観点に基づく不均質構造の推定手法が多数提案された。そのうちのいくつかは、物理的実体の解明に大きく踏み込む可能性を持つと考えられる。今後、これらの萌芽的研究が順調に育ち、リソスフェアの短波長不均質構造の物理的実体の解明に大きく寄与することが期待される。

● 投稿論文

- Iidaka, T., T. Iwasaki, and K. Yoshimoto, Nontransparent uppermost mantle in the island-arc region of Japan, *Tectonophysics*, in press, 2006.
- Korn, M. and H. Sato, Synthesis of plane vector wave envelopes in two-dimensional random elastic media based on the Markov approximation and comparison with finite-difference simulations, *Geophys. J. Int.*, 161, 839-848, 2005.
- Lee, W. S. and H. Sato, Power-law decay characteristic of coda envelopes revealed from the analysis of regional earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 2006.
- Lee, W. S., H. Sato and K. Lee, Scattering coefficients in the mantle revealed from the seismogram envelope analysis based on the multiple isotropic scattering model, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 241, 888-900, 2006.
- Maeda, T., H. Sato, and M. Ohtake, Constituents of Vertical-Component Coda Waves at Long Periods, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-005-0031-9, in press, 2006.
- Miyazawa, M., I. Nakanishi, Y. Sudo, and T. Ohkura, Dynamic response of frequent tremors at Aso volcano to teleseismic waves from the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 147, 173-186, 2005.
- Miyazawa, M., and I. Nakanishi, Scattering of waves in elastic media containing passive and active cracks, *Geophys. J. Int.*, in press, 2006.
- Miyazawa, M., and J. Mori, Evidence suggesting fluid flow beneath Japan due to periodic seismic triggering from the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L05303, doi:10.1029/2005GL025087. 2006.
- Murai, Y., Scattering attenuation and dispersion of SH waves in 2-D elastic media with densely distributed cracks, *Geophys. J. Int.*, submitted, 2005.
- Nakahara, H, Theoretical background of retrieving the Green's function by cross correlation: One-dimensional case, *Geophys. J. Int.*, accepted, 2006.
- Nishimura, T., S. Tanaka, T. Yamawaki, H. Yamamoto, T. Sano, M. Sato, H. Nakahara, N. Uchida, S. Hori, and H. Sato, Temporal changes in seismic velocity of the crust around Iwate volcano, Japan, as inferred from analyses of repeated active seismic experiment data from 1998 to 2003, *Earth Planets Space*, 57, 491-505, 2005.
- Saito, T., Synthesis of scalar-wave envelopes in 2-D weakly anisotropic random media by using the Markov approximation, *Geophys. J. Int.*, in press, 2006.
- Saito, T., Velocity shift in 2-D anisotropic random media using the Rytov method, *Geophys. J. Int.*, in press, 2006.
- Sato, H., Synthesis of vector-wave envelopes in 3-D random elastic media characterized by a Gaussian autocorrelation function based on the Markov approximation I: Plane wave case, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, in press, 2006.
- Sato, H., and M. C. Fehler, Synthesis of Seismogram Envelopes in Heterogeneous Media, in "Wave Propagation in Heterogeneous Earth" (Eds. R. S. Wu and V.

- Maupin), Elsevier, in press, 2006.
- Shiomi, K., K. Obara, and H. Sato, Moho depth variation beneath southwestern Japan revealed from the velocity structure based on receiver function inversion, *Tectonophysics*, in press, 2006.
- Suzuki, Y., J. Kawahara, T. Okamoto, and K. Miyashita, Simulations of SH wave scattering due to cracks by the 2-D finite difference method. *Earth Planets Space*, in press, 2006.
- Taira, T., and K. Yomogida, 2-D heterogeneous structure in eastern Hokkaido inferred from S-wave coda amplification factors, *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.*, 69, 113-122, 2006.
- Taira, T., and K. Yomogida, Imaging of crustal heterogeneous structures using a slowness-weighted migration with effects of scattering modes I: Theory, *J. Geophys. Res.*, submitted, 2006.
- Taira, T., K. Yomogida, Y. Kuwahara, K. Imanishi, and H. Ito, Imaging of crustal heterogeneous structures using a slowness-weighted migration with effects of scattering modes II: Application to the Nagamachi-Rifu fault, Japan, area, *J. Geophys. Res.*, submitted, 2006.
- Taira, T., K. Yomogida, Y. Kuwahara, K. Imanishi and H. Ito, Characteristics of high-frequency seismic scatters as inferred from new parameterization, *Geophys. J. Int.*, submitted, 2006.
- Takahashi T., H. Sato, K. Ohtake and K. Obara, Scale dependence of apparent stress for earthquakes along the subducting Pacific plate in northeastern Honshu, Japan, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 95, doi: 10.1785/012004075, 2005.
- Yoshimoto, K., U. Wegler, and M. Korn, A volcanic front as a boundary of seismic attenuation structures in northeastern Honshu, Japan, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, in press, 2006.

● 学会講演

- 小菅正裕・黒滝優里, 東北日本弧で観測される地震波振幅異常の周波数依存性, 日本地震学会 2005 年度秋季大会, P068, 札幌, 2005 年 10 月.
- Kubanza M., T. Nishimura and H. Sato, Characteristics of lithospheric structure beneath the Eurasian continent as inferred from the analysis of teleseismic P-coda, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S053-e-41, 千葉, 2005 年 5 月.
- Kubanza M., T. Nishimura, and H. Sato, Characteristics of lithospheric structure beneath the Eurasian continent as inferred from the analysis of teleseismic P-coda, 21COE International Symposium 2005 Spatial and Temporal Fluctuations in the Solid Earth - Clues to the Future of Our Planet -, Sp-03, P106-109, Sendai, Japan, July 2005.
- Kubanza M., T. Nishimura and H. Sato, Transverse amplitudes of teleseismic P-coda in the Eurasian continent and western Pacific, The 25th Symposium on Polar Geosciences, P27-28, Tokyo, Oct. 2005.
- Kubanza M., T. Nishimura, and H. Sato, Spatial distribution of medium heterogeneity beneath Eurasian continent and Western Pacific as revealed from teleseismic P-coda, AGU, S51A-0981, 2005 Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 2005.

- Kubanza, M., T. Nishimura, and H. Sato, Spatial variation in transverse amplitude of teleseismic P-coda in the Eurasian continent and western Pacific, 日本地震学会 2005 年度秋季大会, B027, 札幌, 2005 年 10 月.
- Lee, W. S., and H. Sato, Power-law decay characteristic of coda envelopes revealed from the analysis of regional earthquakes, AGU 2005 Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 2005.
- Lee, W. S. and H. Sato, Mantle heterogeneity revealed from S-coda envelope analysis, IASPEI 2005 General Assembly, Santiago, Chile, Oct. 2005.
- Maeda, T., H. Sato, and T. Nishimura, Conversion scattering between body and Rayleigh waves in randomly inhomogeneous elastic media in a half space, 21COE International Symposium 2005 Spatial and Temporal Fluctuations in the Solid Earth - Clues to the Future of Our Planet -, Sendai, Japan, July 2005.
- 前田拓人・佐藤春夫・西村太志, 半無限ランダム不均質構造におけるベクトル弾性散乱波エンベロープの理論合成, 日本地震学会 2005 年度秋季大会, 札幌, 2005 年 10 月.
- Maeda, T., H. Sato, and T. Nishimura, Conversion scattering between body and Rayleigh waves in randomly inhomogeneous elastic media in a half space, IASPEI General Assembly 2005, Santiago, Chile, Oct. 2005.
- 中原 恒, 2004 年 10 月 23 日新潟県中越地震 (Mw6.6) の高周波エンベロープインバージョン解析, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 千葉, 2005 年 5 月.
- 中原恒, エンベロープ・インバージョン解析により明らかになった高周波地震波エネルギー輻射の統計的特徴, 日本地震学会 2005 年秋期大会, 札幌, 2005 年 10 月.
- 中原恒, 波動場の 2 点相関関数からグリーン関数が求められるのはなぜか? 1 次元問題に対する証明, 日本地震学会 2005 年秋期大会, 札幌, 2005 年 10 月.
- 中原恒・澤崎郁, 2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震 (M7.2) の高周波エンベロープ・インバージョン解析(序報), 日本地震学会 2005 年秋期大会, 札幌, 2005 年 10 月.
- 中原恒・澤崎郁・西村太志・佐藤春夫・藤原広行, 震源域近傍の強震計アレイにより記録された 2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震 (M7.2), 日本地震学会 2005 年秋季大会, 札幌, 2005 年 10 月.
- 齊藤竜彦・西澤修・横田俊之, 決定論的・確率論的地震波走時解析による地下不均質構造の推定 - クロスウェルトモグラフィへの適用例 -, 日本地震学会 2005 年度秋季大会, B028, 札幌, 2005 年 10 月.
- 佐藤春夫, 統計的波線経路法に基づく 2 次元ランダム弾性媒質におけるエンベロープの導出, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S047, 千葉, 2005 年 5 月.
- Sato, H., Vector-wave envelope synthesis in 2-D random elastic media based on the stochastic ray-path method, 21COE International Symposium 2005 Spatial and Temporal Fluctuations in the Solid Earth - Clues to the Future of Our Planet -, Vp-01, Sendai, Japan, July 2005.
- Sato, H., Envelope synthesis of vector-waves in 3-D random elastic media characterized by Gaussian spectra based on the Markov approximation, IASPEI General Assembly, Santiago, Chile, Oct. 2005.
- Sato, H., Lithospheric heterogeneity revealed from seismogram envelope analysis, SEG Post-Convention Workshop W-9 in honor and memory of Professor Keiiti Aki, Houston,

USA, Nov. 2005.

高木伸昌・佐藤春夫・西村太志, 雑微動の遠距離相互相関解析による地震波伝播特性の抽出, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S053-012, 千葉, 2005 年 5 月.

高木伸昌・佐藤春夫・西村太志・小原一成, 雑微動の相互相関解析によるレイリー波群速度の推定, 日本地震学会 2005 年秋季大会, B031, 札幌, 2005 年 10 月.

Takagi N., H. Sato, and T. Nishimura, Group velocity of Rayleigh waves revealed from the cross-correlation analysis of ambient seismic noise, 21COE International Symposium 2005 Spatial and Temporal Fluctuations in the Solid Earth - Clues to the Future of Our Planet -, Sp-04, Sendai, Japan, July. 2005.

Takagi N., H. Sato, T. Nishimura, and K. Obara, Group velocity measurement of Rayleigh and Love waves in northeastern Japan on the basis of the cross-correlation analysis of microseisms, AGU, S31A-0281, 2005 Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 2005.

高橋努・佐藤春夫・西村太志・小原一成, 高周波数 S 波エンベロープ最大振幅到達遅延時間のインバージョン解析- 東日本における地下不均質構造の推定-, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S053-P020, 千葉, 2005 年 5 月.

Takahashi T., H. Sato, T. Nishimura, and K. Obara, Random velocity fluctuation beneath Quaternary volcanoes in eastern Japan, revealed from the peak delay time analysis of high-frequency S-wave envelopes, 21COE International Symposium 2005 Spatial and Temporal Fluctuations in the Solid Earth - Clues to the Future of Our Planet -, Vp-01, Sendai, Japan, July 2005.

Takahashi T., H. Sato, T. Nishimura and K. Obara, Spectral structure of velocity inhomogeneity beneath eastern Honshu, Japan revealed from the stochastic inversion analysis of S-wave envelopes, IASPEI general assembly 2005, Santiago, Chile, Oct. 2005.

高橋努・佐藤春夫・西村太志・小原一成, 高周波数 S 波エンベロープ最大振幅到達遅延時間のインバージョン解析から推定された東日本におけるランダム速度不均質構造, 日本地震学会 2005 年秋季大会, B008, 札幌, 2005 年 10 月.

蓬田清・平貴昭, 微細不均質性の物性量の推定: スペクトログラムの新しいパラメータ化によるイメージング, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S053-018, 千葉, 2005 年 5 月.

蓬田清, 複素 wavelet 解析を用いたアレイ地震記録における coherent な散乱波の検出法, 日本地震学会 2005 年度秋季大会, 札幌, 2005 年 10 月.

吉本和生, 日本における S コーダ波エネルギーの非一様分布の特徴. 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 千葉, 2005 年 5 月.

Yoshimoto, K. Nonuniform spatial distribution of S-coda-wave energy in Japan, IASPEI general assembly 2005, Santiago, Chile, Oct. 2005.

吉本和生・飯高隆, 不均一な減衰媒質中における震源位置とコーダ波エネルギーの時間空間分の関係, 日本地震学会 2005 年度秋季大会, 札幌, 2005 年 10 月.