

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：22701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540499

研究課題名(和文)低消費電力強震動観測システムの開発と地震波干渉法による大深度地盤構造の推定

研究課題名(英文)Development of a compact low-power-consumption strong motion observation system and investigation of the deep ground structures by using seismic interferometry

研究代表者

吉本 和生 (YOSHIMOTO, Kazuo)

横浜市立大学・その他の研究科・教授

研究者番号：10281966

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、小型・低消費電力の強震動観測システムの開発、地震波形データ取得のための地震観測、波形データの解析による関東平野の大深度地盤構造の推定、及び大規模な堆積盆地構造と長周期地震動の関係に関する以下の研究を実施した。乾電池で動作する小型・低消費電力の強震動観測システムを製作した。関東平野北東部の計11地点での臨時地震観測を実施した。地震波干渉法により地下構造の時間変化を検出した。地震波干渉法に基づいて近地震波形を解析し、地震基盤までの地盤構造を詳しく推定した。また、大深度地盤構造モデルを構築し、関東平野北部における長周期地震動(ラブ波)の励起の特徴の説明に成功した。

研究成果の概要(英文)：Our results of this study are summarized as follows: (1) We developed a compact low-power-consumption strong motion observation system, (2) We conducted temporal seismic observations at 11 sites in the northeastern Kanto Basin, (3) We detected temporal seismic velocity changes at shallow depths by seismic interferometry of coda waves from local earthquakes (4) We investigated the deep ground structure of the Kanto Basin by using a seismic interferometry of local earthquake waveforms. Using a velocity structure model proposed in this study, we successfully explained the observed characteristics of the Love wave excitation at the northern edge of the Kanto Basin.

研究分野：数物系科学

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：地震波干渉法 地盤構造 地震基盤 長周期地震動

1. 研究開始当初の背景

近年になって、波動場の相関解析から地下構造に関する情報を抽出する地震波干渉法が注目されている。例えば、Nakahara (2006) は、水平成層構造に SH 波が入射する状態で、地表における変位記録の自己相関解析から水平成層構造のレスポンス関数が評価できることを示している。この原理による地震波干渉法はパッシブな地震波形の利用を前提とするものの、地震活動の高い地域においては、比較的容易に高分解能かつ大深度の地下構造の探査を可能にする。

関東平野の大深度地盤構造（関東堆積盆地の構造）に関する情報は、首都圏における強震動や長周期地震動の評価・予測において極めて重要である。本研究の担当者らは、首都圏強震動総合ネットワークなどで得られた地震波形データを地震波干渉法にもとづいて解析し、関東堆積盆地の構造を推定してきた。しかしながら、空間分解能の高い地域は東京都の東部や横浜市などに限られており、その他の地域についてはさらに詳しい地下構造調査が必要な状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、小型・低消費電力の強震動観測システムの開発、関東平野北部における臨時の地震観測、地震波干渉法による高空間分解能の地下構造の推定手法の開発、大深度地盤構造モデルの構築などに取り組む。現状、首都圏でも関東平野の北部においては、地震観測点や反射法地震探査などの物理探査の数が限られていることから、大深度地盤構造の不確実性が依然として大きい。本研究では、同地域を主な研究対象として、臨時の地震観測や首都圏強震動総合ネットワークなどで得られた地震波形記録を地震波干渉法にもとづいて解析し、大深度地盤構造を高空間分解能で推定する。この成果を踏まえて、関東平野の北部における長周期地震動の発生について考察する。

3. 研究の方法

(1) 小型・低消費電力の強震動観測システムの開発

強震動観測を容易にする小型・低消費電力の強震動観測システムを開発する。小型・低消費電力の強震動観測システムの開発は、多点・高密度の強震動観測を実施するために極めて重要である。同システムには、その使用形態から、低コストで導入できることが求められるが、この点については、システム部品に低消費電力 CPU や SD カードなどの汎用の電子部品を利用することで問題の解決を図る。

(2) 関東平野北部における臨時の地震観測

既設の地震観測点の少ない関東平野の北東部における大深度地盤構造を高空間分解能で推定するために、首都圏強震動総合ネッ

トワークや首都圏地震観測網などの地震観測点の間隙を埋めるように、埼玉県・千葉県・茨城県内での臨時地震観測を実施する。本研究及び他機関によって関東平野に展開されている地震観測点で収録された近地地震の波形データを地震波干渉法にもとづいて解析し、関東平野の大深度地盤構造を詳しく推定する。

(3) 地震波干渉法による地下構造の時間変化の研究

ランダムな波動場中における観測点で得られた波形記録の自己相関は、同観測点を震源とするレスポンス関数を与えることが数理的に指摘されている。この点に着目し、地震波干渉法にもとづいた近地地震の S 波コーダ波の解析による地下構造の時間変化の検出の可能性について探究する。

(4) 大深度地盤構造と長周期地震動

首都圏における長周期地震動を正確に評価するためには関東堆積盆地の精緻な構造モデルが必要であるが、モデルの利便性の観点からは少数のパラメータで簡便に表現できる構造モデルが望まれている。本研究では、地震波干渉法にもとづいて関東堆積盆地の構造を詳しく推定するとともに、中深層観測井での VSP 法調査結果を踏まえて、地震波速度の鉛直勾配を考慮した 3 パラメータモデルによる堆積層構造のモデル化を提案し、その有効性について検証する。

4. 研究成果

(1) 小型・低消費電力の強震動観測システムの開発

小型・低消費電力の強震動観測システムを開発した。同システムは、低消費電力 16bit CPU と高感度 MEMS 型デジタル加速度センサなどから構成されており、加速度センサの出力は C 言語で開発された組み込みプログラムによって SD カードにイベントトリガ方式で保存される。また、手のひらサイズに小型・軽量化されており、単 1 乾電池 4 本で数ヶ月以上動作する。

(2) 関東平野北部における臨時の地震観測

既設の地震観測点の少ない関東平野の北東部における大深度地盤構造を高空間分解能で推定するために、首都圏強震動総合ネットワークや首都圏地震観測網などの地震観測点の間隙を埋めるように、埼玉県・千葉県・茨城県内の計 11 地点での臨時の地震観測を実施した。地震波干渉法によって、臨時の地震観測点と既設の地震観測点で収録された近地地震の波形データを解析し、各観測点下における地盤構造を推定するとともに、東京ガス㈱の超高密度地震防災システム SUPREME の SI センサによって収録された近地地震波形も解析データに追加することによって、従来よりも飛躍的に高い水平空間分解

能で関東平野の一部の地域における大深度地盤構造を推定した。

(3)地震波干渉法による地下構造の時間変化の研究

地震波干渉法にもとづいた近地震のS波コーダ波の解析によって、2011年東北地方太平洋沖地震にともなう地下構造の時間変化の検出に成功した。解析対象とした東北・関東地方のKiK-netの観測点の多くにおいて、本震直後の10%程度の位相遅れとその後の緩やかな時間的な回復が観測された。この位相遅れの原因は、主に地下極浅部(数十m以浅)の地震波速度変化によるものと解釈された。

(4)大深度地盤構造と長周期地震動

本研究及び他機関によって関東平野に展開されている地震観測点(首都圏強震動総合ネットワークや首都圏地震観測網など)で収録された近地震の波形データを地震波干渉法に基づいて解析し、関東堆積盆地の構造を詳しく推定した(図1)。さらに、中深層観測井でのVSP法調査結果を踏まえて、地震波速度の鉛直勾配を考慮した3パラメタモデルによる堆積層構造のモデル化を構築した。このモデル化では、地震基盤面でのインピーダンスコントラストの深度変化をより適切にモデル化できるなどの利点がある。差分法を用いて地震動シミュレーションを実施したところ、関東平野北部で観測された表面波(ラブ波)の励起や伝播を正確に再現できることが確認できた(図2)。

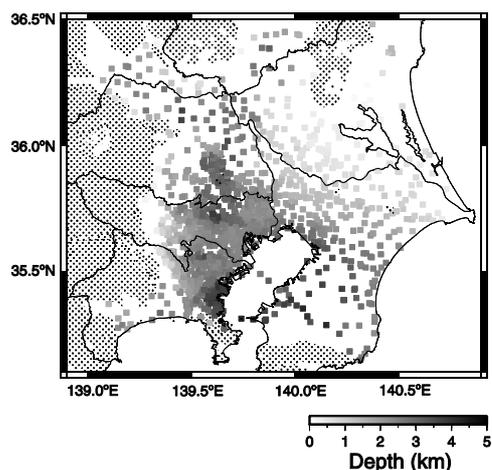


図1 地震波干渉法によって推定された地震基盤の深度の地域変化。総点数 1375。地図中の網掛け部分は地表地質が第四紀堆積層でない領域を示す。

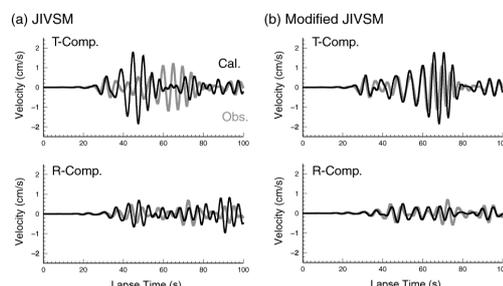


図2 観測点 SIT003 における周期 4-8 秒の速度波形 (Transverse 成分と Radial 成分) の比較 (Yoshimoto and Takemura (2014))。 (a) 観測波形と JIVSM の計算波形、 (b) 観測波形と Modified JIVSM (堆積層の速度構造を改良) の計算波形。

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) Yoshimoto, K. and S. Takemura, Surface wave excitation at the northern edge of the Kanto Basin, Japan, *Earth, Planets and Space*, 66:16 doi:10.1186/1880-5981-66-16, 2014. (査読あり)
- (2) Nakahara, H., Auto correlation analysis of coda waves from local earthquakes for detecting temporal changes in shallow subsurface structures: the 2011 Tohoku-Oki, Japan earthquake, *Pure Appl. Geophys.* Doi:10.1007/s00024-014-0849-0, 2014. (査読あり)

[学会発表](計15件)

- (1) 吉本和生・平田直・笠原敬司・小原一成・佐藤比呂志・酒井慎一・鶴岡弘・中川茂樹・木村尚紀・棚田俊收・明田川保・中原恒・木下繁夫, 地震波干渉法による首都圏の地震基盤のS波反射強度の推定, 地球惑星科学関連学会 2011年合同大会, 幕張メッセ(千葉市), 2011年5月23日.
- (2) 吉本和生・中原恒・佐藤比呂志, SIセンサー波形記録を用いた関東平野の地震基盤構造の推定, 日本地震学会 2011年度秋季大会, 静岡県コンベンションアーツセンター グランシップ(静岡市), 2011年10月12日.
- (3) Yoshimoto, K., N. Hirata, K. Kasahara, K. Obara, H. Sato, S. Sakai, H. Tsuruoka, S. Nakagawa, H. Kimura, T. Tanada, T. Aketagawa, H. Nakahara, and S. Kinoshita, Seismic basement S-wave reflection beneath the Tokyo

Metropolitan Area inferred from seismic interferometry, Symposium on Recent Development in Seismic Wave Scattering and Heterogeneities in the Earth, Tohoku University (Sendai City), 2011年10月28日.

- (4) Nakahara, H. and K. Yoshimoto, Radiative transfer of elastic waves in 2D isotropic scattering media: Semi-analytical approach for an isotropic source, Symposium on Recent Development in Seismic Wave Scattering and Heterogeneities in the Earth, Tohoku University (Sendai City), 2011年10月28日.
- (5) 吉本和生・重田考徳・中原恒・佐藤比呂志, 低消費電力強震観測システムの開発, 地球惑星科学関連学会 2012年合同大会, 幕張メッセ(千葉市), 2012年5月20日.
- (6) 武村俊介・吉本和生, 盆地堆積層内における散乱構造の推定 - 関東平野への適応 -, 日本地震学会 2012年度秋季大会, 函館市民会館・函館市民体育館(函館市), 2012年10月19日.
- (7) 吉本和生・平田直・笠原敬司・小原一成・佐藤比呂志・酒井慎一・鶴岡弘・中川茂樹・木村尚紀・棚田俊收・宮岡一樹・中原恒, 地震波干渉法による首都圏の地震基盤構造の推定(), 日本地震学会 2012年度秋季大会, 函館市民会館・函館市民体育館(函館市), 2012年10月18日.
- (8) 吉本和生・平田直・笠原敬司・小原一成・佐藤比呂志・酒井慎一・鶴岡弘・中川茂樹・木村尚紀・棚田俊收・宮岡一樹・中原恒, 地震波干渉法による関東平野の堆積層構造の推定 - 上総層群及び相当層の基底深度 -, 地球惑星科学関連学会 2013年合同大会, 幕張メッセ(千葉市), 2013年5月19日.
- (9) 武村俊介・赤津舞・山崎瑞穂・吉本和生, 堆積盆地端での表面波の励起 - 関東平野北西部での検討 -, 日本地震学会 2013年度秋季大会, 神奈川県民ホール・産業貿易センター(横浜市), 2013年10月8日.
- (10) 吉本和生・武田哲也・中原恒・佐藤比呂志, 関東機動地震観測アレイ(K3アレイ)の立ち上げ - 関東平野の大深度地盤構造の解明に向けて -, 日本地震学会 2013年度秋季大会, 神奈川県民ホール・産業貿易センター(横浜市), 2013年10月8日.

(11) 吉本和生・武村俊介, 地震波速度の鉛直勾配を考慮した堆積層構造のモデル化 - 長周期地震動のより正確な評価を目指して -, 日本地震学会 2013年度秋季大会, 神奈川県民ホール・産業貿易センター(横浜市), 2013年10月8日.

(12) Yoshimoto K. and S. Takemura, Surface wave excitation and propagation at the northern edge of the Kanto Basin, Japan, AGU 2013 Fall Meeting, Moscone Center (San Francisco), 2013年12月13日.

(13) 武村俊介・吉本和生, 堆積盆地内を伝播する長周期地震動の発達と消失, 地球惑星科学関連学会 2014年合同大会, パシフィコ横浜会議センター(横浜市), 2014年4月29日.

(14) 吉本和生・菅原勇真・鍛冶川謙吾・小林学・増田啓・武村俊介・平田直・酒井慎一・佐藤比呂志・中原恒, P波及びS波地震波干渉法より推定される関東堆積盆地内の地震波速度の深さ変化, 地球惑星科学関連学会 2014年合同大会, パシフィコ横浜会議センター(横浜市), 2014年4月30日.

(15) 武村俊介・吉本和生, 盆地堆積層内の表面波の伝播 - 関東平野中央部における局所的な伝播速度の変化 -, 地球惑星科学関連学会 2014年合同大会, パシフィコ横浜会議センター(横浜市), 2014年5月1日.

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉本 和生 (YOSHIMOTO Kazuo)
横浜市立大学・生命ナノシステム科学研究
科・教授
研究者番号：10281966

(2) 研究分担者

中原 恒 (NAKAHARA Hisashi)
東北大学・理学研究科・准教授
研究者番号：20302078

(3) 連携研究者

佐藤 比呂志 (SATO Hiroshi)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：00183385