

( 1 ) 実施機関名：

東北大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

常時微動や後続波を用いた地下構造モニタリング法の研究

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

( 1 ) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ア．日本列島域

( 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

ウ．広域の地殻構造と地殻流体の分布

( 3 ) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

( 3-1 ) 地震発生先行過程

ア．観測データによる先行現象の評価

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

近年、地震波動場の相関を利用して、受動的に地下構造を推定し、その時間変化をモニターする手法がいくつか提案されている。相関を利用するこれらの手法は地震波干渉法と呼ばれるが、手法の適用限界や精度については、まだ明らかではない点がある。そこでまず、原理について理論的考察や数値計算により検討するとともに、既往の手法の適用限界や精度について整理する。続いて、検討結果に基づき、精度や安定性に優れた手法を選びだす。その際、問題点があれば適宜手法を改良する。選ばれた手法に基づいて地下構造の時間変化を検出する解析システムを構築し、実際のデータへ適用することにより地下構造のモニタリングを行うことを最終的な到達目標とする。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は、これまでに提案されている常時微動や地震記録の後続波の相互相関を利用した受動的モニタリング手法を調査し、適用限界や精度について整理する。また理論的考察や数値計算に基づき手法の原理についての理解を深める。

平成 22 年度は、平成 21 年度の検討結果に基づき、精度や安定性に優れた手法を選びだし、問題点があれば適宜改良する。このようにして、選ばれた手法に基づいて地下構造の時間変化を検出する解析システムを構築する。

平成 23 - 25 年度は、解析システムを実際のデータへ適用することにより地下構造のモニタリングを行う。特に大地震や火山噴火などの発生が予想されている地域に重点をおき、それらのイベントの発生に伴う地下構造の変化について調査・検討する。その際、長期の変化の傾向を把握することが重要であるので、リアルタイムのデータだけでなく、過去のデータを利用した調査も実施する予定である。

( 7 ) 平成 23 年度成果の概要 :

今年度は計画していた課題を予定通り実施した。以下に成果の概要をまとめる。

(a) 受動的モニタリングシステムの実データへの適用

2005 年福岡県西方沖地震の震源域において地下構造のモニタリングを行った。震源域から 50km 以内にある防災科研 Hi-net, F-net の 7 観測点における 2003 年から 2010 年の連続波形記録を用いて、0.1-0.5Hz 帯域で微動の 2 観測点間の相互相関を計算した。本震発生の前後の短期間だけでなく、8 年間にわたる長期間の解析を行った。その結果、地震波速度の時間変化には、年周的に変化する成分が含まれることが確認された。振幅は観測点間経路により異なるが、最大 ± 0.5 % 程度に達する。2005 年 3 月 20 日の本震発生に伴う地震波速度の変化は、この年周変化成分により隠され、現在のところ検出できていない。今後、年周変化成分とその他の成分を分離する手法について検討する必要がある。年周変化の原因は特定できていないが、微動の入射方向の季節変化によるみかけのもの、あるいは地下水位の季節変化などによる可能性が考えられる。

2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の震源域における海底地震計データを用いてモニタリングを行った。宮城県沖に設置されていた 14 観測点において、地震を挟む期間の連続波形記録を用いて、0.5-2Hz 帯域で微動の自己相関 (ACF) を計算した。その結果、地震を境にして、微動の ACF が変化したことを検出した。ACF の変化のラグタイム依存性を調べたところ、一様な速度低下を示すような変化と、特定の時刻において ACF の波形の相似性が低下することを発見した。これらから、一様な地震波速度低下と、局在化した場所での反射・散乱特性の変化が示唆される。この研究は、海底地震計の記録を用いた地震波干渉法により地下構造の時間変化を検出したおそらく初めての例である。

(b) 地震波干渉法についての理論的・数値的研究

多重散乱の影響を取り込んだ地震波干渉法の理論的証明について、前年度のスカラ波の場合を、弾性波の場合に拡張した。ファインマンダイアグラムを用いて散乱過程を表すと、光学定理を用いて複数の項 (spurious terms) が相殺することを示すことが出来た。これは、高次散乱まで含めて、微動の相互相関関数からグリーン関数を得ることができることを意味する。さらにこれを一般化し、微動の相互相関関数からグリーン関数を得ることと波動の散乱過程が光学定理を満たすこととが等価であることを証明することができた [Margerin and Sato, 2011]。この理論研究の成果は、微動源の分布に制限はあるものの、不均質構造に起因する散乱項を含んだグリーン関数を相互相関関数から得ることができることを保証するものである。

エネルギー等分配は地震波干渉法が厳密に成り立つための条件であるが、現実においてどの程度満たされているかは明らかではなかった。Nakahara and Margerin (2011) は、防災科研 KiK-net のボアホール観測記録を用いて、水平動と上下動への振動エネルギーの分配率を計算し、水平成層構造において実体波、表面波のエネルギー等分配を仮定した理論モデルと比較した。観測と理論との一致はよく、自然地震の S コーダ波においてエネルギー等分配が成立していると考えてもよいことが分かった。これは地震波干渉法を S コーダ波に適用してもよいことを示すものである。

( 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 ) :  
中条恒太, 海底常時微動の自己相関解析, 東北大学修士論文, 2012 .

Margerin, L. and H. Sato, Generalized optical theorems for the reconstruction of Green 's function of an inhomogeneous elastic medium, *J. Acous. Soc. Amer.*, 130, 3674-3690, doi:10.1121/1.3652856, 2011.

Nakahara, H., and L. Margerin, Testing equipartition for S-wave coda using borehole records of local earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 101, 2243-2251, 2011.

( 9 ) 平成 24 年度実施計画の概要 :

引き続き, Passive Image Interferometry 法に基づき地下構造の時間変化を検出する解析システムを用いて, データ解析を行う。また地震波干渉法に関する理解を深めるための基礎研究も並行して行う。

( 10 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

中原恒・松澤 暢・佐藤春夫・他

他機関との共同研究の有無 : 無

( 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 : 東北大学大学院理学研究科

電話 : 022-795-6533

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

URL : <http://www.zisin.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 : 中原恒

所属 : 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻固体地球物理学講座

電話 : 022-795-6533

FAX : 022-795-6783

e-mail : naka@zisin.gp.tohoku.ac.jp

# WKMFJI 0.1–0.5Hz

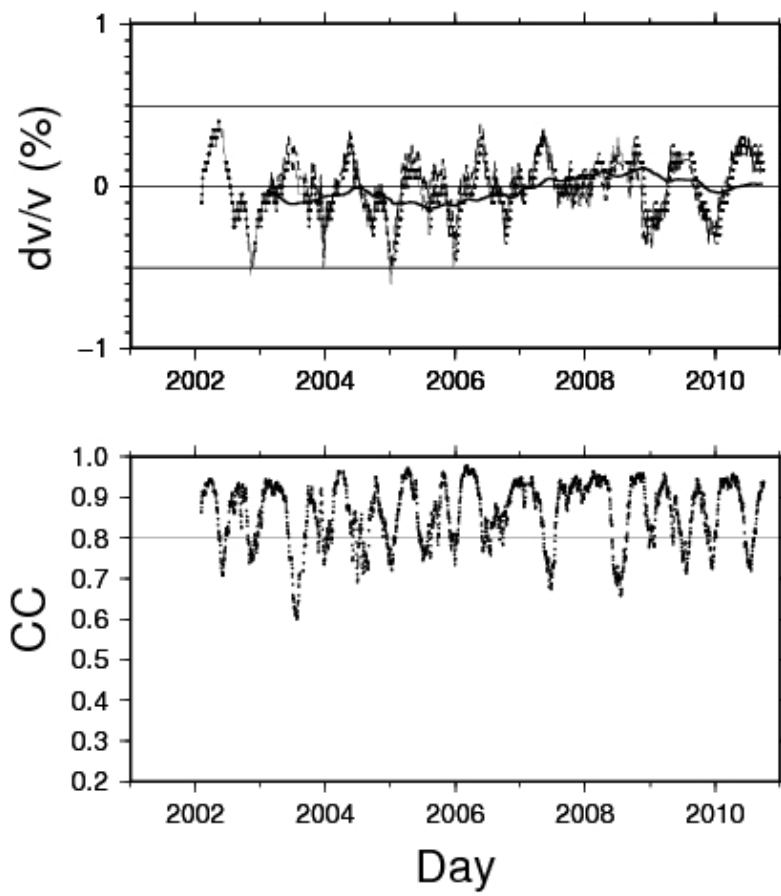


図1 地震波速度の年周変化の例 (WKM-FJI 観測点間)。

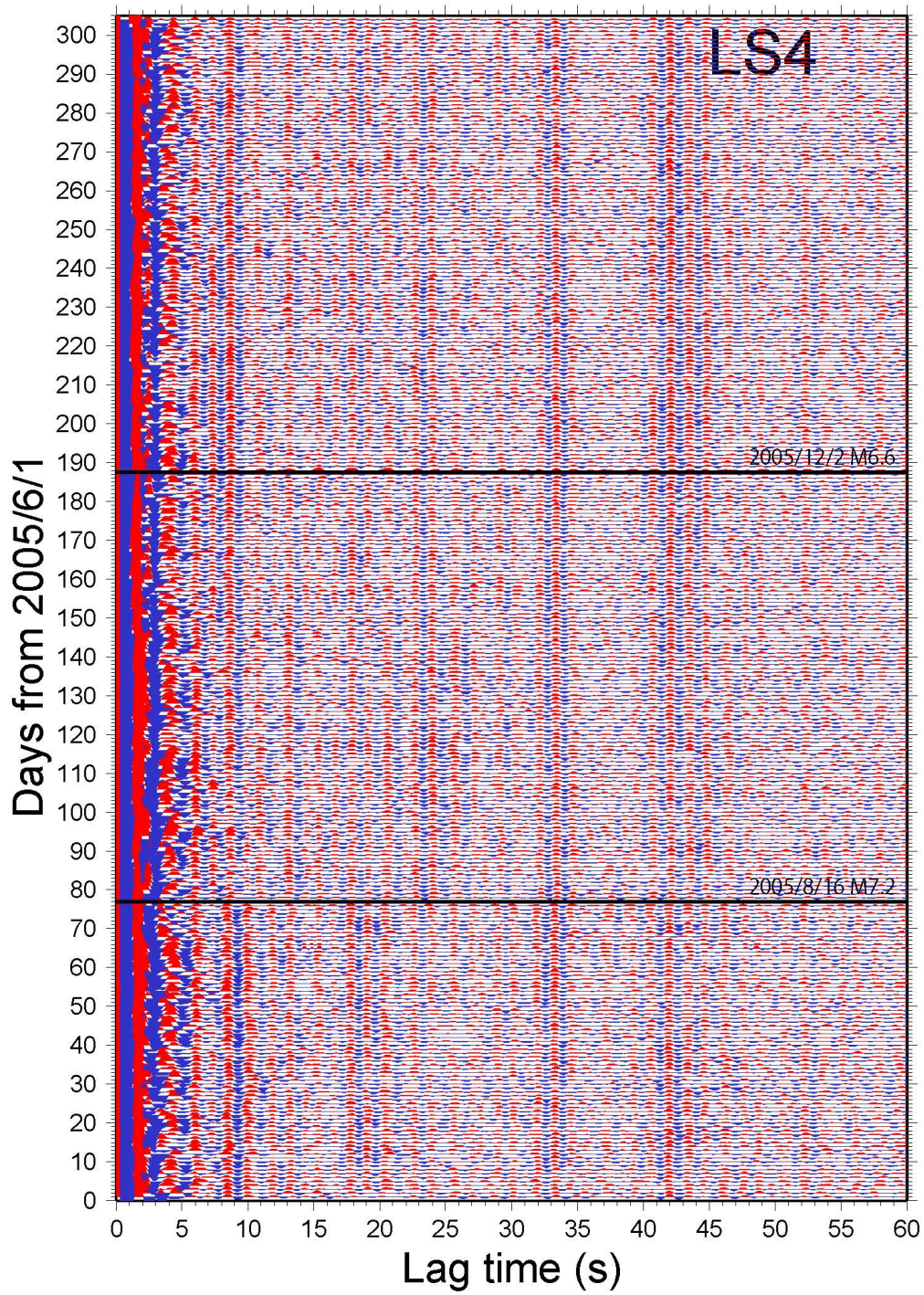


図2 OBS連続記録の自己相関により検出された2005年8月宮城県沖の地震に伴う時間変化(LS4観測点)。