

2011年房総スロースリップイベントに伴う群発地震の詳細分布 Detailed hypocentral distribution associated with the 2011 Boso Slow Slip Event

木村 尚紀^{1*}, 武田 哲也¹, 小原 一成², 笠原 敬司²

KIMURA, Hisanori^{1*}, TAKEDA, Tetsuya¹, OBARA, Kazushige², KASAHARA, Keiji²

¹(独) 防災科学技術研究所, ² 東京大学 地震研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

房総半島沖では5-7年間隔でスロースリップイベント(SSE)が繰り返し発生することが知られている。最新の活動は、2011年10月から11月にかけて、過去29年間で最も短い4年2ヶ月の繰り返し間隔で再来した。この活動に同期して、防災科学技術研究所(以下、防災科研とする)の高感度加速度計(傾斜計)においてSSEによる地殻変動が明瞭に観測された(木村・廣瀬, 2012)。房総SSEは群発地震を伴うことが大きな特徴であり、今回も多くの群発地震が発生した。SSE活動期間中には群発地震発生域の移動が明瞭に認められ、特徴的な期間毎に推定された房総SSEすべり域の移動と良く対応した。主な地震の防災科研Hi-netおよびAQUA MT/CMT解析による発震機構解は、フィリピン海プレートと日本島弧の相対運動方向に調和的な低角逆断層型が卓越した。また、群発地震の中には相似地震も見出され、特に傾斜変動の大きな期間に発生した。プレート沈み込み帯に発生する相似地震はプレート間の準静的すべりを反映する(Kimura et al., 2006)ことから、このSSEに伴う相似地震も、SSEのすべりによって励起されたプレート境界地震であるとみなすことができる。そこで、SSE活動を詳細に把握するため、群発地震の詳細分布を決定した。

関東平野は堆積層に厚く覆われ、震源決定を行う上での大きな課題となっている。つまり、堆積層の地震波速度は平均で $V_p \sim 1.9 \text{ km/s}$, $V_s \sim 0.7 \text{ km/s}$ 程度であり(木村ほか, 2010)、地震波の到達走時に大きな影響を与えるとともに、人口稠密地帯であることからノイズレベルがきわめて高い。防災科研では、これらの問題に対処し、高感度地震観測を行うため、中深層・深層ボアホール観測点の整備を進めてきた。房総半島でも、掘削深度1000m級の観測施設が7か所に設置されている。これらの観測点では、地下深くにセンサーを設置することで、低速な堆積層の影響を低減できる。そこで、まず房総半島の掘削深度1000m級以上の観測点5点を用いて、4点以上で読み取りが得られた場合にhypomh(Hirata and Matsu'ura, 1987)により震源決定を行った。次いで、これを初期震源としてDouble Difference(DD)法により詳細分布を決定した。比較のため、防災科研Hi-net震源データを元にしたDD法による再決定をあわせて行った。

後者と比較して、前者による結果では、房総半島東岸において平均で2.0km浅くなり、南東岸では2.1km深くなった。これにより、Hi-net震源を元にした再決定震源と比較して、ゆるやかに北に傾斜する面状分布を示した。これらの地震の多くは低角逆断層型の発震機構解を有する。相似地震もこの面に沿って分布することから、この面がプレート境界すべり面に相当すると考えられる。2011年房総SSEに伴う群発地震の分布を2007年と比較すると、2007年は九十九里浜沖で地震が多く発生したのに対し、2011年は房総半島南東岸で多くの地震が発生した。先述の面状分布から、房総半島南東岸の地震もプレート境界地震と考えられ、こうした地震発生域の違いはSSEすべり分布の違いを反映している可能性がある。

キーワード: スロースリップイベント, 房総半島, 詳細震源分布, 繰り返し地震

Keywords: Slow slip event, Boso Peninsula, high-precision hypocenter distribution, repeating earthquake

関東地方の地震テクトニクスとM7クラスの地震 Seismotectonics beneath Kanto: A review of recent seismological studies

中島 淳一^{1*}, 内田 直希¹, 長谷川 昭¹, 出町 知嗣¹, 海田 俊輝¹, 海野 徳仁¹

NAKAJIMA, Junichi^{1*}, UCHIDA, Naoki¹, HASEGAWA, Akira¹, DEMACHI, Tomotsugu¹, KAIDA, Toshiki¹, UMINO, Norihito¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地震噴火予知研究観測センター

¹ Graduate School of Science, Tohoku University

関東地方下には太平洋プレートとフィリピン海プレートが沈み込んでおり、1923年関東地震を始めとする多くの被害地震が発生している。地震調査研究推進本部は、1885年以降に発生した5つのM7クラスの地震（1894年明治東京地震、1895年、1921年茨城県南部の地震、1922年浦賀水道地震、1987年千葉県東方沖地震）がランダムに発生したという仮定の下で、南関東でのM7クラスの地震の発生確率を計算し、その確率は今後30年間で70%程度であると報告している（地震調査委員会、2004）。しかしながら、推定に用いた5つの地震の発生メカニズムは必ずしもわかっておらず、首都直下の地震テクトニクスを理解する上では、この5つの地震の発生機構を明らかにすることが極めて重要である。

本講演では、最近の研究成果をレビューし、フィリピン海スラブと太平洋スラブの形状とその接触域の広がり、およびフィリピン海プレートの内部構造と過去の大地震の震源域の関係について報告する。これまでの研究により、(1) 1921年茨城県南部の地震と1987年千葉県東方沖地震は、フィリピン海プレート内部の蛇紋岩化領域の西縁に沿う、ほぼ鉛直な右横ずれ運動によって発生したこと、(2) 1922年浦賀水道地震は、フィリピン海プレート内部の地震であり、その起震応力場は1923年関東地震のアスペリティの固着によってフィリピン海プレート内に生じている応力場と調和的であることが明らかになった。1921年茨城県南部の地震と1987年千葉県東方沖地震は、フィリピン海プレートが2つに分裂する運動に伴って発生したプレート内地震であり、一方、1922年浦賀水道地震は、関東地震のアスペリティの固着によるフィリピン海プレート内への応力蓄積の過程の中で発生したプレート内地震である可能性が極めて高い。

キーワード: テクトニクス, プレート接触域, 蛇紋岩, 関東地震, 浦賀水道地震, 千葉県東方沖地震

Keywords: Kanto asperity, serpentinite, slab contact zone

1885年以降に南関東で発生したM7級地震の類型化 Classification of Magnitude 7 Earthquakes in Tokyo Metropolitan Area since 1885

室谷 智子^{1*}, 石辺 岳男¹, 佐竹 健治¹, 島崎 邦彦¹, 中川 茂樹¹, 酒井 慎一¹, 平田 直¹, 西山 昭仁¹
MUROTANI, Satoko^{1*}, ISHIBE, Takeo¹, SATAKE, Kenji¹, SHIMAZAKI, Kunihiko¹, NAKAGAWA, Shigeaki¹, SAKAI, Shin'ichi¹,
HIRATA, Naoshi¹, NISHIYAMA, Akihito¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ ERI, the Univ. of Tokyo

地震調査研究推進本部の長期評価の対象となった5地震(1894年明治東京地震, 1895年および1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近の地震, 1987年千葉県東方沖地震)について, 収集した既往研究とデータ(石辺・他, 2009a, 2009b; 室谷・他, 2011)に基づく解析ならびに地震波速度構造(Nakagawa et al., 2011)との対比から, 震源域の推定等を行った。その結果, 1894年明治東京地震は, フィリピン海プレート(以下PHSと略記)内地震あるいは太平洋プレート(以下PACと略記)上で発生した地震, 1895年茨城県南部の地震はPAC内で発生した地震であったと考えられ, 1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近, 1987年千葉県東方沖の地震(Okada and Kasahara, 1990)はPHS内で発生した横ずれ型地震であった可能性が高い。

昨年3月に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)後に, 震源分布やメカニズム解に明瞭な変化が観測されている(例えば, Hirose et al., 2011; Kato et al., 2011)。関東地震の発生前後においても同様のことが考えられ, 現在の地震活動(起震応力場)が, 時間的あるいは空間的にどの程度定常的であるのか, また地震サイクルを通してどのように変化するか理解を進めることが, 時間依存モデルによる発生確率評価への1つの鍵になるかもしれない。例えば, 1923年大正関東地震(M7.9)前にPHS内部で発生したと考えられる横ずれ型地震(1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近の地震)が, 関東地震の発生直前に特徴的な地震であったのかどうかは興味深い(Nakajima et al., 2011)。

首都機能が集中する南関東では, PACとPHSが陸のプレートの下に沈みこんでおり, 様々な型の(巨)大地震が発生してきた。南関東を中心とした30km~80kmで発生するM7級地震の今後30年確率は, 上記の5地震に基づいて70%程度と推定されており, 切迫性が高い(地震調査委員会, 2004)。しかしながら, これらの地震の中には震源や発震機構が明らかにされていないものを含む。そこで, これらの地震の解明を目的として調査を行った。

1894年明治東京地震(M7.0, 宇津(1979)による)の震源深さは, これまでの既往研究で大きく異なり, 地殻内地震の可能性を示唆した研究もある。この相違は, 現存する少数の地震波形記録から読み取られたS-P時間の相違によるところが大きい。本研究において収集した記録からも, 帝国大学の本郷構内におけるS-P時間は約7~10秒とばらつく。また, 萩原(1972)ならびに中央気象台(1895)に基づく震度分布は同心円状である。一方, 南関東で発生した同年10月7日の地震では, PAC内地震の特徴である「異常震域」が見られる。また, 本郷におけるS-P時間は, 明治東京地震では約7秒, 10月の地震では約17秒と大きく異なる。このことは, 当時の震度分布から深さの議論が可能であり, 明治東京地震が少なくともPAC内地震ではなかった可能性を示唆する。

1895年茨城県南部の地震(M7.2)は, 東京におけるS-P時間(11.3秒)(大森, 1899)と宇津(1979)の震央(霞ヶ浦北西部), ならびに気象庁速度構造(上野・他, 2002)から, 震源深さは80km程度に推定された。東京において読み取られたS-P時間は, ばらつきがあるものの11秒程度であり, これは大森(1899)の東京におけるS-P時間と調和的である。

1921年茨城県南部の地震(M7.0)は, S-P時間と気象庁速度構造を用いて震源決定を行ったが, 石橋(1975)とほぼ同様の位置(深さ53km程度)に推定された。また, 観測された震度分布は同心円状であり, PAC内地震に特徴的に見られる異常震域は見られない。さらに, 牛山(1922)の初動から推定された発震機構は, 震源の精度を考慮しても横ずれ型であり, 低角逆断層型にはならない。これらの震源・発震機構は, 石橋(1975), 勝間田(2000), ならびに海野・他(2010)と調和的である。

1922年浦賀水道付近の地震(M6.8)は, 残された波形記録から再検測した, または原簿に残されたS-P時間から推定された震源は千葉県南西部の深さ53km程度であった。波形記録から読み取った, または中村(1922)による初動から推定された発震機構は, 既往研究による震源の相違を考慮しても横ずれあるいは正断層型であり, 逆断層型にはならない。また, 震度分布にPAC内地震の特徴は見られない。

キーワード: 首都直下地震, 類型化, プレート内地震

Keywords: Tokyo metropolitan earthquake, Classification, intraplate earthquake

三浦半島小網代湾内におけるロングジオスライサー掘削から採取された津波堆積物 Tsunami Deposits obtained from Long Geoslicer Survey in Koajiro Bay on the Miura Peninsula, Kanagawa, Japan

島崎 邦彦^{1*}, 石辺 岳男¹, 佐竹 健治¹, 藤原 治², 須貝 俊彦³, 千葉 崇³, 岡村 眞⁴, 松岡 裕美⁴
SHIMAZAKI, Kunihiko^{1*}, ISHIBE, Takeo¹, SATAKE, Kenji¹, FUJIWARA, Osamu², SUGAI, Toshihiko³, CHIBA, Takashi³, OKAMURA, Makoto⁴, MATSUOKA, Hiromi⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 産総研活断層・地震研究センター, ³ 東大院新領域創成, ⁴ 高知大理
¹ERI, the Univ. of Tokyo, ²AFERC, AIST, ³Frontier Sc., the Univ. of Tokyo, ⁴Fac. Science, Kochi Univ.

関東地震の履歴解明を目的として、神奈川県三浦半島の南西端に位置する小網代湾において音波探査ならびにロングジオスライサー掘削調査を行った。その結果、およそ過去1500年間に相当する深さ約2mまでの試料から5枚の粗粒堆積物が見出された。このうち上位の3層は、小網代湾奥の干潟におけるハンディージオスライサー掘削調査によって見出された3枚の関東地震の津波堆積物と対比される。Shimazaki et al. (2011) によって1293(正応六または永仁元)年の鎌倉大地震が1703年元禄関東地震の一つ前の関東地震であった可能性が示唆されているが、本研究の結果はその可能性を支持する。

相模トラフ沿いのプレート境界において、1703(元禄十六)年と1923(大正十二)年に関東地震が発生したことがわかっている。しかしながら、その一つ前の関東地震の発生日代は地形・地質学的調査あるいは歴史資料からいくつかの候補が挙げられているものの(例えば石橋, 1991, 1994; Shishikura, 2003), 明らかにされていなかった。そこで、Shimazaki et al. (2011) は小網代湾奥の干潟においてハンディージオスライサー調査を実施し、1923年, 1703年, およびそれ以前の関東地震によるものと考えられる3層の津波堆積物を採取し、元禄の一つ前の関東地震の発生日代が1060-1400 ADであることを明らかにした。湾内における音波探査からは、ほぼ連続した音響反射層が多数分布していることが明らかとなり、堆積物中から過去の関東地震の津波堆積物が得られる可能性が高い。そこで、湾内3地点で2本ずつロングジオスライサー掘削を行い、海底下4-6mまでの試料6本を採取した。

最も西の地点の深さ約2mまでの試料における目視観察から、礫、粗粒砂、貝殻片などから成る粗粒堆積物がみとめられた。この層は、その上下の細粒砂やシルト・粘土から構成される内湾性堆積物とは明瞭に異なる。2cm刻みで深さ2mまで実施した粒径分析(-1.0 から4.5 より細粒まで, 0.5 刻み, 13段階のふるい分け)からは、イベント層と考えられる5枚の粗粒堆積物の層が見出された。

最上位の粗粒堆積物は、海底面のごく直下にある。上から2番目の粗粒堆積物については、別のコアでこれに対応する層には手のひら大の亜円礫が水平に堆積していた。その上部にのみ付着したフジツボの年代は1560-1820 AD(2, 海洋滞留効果および暦年補正值)であり、付近の元禄隆起ノッチの穿孔貝の年代(Shishikura et al., 2007)と同様の年代を示すことから、元禄関東地震津波によって運ばれた後にフジツボが付着した可能性が考えられる。さらに、上から3番目の層内における合弁貝殻、木片からはそれぞれ、1230-1400 AD, 1210-1280 ADの年代が得られた。これら3枚の粗粒堆積物は、主にその年代から湾奥の干潟で採取された3層の関東地震の津波堆積物と対比される。本調査から推定される元禄の一つ前の関東地震の発生日代は、1210 AD以降であり、これは1293(永仁元または正応六)年鎌倉大地震が元禄の一つ前の関東地震であった可能性を支持する。

上から4番目の層は、層内の木片から720-960 ADの年代が得られ、これと上位の木片の年代(1210-1280 AD)から、720-1280 ADの間に堆積したものと推定される。この間には、818(弘仁九)年の関東諸国の地震や878(元慶二)年の地震などに関する記述が歴史資料に残されているが、推定された年代の幅が大きく、対応について議論することは困難である。また、上から5番目の層は、その上下の木片の年代から、560-690 ADに堆積したものと推定される。

謝辞: 本研究は、H19~H23年度科学技術振興費「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」による。

キーワード: 関東地震, 三浦半島, 小網代湾, 津波堆積物, 1293年(正応六年または永仁元年)鎌倉大地震
Keywords: Kanto earthquake, Miura Peninsula, Koajiro Bay, Tsunami deposit, The 1293 Kamakura earthquake

首都圏の地震活動とフィリピン海プレート

Seismic activity of the metropolitan area and Philippine Sea plate obtained by MeSO-net

酒井 慎一^{1*}, 中川 茂樹¹, 楠城 一嘉¹, 笠原 敬司¹, パナヨトプロスヤニス¹, 鶴岡 弘¹, 蔵下 英司¹, 平田 直¹, 小原 一成¹, 木村 尚紀², 明田川 保³, 本多 亮³

SAKAI, Shin'ichi^{1*}, NAKAGAWA, Shigeki¹, NANJO, Kazuyoshi¹, KASAHARA, Keiji¹, PANAYOTOPOULOS, Yannis¹, TSURUOKA, Hiroshi¹, KURASHIMO, Eiji¹, HIRATA, Naoshi¹, OBARA, Kazushige¹, KIMURA, Hisanori², AKETAGAWA, Tamotsu³, HONDA, Ryou³

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所, ³ 神奈川県温泉地学研究所

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan, ³Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

2007年度から始められた文部科学省委託研究事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」が終了した。首都圏地域に展開した首都圏中感度地震観測網 (MeSO-net) により, 人工的なノイズが多い都市部においても, M2程度の地震が検知可能であるなど, 十分な精度の観測データが取得できた。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震のように, 巨大な地震動でも飽和することなく, 全観測点で地震波形が得られた。さらに, 停電や断線等でリアルタイムのデータ伝送が各地で途切れたにもかかわらず, 復旧後に現地に保持していたデータが自動的に再送され, 欠測のない, 完全なデータセットが得られている。このデータは, 広帯域に十分な感度があることから, 地盤構造分野や建築・土木分野など様々な用途の解析に用いられている。

この MeSO-net 波形データと周辺の観測点のデータを統合させ, 気象庁一元化震源に基づいて地震波形を切り出し, それぞれの P 相, S 相等を読み取り, 地震波速度構造トモグラフィ解析を行った。初期一次元速度構造は, 防災科研で震源決定に使われている速度構造を用い, 防災科研で求めた震源を初期値として, 二重走時差トモグラフィ法を用いて計算した。得られた速度構造から, 沈み込むフィリピン海プレートや太平洋プレートの海洋性地殻に対応すると考えられる。

東北地方太平洋沖地震発生以降, 首都圏では地震活動が活発であったが, その地震のほとんどが, プレート境界で発生する逆断層型の地震であった。銚子沖では, 太平洋プレート上面における余効変動が観測されるなど, プレート運動が引き続いていることがうかがえる。さらに, 2011年10月には, 通常よりも早く房総半島沖のゆっくり滑りが発生したり, 繰り返し小地震の発生頻度が増加したりして, フィリピン海プレートでも沈み込みが進行していることを示唆している。

謝辞 気象庁, 防災科学技術研究所, 神奈川県温泉地学研究所の波形データを利用しました。ここに記して感謝いたします。なお, 本研究は, 文部科学省の研究委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 首都圏での構造調査, 震源断層モデル等の構築等」の一環として行われた。

キーワード: 首都圏地震観測網, 超稠密地震観測, 地震活動, プレート構造

Keywords: MeSO-net, ultra-dense seismic network, seismicity, plate structure

首都圏で発生した歴史地震の解明

Clarification of Large or Great Historical Earthquakes in Tokyo Metropolitan Area

佐竹 健治^{1*}, 島崎 邦彦¹, 都司 嘉宣¹, 金 幸隆¹, 室谷 智子¹, 石辺 岳男¹

SATAKE, Kenji^{1*}, SHIMAZAKI, Kunihiko¹, TSUJI, Yoshinobu¹, KIM, Haeng Yoong¹, MUROTANI, Satoko¹, ISHIBE, Takeo¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

首都機能が集中する南関東では、フィリピン海プレート（以下 PHS と略記）と太平洋プレート（以下 PAC と略記）が陸のプレート下に沈み込んでおり、様々な型の大地震が発生してきた。我々は、これらの大地震の再来間隔や将来の発生確率を推定するために、津波堆積物や海岸段丘などの地形・地質学的データ、地震被害を記述した歴史資料、ならびに地震波形や震度分布などの地震学的データを用いて、発生履歴や詳細な被害分布の解明、および震源域の推定等を行った。

1703年と1923年にPHSと陸のプレートの境界において、関東地震（M8級）が発生したことがわかっている。しかしながら、その1つ前の関東地震の発生年代は地形・地質学的調査あるいは歴史資料からいくつかの候補が挙げられているもの（例えば石橋, 1991, 1994; Shishikura, 2003）、明らかにされていない。我々は、三浦半島（神奈川県）に位置する小網代湾においてジオスライサー調査を実施し、採取された津波堆積物の解析から、1703年元禄関東地震の1つ前の関東地震が1060～1400年の間に発生したことを明らかにした（Shimazaki et al., 2011）。これは、当時の首都であった鎌倉に甚大な被害を及ぼした1293（正応六または永仁元）年の大地震が関東地震であった可能性を示唆する。我々はまた、同半島南端に位置する江奈湾においてジオスライサー調査を実施し、過去4000年間の津波堆積物を採取した（千葉・他, 2011）。さらに、同半島南部において航空レーザー測量や古い地形図の比較から、大正関東地震による隆起の詳細や、それ以前の地震による海岸隆起に関するデータを得た（Kim et al., 2011）。

関東地方において1600年以降に発生した歴史地震については、詳細な被害を記述した歴史資料が残されている。そこで、歴史資料の記述に基づいてこれらの地震の詳細震度分布を作成した。例えば、1812（文化九）年に発生した神奈川地震では、横浜市内の主な地域は現在の気象庁震度階で6に相当する被害が生じたことが明らかとなり、震度5域の面積からマグニチュードは6.4に推定された（都司, 2009）。また、江戸市中に甚大な被害を及ぼした1855（安政二）年江戸地震に対して、町人地、寺社ならびに大名屋敷の詳細な被害分布、ならびに液状化発生地点の分布を明らかにした。さらに、これらの被害地震に対する歴史資料を整理したデータベースを作成した。

南関東の深さ30～80kmで発生するM7級地震の今後30年間確率は70%程度と推定されており、切迫性が高い（地震調査委員会, 2004）。これは、1885年以降に発生した5つの被害地震（1894年明治東京地震, 1895年茨城県南部の地震, 1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近の地震, ならびに1987年千葉県東方沖の地震）に基づくが、これらの中にはどこで発生した地震であったのか明らかにされていないものを含む。そこで、我々は既往研究の整理と波形記録や検測値の収集を行い（石辺・他, 2009a, 2009b; 室谷・他, 2011）、収集されたデータの解析、ならびに新たに構築された地震観測網（MeSO-net; 笠原・他, 2009）から明らかにされた地震波速度構造（Nakagawa et al., 2011）との対比から、震源域の推定等を行った。その結果、1894年明治東京地震はPHS内地震あるいはPAC上面で発生した地震であったと考えられる。1895年茨城県南部の地震はPAC内地震であったと考えられる。1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近の地震, 1987年千葉県東方沖の地震（Okada and Kasahara, 1990）は、いずれもPHSスラブ内部で発生した横ずれ型地震であった可能性が高いことが明らかとなった。

キーワード: 関東地震, 歴史地震, M7級地震, 津波堆積物, 類型化

Keywords: Kanto earthquake, Historical earthquake, M7-class earthquake, Tsunami deposit, Classification

MeSO-net のデータから推定した、東北地方太平洋沖地震の最大余震の破壊過程 Rupture process of March 11, 2011 Ibaraki oki earthquake obtained from back-projection approach using MeSO-net data

本多 亮^{1*}, 行竹 洋平¹, 伊東 博¹, 原田 昌武¹, 明田川 保¹, 吉田 明夫¹, 酒井 慎一², 中川 茂樹², 平田 直², 小原 一成², 木村 尚紀³, 松原 誠³
HONDA, Ryou^{1*}, YUKUTAKE, Yohei¹, ITO Hiroshi¹, HARADA, Masatake¹, AKETAGAWA, Tamotsu¹, YOSHIDA, Akio¹, SAKAI, Shin'ichi², NAKAGAWA, Shigeki², HIRATA, Naoshi², OBARA, Kazushige², KIMURA, Hisanori³, MATSUBARA, Makoto³

¹ 温泉地学研究所, ² 東京大学地震研究所, ³ 防災科学技術研究所

¹Hot Springs Research Institute, ²Earthquake Research Institute, ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の直後から、M7を超える余震が発生している。その中でも、現在のところ最大のものが茨城県沖で本震の約30分後に発生したM7.6の地震である。本発表では、首都圏に展開された首都圏中感度地震観測網(MeSO-net)のデータを用い、バックプロジェクション法によって最大余震の破壊域を推定した結果を報告する。使用したデータは、247観測点の水平動加速度記録を1回積分して得られた速度波形に0.1-1.0秒のバンドパスフィルターをかけたものである。その中のS波を含むと考えられる部分を対象として、Matsubara and Obara (2011)による3次元速度構造を用いて走時を計算し、断層面上に波形をスタックした。

解析の結果、この地震の破壊域は2008年に茨城県沖で発生したM7.0の地震のアスペリティの深部延長に位置し、2008年の地震のアスペリティとは相補的な関係となっていることが分かった。また、破壊域はおよそ100km四方に及ぶが、破壊は本震時に地震波を放出したと推定される北側には進まず、南西もしくは西方向へ進展していったことが分かった。

最大余震の震源域周辺では、およそ20年間隔で2008年のようなM7級の地震が繰り返し発生していることが知られている。そうした地震の発生には、沈み込んだ海山による固着強度の不均質が影響していると考えられている。また、この震源域付近はフィリピン海プレートの北端部が太平洋プレートと接触していると考えられている領域でもあり、最大余震の破壊域を明らかにすることは、この領域でのプレート関カップリングに伴う地震発生様式を理解する上で重要である。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, バックプロジェクション, 最大余震, MeSO-net

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Back-projection, The largest aftershock, MeSO-net

長期地殻変動から推定した伊豆・小笠原弧の衝突モデルによる関東地方の応力蓄積パターン

Stress accumulation pattern in the Kanto region, Japan, computed with the collision model of the Izu-Bonin arc obtained

橋間 昭徳^{1*}, 佐藤 利典¹, 伊藤 谷生², 宮内 崇裕¹

HASHIMA, Akinori^{1*}, SATO, Toshinori¹, ITO, Tanio², MIYAUCHI, Takahiro¹

¹ 千葉大学理学研究科地球生命圏科学専攻, ² 帝京平成大学

¹Dept. Earth Sciences, Chiba University, ²Teikyo Heisei University

関東地方は、四つのプレートが相互作用しあう複雑なテクトニクスのもとにある。関東が位置するユーラシア、北アメリカ・プレートの下にはフィリピン海プレートが沈み込み、さらに太平洋プレートが北アメリカ、フィリピン海プレート下に沈み込んで、房総半島沖に地球上で唯一の海溝-海溝-海溝三重会合点を形成している。また、フィリピン海プレート上の伊豆・小笠原弧は日本列島との衝突を引き起こし、関東地方のテクトニクスに大きな影響を与えていると考えられている。このように複雑な関東地方直下の内部応力場や地質構造を解明する上で本質的に重要なことは、それらを形作ってきた長時間スケールでの変動過程を理解することである。我々はこれまで首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおいて、関東地方の長期地殻変動を地質学的・地形学的手法を用いて求める一方、変位の食い違い運動によるプレート沈み込みモデルを用いて、関東地方周辺のプレート沈み込み運動と伊豆・小笠原弧の衝突を考慮した関東地方の長期地殻変動モデルを構築してきた。本研究では、まず長期地殻変動データを満たすような伊豆・小笠原弧の衝突モデルを求め、これを用いて関東地方の応力蓄積パターンを求める。

関東地方の千年-10万年スケールの変動は旧汀線高度から、また、最近50万年間、100万年間の変動は海成堆積物の現高度から推定されている。これらの結果から、最近100万年の関東地方の変動パターンについては以下のようにまとめられる。(1) 100万年前と50万年前の海成堆積物の現高度からは、50万年前以降から現在までのある時期までは房総半島から東京湾を中心とする地域で沈降が続いていたことがわかる。(2) 詳細に見ると、沈降中心は100万年前から50万年前にかけては房総半島域にあったが、50万年前以降は東京湾下へと移動した。(3) 12.5万年前の旧汀線は関東地方に広く残されているが、このことから少なくとも最近10万年間はそれまでとは逆に関東地方全体として隆起傾向にあるといえる。

上記のような地殻変動の変遷が起こるためには、伊豆・小笠原弧の衝突状態が変化するか、プレート運動自体が変わったと考えなければならない。これに該当する地質学的イベントとしては、フィリピン海プレートの運動方向変化が挙げられる。また、最近100万年を通して変動パターンの変化が持続的である原因としては、伊豆・小笠原弧の衝突域(プレート境界面上ですべり速度欠損が生じている領域)がフィリピン海プレートの運動方向変化に即座に対応できず、その後時間をかけてゆっくり変化してきたためであるということが考えられる。

このことを確かめるため、変位の食い違い運動によるプレート沈み込みモデルを用いて長期地殻変動計算を行なった。計算の結果、プレート運動変化以前は、東京湾-房総半島下に沈降域、房総半島南東沖に隆起域が形成されること、プレート運動方向変化以降は衝突域の変化にともなって沈降域と隆起域がそれぞれ移動し、東京湾-房総半島下ははじめ沈降域だったのが隆起に転じること、最終的に関東地方南部全体が隆起域となることを確認した。以上の結果は関東地方の長期地殻変動データと調和的である。このような変動パターンの変化を満たす衝突域の幅は伊豆半島を中心として東西160kmにわたる。

以上、得られた伊豆・小笠原弧の衝突モデルを用いて、プレート内部に形成される応力蓄積速度を計算した。計算の結果、応力蓄積のパターンは、衝突を受けている関東山地では北西に圧縮的、東京湾北部では北西に伸張的、フィリピン海プレート側では横ずれ的となった。このパターンは観測されているプレート内地震のメカニズムと調和的であり、このことは、プレート内地震が長期的に蓄積された応力を解放するように発生することを示している。

キーワード: 応力場, 構造発達シミュレーション, 地殻変動, 関東, 伊豆・小笠原弧, 衝突

Keywords: Stress field, Simulation of tectonic evolution, Crustal deformation, Kanto, Izu-Bonin arc, Collision

関東大震災を歩く：現代に生きる災害の記憶

Search for evidences from the Great Kanto earthquake in the 23 wards of Tokyo

武村 雅之^{1*}

TAKEMURA, Masayuki^{1*}

¹ (株)小堀鐸二研究所

¹Kobori Research Complex Inc.

関東大震災による東京の火災を調査した東京帝国大学物理学教授の中村清二は報告書の中で次のように述べている。「同じ失敗を何度となく経験しても吾々は一向賢明にならなかったのである。大八車が自動車にかわることはあろうけれども。」江戸時代にあった火災時の家財道具の持ち出し禁止の掟を忘れ、多くの人々が避難場所に大八車で大量の家財道具を持ち込んだ結果、38000人の死者を出した陸軍被服廠跡に代表される大惨事を各所で招いたことへの無念な気持ちと、今後訪れるであろう車社会への警告の言葉でもある。去る3月11日の東日本大震災に際して、首都圏ではまさに中村清二の予言通りのことが起こった。道路という道路を、帰宅を急ぐ車が埋め尽くし史上最大の渋滞が発生したのである。一度火災が発生し自動車に引火すれば、大惨事につながったことは間違えない。

津波からの避難もそうであるが、なぜこうも我々は過去の震災経験を忘れてしまうのだろうか？悲惨な出来事は出来るだけ早く忘れたいというのは人情であるにしても、地震が再来するという事は寺田寅彦に指摘されるまでもなく誰しもが分かっているはずである。私はこの問題を解決するためのポイントは非日常的な震災経験を人々の日常生活の意識の中に組み込む方策を見つけることではないかと思ってきた。

そんなことを考えながら東京の街を歩いて見ると、今でも様々なところに関東大震災の慰霊碑や記念碑などが残っていることに気が付いた。それらは震災の悲惨さを我々に伝えるものであると同時に、歴史的苦難を必死で乗り越えた当時の人々の強さや優しさも感じさせてくれる。様々な痕跡を探し歩くうちに、いずれもが、我々の平安な日常を祈ってくれているようにさえ思えてきた。このような気付きが23区内をくまなく歩く調査のきっかけであった。

そこで見つけた物は、慰霊碑、記念碑、多くの犠牲者が出た場所と逆に多くの避難者の命を救った場所、さらには震災で破壊された跡またはその再生を伝えるもの、復興過程で生まれた建物や施設などである。一方、震災後の帝都復興事業による土地区画整理は、東京に1657(明暦3)年の明暦の大火以来、実に270年ぶりのお寺の大移動をもたらした。幕末以来受難続きのお寺にとって、想像を絶する負担であったが、お陰で江戸の多彩な文化が、都市化によって朽ちることなくひっそりと郊外各地に今も息づいている。そして、最後に、関東大震災以前から江戸・東京をたびたび襲った自然災害についての記念碑や遺構も調査した。関東大震災が初めての災害ではなく、過去の災害経験が忘れ去られていたことが関東大震災の被害をこれほど大きくしたと考えたからである。

調査結果は3月1日、東日本大震災一周年を前に一冊の本にまとめることができた(吉川弘文館発行)。表題はその書名である。拙著を手に23区内を是非とも歩いて欲しい。関東大震災が分かると共に、一方で我々が暮らす東京の大切さも実感することができるだろう。それこそが、東京を来るべき地震から守る減災への第一歩となるものと信じている。今もひっそりと佇む、関東大震災の慰霊碑や記念物、復興のモニュメント。人びとはどのような思いで死者を弔い、どのようなビジョンを持って瓦礫の街を蘇らせたのか。

日本各地には、震災だけでなく火山災害や風水害など様々な記念碑や遺構が残されている。それらを元に一般市民に自らの足許を見つめ直してもらうこと。そのことが、来るべき災害に“未曾有”の称号を与えない近道ではないか考える。今回の成果が、そのような活動を広げる端緒になれば幸いである。

地震観測記録を用いた関東平野に於けるサイト応答の方位依存性に関する検討 Investigation of azimuthal dependence of site responses in the Kanto Basin, using earthquake observation data

津野 靖士^{1*}, 山中 浩明², 山本 俊六¹, 酒井 慎一³, 平田 直³, 笠原 敬司³, 木村 尚紀⁴, 明田川 保⁵

TSUNO, Seiji^{1*}, YAMANAKA, Hiroaki², YAMAMOTO, Shunroku¹, SAKAI, Shin'ichi³, HIRATA, Naoshi³, KASAHARA, Keiji³, KIMURA, Hisanori⁴, AKETAGAWA, Tamotsu⁵

¹ 鉄道総合技術研究所, ² 東京工業大学, ³ 東京大学, ⁴ 防災科学技術研究所, ⁵ 神奈川県温泉地学研究所

¹Railway Technical Research Institute, ²Tokyo Institute of Technology, ³University of Tokyo, ⁴National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ⁵Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Recently, several seismic observation networks have been installed in the Kanto Basin, such as K-net, KiK-net, SK-net and MeSO-net. Especially, MeSO-net (Sakai and Hirata, 2009) installed with an interval distance of about 5 km has high densely covered the Tokyo Metropolitan Area with more than about 250 stations. Large ground motions of the Kanto Basin for long periods were observed by these networks, during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Japan (Mw 9.0). Tsuno et al. (2011) reported complex distributions of earthquake ground motions observed in the Tokyo Metropolitan Area. However the observed ground motions for long periods seem to be small in contrast with those prospected by the scale of the main shock (Mw 9.0). Since the main shock occurred in the Tohoku Region on March 11, 2011, a lot of aftershocks including those with the small scale of magnitude occurred mainly in the East Japan due to the huge scale of the main shock. Also, earthquake ground motions induced by several aftershocks of more than Mj 6 were observed in the Kanto Basin. To investigate azimuthal dependence of site responses excited in the Kanto Basin, therefore, we evaluated the characteristics of ground motions in the Kanto Basin for different moderate aftershocks of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

We selected 5 aftershocks of the same scale (Mj 6.4 to 6.7) occurred in the different azimuth for the Kanto Basin. Also, the epicentral distances from the Kanto Basin for these events were around 200 km. The aftershock events used in this study were as follows: the Northern Nagano Prefecture Earthquake (March 12, 2011, Mj 6.7), the off Ibaraki Prefecture Earthquake (March 13, 2011, Mj 6.4), the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake (March 15, 2011, Mj 6.4), the Fukushima Prefecture Earthquake (April 12, 2011, Mj 6.4) and the off Fukushima Earthquake (July 31, 2011, Mj 6.5). At first, we confirmed the stability of ground motions observed in the seismic bed rock at Shimosa (CHBH04), Iwatuki (SITH01) and Koto (TKYH11) where the borehole stations by KiK-net were installed. To remove the effects of source and pass for different earthquakes, we obtained spectral ratios of underground motions on surface to the averaged ground motions by three stations in the bed rock. The site responses estimated by 5 different events were similar for periods of 1 and 0.5 seconds at the central stations in the Tokyo Metropolitan Area. However, the site responses were clearly different for periods of 5 and 8 seconds. The site responses obtained by the Northern Nagano Prefecture Earthquake and the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake were larger than those obtained by other earthquakes, in spite of the largest ground motions in the bed rock observed by the off Ibaraki Prefecture Earthquake. For example, site response for all the periods at TKY007 (Shinjyuku by K-NET) was almost same for the off Ibaraki Prefecture Earthquake, the Fukushima Prefecture Earthquake and the off Fukushima Earthquake. On the other hand, the site response for a period of 5 seconds obtained by the Northern Nagano Prefecture Earthquake and the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake were extremely larger than those obtained by other earthquakes by around 4 times.

We confirmed the azimuthal dependence of local site responses in the Kanto Basin, using the different moderate earthquakes of Mj 6.4 to 6.7. The ground motions for periods of 5 to 8 seconds in the Tokyo Metropolitan Area were largely excited by the Northern Nagano Prefecture Earthquake and the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake. To evaluate and/or predict ground motions for long periods in the Kanto Basin induced by the Tokai Earthquake, which is supposed to occur in the Southern Shizuoka for the near future, we need to understand more clearly the azimuthal dependence of local site responses in the Kanto Basin.

キーワード: 地震動, 方位依存性, サイト応答, 関東平野, 余震記録, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: Ground motions, Azimuthal dependence, Site response, Kanto Basin, aftershock recordings, 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

浅部・深部統合地盤モデルの作成手法の検討

Examination of the creation technique of integrated model of shallow and deep structure

先名 重樹^{1*}, 前田宜浩¹, 鈴木晴彦², 稲垣賢亮², 森川信之¹, 藤原広行¹

SENNA, Shigeki^{1*}, Takahiro Maeda¹, Haruhiko Suzuki², Yoshiaki Inagaki², Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 防災科研, ² 応用地質(株)

¹NIED, ²OYO Corp

1. はじめに

地震被害想定を行う際に、まずは基本となる断層モデルや地震動を計算するための地盤構造モデルを用意した上で、地震波形や震度を計算し、その結果に基づき被害想定を行うのが一般的な進め方である。地盤構造モデルの作成については、モデル作成に必要な地盤データの収集を行い、さまざまな解析手法等の手続きを行った上で作成されている。地盤モデル自体は、非常に作業量は多く、手続きも多い分、作成方法もまちまちである。地盤構造モデルの作成方法が「レシピ」化され、統一的に実施されれば、国や自治体の被害想定で使用する際にも品質が確保されるだけでなく、隣り合った自治体同士の地盤モデルの不整合もなくなり、効率のよい被害想定を行うことができる。本研究では、地盤構造モデル作成の手順をまとめるため、0.1秒から10秒程度の広帯域の地震動特性を評価できる浅部地盤モデルと深部地盤モデルを統合した地盤モデルの作成手法を構築することを目的としている。その検討を詳細に実施するため、茨城県・千葉県全域(主に低地・台地部)において、浅部・深部統合モデル(初期地質モデル)の作成を行い、手法の取りまとめを行った。

2. 浅部・深部統合地盤モデル作成の流れ

浅部・深部統合地盤モデルの作成は、下記に示す順序にて評価を行った。

- (1) 初期浅部・深部統合モデル(地質モデル)の作成
- (2) 微動データ+地震観測データによるジョイントインバージョン処理
- (3) 面構造への拡張方法の検討
- (4) S波増幅特性と周期特性の評価(SH・差分法)
- (5) 単点微動(H/Vスペクトル比)によるインバージョン処理

上記の各項目のうち、(1)については、層序モデルの作成を基本とし、まずは、対象地域の地質層序を設定し、柱状図を地質で区分し、各柱状図から地層の連続性を読み取る。地層境界データの補間、メッシュへの割り振りにより地盤構造モデルを作成し、N値からS波速度に変換した上で、S波速度構造モデルを作成している。(2)では、(1)のモデルを基本として、地震動のR/Vスペクトル比と微動アレイの位相速度によるジョイントインバージョンを行い、モデルを修正する。(3)で求められた構造を3次元方向に展開し、(4)にて2秒よりも長周期は、差分法で、2秒よりも単周期側は、観測スペクトルから求めたS波増幅特性と作成した地盤モデルからSHにより計算した結果と比較している。(5)では、主に2秒よりも短周期の部分のみについて、微動のH/Vスペクトル比によるインバージョン処理を行い主に浅部地盤モデル部分の速度構造の修正のみを行い、最終的な構造モデルを作成した。

3. 作成した浅部・深部統合地盤モデルの評価

最終的に、千葉県・茨城県全域の浅部・深部地盤構造モデルを250mメッシュ単位で作成した。本検討でチューニングされた地盤モデルは、広帯域全体の精度、特に2~0.5秒付近の周期特性およびS波増幅特性が大幅に改善するものとなった。なお、最終結果の浅部・深部統合地盤モデルにおけるAVS30の結果と既往の地盤構造モデルの結果を比較した場合、浅い地盤構造(AVS30(m/s))は若干速度が大きくなり、それよりも深い構造 $V_s=500\sim 700$ (m/s)が厚くなる傾向を確認することができた。

4. まとめ

本研究において、特に1秒周辺の解析結果の収束性も非常に良くなった。今後、地域毎にこのような取り組みを実施し、他の地域においても浅部・深部統合地盤モデルの構築について検討を行う予定である。また、これまで実施した地域においても精度の向上を目指す。

<謝辞>

本研究は、文科省委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」(H19~H23)により実施したものである。

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 17:30-18:30

キーワード: 浅部深部統合地盤モデル, 強震動, 微動観測, 地質層序, S波速度構造

Keywords: integrated model of shallow and deep structure, Strong-motion, Microtremor measurements, Geology stratigraphy, S-wave velocity

An evaluation of 3-D velocity models of the Kanto basin for long-period ground motion simulations

An evaluation of 3-D velocity models of the Kanto basin for long-period ground motion simulations

Yadab Prasad Dhakal^{1*}, Hiroaki Yamanaka¹
Yadab Prasad Dhakal^{1*}, YAMANAKA, Hiroaki¹

¹Tokyo Institute of Technology

¹Tokyo Institute of Technology

Many institutes are involved in constructing and updating the 3-D velocity structure model of the deep sedimentary basins for the seismic disaster mitigation planning in Japan. The 2009 J-SHIS model for the deep sedimentary layers of the Kanto basin was reconstructed using diverse suite of data: the geological data, seismic reflection and refraction surveys, gravity surveys, H/V inversions, deep borehole profiles, and layer boundaries estimated by microtremor exploration method (e.g., Fujiwara et al., 2006). On the other hand, Yamada and Yamanaka (2011) introduced a new model (hereafter YY model) for the deep sedimentary layers of the Kanto basin based on the Rayleigh wave phase velocities at periods from 0.5 to 5 s deduced from the microtremor array observations at more than 250 sites in the area. There exist also other velocity models of the Kanto basin based on refraction data and geological data.

In this paper, we select the 2009 J-SHIS model and the 2011 YY model to evaluate their performance for the long-period ground motion simulation. We simulate waveforms in the period range of 2 to 10 s (0.1 ~ 0.5 Hz) for two moderate magnitude intermediate depth earthquakes: Mw 5.9, depth 68km (2005/07/23, 16:35, JST); and Mw 5.8, depth 80km (2011/04/16, 11:19, JST), which occurred beneath the Kanto basin, using a 3-D finite difference method. We used strong-motion records at about 600 and 450 sites to evaluate the models for the 2005 and 2011 events, respectively, recorded by the K-NET, KiK-net, and SK-net. For details about the earthquake source parameters, velocity models, waveform simulations, and goodness-of-fit measure, we refer readers to our previous paper (Dhakal and Yamanaka, 2012) and references therein.

We derived the goodness-of-fit (gof) values from the PGVs and Fourier spectra using the algorithm proposed by Olsen and Mayhew (2010). We found that more than 95% of sites belong to the fair fit and above for both the models for the 2005 event, and 85% for the 2011. The J-SHIS and YY models give one class high gof values at about 20%, and 15%, respectively, of about 600 sites used in this study, suggesting that one model performs better than the other at those sites.

In this paper, we extended the goodness-of-fit analysis in our previous paper to the cross correlation measure. We obtained cross correlation at 105 K-NET and KiK-net sites, which are located in the basin, for the 2005 event. The waveforms are shifted to match the S-wave arrivals. We found that, for a time window of 20s, starting from 10s before the S-wave, 76% and 79% of sites belong to the class of fair fit and above for the EW component, which had dominant amplitude over other components, for the J-SHIS and YY models, respectively. On the other hand, for a time window of 70s, starting from 10s before the S-wave, 62% and 51% of sites belong to the class of fair fit and above for the J-SHIS and YY models, respectively.

The above results suggest that the two models perform somewhat differently and need further revision. Also, an improved model can be obtained by integrating the two models.

Acknowledgement

This study was partially supported by -Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in the Tokyo Metropolitan Area-supported by Ministry of Education, Sports, Culture, Science and technology, Japan.

Reference

Dhakal, Y. P. and Yamanaka, H., 3-D Finite Difference Simulation of Long period Ground Motions for the Performance Analysis of two Subsurface Velocity Models of the Kanto Basin Using Moderate Magnitude Earthquakes, Joint Conference Proceedings, 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, March 6-8, 2012, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 17:30-18:30

キーワード: Kanto basin, J-SHIS, Subsurface structure, Long-period ground motion, Goodness of fit
Keywords: Kanto basin, J-SHIS, Subsurface structure, Long-period ground motion, Goodness of fit

地震波干渉法によって推定された関東平野のグリーン関数のシミュレーション Simulation of the Green's function estimated from seismic interferometry in the Kanto basin

地元 孝輔^{1*}, 山中浩明¹

CHIMOTO, Kosuke^{1*}, YAMANAKA Hiroaki¹

¹ 東京工業大学

¹Tokyo Institute of Technology

地震波干渉法理論により2点の地震記録の相互相関からグリーン関数を合成できる。著者らは前大会で関東平野において地震波干渉法に基づいて推定されたグリーン関数の表面波群速度と既往のモデルによる理論値とを比較してその妥当性を検証した。しかし理論上ではグリーン関数が合成できるとされているものの、これまでの多くの研究ではその速度推定のみにとどまっている。そこで Prieto and Beroza (2008) や山中ほか (2010) では微動記録の相互相関と地震記録を比較し、それらの波形が類似していることを示した。また、Prieto et al. (2009) ではコヒーレンス関数の減衰により1次元モデルによる深さ方向のQ値の推定を試みている。Ma et al. (2008) は有限要素法による理論グリーン関数のシミュレーションを行い、微動記録の相互相関関数と比較している。このように最近では観測された相互相関の到達時刻だけでなく、振幅も含めたグリーン関数の合成が検討されている。しかし実際の波動場は複雑なため、理論的な考察はシミュレーションに頼らざるを得ない。そこで、地震波干渉法によるグリーン関数合成の妥当性を検証するために、関東平野において地震波干渉法により推定されたグリーン関数と、三次元差分法によって計算された理論グリーン関数の比較によってその妥当性を検証した。

地震波干渉法によるグリーン関数の推定は、前大会と同様にした。関東地方において観測された約半年以上の微動記録を用いて、周期2秒から6秒の帯域通過を施し、1ビット化 (Campillo and Paul, 2003) 処理後に、各観測点間の相互相関関数を計算した。比較のための理論グリーン関数は三次元差分法を用いて各観測点の上下加振1点インパルス応答を計算した。計算に用いた地盤モデルは山中・山田 (2006) を参考にした。震源には周期6秒に中心周波数をもつリックカーウェーブレットを用いた。計算された理論グリーン関数と推定グリーン関数の比較により、両波形の到達時刻はおおよそ合っていることがわかった。このことにより地震波干渉法に基づいたグリーン関数の速度推定が実際の波動場にも十分に適用できることがわかる。特に、観測点間隔が数km程度でかつ観測点間の地下構造が大きく変化しない場合には両波形がよく一致していることがわかった。一方、平野端部に観測点が位置する場合や観測点間隔が大きい場合、理論グリーン関数は後続位相が長く複雑な波形を示し、推定グリーン関数との比較では両波形の差異が大きくなった。このような場合には観測点間の地下構造の変化が複雑なため、波動伝播も複雑になりモデルと現実との差の影響が大きくなるためと考えられる。またこのため、グリーン関数は直達波成分が卓越するとは限らないので速度推定においても注意が必要であることがわかった。

キーワード: 地震波干渉法, グリーン関数, シミュレーション, 微動, 関東平野

Keywords: seismic interferometry, Green's function, simulation, microtremors, Kanto basin