

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22740289

研究課題名（和文） 地震以外の“揺れ”を使って地球内部構造の時間変化を探る

研究課題名（英文） Detection of temporal changes of Earth' s internal structure using seismic interferometry

研究代表者

西田 究 (NISHIDA KIWAMU)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：10345176

研究成果の概要（和文）：

USArray, F-net, IRIS, ORFEUS の広帯域地震計データの大量のデータを用いることにより、グローバルに伝播する実体波の抽出に成功した。今後速度構造の時間変化を研究する上でも重要な知見である。

海底地震計の自己相関により、東北地方太平洋沖地震に伴う S 波速度の低下およびその後の回復、また異方性の時間変化を検出した。浅部の堆積層内が地震時に強く揺すられた事により、これらの現象を説明することが出来る。

防災科学研究所の V-net 観測点(岩手山)の上下アレーデータを用いて相互相関解析をしたところ、地震にともなう速度の低下と、それに続く地震波速度の回復を検出した。

研究成果の概要（英文）：

We succeeded in extraction of global body-wave propagation by cross-correlating ambient noise wave field.

Using autocorrelation analysis of ocean bottom seismometers, we detected temporal changes of s wave speeds and the azimuthal anisotropy in the shallow sedimentary layer. The changes can be explained by strong motion in the layer when the grate Tohoku earthquake in 2011. We also detected the temporal changes by cross correlation analysis of V-net data deployed by NIED.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：固体地球惑星物理学

科研費の分科・細目：地震学

キーワード：地震波速度構造, 地震波干渉法, 表面波

1. 研究開始当初の背景

地球内部で起こる現象のダイナミクスを

考える上で、速度構造の時間変化を捉える事は非常に重要である。実際に地下構造の時間変化を求めようとする場合、コントロールソ

ースを用いて繰り返し地震波トモグラフィを繰り返す事が想的である。しかし多くの場合現実的ではない。一方自然地震を使う場合、震源の不確実性や震源分布の偏りなどに起因する不確実性が速度構造の不確実性を引き起こす。そのため、たとえ時間変化が見かけ上見えたとしても、それはただのノイズなのか本当の速度変化なのか判然としがたい。

一方近年、イベントを使わず地震のノイズ記録やコーダ波を用いて地下構造及びその時間変化を求める研究が流行の兆しを見せている(地震波干渉法:たとえば *Snieder et al., 2004; Brenguier et al., 2008a, 2008b*)。地震ノイズ記録から地下構造の情報を抽出する研究は 1950 年代にさかのぼり(*Aki, 1957*)、その原理は、地震波が統計的にランダムに励起されていると仮定すると、観測点 A と B の記録の相互相関関数が、観測点 A(B)を震源として B(A)を観測点としたときの記録になるというものである。

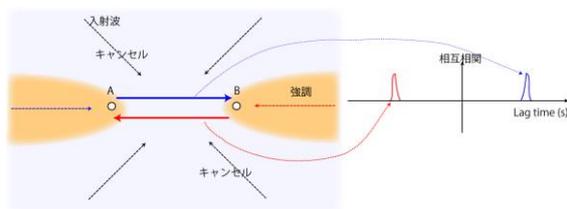


図 1 模式図。

地震波干渉法は、地下構造の時間変化を検出するのに非常に有効な方法である。なぜなら、最も単純な例を考えると、2 点で地震観測をして(図 1 中 A,B)、その記録の相互相関関数の変化を見続ければその 2 点間の局在化された構造変化を時々刻々モニターすることができるからである。地震波干渉法によって見える速度変化は 2 点間のどこの速度変化なのか、速度変化以外の変化を検出することができるのか、など地震波干渉法の理論そのものはまだまだ詰めるべきところがたくさんある。

これまでに、申請者を含むグループでは大きく分けて二つの種類の解析手法を開発した:(1)脈動による構造推定(表面波に対応: *Nishida et al., 2008*),(2)コーダ波を用いた構造推定(実体波に対応: *Tonegawa et al., 2008*)。これらの手法は既に全マントルスケール(*Nishida et al., 2009*)、から日本列島スケール(*Nishida et al., 2008; Tonegawa et al., 2009*)、そして浅間の山体スケール(*Nagaoka et al., 2008*)という、幅広いスケールの現象に適応されている。

2. 研究の目的: 速度構造の時間変化の検出

このような観点から、日本列島に展開されたネットワークによる連続波形データを用いた速度構造の時間変化の検出を目指す。将来的に観測へのフィードバックできれば、地震学において新たな研究の柱になりうると考えている。具体的には以下に示す 2 つのスケールの構造の時間変化の検出を目指す。

(1) 日本列島の地下構造の時間変化

日本列島には *Hi-net* や *J-array* といった高感度かつ空間的に高密度な地震観測網が存在する。*Nishida et al.* は *Hi-net* 傾斜計の脈動記録を用いて日本列島下の地殻の S 波速度構造を決定した。図 2 右に半年間のデータを用いたインバージョンの結果を示した。また *Tonegawa et al. (2009)* は、*Hi-net* 傾斜計データを用いて東海地方に沈み込むフィリピン海プレートのスラブの形状の詳細を明らかにした。

日本列島に存在するこれらの豊富なデータは、地震波干渉法により詳細な地下構造をもたらしてくれるが、それだけでなく、波動場を時々刻々モニタリングすることにより、たとえば地震発生にともなう応力変化や断層の破碎などともなう地下構造の時間変化を検出し、地震発生メカニズムの理解に資することができる可能性がある。例えば図 2 右で示した構造は半年間のデータを用いた結果であり、時間変化の検出可能性を示唆している。

3. 研究の方法

日本には多くの地震観測点が展開されている。日本列島スケールでは、観測期間を考え *F-net, Jarray* の連続データを用いて、地殻構造を推定し、その時間変化の検出を目指す。また首都直下プロジェクトの関東に展開されたデータを用いて、関東平野堆積層の速度構造の時間変化の検出を目指す。

構造の時間変化を検出するためには解析手法の高度化も不可欠である。特に波浪源の時間変化は、見かけの構造の時間変化を作り出してしまふ。しかしその評価方法は、未だに確立されていない。そのため本研究では、励起源の偏りを補正する手法を開発し、より高精度に速度構造の評価を目指す。

4. 研究成果

手法開発: 地震波干渉法による実体波の抽出

これまで地震波干渉法では、主にランダムに伝播する表面波の情報が用いられてきた。地震波速度構造の深さ方向の解像度を改善するためには、実体波の情報が非常に重要である。しかし実体波のシグナルの大きさは表面波に比べ小さいために、その抽出は難しかった。本研究では、USArray, F-net, IRIS, ORFEUS の広帯域地震計データの大量のデータを用いることにより、グローバルに伝播する実体波の抽出に成功した。今後速度構造の時間変化を研究する上でも重要な知見である。

東北地方太平洋沖地震による速度構造の時間変化

(1)2011年東北地方太平洋沖地震によるテクトニックな応力状態変化を反映した、S波速度異方性構造の時間変化検出を試みた。手法としてはS波スプリッティングの解析を用い、福島付近の領域に注目した。スプリッティングの測定には地殻内の地震を用いた。その結果、本震直後に異方性が強くなり、4/11の福島で発生した地震時に異方性が弱まることが明らかとなった。異方性は領域内の平均的な応力場を反映していると考えられ、地震(本震、4/11の余震)によって引き起こされた応力変化とも調和的な結果である。

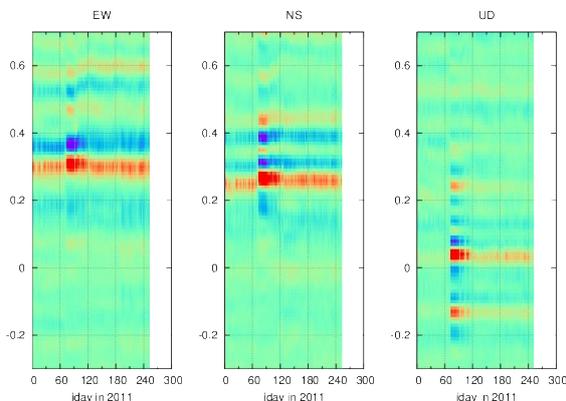


図 2 相互相関関数の時間変化。70 日(3/11)に走時が遅れている様子が見て取れる。

(2)自己相関解析による異方性時間変化の検出(日本海溝の OUTER-LIKE 領域): 海底地震計の自己相関により、東北地方太平洋沖地震に伴う S 波速度の低下およびその後の回復、また異方性の時間変化を検出した。浅部の堆積層内が地震時に強く揺すられた事により、これらの現象を説明することが出来る。

(3)鉛直アレーを用いた解析(岩手山): 防災科学研究所の V-net 観測点(岩手山)の上下

アレーデータを用いて相互相関解析をしたところ、地震にともなう速度の低下と、それに続く地震波速度の回復を検出した。

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 8 件)

① Y. Nagaoka, K. Nishida, Y. Aoki and M. Takeo, Temporal change of phase velocity beneath Mt. Asama, Japan, inferred from coda wave interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, 37,2011, L22311

② K.Nishida, Two-dimensional sensitivity kernels for cross-correlation functions of background surface waves, *Comptes rendus Geoscience*, 2011

③ K. Nishida and K. Shiomi, Enigmatic very low-frequency tremors beneath the Shonai plain in northeastern Japan, *J. Geoph. Res.*, VOL. 117, B11302, 11 PP., doi:10.1029/2012JB009258, 2012.

④ T. Tonegawa, Y. Fukao, K. Nishida, H. Sugioka, and A. Ito, A temporal change of shear wave anisotropy within the marine sedimentary layer associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *J. Geophys. Res.*, 118, 2013, 607-615.

⑤ K. Nishida, Earth's background free oscillations, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 41, 2013, in press.

⑥ K. Nishida, Global propagation of body waves revealed by cross-correlation analysis of seismic hum, *Geophys. Res. Lett.*, 2013, in press.

⑦ K. Nishida, Earth's background free oscillations, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 41,doi:10.1146/annurev-earth-050212-124020, in press, 2013.

[学会発表] (計 6 件)

① K. Nishida,Two-dimensional sensitivity kernels for cross-correlation functions of background surface waves, AGU Fall Meeting, 20010/12, San Francisco.

② 西田 究, 藤田 希子, 高橋 成実, 利根川 貴志, 深尾 良夫 地震波干渉法による DONET 観測データの解析, 日本地球惑星科

学連合大会, 2012年5月23日, 千葉

③ K. Nishida, Global propagation of body waves revealed by seismic interferometry, 2nd Neustadt Workshop on Noise and Diffuse Wavefields, 2012/11/11-14, Neustadt Germany.

[その他]

ホームページ等

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/knishida>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西田 究 (Nishida Kiwamu)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号: 10345176

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし