

SSS031-01

会場:105

時間:5月23日 10:45-11:00

首都圏地震観測網 MeSO-net で観測される太平洋プレートからの反射波 Reflection from the subducting Pacific plate detected by MeSO-net

小原 一成^{1*}, 平田 直¹, 笠原 敬司¹, 酒井 慎一¹, パナヨトプロス ヤニス¹, 中川 茂樹¹, 木村 尚紀², 明田川 保³
Kazushige Obara^{1*}, Naoshi Hirata¹, Keiji Kasahara¹, Shin'ichi Sakai¹, Yannis Panayotopoulos¹, Shigeki Nakagawa¹, Hisanori Kimura², Tamotsu Aketagawa³

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

¹ERI, Univ. of Tokyo, ²NIED, ³Hot Springs Res. Inst. of Kanagawa Pref

沈み込むプレート境界付近では、地下構造の急激な変化に伴って様々な地震波の変換・反射・散乱が生じる。これらの二次的に生成された地震波動は、プレート境界の形状やインピーダンスコントラストの解明に有効であり、沈み込み帯の地震テクトニクスを理解する上で重要であるとともに、アスペリティや流体分布を推定する上で重要な情報となる。

Obara and Sato(1988) 及び Obara(1989) は、関東地方に発生する浅い地震のコーダ部分に沈み込む太平洋プレートからの反射波を見出し、防災科学技術研究所の高感度地震観測網（当時の関東・東海地殻活動観測網）のデータを用いて、プレート境界の位置および反射係数の推定を行った。その結果、深さ 70~120km の範囲、つまり首都直下から火山フロント付近まで反射面が広がり、反射係数は非常に高くプレート境界に流体が存在する可能性を指摘した。

反射面が確認されている首都圏では、現在、文部科学省の委託研究「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」により、東京大学地震研究所が首都圏地震観測網（MeSO-net）を整備し、数 km 間隔の非常に稠密な自然地震観測を実施している。この稠密観測によりコヒーレントな地震波形記録が多数得られており、地下構造の解明に非常に効果的であることが示されているが、太平洋プレート境界からの反射波についても、プレート境界の詳細な形状や反射効率特性を抽出できる可能性がある。そのため、MeSO-net 観測点で記録された地震波形から太平洋プレート境界からの反射波を抽出し、その特徴について調査を行った。

Obara and Sato(1988) 及び Obara(1989) を参考に、関東地方に発生した深さ 40km 以浅、マグニチュード 3 以上の地震を解析対象とした。MeSO-net の加速度データに数種類の周波数帯域通過フィルターをかけて反射波の出現を確認し、最もよく反射波が観察される 4~16Hz 帯の波形記録及びエンベロープ波形記録を直線状に展開されたいくつかの観測点列に沿って並べ、反射波の有無と連続性を調査した。その際、震源と観測点、及び Obara and Sato(1988) によって推定された太平洋プレートの形状から予想される反射波到達時刻を参照データとして用いることにより、反射波の認識力向上を図った。

反射波は、東京周辺から神奈川・山梨・静岡県境付近までの範囲に発生した地震において明瞭に観測された。反射波の初動は非常に不明瞭で、最大振幅まで数秒間徐々に増加する傾向を示し、継続時間は長い場合で 10 秒以上になることもある。反射波が特に明瞭に観測される場合の反射点は、深さ 70~100km で東京湾から東京区部、神奈川県東部の範囲に分布し、千葉・埼玉直下で反射する波線経路では明瞭な反射波が見られなかった。また、反射波走時は仮定したプレート境界からの計算走時と概ね整合的であるが、一部に走時差が見られており、データがさらに蓄積すればプレート境界の位置及び反射効率の分布を詳細に把握することが可能であることを示している。長い継続時間は、反射効率のよい反射面が存在する媒質における 1 次散乱でも説明できる（Obara, 1995）が、厚さ 10~20 km 程度の反射層が太平洋プレート最上部に存在する可能性もある。

キーワード: 太平洋プレート, 反射, 首都圏地震観測網

Keywords: Pacific plate, Reflection, MeSO-net

首都圏地震観測網 (MeSO-net) でとらえた変換波より推定される房総半島下のプレート構造 (その2)

Plate structure below the Boso Peninsula, central Japan, estimated from converted waves observed by the MeSO-net (2)

木村 尚紀^{1*}, 武田 哲也¹, 小原 一成², 酒井 慎一², 笠原 敬司², 平田 直²

Hisanori Kimura^{1*}, Tetsuya Takeda¹, Kazushige Obara², Shin'ichi Sakai², Keiji Kasahara², Naoshi Hirata²

¹ 防災科研, ² 東大地震研

¹NIED, ²ERI, Univ. of Tokyo

首都圏直下で発生しうる M7 クラスの地震の全体像を探るため、詳細な地下構造を明らかにすることは重要である。関東地方では、フィリピン海プレートが沈みこみ、1923 年関東地震 (M7.9) 等の巨大地震が発生してきた。1923 年関東地震の翌日には、房総沖で最大余震 (M7.6) が発生したことが知られている。これらの現象の発生する場を規定する要因を探ることは、その発生メカニズムを解明する上で重要である。地下の構造を明らかにするために、自然地震の後続位相は、地下の速度不連続面について有用な情報を与えてくれる。房総半島沖で発生する地震で P 波と S 波の間に後続位相がしばしば見られ、多数の波形記録の詳細な検討によりフィリピン海プレート最上部に分布する火山性砕屑物層 (以下、VCR 層とする) での変換波に同定されている (Kimura et al., 2010)。近年、首都圏での自然地震観測の強化を目的として高密度な観測網 (首都圏地震観測網: MeSO-net) が整備された。これまで、MeSO-net による波形記録を調査し、フィリピン海プレート上面で発生した地震について上下動成分で P 波と S 波の間に 1 つ、フィリピン海プレート境界より深い地震で P 波と S 波の間に 2 つの明瞭な位相が見られることを報告した (木村ほか, 2010a)。理論走時との比較・検討より、前者は堆積層基盤、後者は堆積層基盤および VCR 層下面からの SP 変換波と考えられる。しかし、房総半島中部から西岸で理論走時と比較して変換波の到達が系統的に遅く、房総半島の東西で構造の違いがあることが示唆された (木村ほか, 2010b)。そこで、MeSO-net の稠密な観測点分布の利点を活かし、変換面の形状の推定を進めた。

前回までの結果 (木村ほか, 2010b) に加え、変換面の傾斜方向を変化させた場合も検討した。さらに、得られた結果について対象イベントを増やし、信頼性の向上を図った。なお、初期構造モデルは木村ほか (2010b) および Kimura et al. (2010) を元に作成した。関東平野は厚い堆積層に覆われ、低速な未固結堆積物による走時遅れが大きく、中深層観測点と比べて場所により走時遅れが P 波で約 1 秒、S 波で約 3 秒に達する (木村ほか, 2010a)。そこで、堆積層の影響を適切に評価するため、「地震ハザードステーション」(J-SHIS) による深部地盤構造モデル (藤原ほか, 2009) を用いた。同モデルで V_p 3800m/s 以下となる層を堆積層とし、速度構造モデルの浅部をこれで置き換えた。走時計算は Zelt and Barton (1998) による差分法走時計算プログラム FAST を用いた。

試行錯誤的に形状モデルを検討した結果、房総半島東岸の深さ 18km を中心として、N20E の方向を軸に、西に 45 度傾けた場合に走時差の RMS (root-mean-square) が最小となった。そこでこのモデルを採用すると、SP 変換波が VCR 層下面で励起されたとすると、これは房総半島下でフィリピン海プレートの境界が大きく西に傾斜していることを意味する。周辺の地震による観測波形を検討したところ、多くの地震で同様な位相が明瞭に見られた。これらの位相も上記のモデルで再現できた。

このような顕著な構造変化があると地震活動にも影響を与えている可能性がある。変換面の傾斜が推定された場所は、相似地震発生域の西端とほぼ一致する。また、傾斜面を走向方向に南に延長すると、1923 年関東地震と最大余震の境界と重なる。このことから、変換面の形状すなわちフィリピン海プレート境界の形状の変化が、相似地震の発生域を規定し、さらに巨大地震のセグメント境界として機能している可能性がある。武田ほか (2007) は、既存の構造探査データを取りまとめ、相模トラフ周辺の統合プレート形状モデルを構築した。このモデルによると、三重会合点から相模トラフ北西端に向かうにつれフィリピン海プレートの傾斜が急になり、特に房総半島南東沖で大きく屈曲する。これは、房総半島の西側でプレート境界が東側より深いことを示している。今回の結果は、西側が深いという点で武田ほか (2007) と調和的であるが、深さが狭い範囲で急激に変化していることを示唆している。VCR 層を含めたプレート境界構造の空間変化も考慮しつつ、今後さらに検討が必要である。

謝辞: 走時計算に「地震ハザードステーション」(J-SHIS) による深部地盤構造モデル (藤原ほか, 2009) を使用させて頂きました。記して感謝いたします。

キーワード: 関東地方, MeSO-net, 変換波, プレート境界, 1923 年関東地震, セグメント境界

Keywords: Kanto region, MeSO-net, converted wave, plate boundary, 1923 Kanto earthquake, segment boundary

SSS031-03

会場:105

時間:5月23日 11:15-11:30

関東北東部のフィリピン海スラブの形状: 九十九里-霞ヶ浦測線における地殻構造探査

Geometry of the Philippine Sea slab beneath the northeastern part of the Kanto plain, central Japan

佐藤 比呂志^{1*}, 阿部 進², 蔵下 英司¹, 岩崎 貴哉¹, 平田 直¹, 溝畑 茂治², 酒井 慎一¹, 浅尾一己³, 伊藤 谷生⁴
Hiroshi Sato^{1*}, Susumu Abe², Eiji Kurashimo¹, Takaya Iwasaki¹, Naoshi Hirata¹, Shigeharu Mizohata², Shin'ichi Sakai¹, Kazumi Asao³, Tanio Ito⁴

¹ 東京大学地震研究所, ²(株)地球科学総合研究所, ³千葉県庁, ⁴千葉大学

¹ERI, Univ. Tokyo, ²JGI. Inc., ³Chiba Prefectural Government, ⁴Dept. Earth Sci., Chiba Univ.

はじめに

首都直下では太平洋プレートの上にフィリピン海プレートが沈み込むという特異なプレート構造をなしている。沈み込むフィリピン海スラブと太平洋スラブとの関係を明らかにすることは、首都直下のスラブ内地震の発生ポテンシャルを考える上で重要である。このため文部科学省が実施している「首都直下地震防災減災特別プロジェクト」の一環として、2010年6月下旬から7月上旬にフィリピン海スラブと太平洋スラブの接触域に近い九十九里浜沖から霞ヶ浦に至る延長約70kmの区間で、制御震源を用いた地殻構造探査を実施した。目的はプレート接触域の詳細な構造を明らかにすることである。両スラブの接触部については、霞ヶ浦-つくば測線とつくば-水戸測線に地震計を設置し、稠密自然地震観測を実施した(蔵下ほか, 本大会)。浅部では制御震源を用いて詳細なイメージングを、より深部については自然地震によるイメージングにより、総合的に地殻プレート構造を解明する。

九十九里-霞ヶ浦測線

探査測線は九十九里浜から北北西方向に霞ヶ浦南岸まで52kmの区間と、海域に6kmの長さの海底ケーブルを設置し、計58kmの受振ラインを展開した。沖合20kmの区間まで3020cu.inchのエアガン、陸域では4台の大型パイロサイスを用いた発震作業を行った。発震記録は1520チャンネルの固定展開で収録した。反射法の発震点間隔は陸域で100-150m、海域で50mである。この他、屈折法/広角反射法のためにパイロ・エアガンの集中発震、ダイナマイト発破など計12点の高エネルギー発震を行った。

フィリピン海プレート上面: 高エネルギー発震記録を用いた重合時間断面に対して、首都圏に設置しているMeSO-netの地震観測網[1]によって求められた地震波トモグラフィによる速度構造を用いて深度断面への変換を行った。得られた深度断面では、フィリピン海プレート上面に対応すると判断される見かけ上北北西に傾斜する反射波群が認められる。九十九里浜では、波群の上面は約25kmの深さに位置し、反射波群は約5kmの厚さを有している。測線に沿って北北西方向に深さを増大させ霞ヶ浦南岸では約38kmの深さまで追跡される。

堆積層

反射法地震探査断面浅層部では、先第三系上面が深さ750mから1000mに分布する。細かい凹凸はなすものの全体としては概して平坦な形状を示す。堆積層はほぼ水平な先第三系上面に、測線南部では約北に10°の傾斜を示す堆積層がオンラップする。測線中央部では緩い向斜を示す。これらの堆積層は広域的な対比により上総層群に相当する地層群と解釈され、測線南部での広範な隆起・長波長地殻変動に関連している。

キーワード: フィリピン海プレート, 反射法地震探査, スラブ, 地殻構造, 関東, テクトニクス

Keywords: Philippine Sea plate, seismic reflection profiling, slab geometry, crustal structure, Kanto, tectonics

SSS031-04

会場:105

時間:5月23日 11:30-11:45

関東平野の伏在活断層の地下構造 Subsurface structures of active blind thrusts in Kanto plain

石山 達也^{1*}, 佐藤 比呂志¹, 加藤 直子¹, 阿部 進²
Tatsuya Ishiyama^{1*}, Hiroshi Sato¹, Naoko Kato¹, Susumu Abe²

¹ 東京大学地震研究所, ² (株)地球科学総合研究所

¹ERI, University of Tokyo, ²JGI, Inc

本研究では、関東平野に分布する活断層を横断する深部構造探査断面に基づき、伏在活断層の深部形状について考察する。関東平野には、立川断層や深谷断層・綾瀬川断層といった活動的な逆断層が分布する（活断層研究会，1991）。これらは概して平均変位速度が 0.1mm/yr 前後と非常に遅い（須貝ほか，2001; 石山ほか，2005）。反射法地震探査の結果（山口ほか，1998）によれば、立川断層は中新世の半地溝構造を限る正断層が逆断層として再活動しているものと考えられる。また、これらの断層の活動開始は比較的新しく、深谷断層では上盤側の傾斜不整合とその上位の成長層下部の年代（須貝ほか，2001）から中期更新世と考えられる。近年、関東平野では大深度地殻構造探査が数多く行われ、いくつかの測線ではこれらの活断層を横断している。大大特・北関東測線の深部構造探査の結果（佐藤ほか，2010）によると、測線が延びる青梅から春日部にかけての区間では、地下に半地溝構造（ハーフ・グラベン）がいくつか認められる。これらは、既往の反射断面で見出された、前期-中期中新世のハーフ・グラベン（高橋ほか，2006）と同時期に形成されたものであろう。このうち、武蔵野台地北東縁部、綾瀬川断層および守谷-取手隆起帯（貝塚，1987）の地下に分布する半地溝構造については、見かけ上西に傾斜する断層上盤側のリフト期以降の新第三系・第四系に微弱な背斜構造が認められ、鮮新世から更新世にかけて反転した可能性がある。綾瀬川断層については、この反転構造の直上に分布する大宮台地（下末吉面相当）に背斜状の変形が認められる（貝塚，1987）。加えて、ボーリング調査および浅層反射法地震探査から上総層群に撓曲構造が growth strata の証拠が認められ、段丘面の年代および変形量から 0.1 mm/yr の平均変位速度が推定される（石山ほか，2005）。一方、武蔵野台地の地形については、テクトニックな変形を表すとする考え（貝塚，1957）と、ノンテクトニックであるとする考え（廣内，1999）があり、第四紀後期の活動性については十分に検討する必要がある。

SSS031-05

会場:105

時間:5月23日 11:45-12:00

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 Seismic basement S-wave reflection beneath the Tokyo Metropolitan Area inferred from seismic interferometry

吉本 和生^{1*}, 平田 直², 笠原 敬司², 小原 一成², 佐藤 比呂志², 酒井 慎一², 鶴岡 弘², 中川 茂樹², 木村 尚紀³, 棚田 俊收³, 明田川 保⁴, 中原 恒⁵, 木下 繁夫¹

Kazuo Yoshimoto^{1*}, Naoshi Hirata², Keiji Kasahara², Kazushige Obara², Hiroshi Sato², Shin'ichi Sakai², Hiroshi Tsuruoka², Shigeki Nakagawa², Hisanori Kimura³, Toshikazu Tanada³, Tamotsu Aketagawa⁴, Hisashi Nakahara⁵, Shigeo Kinoshita¹

¹ 横浜市立大学, ² 東京大学地震研究所, ³ 防災科学技術研究所, ⁴ 神奈川県温泉地学研究所, ⁵ 東北大学

¹Yokohama City Univ., ²ERI, Univ. of Tokyo, ³NIED, ⁴Hot Springs Res. Inst. of Kanagawa Pref., ⁵Tohoku Univ.

1. はじめに

首都直下地震防災・減災特別プロジェクトでは、首都圏に新たな首都圏地震観測網 (MeSO-net) を設置し、自然地震の稠密観測を実施している。MeSO-net の構築によって、首都圏における地震観測点の数と空間分布密度は飛躍的に高まった。本報告では、MeSO-net 及び首都圏強震動総合ネットワーク (SK-net) の観測点において記録された地震波形に地震波干渉法を適用して推定された地震基盤の S 波反射強度とその地域変化について紹介する。

2. データと解析

解析には、MeSO-net と SK-net の地震観測点で 1997 年以降に記録された約 2 万 7 千の地震波形を使用した。地震波干渉法では、各観測点の加速度波形を変位波形に変換し、直達 S 波を含む 10 秒間の SH 成分について自己相関関数を求めた後に、重合処理を施して地盤の S 波レスポンス関数を評価した。次に、S 波レスポンス関数中に見られる地震基盤からの反射 S 波位相 (卓越周波数 1Hz 程度) に着目し、その発現時間 (地表と地震基盤間の S 波往復走時に相当) と振幅を測定した。この結果をもとに、既往研究による堆積層の S 波減衰の Q 値 (木下・大池, 2002) を使用して非弾性減衰の効果を補正し、地震基盤の S 波反射強度とその地域変化を調べた。

3. 結果

推定された地震基盤の S 波反射強度 (反射係数) には、地域ごとに明瞭な差異が見られた。首都圏の北東部にあたる茨城県南部や千葉県北部では、0.5 程度の特にならぬ反射係数の値が求められた。一方、首都圏の南西部にあたる神奈川県内では、0.1 程度の有意に小さい反射係数の値が得られた。このような地域差は、主に、地震基盤面を挟んでのインピーダンスコントラストの地域性を反映したものであり、地震基盤を構成する岩石の物性に大きく依存していると考えられる。例えば、首都圏の西部では、秩父帯と四万十帯に分類される基盤岩が伏在しており、その地質境界は東京都と神奈川県の都県境付近に推定されている (例えば、林, 2006)。本解析で得られた反射係数は、この地質境界を挟んで、相対的に北側で大きく、南側で小さい。この傾向は、基盤岩とその上部の堆積層のインピーダンスコントラストが形成年代の比較的新しい四万十帯の分布する地域において相対的に小さいと考えるとことと解釈できる。

さらに、反射係数の大きさには、地表と地震基盤間の S 波往復走時 (地震基盤の深度) の増大とともに小さくなる傾向が見られた。測定値は、ばらつきは大きいものの、平均的に見れば、地表と地震基盤間の S 波往復走時が 4 秒くらいまでの浅部 (約 2km 以浅) においては 0.3 程度、それ以深では 0.2 程度或いはそれより小さい値を示す。この結果は、地震基盤面を挟んでのインピーダンスコントラストが深さとともに小さくなる傾向にあることを示す。定性的には、堆積層を構成する地層のインピーダンスが深さとともに増大し、基盤岩のその値に漸近するためであると解釈できる。

謝辞

本研究では、首都圏地震観測網で記録された地震波形及び、首都圏強震動総合ネットワークの東京都、東京消防庁、茨城県、神奈川県、群馬県、埼玉県、千葉県、栃木県、横浜市、防災科学技術研究所、気象庁、東京大学地震研究所の強震波形記録を利用しました。また、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。ここに記して感謝します。

キーワード: 地震波干渉法, 地震基盤, 首都圏地震観測網, 首都圏強震動総合ネットワーク, 反射係数
Keywords: seismic interferometry, seismic basement, MeSO-net, SK-net, reflection coefficient

SSS031-06

会場:105

時間:5月23日 12:00-12:15

千葉県における浅部・深部統合地盤モデルの検討

Examination of integrated velocity model of shallow and deep structure in Chiba Prefecture

先名 重樹^{1*}, 前田宣浩¹, 森川信之¹, 藤原広行¹

Shigeki Senna^{1*}, Takahiro Maeda¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ NIED

1. はじめに

強震動予測を高度化するためには、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ような地盤モデルの構築が重要な課題の1つである。そのためには、これまで別々にモデル化を実施してきた浅部地盤モデルと深部地盤モデルを統合し、観測記録を再現できるようなモデルの作成を進めていくことが不可欠である。本研究では、千葉県全域において面的に詳細な常時微動探査を実施し、既往の浅部・深部統合地盤モデル(地質初期モデル)を初期値として、面的に多数の微動アレイ探査および単点による微動探査(H/Vスペクトル比)を実施し、地盤のS波速度構造、Q値および増幅特性(スペクトル増幅率)等を求め、地盤モデルの高度化を行った。また、面的な補間方法の検討も行い、250mメッシュ単位の浅部・深部統合地盤モデルを作成した。

2. 微動観測について

本研究では、千葉県全域において、自治体等が所有している地盤に関する基礎的な情報調査としてボーリングデータの収集と常時微動観測を行った。単点による微動観測については、平成21年5月~平成22年8月にかけて、千葉県全域において、主に小・中・高校の敷地を利用した単点による微動観測(合計772地点)と、K-NET、KiK-net、自治体の震度観測地点において微動アレイ観測(合計67地点)をそれぞれ実施した。観測には水平2成分上下動1成分およびロガー(LS-7000XT)が装備された微動観測装置JU-210およびJU-215(白山工業社製)を用いた。単点による微動観測は、主に千葉県の自治体の地震観測地点や、小・中・高等学校の敷地内等で実施した。また、本研究では、浅部・深部統合地盤モデルの高度化を最終的な目標としているため、統合化の中でも特に速度層としての同定が難しい工学的基盤相当層($V_s=300\sim 700$ (m/s))の位相速度分布の面的分布の推定と、既往の地盤モデルに対するS波速度構造のチューニングを行うために微動アレイ観測も実施した。微動アレイ観測については、単点観測と同地域において既往の研究に基づき5~10km間隔で設定し、アレイの中心点は、主に自治体の震度計・K-NET、KiK-netの地震計ある位置を中心として、半径 $R=300$ m、100mの大きさの三角計のアレイと、それよりも小さな半径については一辺75mのL字アレイ(一部 $R=40\sim 60$ mの三角アレイ)を展開し、三角アレイについては、1時間程度、L字アレイ等については30分~40分程度の観測を行った。

3. 微動観測によるS波速度構造と増幅特性の検討

本研究においては、K-NET、KiK-netおよび自治体震度計等の地震波形記録を用い、R/Vスペクトル比を求め、微動アレイによる観測位相速度との間で、ジョイントインバージョン処理を行い、広帯域での周期特性の合わせ込みを行った。その結果、特に0.5秒~2秒付近において、特に理論H/Vと地震動のR/Vによる周期特性が良く合う結果となった。そこで、推定された速度構造モデルの増幅特性の検証として、Q値とS波増幅構造についても検討を行った。サイト増幅特性の計算については、Tsuda et al.(2010)を参考に計算を行った。また、Q値による減衰と幾何減衰を補正した後の観測スペクトルと震源スペクトルの残差を地震毎に求め、相対的サイト増幅特性とした。用いた地震観測記録は、千葉県内の強震計で観測された、M5~6の中規模地震とし、震源深さは30km以深とした。回帰分析には震央距離200km以内の記録のみを用いた。S波初動から20.48秒までのNS成分とEW成分のフーリエスペクトルを求め、周波数0.3HzのParzen windowによる平滑化をした後に、NS成分とEW成分の相乗平均を求めた。求められた相対的サイト増幅特性に対し、ジョイントインバージョンによって求めたS波速度構造と比較したこの結果、既往の地盤構造モデルの結果に対し、全体的に観測記録との結果の差(標準偏差)が小さく、地盤モデルが改善されたといえる。また、この結果より、微動観測による速度構造結果を反映した上で、面的に分布を広げるための手法についても、面的に広げた地盤モデルによる位相速度と、単点微動のH/Vスペクトル比による2秒よりも短周期部分のジョイントインバージョンにより検討し、250mメッシュの浅部・深部統合地盤モデルを作成した。

4. まとめ

今後、本研究で実施した手法を用い、茨城県をはじめとして関東全域に展開し、より高精度な浅部・深部統合地盤モデルの構築方法を検討する予定である。

<謝辞>

本研究を実施するにあたり、応用地質（株）の鈴木晴彦氏にモデルの検討についてご協力いただいたここに謝意を表します。

キーワード: 統合地盤モデル, 強震動, 微動観測, S波速度構造, Q値

Keywords: Integrated structure model, strong-motion, microtremor measurements, S-wave velocity, Q-value

マルコフ連鎖モンテカルロ法による表面波の位相速度の逆解析 Surface-wave phase velocity inversion using Markov Chain Monte Carlo method

山中 浩明^{1*}

Hiroaki Yamanaka^{1*}

¹ 東京工業大学総理工

¹Tokyo Institute of Technology

微動探査は、比較的容易にS波速度構造モデルを推定できることから、地震動予測のための地盤モデルの構築の際によく用いられている。首都圏でも、多数の微動探査が行われ、堆積層の3次元S波速度構造モデルも提案されている(例えば、山中・山田, 2006)。今後も、同様の探査が行われ、モデルが改良・更新されることになると期待されるが、追加されたデータの効果を理解するためには、モデルの精度や分解能などの議論が不可欠である。

微動探査では、表面波の位相速度の推定とその逆解析が主要な要素技術である。位相速度の逆解析では、最小2乗法だけでなく、GAやSAなどのヒューリスティック探索法も使われている(例えば、山中, 2007)。ヒューリスティック探索法の利点のひとつは、目的関数の微分係数を用いていないので、アルゴリズムのロバスト性が高いことである。そのために、位相速度の逆解析だけでなく、多くの分野で用いられている。その一方で、最小2乗法などに比べてパラメータの感度が直接的にはわかりにくいという短所もある。例えば、全く感度がないパラメータでも、ヒューリスティック探索による最小誤差のモデルでは探索範囲内である値に決まることになるので、結果の評価には十分に注意しなければならない。これに対して、山中ほか(1999)では、適応解の概念を用いて、目的関数が小さい解のパラメータの分布を求め、解のユニーク性を定性的に調べているが、これにしても十分に感度や分解能を理解できるわけではない。

マルコフ連鎖モンテカルロ(MCMC)法は、目的関数のパラメータのマルコフ連鎖の状態のランダムサンプリングから、その確率分布を求める統計的な手法であり、解析的に目的関数の形状が求められない場合を対称として開発されたもので、最近、様々な分野で注目されている(例えば、伊庭, 2005)。さらに、ベイズ定理によれば、逆解析の解のパラメータの事前確率が一樣であれば、観測値の尤度が解の事後確率となり、逆解析のモデルの決定だけでなく、その分解能も評価できることになる。逆解析では、観測値と計算値で決まる尤度の確率分布をMCMC法に基づいて推定することになる。したがって、GAやSAと同様に高ロバストである利点を有しているといえる。本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法を位相速度の逆解析に適用することを試み、関東平野での実データへの応用を行った。

まず、関東平野の深部地盤を模擬した4層モデルを仮定して数値実験を行った。周期0.5 - 10秒の基本モードのレイリー波の位相速度を計算し、これらに以下のように仮定した標準偏差の20%のランダムなノイズを与え擬似観測データを作成した。これらの擬似観測値の5から40%の値を観測値の標準偏差として与えた。逆解析では、S波速度と層厚を未知数とした。実際の計算では、温度一定のSAに類似したMetropolis-Hastings法を用いて、サンプリングを行った。モデルの変化量を与える提案密度関数としては、正規分布を仮定し、最終的な受理確率が5割程度になるように、正規分布の標準偏差を決定した。各パラメータに対して3万回のモデル更新を行うことにしたので、合計21万回の順計算を行うことになる。サンプリングしたS波速度と厚さから平均値と標準偏差を求め、それらを逆解析の解とした。観測誤差によらず、得られた解は、正解値に近いものであった。一方、当然ながら、モデルパラメータの標準偏差は観測値の誤差に依存し、観測値の誤差が大きいほど、モデルパラメータの推定誤差も大きくなっている。観測値とパラメータの標準偏差との比較から、モデルパラメータの誤差を10%以内にするには、観測誤差を10%以内にする必要があることがわかった。ただし、深部の厚さに関するモデルの分解能は低く、周期10秒でもデータが不十分であることを示している。

このように、MCMC法による逆解析では、誤差が最小となる一つのモデルを探索するのではなく、パラメータの確率分布を求めることになり、逆解析モデルの分解能などの定量的な評価が可能となる。これは、GAやSAにはない利点であると考えられる。今後、関東平野で得られている位相速度のデータへの適用を行い、推定モデルの分解能の空間的理解を行い、関東平野の3次元モデルの更新などの検討を行う予定である。また、強震動や地盤特性に関する他の逆解析に対して応用可能であり、推定パラメータの分解能が定量的に評価できるので、非常に有効な逆解析方法であると考えられる。

キーワード: 微動探査, 地盤モデル, 表面波, 位相速度, S波速度構造, マルコフ連鎖モンテカルロ法

Keywords: microtremor exploration, basin model, surface wave, phase velocity, S-wave velocity, Markov Chain Monte Carlo

SSS031-08

会場:105

時間:5月23日 12:30-12:45

首都直下地震の地震動予測とその結果の活用

Ground motion prediction and results utilization for next Tokyo metropolitan earthquakes

纈纈 一起^{1*}, 三宅 弘恵¹, 増田 徹¹, 酒井 慎一¹, 小林道和²

Kazuki Koketsu^{1*}, Hiroe Miyake¹, Tetsu Masuda¹, Shin'ichi Sakai¹, Michikazu Kobayashi²

¹ 東京大学地震研究所, ² 文部科学省

¹ Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, ² MEXT

首都圏とその周辺（ほぼ南関東地域に相当）では大正関東地震（1923年）や元禄関東地震（1703年）など、マグニチュード（M）8クラスのプレート境界地震が200年程度ごとに繰り返し発生しているが、こうした巨大地震の静穏期約200年の間、特にその後半の約100年間にもM7クラスの大地震が複数発生して、江戸や東京に大きな被害をもたらしてきた。このM7クラスの大地震がいわゆる首都直下地震である。資料などがそれ以前に比べれば比較的整っている明治期は大正関東地震直前のM7クラス活動期に相当し、5つの首都直下地震が南関東地域で発生したと考えられている。これらの認定に基づいて政府の地震調査委員会は、今後30年以内に首都直下地震が発生する確率は約70%という長期評価を公表している。

本研究ではまず酒井（2010）などを参考にして、今後発生する可能性が高くかつ首都圏への影響が大きい首都直下地震を複数選り出す。そして、それらの震源モデルをIrikura and Miyake（2011）のレシピなどに基づいて構築する。ただし、こうしたレシピは主に内陸地殻内地震（陸域の浅い地震）を対象にしているのに対して、首都直下地震は深さ数十kmのやや深いプレート境界地震あるいはスラブ内地震であるので、レシピに含まれるパラメータや関係式はこの種の地震に向けたものに変更する必要がある。次に、Koketsu et al.（2009）のレシピなどに基づいて南関東地域の地下構造モデルを構築する必要があるが、長周期地震動予測地図2009年試作版のためにこの地域の1次地下構造モデル（地震動記録を用いたチューニングが済んでいるモデル）が作られているので、これに対して最小限の修正を施すことで首都直下地震のための地下構造モデルを構築する予定である。

以上の震源モデル、地下構造モデルを用いて長周期成分は地震動シミュレーションにより、短周期成分は統計的グリーン関数法により計算し、両者を周期2~3秒程度でハイブリッド合成して広帯域の地震動予測を実現する。その予測の結果は首都圏各地の工学的基盤における地震動波形であるが、これらを工学分野などに活用してもらうために応答スペクトルの提示も行う予定である。また、長周期地震動予測地図での経験を生かして、最大速度や計測震度、継続時間、いろいろな周期の応答スペクトルなどの分布地図も作成し、さらなる利用促進を促す予定である。

キーワード: 首都直下地震, 地震動予測, 結果の活用

Keywords: Tokyo metropolitan earthquakes, ground motion prediction, results utilization

首都圏地震観測網 (MeSO-net: Metropolitan Seismic Observation network) について The Metropolitan Seismic Network for Detecting Mega-thrust and Intra-slab Earthquakes beneath the Tokyo Metropolitan Area

笠原 敬司^{1*}, 酒井 慎一¹, 中川 茂樹¹, 楠城 一嘉¹, パナヨトプロスヤニス¹, 森田 裕一¹, 鶴岡 弘¹, 小原 一成¹, 平田 直¹,
木村 尚紀², 明田川 保³, 伊東 明彦⁴

Keiji Kasahara^{1*}, Shin'ichi Sakai¹, Shigeki Nakagawa¹, Kazuyoshi Nanjo¹, Yannis Panayotopoulos¹, Yuichi Morita¹, Hiroshi
Tsuruoka¹, Kazushige Obara¹, Naoshi Hirata¹, Hisanori Kimura², Tamotsu Aketagawa³, Akihiko Ito⁴

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, ⁴ 宇都宮大学教育学部

¹Earthquake Research Institute, University, ²NIED, ³Hot Springs Res. Inst. of Kanagawa Pref., ⁴Faculty of Education, Utsunomiya
University

MeSO-net プロジェクトでは、首都圏に約 300 か所の中感度地震観測点を配置し、定常的な自然地震の稠密観測を行い、震源分布や地震波速度・非弾性常数の三次元的な分布を高精度に明らかにし、プレート境界面の形状やプレート内における弱面の存在等を把握する。首都圏は経済活動や交通などによる雑振動が多く、高感度地震観測は不可能であるが、可能な限りノイズ軽減を図る目的で地震計を深さ 20 m のポアホール内に設置し、精度の高い観測（中感度観測）を実施する。東京を中心とした半径 50 km においては、MeSO-net 観測網は 200 か所設置を予定している（既存高感度観測点は 10 数か所）。これにより首都圏の「地下の映像」はより鮮明になることが期待される。

地震計設置孔は深さ 20m 程度の縦孔を掘削し、地震計を 5 インチのケーシングパイプの先端に収納する。また、方位を北に合わせるキーが取り付けられており、ケーシングパイプをセメンチングにより固定する際にキーの方向を北へ向ける。このような方法で、水平動センサを正確な方向に設置し、再設置の場合も方位の再現性を高めた。地震計及び AD 変換器等の電子回路は直径約 12cm、長さ約 60cm の円筒形の防水型ステンレス容器に収納し、ポアホール内に設置される。地震計は熔融水晶をばねにした、DC 安定性の高い JA-40GA02 を使用した。AD のダイナミックレンジは 135dB 以上、周波数特性は DC ~ 80Hz となっている。上下動の分解能は 10 倍程度低い。精度の高いサイエンスモデルの提言は、精度の高い観測データが必要であるが、上記のシステムがもたらす取得データベースは、その推進に役立つであろう。

稠密観測は飛躍的なメカニズム解の精度向上をもたらした。特に観測網の直下の地震では、射出角が上方に向くので、地下構造の影響を受けにくくなる。このため、小さな地震でも発振機構解の精度高く決めることが出来る（酒井他, 2010）。また、中川他（2009）、利根川他（2009）、西田他（2009）、吉本他（2009）等により様々な手法で地下構造の研究が開始され、新しい地下イメージが提出されている。また、学校関係を中心に設置されていることから、観測データの学校現場への還元についての試みも行っている。MeSO-net 観測網は、平成 22 年度末までに設置予定の 23 点と既設点を合わせ、総計 249 点となる。平成 23 年度までにおよそ 300 か所の観測点を計画しているので、今後首都圏の地震発生様式や首都圏の被害地震解明に向けた研究は更に進むものと確信している。

キーワード: 地震計測, 沈み込み帯, 震源メカニズム, トモグラフィー, 地震工学

Keywords: Seismic instruments and networks, Subduction zones, Earthquake source observation, Tomography, Earthquake ground motion and engineering seismology

SSS031-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

稠密地震観測による首都圏の不均質な震度分布 Heterogeneous distribution of seismic intensity in the Metropolitan area 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, 小原 一成¹, 平田 直¹, 木村 尚紀², 明田川 保³

Shin'ichi Sakai^{1*}, Shigeki Nakagawa¹, Kazuyoshi Nanjo¹, Keiji Kasahara¹, Yannis Panayotopoulos¹, Hiroshi Tsuruoka¹, Eiji Kurashimo¹, Kazushige Obara¹, Naoshi Hirata¹, Hisanori Kimura², Tamotsu Aketagawa³

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

¹E. R. I., Univ. of Tokyo, ²NIED, ³HSRI

首都圏で発生する M7 級の地震の位置・深さ・規模などの震源要素を解明するとともに、地震による被害の軽減と首都機能維持に資することを目的とする「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」が、文部科学省により実施されることとなった（平田ほか・2010）。首都圏は経済活動や交通などによる雑振動が非常に強く、微弱な地面の揺れをとらえることが必要な自然地震観測には不利な地域であるが、本プロジェクトでは約 300 か所の観測点を集中的に設置して観測点密度を高め、初動のみならず後続波の検知能力を上げる。それらを利用した解析により、想定した地震断層周辺の構造の解像度を向上させることを期待している。観測点は、2007 年度から 2010 年度までの 4 年間の設置により 249ヶ所になった。この期間に観測されたデータのうち、気象庁マグニチュード (M) 2 以上の地震を約 1800 個選び、周辺の観測データ（気象庁、防災科技研、地震研、温泉地学研）と統合し、その震源再決定を行った。

M の決定には、各観測点の上下動成分の最大振幅を読み取り、渡辺の式（震源距離と最大振幅から M を決める）を用いているが、その値は観測点ごとに傾向が異なる。大きめに出る観測点はいつも大きめの値を示すことから、観測点ごとの最大振幅は、その地盤特性や伝播経路上の減衰構造の不均質の影響を含んでいるためと考えられる。そこで、観測点ごとに求めた M と全観測点で決めた M との差を観測点ごとに平均し、その分布を見てみた。東京 23 区東部の M が平均 0.3 くらい 23 区西部よりも大きくなる傾向や埼玉県中央南部での M が平均 0.2 くらい小さくなる傾向等、地域ごとの揺れの増減が見える。これらは、観測点直下の地盤構造のためと考えられるが、もう少し深い構造の影響も見られるようであり、沈み込むフィリピン海プレートの形状や減衰構造等との関係を推測する情報になる。

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

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

SSS031-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

How do waves attenuate under urban areas?: Insight from the Tokyo Metropolitan Seismic Observation network (MeSO-net).

How do waves attenuate under urban areas?: Insight from the Tokyo Metropolitan Seismic Observation network (MeSO-net).

パナヨトプロス ヤニス^{1*}, 酒井 慎一¹, 中川 茂樹¹, 笠原 敬司¹, 平田 直¹, 明田川 保², 木村 尚紀³

Yannis Panayotopoulos^{1*}, Shin'ichi Sakai¹, Shigeki Nakagawa¹, Keiji Kasahara¹, Naoshi Hirata¹, Tamotsu Aketagawa², Hisanori Kimura³

¹Earthquake Research Institute, ²Hot Springs Research Institute, ³NIED

¹Earthquake Research Institute, ²Hot Springs Research Institute, ³NIED

The Tokyo Metropolitan area is situated inside the 4 km deep Kanto sedimentary basin and is under-plated by both the Philippine and the Pacific sea plates. The material properties of the complex subduction zone beneath the Tokyo Metropolitan can be estimated by the seismic attenuation Q of seismic waves observed at local seismic stations. The waveform data used in this study are recorded at the dense seismic array of the Metropolitan Seismic Observation network (MeSO-net). The station network is distributed on five lines with an average spacing of 3 km and in an area with a spacing of 5 km in the central part of Kanto plane. The MeSO-net stations are equipped with a three-component accelerometer at a bottom of a 20-m-deep borehole, signals from which are digitized at a sampling rate of 200 Hz with a dynamic range of 135 dB. The attenuation of seismic waves along their path is represented by the t^* attenuation operator that can be obtained by fitting the observed P wave amplitude spectrum to a theoretical spectrum using an omega square source model. In order to accurately fit the spectral decay of the signal, only earthquakes that are recorded with intensity greater than 1 in the Japan Meteorological Agency intensity scale are selected. A grid search method is applied to determine the t^* values by matching the observed and theoretical spectra. The apparent corner frequency of the signal at each station is constrained before fitting for the t^* . The t^* data were then inverted to estimate a 3D Q_p structure under the Tokyo Metropolitan area, using a layered initial Q model. Two different models were tested, one model with a homogeneous Q 600 structure and one model with the top layer at 0 km representing the Kanto Basin set to 100, with all the grids below that layer to 600. The poor station/event distribution has as a result a Q structure greatly dependent on the initial model and ray paths. For the homogeneous initial model the Q below the Kanto basin is estimated to an average 340, and failed to resolve to probable low Q values inside the basin. For the layered Q model it is estimated approximately at 500 below the Kanto basin. In addition, a notable amplification of the spectrum in the 6 - 18 Hz range can also be observed in the data of several MeSO-net stations, which suggests that is not a minor local effect but a possible characteristic of the Kanto basin.

キーワード: attenuation, tomography, MeSO-net

Keywords: attenuation, tomography, MeSO-net

SSS031-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

稠密地震観測による首都圏北東部地域のプレート構造

Seismic structure of the northeastern Tokyo Metropolitan area by dense seismic array observations

蔵下 英司^{1*}, 佐藤 比呂志¹, 阿部 進², 溝畑 茂治², 平田 直¹

Eiji Kurashimo^{1*}, Hiroshi Sato¹, Susumu Abe², Shigeharu Mizohata², Naoshi Hirata¹

¹ 東大地震研, ² 地科研

¹ERI, Univ. Tokyo, ²JGI, Inc.

関東地域下では、フィリピン海プレートが陸側プレートと太平洋プレートとの間に沈み込むという複雑なプレート配置を形成している。沈み込むフィリピン海スラブは、関東北東部下で太平洋スラブと接触し、沈み込むスラブを変形させ、首都圏下の被害地震の要因になる可能性がある。関東北東部下におけるフィリピン海プレートと太平洋プレートの接合部の構造を高い精度で把握することは、関東地方下におけるプレートの運動方向に拘束条件を与える上で重要であり、首都直下地震を考察する上でも必要不可欠である。そこで、プレート接触域の詳細な構造を得るために、「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の一環として、制御震源を用いた地殻構造探査を、茨城県稲敷市から下総台地・千葉県旭市を経て九十九里沖に至る「九十九里-霞ヶ浦測線」で、稠密自然地震観測を、茨城県稲敷市から加波山山塊北端に至る「霞ヶ浦-つくば測線」、および茨城県つくば市から那珂市に至る「つくば-水戸測線」でそれぞれ実施した(佐藤・他, 2010年秋地震学会)。「九十九里-霞ヶ浦測線」で得られた反射法断面図では、フィリピン海プレートが明瞭にイメージングされている(佐藤・他, 2010)。さらに深部の、フィリピン海プレートと太平洋プレートの接合部の構造を把握する為には、自然地震データを使用した解析が有効である。測線長が約50kmの「霞ヶ浦-つくば測線」上に設置した65観測点では、2010年6月15日から2010年10月10日まで、測線長が約65kmの「つくば-水戸測線」上に設置した45観測点では、2010年6月8日から2011年1月24日まで、それぞれ連続収録を行っている。そこで、これら測線で得られた自然地震観測データを用いてトモグラフィー解析(Thurber and Eberhart-Phillips, 1999)を行った。解析を行うにあたって、各観測点で得られた記録は連続記録である為、地震毎のデータに編集する作業が必要である。上記観測期間中における、両方の測線を含む研究対象地域(緯度35.8°-36.5°N; 経度140.0°-140.6°E)では、気象庁一元化震源カタログによると、581個のマグニチュード1.0以上の地震の震源が決定されている。これら地震の震源時刻に従って、連続記録から地震毎へのデータ編集を実施した。その後、臨時観測点の波形データと測線周辺の95点のテレメータ観測点で得られている波形データとの統合作業を行った。このようにして作成した地震波形データから測線近傍で発生した135イベントを抽出し、P波・S波の手動検測を行った。得られた走時データを用いてトモグラフィー解析を実施し、調査地域下の地震波速度構造を得た。「つくば-水戸測線」に沿った V_p/V_s 構造の鉛直断面図からは、Uchida et al.(2010)で示されたフィリピン海プレートと太平洋プレートが接する深さ60km付近での V_p/V_s 値は水平方向に変化し、特に地震の発生が集中している領域で V_p/V_s 値が大きくなる傾向が確認できる。

謝辞:「つくば-水戸測線」のデータ収録・処理を行うにあたっては、東京大学地震研究所技術部総合観測室の方々にご協力を頂きました。気象庁、防災科学技術研究所の波形データを利用しました。解析に使用した震源リスト作成には、気象庁と文部科学省が協力してデータを処理した結果(気象庁一元化処理震源カタログ)を使用させて頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

キーワード: 稠密自然地震観測, フィリピン海プレート, 太平洋プレート, 地震波トモグラフィー

Keywords: dense seismic array observation, Philippine Sea Plate, Pacific Plate, seismic tomography

SSS031-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

S波スプリッティングから推定した、伊豆衝突帯の異方性強度分布 Distribution of anisotropic intensity beneath Izu collision zone estimated from S-wave splitting.

本多 亮^{1*}, 行竹 洋平¹, 原田 昌武¹, 伊東博¹, 吉田 明夫¹

Ryou Honda^{1*}, Yohei Yukutake¹, Masatake Harada¹, Ito Hiroshi¹, Akio Yoshida¹

¹ 神奈川県温泉地学研究所

¹ Hot Springs Research Institute

我々は、これまで神奈川県西部地域について、S波スプリッティング解析を行ってスプリッティングパラメータを推定してきた。その結果、箱根火山においては、大規模な群発地震活動の前後で、分離したS波の時間差の変化が捉えられている (Honda and Tanada, 2007)。また、丹沢山地と足柄平野でLSPDの方向がやや異なること等も報告されている (本多他, 2006)。本報告では、観測された時間差と震源決定に使用される速度構造モデルを用いて、箱根を含む神奈川県西部地域の異方性強度を推定した。

データは、神奈川県西部地域の温泉地学研究所および防災科学技術研究所・東京大学地震研究所の速度地震波形で、トリガー波形からS波部分を切り出し、2-8Hzのバンドパスフィルターを掛けたものを解析に使用した。スプリッティングパラメータの推定には、相互相関法を使用し、観測点への入射角が40°以内の地震について相関係数が0.8以上のもののみを採用した。

箱根火山での異方性強度は、通常の期間でおよそ1~2%である。群発地震の期間には観測点近傍にある破砕帯の走向とみられる方向のLSPDが卓越し、異方性強度が1.5倍から2倍以上増加した。仙石原にある観測点では、平常期で1.5%程度の異方性強度であったものが最大で5%程度まで上昇した。駒ヶ岳付近の異方性強度は平常期でも仙石原付近よりもやや大きく、2~2.5%程度であるが、やはり群発地震活動の際には5%程度まで上昇している。

丹沢山地や足柄平野を通過する波線上では1~2%程度の異方性強度が得られ、時間変化は見られなかった。

上部地殻の異方性強度は、Nakamura et al (1996) や Mizuno et al (2001) 等の結果では2%前後と推定されており、本報告の結果と調和的である。4.5%を超えると、破砕帯のような周囲とは異なる場と考えてよい (例えば Crampin and Zatsepin, 1997)。箱根の観測点で、群発地震活動の際に5%に達するような異方性強度が観測されていることは、傾斜計のデータから駒ヶ岳のごく近傍で開口クラックの存在が示唆されていることや、2009年に仙石原付近で大規模な群発地震活動が発生し、震源がある平面上に分布することとも一致する。

キーワード: 異方性, 箱根, 伊豆衝突帯

Keywords: anisotropic intensity, Izu collision zone, Hakone

伊豆小笠原弧の沈み込み構造と地震活動への示唆 Subduction structure of the Izu-Bonin arc and its implications for the seismic activity

新井 隆太^{1*}, 岩崎 貴哉¹, 佐藤 比呂志¹, 阿部 進², 平田 直¹
Ryuta Arai^{1*}, Takaya Iwasaki¹, Hiroshi Sato¹, Susumu Abe², Naoshi Hirata¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 地球科学総合研究所

¹ERI, Univ. Tokyo, ²JGI Incorporated

近年の制御震源を用いた地殻構造探査により、伊豆衝突帯における衝突沈み込み構造が解明されつつある。2003年に大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一環で行われた関東山地東縁測線では、丹沢地塊の楔形構造と沈み込むスラブからの剥離が明らかとなった (Sato et al., 2005; Arai et al., 2009)。また、2005年小田原-山梨測線からは、御坂地塊・丹沢地塊を区切る衝突境界の形状が明瞭にイメージングされた (佐藤他, 2006; 新井他, 2009)。しかし、丹沢地塊に南から衝突している伊豆地塊の構造、及びその衝突・沈み込み構造と丹沢山地の深部 (深さ 15~30km) で発生している地震活動との関係は十分理解されていない。そこで本研究では、丹沢地塊・伊豆地塊の衝突・沈み込み構造の解明、及び衝突・沈み込みに起因する地殻不均質構造と地震活動の関連性を明らかにすることを目的とし、地震波トモグラフィ解析を行った。

解析では、2003年関東山地東縁測線に沿う東部測線と、2005年小田原-山梨測線に沿う西部測線に対して行った。これらの地殻構造探査データと測線近傍で観測された自然地震の読み取り値を統合した走時データセットを作成し、double-difference tomography 法 (Zhang and Thurber, 2003) を適用することで、震源分布と地震波速度構造を同時に決定した。

得られた地震波速度構造は水平方向に不均質性が強く、伊豆小笠原弧の衝突・沈み込み構造を強く反映している。丹沢と伊豆の両地塊の間には低速層が北に傾斜する様子が見られ、衝突境界である国府津松田断層帯に付随するトラフ充填堆積物と解釈される。その深部には、P波速度 6.5-7.0km/s を持つ伊豆地塊の中部・下部地殻が丹沢地塊の下に沈み込んでいる。丹沢山地深部の地震活動はこの北に傾斜する中部・下部地殻内で発生しており、深さ 15-30km に厚さ 10km ほどの地震帯を形成している。こうした分布から、この地震活動は伊豆地塊の沈み込みに伴って発生していると考えられる。地震発生域の V_p/V_s 比は平均で 1.76 と中間的な値を示すが、これは伊豆小笠原弧の中部・下部地塊を構成する角閃石斑礫岩がドライな環境下で測定された値とよい一致を示す (Nishimoto et al., 2008)。また V_p/V_s 比だけでなく、 b 値や比抵抗構造 (Aizawa et al., 2004) など複数の地球物理学的データから、地震活動域は流体に乏しく、伊豆小笠原弧の沈み込みに伴う脱水反応は非活発であることが示される。さらに、この流体に乏しいという解釈は制御震源を用いたスラブ上面の速度構造解析からも支持される結果である (Arai et al., 2011)。以上の点から、丹沢山地下での地震活動発生に対する流体の関与は小さいと結論づけられる。この地震活動の発生要因として、(1) 現在、伊豆地塊の中部・下部地殻において剥離が進行しており、それに伴い周囲に破碎帯が形成されている、(2) 元々の伊豆小笠原弧の中部・下部地殻がクラックに富む、という 2 つの可能性が挙げられる。

キーワード: 伊豆衝突帯, 地震波速度構造, 物理特性, b 値, 地震活動, 地震波トモグラフィ

Keywords: Izu collision zone, Seismic wave velocity structure, Physical property, B value, Seismicity, Seismic tomography

SSS031-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

H/V スペクトル比の逆解析による首都圏深部地下構造の初期推定 Primary estimation of deep subsurface structures in the Tokyo metropolitan Area, by the inversion of H/V spectral ratios

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

Seiji Tsuno^{1*}, Hiroaki Yamanaka¹, Shin'ichi Sakai², Naoshi Hirata², Keiji Kasahara², Hisanori Kimura³, Tamotsu Aketagawa⁴

¹ 東工大, ² 東大・地震研, ³ 防災科研, ⁴ 温泉地研

¹Tokyo Inst. of Tech., ²ERI, Univ. of Tokyo, ³NIED, ⁴Hot Springs Res. Inst.

We estimated deep subsurface structures in the Tokyo metropolitan Area, using dominant periods of H/V spectral ratios of coda waves observed by MeSO-net (Metropolitan Seismic Observation network). At first, we obtained dominant periods of H/V of coda waves averaged by several different earthquakes and the dominant periods are quite stable with a small variability (Tsuno et al., 2010). The dominant periods of H/V obtained by MeSO-net are generally in good agreement with the depths of the seismic bedrock in the Tokyo metropolitan Area (Yamanaka and Yamada, 2006). Also, we compared the observed dominant periods of H/V with peak periods of ellipticities calculated by the theory of fundamental mode of Rayleigh waves using Yamanaka and Yamada's model. The dominant periods of H/V matched well for sites where the shallow basin structures are located; however, dominant periods of H/V didn't match well for sites where the deep basin structures are located. In Yamanaka and Yamada's model, which is based on phase velocities of Rayleigh waves obtained by array microtremors observations, there are still uncertainties in the data obtained from deep basin structures when phase velocities for long periods were not obtained by array microtremors observation data. Therefore, we improved the S-wave velocity structural model in the Tokyo metropolitan Area, especially for bedrock and/or a deep boundary between layers, using the inversion method of H/V of coda waves observed by MeSO-net.

We applied the Genetic Algorithm (Yamanaka and Ishida, 1996) for the inversion of H/V spectral ratio of coda waves. Deep S-wave velocity structures were inverted from H/V spectral ratio on and around the dominant periods. As the estimated structures, we adopted the best fit between observations and calculations over 3 trials of changing random numbers in the inversion. S-wave velocities of all the layers and a depth of the top surface layer from Yamanaka and Yamada's model were constrained; and therefore, the thicknesses of the second layer (V_s 1.0 km/s) and the third layer (V_s 1.5 km/s) were estimated by this inversion procedure. Peak periods from ellipticities of fundamental mode of Rayleigh waves by the estimated structures matched well with the observed dominant periods of H/V. The estimated structures are deeper than the previous model proposed by Yamanaka and Yamada (2006) for the area of the west coast of the Tokyo Bay, where the calculated dominant periods of H/V were underestimated. At some sites in this area, the interface of the seismic bedrock was estimated at a depth of about 3.5 km (In Yamanaka and Yamada's model, the depth of the interface was about 2.5 km.).

Preliminarily, we estimated the deep subsurface structures in the Tokyo metropolitan Area, using H/V spectral ratios of coda waves on and around the dominant periods. However, the amplitudes of H/V spectral ratio, which are defined by the division of the geometric mean between horizontal components by a vertical component, are composed of Rayleigh waves and Love waves; and therefore, we would need to include the amplitude of Love waves for the inversion of H/V. As a next step, we will examine the contribution of Love waves for the horizontal amplitude of H/V in the inversion process.

Keywords: Deep underground structures, Tokyo metropolitan Area, H/V spectral ratio, Coda waves, MeSO-net, Inversion

東工大・大岡山キャンパスにおける微動及び地震動のアレイ観測によるS波速度構造の推定

Estimation of S-wave velocity structure in Ookayama, Tokyo, using array microtremors and earthquake observations

加藤 圭^{1*}, 津野靖士¹, 山中浩明¹

Kei Kato^{1*}, Seiji Tsuno¹, Hiroaki Yamanaka¹

¹ 東京工業大学

¹Tokyo Institute of Technology

定量的に地盤震動特性を評価するためには、地下速度構造の把握、特にS波速度の理解が重要となる。関東平野や大阪盆地などの大規模かつ厚い堆積層で覆われた地域では長周期までの地震動特性を評価する必要があり、深部までの地下速度構造の把握が必要不可欠である。表面波を用いて深部までの地下速度構造を推定するためには、長周期の表面波位相速度を観測する必要があるが、長周期までの大きなパワーを持った微動を観測することは難しい。一方で、地震記録では規模の大きなあるいは震源の浅い地震を観測することで、長周期の表面波を得ることが出来る。そこで、地震観測が実施されている東京工業大学大岡山キャンパス内及びその周辺で微動アレイ観測を実施し、レイリー波の位相速度を逆解析することよりS波速度構造を推定した。微動データの解析には空間自己相関法（SPAC法）を適用し、周期2.5秒までのレイリー波位相速度を求めた。さらに長周期側の位相速度に対しては、マグニチュード5以上の地震記録にセンブル解析を行うことで周期3~5秒のレイリー波位相速度を求めた。また、地震動の到来方向と位相速度の関係を調べ、位相速度の到来方向による相違を検討した。

微動アレイ観測では、最長のアレイ半径が約300mと80mの2種類の7つの観測点による複合正三角形アレイを用いた。SPAC法による微動解析から、0.5~2.5秒の周期帯で安定したレイリー波分散曲線を得た。2.5秒以上の長周期帯のレイリー波位相速度を求めるために、地震記録を用いたF-K解析及びセンブル解析を行った。地震記録をF-K解析することで得られた位相速度は、対象とした周期帯の違いがあるものの微動記録から得られた位相速度に比べ、ばらつきが大きい結果となった。このことは、主として波の定常性を仮定したF-K解析を非定常性が強い地震記録に適用していることによる。また、非定常データの解析に適したセンブル解析を地震記録に適用することで得られた位相速度は、解析に用いた地震によってばらつきの具合が異なった。山中・山田（2006）に基づいた大岡山キャンパス周辺のS波速度構造から計算された位相速度を参考にすることで、最終的な分散曲線を決定した。微動記録のSPAC解析と地震記録のF-K解析及びセンブル解析から得られたレイリー波分散曲線に、遺伝的アルゴリズム（山中・石田、1995）を用いた逆解析を適用することで、深部までのS波速度構造を求めた。推定したS波速度構造は、山中・山田（2006）によるモデルと比べて各層の境界面が浅く、基盤深度は約1.9km付近と推定された。また、センブル解析によって得られた位相速度の方向性を検討した結果、到来方向による位相速度の違いが見られた。このことは、対象地域の地下構造が不整形性を有することを示唆している。ただし、位相速度の方向性は周期や対象とした地震によって異なり、系統的な特性を見出すには至らなかった。

本研究では、微動と地震のアレイ観測データを用いて、大岡山キャンパスに於けるS波速度構造をレイリー波の位相速度の逆解析より求めた。また、地下構造の不整形性によって生じるレイリー波位相速度の方向依存性を地震記録のセンブル解析より確認した。

謝辞：本研究は、GCOE（震災メカリスク軽減の都市地震工学国際拠点）の支援を受けました。

キーワード: 微動アレイ観測, SPAC法, F-K法, センブル解析, S波速度, 関東平野

Keywords: Array microtremors observation, the SPAC method, the F-K analysis, the Semblance analysis, S-wave velocity, the Kanto Plain

地震波干渉法による表面波の群速度トモグラフィによる関東平野の地下構造モデルのバリデーション

Validation of subsurface structure in Kanto basin by surface wave tomography using seismic interferometry

地元 孝輔^{1*}, 山中 浩明¹, 諸井 孝文², 池浦友則³, 纈織 一起⁴, 坂上実⁴, 中井正一⁵, 関口徹⁵, 小田 義也⁶

Kosuke Chimoto^{1*}, Hiroaki Yamanaka¹, Takafumi Moroi², Tomonori Ikeura³, Kazuki Koketsu⁴, Minoru Sakaue⁴, Shoichi Nakai⁵, Toru Sekiguchi⁵, Yoshiya Oda⁶

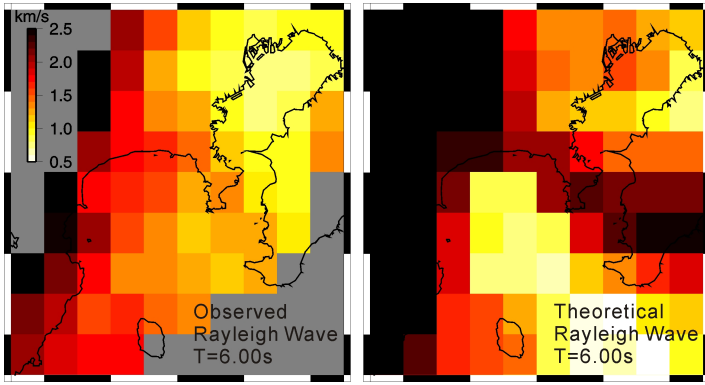
¹ 東京工業大学大学院総合理工学研究科, ² 小堀鐸二研究所, ³ 鹿島技術研究所, ⁴ 東京大学地震研究所, ⁵ 千葉大学大学院工学研究科, ⁶ 首都大学東京都市環境学研究科

¹Tokyo Institute of Technology, ²Kobori Research Complex Inc., ³Kajima Technical Research Institute, ⁴Earthquake Research Institute, ⁵Chiba University, ⁶Tokyo Metropolitan University

関東平野のような大規模平野において強震動の予測を適切に行うには、厚い堆積層の影響について適切に評価しなければならない。そこで強震動予測における重要な指標となる堆積層のS波速度構造のモデルが提案されている(例えば、Koketsu, 2009)。それらの妥当性を検証(以下、バリデーション)するためには、中小地震のシミュレーションなどが行われているが、震源特性や平野外部の影響を受けるため容易ではない。近年、長期間の連続微動を用いた地震波干渉法によって2点間のグリーン関数の抽出が試みられている(例えば、Shapiro and Campillo, 2004)。グリーン関数の表面波成分は、その分散性から2点間の地下構造を推定できるので有益である。地震波干渉法によってグリーン関数が推定できれば、今までにない2点間の地下構造を評価する新たな手法となる。また、複数の観測点による高密度な観測網によって複数のグリーン関数が得られればそれらの走時をもとにトモグラフィ解析による表面波の速度構造を推定することも試みられている(例えば、Shapiro et al., 2005)。

著者らは地震波干渉法による既往のモデルのバリデーションを目的とし、東京湾、相模湾を囲むようにして関東地域の16地点で長期間の連続微動観測を行い、地震波干渉法の考えに基づき、120組の2点間のレイリー波とラブ波の基本モードにおける群速度を推定することに成功し、既往のモデルと比較した(山中ほか, 2010)。その結果はおおむね既往のモデルの妥当性を実証するものとなったが、関東平野端部や伊豆半島、相模湾などを挟んだ2点間の理論群速度と観測群速度の間には大きな違いが見られた。これは、そのような地域では探査が難しいためモデルを構築する際には仮定した部分も多いためであると考えられる。

本研究では山中ほか(2010)による観測をさらに深く検討し、地域的なモデルバリデーションのために、レイリー波とラブ波のスローネスを基にしたトモグラフィ解析を行った。トモグラフィ解析ではストレートパスを仮定し、セル分割は、 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ の大きさとした。逆投影法による同時反復法によって繰り返し計算を実行し、各セルにおける繰り返し計算の前のモデルと新しいモデルとの走時残差が最小となるように各ブロックのスローネスを推定した。周期2-6秒におけるレイリー波とラブ波についてそれぞれ解析し、対象地域の地域的な表面波群速度を推定した。また、比較のために既往のモデルにおいても同様なセル分割を行い各セルの平均的な深さの平行成層モデルを仮定し、理論表面波群速度を推定した。地震波干渉法によって推定された表面波群速度の分布は、理論値に比べて全体的に若干遅い結果となったが、関東平野の中央から東京湾にかけて既往のモデルでは基盤深度が大きくなっている地域や、三浦半島や平野端部など基盤深度が浅い地域では表面波群速度についても地域的な特徴をよく示していることがわかる。しかし、伊豆半島や相模湾においては差異がみられ、トモグラフィ解析による結果からもモデルの修正の必要性を示唆している。



キーワード: 地震波干渉法, トモグラフィ, 微動, 関東平野, 群速度

Keywords: seismic interferometry, tomography, microtremor, Kanto basin, group velocity

SSS031-P10

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

関東地震のタイプ分けと再来間隔に関する研究の整理 (1)

Reviews version 1 of the earthquake type and the recurrence interval for the Kanto Earthquakes

金 幸隆^{1*}

Haeng Yoong Kim^{1*}

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, University of Tokyo

過去の地震履歴を解明することは、地震サイクルを理解する上で大切である。これまでに実施されてきた関東地震の再来間隔に関する研究論文を整理する。

関東地震の再来間隔と地震タイプについては、1970年代以降、主に離水海岸地形の地形学的・地質学的研究によって明らかにされた過去地震の発生時期とその変位量の累積性に関する情報に基づき議論が進められてきた。1990年後半になると、津波堆積物の情報が増加し、それらの堆積年代から津波の来襲間隔が見積もられている。また1990年代後半以降、測地・測量の地殻変動データに基づきプレートの相対的運動様式が解読され、さらに地震波の解析による関東地震のすべり量も精度良く解明されはじめ、それらのデータに基づき関東地震の再来間隔が見積もられている。

学術雑誌(特集号・紀要・短報を含む。商用雑誌は含まない。)に掲載された論文を基に、再来間隔の見積もり値を比較すると、研究により見解に相違が見られる。地震調査研究推進本部(2004)は、再来間隔の見積もり値の相違を考慮し、関東地震の再来間隔を200年~400年としている。再来間隔の情報は関東地震のサイクルを解明する上で重要であるため、本研究では過去の優れた研究における再来間隔の見解に相違をもたらす原因をみる。過去の地震履歴に関する研究を整理すると、見解の相違をもたらす要因は、導出方法、使用するデータ、調査地域、地震のタイプ分けにおける違いがあると判断された。また解釈の違いや誤差の見積もりも、大きな要因である。これらの要因の中で、地震のタイプ分けを行うことは、何の地震の再来間隔を表しているのかを理解する上で最も重要な研究課題である。本研究では上述した学術雑誌を基に、関東地震のタイプをA:1923年大正タイプ、B:1703年元禄タイプ、C:大正・元禄一対相補タイプ(仮名称)(発生場所の異なる大正と元禄の地震は、連動もしくは一対となって発生するタイプ)、D 関東地震総和タイプ(仮名称)(大正と元禄の地震を区別せずに、三浦沖の相模トラフで混合タイプに分けて、過去の再来間隔および発生時期を整理することを試みたので報告する。また各研究論文の見解をどのように表現するべきか、議論する。

キーワード: 関東地震, 地震タイプ, 再来間隔, 履歴, 地震サイクル, 長期予測

Keywords: Kanto earthquake, earthquake type, recurrence interval, occurrence time, earthquake cycle, long period prediction

過去の横ずれ型大地震による静的クーロン応力変化と近年の地震活動の相関性 Correlation between Coulomb Stress Changes Imparted by Large Historical Earthquakes and Current Seismicity in Japan

石辺 岳男^{1*}, 島崎 邦彦¹, 鶴岡 弘¹, 山中 佳子², 佐竹 健治¹, 室谷 智子¹

Takeo Ishibe^{1*}, Kunihiko Shimazaki¹, Hiroshi Tsuruoka¹, Yoshiko Yamanaka², Kenji Satake¹, Satoko Murotani¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 名古屋大学大学院環境学研究科

¹ERI, the Univ. of Tokyo, ²Grad. Sch. of Env. St., Nagoya Univ.

1900年以降に日本の内陸で発生した8個の横ずれ断層型大地震によるクーロン応力変化(CFF)と1997年10月以降の地震活動分布との相関性を二つの手法で調査した。一つは、過去の大地震と受け手側の地震の断層メカニズムが同じであると仮定して、CFFと地震の空間分布を比べる従来の手法である。もう一つは、断層メカニズム解が既知の地震についてCFFを計算しその確率分布を調べた。空間分布からは4地震(1927年丹後地震・1943年鳥取地震・1948年福井地震・2000年鳥取県西部地震)について明瞭な相関が認められたが、残りの4地震(1931年西埼玉地震・1963年若狭湾地震・1969年岐阜県中部地震・1984年長野県西部地震)については認められなかった。一方、断層メカニズム解が決定されている地震に対して計算されたCFFの分布からは、地震がCFF増加域に顕著に偏って発生していることが示された。即ち、現在の地震活動は明らかに過去の大地震によるCFFと相関があると結論できた。また、横ずれ断層型と縦ずれ断層型が混在する地域では、受け手側のメカニズムを仮定した従来の手法からは、必ずしも正しい結論が得られるとは限らないことがわかった。

余震が長期間にわたって継続することが報告されているが、過去の大地震によるCFFと近年の地震活動分布の相関性を調査した研究は少ない。これまで、大地震の発生に伴う周辺の応力場の変化による地震のトリガリングや地震活動度の変化が数多く議論されてきた(例えば、Harris and Simpson, 1992; Stein et al., 1992; Toda et al., 1998)。Mueller et al. (2004)は、1811から1812年にNew Madridで発生した4つのM7級地震の位置や断層メカニズムを、CFFと近年の地震活動分布から推定している。近年の地震がこれらの地震の余震であるとすれば、200年近く継続していることになる。また日本においても、岐阜における有感地震発生回数が1891年濃尾地震以降、100年間にわたり大森公式に従って減衰していることが報告されている(Utsu et al., 1995)。

本研究では、1997年10月から2010年5月までの一元化気象庁震源カタログを用いて、上記の8地震によるCFFと近年の地震活動分布の相関性を調査した。受け手側の断層メカニズムを仮定した従来の手法に加えて、防災科学技術研究所で決定された断層メカニズム解を受け手側の断層メカニズムとした場合のCFFを計算した。様々な型の地震が混在する複雑な応力場において、受け手側の断層メカニズムを仮定した場合、大きな誤差を生じる可能性がある。この不確実性は実際に決定された断層メカニズム解を用いてCFFを計算することで、軽減することが可能であると考えられる(例えば、Toda, 2008)。

本研究で得られた結果は地震カタログから推定された背景的地震活動度が、その推定に用いた期間よりも前に発生した大地震による影響を受けている可能性を強く示唆する。また、CFFと近年の地震活動との分布対応が地震毎に大きく異なることは、余震活動や余震の継続時間を支配する要因の多様性を反映していると考えられる。

謝辞

本研究においては、一元化気象庁震源カタログならびに、防災科学技術研究所が決定したメカニズム解を使用させて頂いた。また、CFFの計算にはOkada(1992)のプログラムを使用させて頂いた。ここに記して感謝申し上げます。なお、本研究は科学技術振興費「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」における「過去地震の類型化と長期評価の高度化に関する調査研究」の一環として実施された。

キーワード: クーロン応力変化, 地震活動, 震源メカニズム

Keywords: Coulomb stress change, Seismicity, Focal mechanism

地震発生予測検証実験：関東を予測地域とした実験の結果 Earthquake forecast testing experiment: Kanto as a testing region

楠城 一嘉^{1*}, 鶴岡 弘¹, 横井 佐代子¹, 平田 直¹
Kazuyoshi Nanjo^{1*}, Hiroshi Tsuruoka¹, Sayoko Yokoi¹, Naoshi Hirata¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, Univ Tokyo

本講演では“地震発生予測検証実験”の概要と、関東を予測領域とした実験結果を説明する。関東には堆積平野があり、その下に南東側からフィリピン海プレートが沈み込み、さらにその下に東側から太平洋プレートが沈み込んでいる、世界で最も地震の多い場所である。そのような地域に適用可能な予測モデルの可能性を探求するために関東を実験領域に選んだ。

標準的な地震活動を予測するモデルの開発を促し、その性能を予測科学の観点から比較検証する国際的なプロジェクト Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability (CSEP) が、米国・ヨーロッパ・日本等の地震国が中心となり国際連携で進められている。これは同時に、従来提案されている地震活動の活発化・静穏化による各種の地震活動予測手法の有意性と確率利得を評価する基盤を整備することでもある。我が国では「地震及び火山噴火予知のための観測研究(平成21年-25年)」の一課題として、CSEPの日本版“地震発生予測検証実験”が2009年11月から実施されている。

検証実験の重要な点は、単に地震発生予測をするだけではなく、客観的かつ厳密な手法で予測結果の評価をすることである。そのためには、以下の3点が考慮されている。

i. 予測モデルを作る研究者(モデラー)と独立に、その結果を評価する組織(テストセンター)を作り、モデラーが実験の途中で予測モデル(予測値)を修正出来ないようにする。このために、モデラーは予測モデルのプログラムコードを実験開始前にテストセンターへ提出することが推奨されている。テストセンターは、そのプログラムコードを実装して予測値を算出する。ii. テストセンターは、あらかじめ決められた手続きに基づいて予測を検証(テスト)する。iii. 予測は事後予測ではなく、本当に未来の地震を予測する。これは、モデラーが結果に合わせてモデルパラメータを原理的に調整出来ないようにするためである。

まず、実験開始前に研究者コミュニティで「実験ルール」を定義した。以下に主な4つのルールを示す。従来の地震予知研究に比べ、モデル間の優劣を厳密に評価出来る。

(I) 予測検証領域として、(a) 日本全体、(b) 日本の離島を含まない領域(本土)、(c) 関東地域を設定する。(II) 予測検証期間を1日、3ヶ月、1年、そして3年と設定し、その期間に発生する地震数を予測、検証する。対象とする予測期間が3ヶ月以下の場合にはマグニチュード4以上(M₄)、1年以上の期間ではM₅の地震の発生を予測する。(III) 検証に用いる観測データは、気象庁が決めた震源(気象庁一元化カタログ)を用いる。(IV) 予測の検証には、領域全体での地震総数(N)テスト、地震規模の頻度分布(M)テスト、時空間規模分布の尤度(L)テスト、空間(S)テスト、尤度比(R)テストを用いる。これらの評価を使うことは、CSEPの共通ルールである。

予測モデルを国内外から公募した結果、3つの領域、4つの予測期間の計12のカテゴリに対して、合計91モデルが提出された。本研究では、(c) 関東領域に提出された予測モデル(4個の1日モデル、7個の3か月モデル、8個の1年モデル、8個の3年モデル)の実験結果を報告する。さらに本研究の見通しを基に、“首都直下地震防災・減災特別プロジェクト”との連携についても議論する。

キーワード: 地震, 国際連携, 予知・予測, 地震活動・テクトニクス, 日本, 統計地震学

Keywords: Earthquake, Global collaboration, Prediction and forecasting, Seismicity and tectonics, Japan, Statistical seismology