

3.1.2 統合処理によるプレート構造調査研究及びデータ保管

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

新たに設置される中感度稠密地震観測データと、首都圏内において深さ 3000m の基盤岩に達する深層地震観測を含む既存の高感度地震観測データとの統合処理を行い、自然地震波形データベースを構築・保管すると共に、高精度震源・メカニズム解決に基づく地震クラスターの分類、3次元地震波速度・減衰構造、地震波形解析に基づくプレート境界面形状及び浅部地震基盤構造を明らかにし、首都直下におけるプレートモデルを構築する。

(b) 平成 22 年度業務目的

1) 国立大学法人東京大学地震研究所に集約される中感度稠密地震観測データを防災科学技術研究所地震研究部地震観測データセンターに転送し、基盤的地震観測網データと統合的に処理を行い、本プロジェクトの研究基盤となるデータベースの維持及び保管を継続して行う。

2) 相似地震活動や群発地震活動の高精度相対震源決定処理により地震クラスターの特徴を解析するとともに、関東地域における広域三次元地震波速度構造トモグラフィ解析を進め、減衰構造トモグラフィの高度化にむけた手法開発、後続波等を用いたプレート境界性状解明に向けた解析を行う。また、これまで開発した手法に基づき、中感度地震計設置方位推定値の検証を行う。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人 防災科学技術研究所 地震研究部	主任研究員	木村尚紀	
同 地震研究部	部長	堀貞喜	
同 地震研究部	総括主任研究員	関口渉次	
同 地震研究部	総括主任研究員	野口伸一	
同 地震研究部	主任研究員	汐見勝彦	
同 地震研究部	主任研究員	武田哲也	
同 地震研究部	主任研究員	浅野陽一	
同 地震研究部	主任研究員	松原誠	
同 地震研究部	研究員	斉藤竜彦	
同 地震研究部	研究員	松澤孝紀	

(2) 平成 22 年度の成果

(a) 業務の要約

1) 国立大学法人東京大学地震研究所に集約される中感度稠密地震観測データを防災科学

技術研究所地震研究部地震観測データセンターに転送し、基盤的地震観測網データと統合的に処理を行い、本プロジェクトの研究基盤となるデータベースの維持及び保管を継続して行った。

2) 相似地震活動や群発地震活動の高精度相対震源決定処理により関東地方西部の地震クラスタの特徴を解析するとともに、関東地域における広域三次元地震波速度構造トモグラフィ解析を進め、減衰構造トモグラフィの高度化にむけた手法開発、後続波等を用いたプレート境界性状解明に向けた解析を行った。

また、これまで開発した手法に基づき、中感度地震計設置方位推定値の検証を行った。

(b) 業務の成果

1) サブテーマ 基盤的地震観測網データとの統合処理による自然地震波形データベース構築および保管

首都直下地震防災・減災特別プロジェクト（以下首都直下プロジェクト）において各観測点において観測された波形データは地震研究所に集められたのち、防災科学技術研究所（以下防災科研）に転送され蓄積される。本年度も、本プロジェクトの研究基盤となるデータベースの維持および補完を引き続き行った。それに伴い、構築された蓄積システムの維持を行うとともに、データ量の増加による処理サーバおよび HDD の増設を行った。

首都直下プロジェクトにおける観測点数は最終年度で 296 台を計画しており、首都直下プロジェクトのデータ収集においては、大学間の地震波形データが流れている JDXnet を用いている。首都直下データの収集を円滑に進めるため、受信部においてデータが正常に流通しているかどうかを確認している。その状態は Web 上で閲覧することができる(図 1)。この図から、データは安定的に配送されていることがわかる。なお、1 日周期でデータ量が増減しているが、これは社会活動に起因する人為的ノイズレベルの増減を示している。データ量のピーク付近で、若干の減少が見られるが、これは昼休みを示している。また、時折多少のスパイク的な変化が見られるが、これは有感地震等が発生したことによるデータ量の増加に伴う変化である。その影響は、通常は一時的なものである。

つくば WAN を経由して送られてきたデータは、サーバ上に蓄えられるがデータ量の増加によって処理が大量になったため、HDD を増設した。今年度設置した機器は、昨年度構築したシステムと接続され処理の一部を担当している。

2) サブテーマ プレート境界性状解明

a) 関東地方西部の相似地震の詳細分布

i) はじめに

首都圏直下には相模トラフよりフィリピン海プレートが沈み込み、1923 年関東地震、房総スロースリップイベント等のプレート境界現象が発生する場となっている。さらに深部では相似地震が見出され、プレート境界の性状解明に役立てられている。一方、関東地方西部では、フィリピン海プレートが本州弧に衝突することが知られており、伊豆弧の上部地殻が剥離し本州弧に衝突付加する構造が明瞭にイメージされている(Sato et al., 2005; Arai et al., 2009)¹⁾²⁾。

相似地震とは、波形の相似性が極めて高い地震のグループで、ほぼ同じ場所・発震機構で発生したと考えられる。関東東部では、ほぼ一定の規模・間隔で繰り返す相似地震が多数見出され(図 2)、プレート境界に分布すること、およびプレート境界型の発震機構解を有することからプレート境界上の安定すべり域に囲まれた微小なパッチでの破壊の繰り返しと考えられている(Kimura et al., 2006)³⁾。詳細な震源決定より、関東東部の相似地震は明瞭な面状分布を示すことが明らかとなっている(図 3、Kimura et al., 2008⁴⁾)。それぞれの相似地震グループに注目すると、個々の相似地震は地震の規模から推定される断層サイズ内に分布し、同一の断層での破壊の繰り返しと考えられる。これに対し、関東西部で発生する相似地震は短い期間にバースト的に発生するという特徴を持つ(図 2)。発震機構解は非スラスト型で、プレート内部で発生したと考えられる。

バースト型相似地震は、東北日本沈み込み帯、カリフォルニア、および台湾等で見出されている(Igarashi et al., 2003; Templeton et al., 2008; Chen et al., 2009)⁵⁾⁶⁾⁷⁾。これらの相似地震は、近傍の地震あるいはスロースリップイベントによって誘発される傾向が見られる(Igarashi et al., 2003; Templeton et al., 2008)⁵⁾⁶⁾。また、カリフォルニアの相似地震は地震発生領域の下限に沿って分布する特徴がある。バースト型相似地震は、プレート境界から派生した分岐断層等の既存の弱面で発生する(Igarashi et al., 2003)⁵⁾、あるいはバースト型相似地震が発生する条件として相似地震発生場の岩石組成、物理的性質・状態等に依存する(Templeton et al., 2008)⁶⁾とする解釈などがある。しかし詳細は十分明らかではない(Chen et al., 2009)⁷⁾。そこで、バースト型相似地震の発生メカニズムの解明に資するため、関東西部の相似地震を詳しく調べた。

関東西部では、山梨県東部から神奈川県西部にかけての領域で地震が多数発生する(図 4)。微小地震の発生域は 1923 年関東地震の震源域と一部重なる。1923 年関東地震の震源域と重なる領域では地震の発生数がやや少なく、これより西で発生数が多いという特徴の違いがある。

ii) データおよび手法

詳細な相似地震活動を明らかにするため、既存の結果(Kimura et al., 2006; 木村、2010)³⁾⁸⁾に加えて、解析の下限を M1.0 まで下げて相似地震解析を行った。震源リストおよび地震波形データは防災科研の旧関東東海観測網および Hi-net による。解析手法および相似地震と判定する条件は Kimura et al. (2006)³⁾ と同じである。すべり量は Nadeau and Johnson (1998)⁹⁾ によるモーメントとすべり量の関係を用い相似地震のグループ毎に平均すべり速度を求めた。相似地震の詳細分布を明らかにするため、2002 年 9 月以降の期間について Double Difference (DD) 法(Waldhauser and Ellsworth, 2000)¹⁰⁾により震源決定を行った。

iii) 結果および考察

解析の結果、67 グループ、167 イベントの相似地震が抽出された。得られた相似地震には、平均繰り返し間隔 1 年以上の定常型に近い相似地震も見出された。また、低角逆断層型の相似地震も見られた。定常型に近い相似地震は低角逆断層型の発震機構解を有する傾向がある。グループごとのすべり速度は最大で 1.2 cm/y、速い方から 10%のすべり速度 R_{10} (木村他, 2009¹¹⁾)は 0.8 cm/y と推定された。

高精度震源決定の結果を図 5・6 に示す。鉛直断面を見ると、震源分布の深さ方向の広がり約 10km になる(図 6)。赤丸で示した相似地震は、地震発生領域の上限および下限に沿って分布する。一方、地震発生領域の内部でも少数の相似地震が見られる。高精度震源決定により得られた震源要素を元に、相似地震の B-B' に沿った断面に投影した発震機構解を図 6 にあわせて示す。低角逆断層型の相似地震は、地震発生領域の上限および下限に沿って分布する。特に、上限の逆断層型相似地震の分布は面状分布を示し、その分布の傾きは発震機構解の低角な節面の傾きとほぼ同じである。

iv) 結果および考察

バースト型相似地震が発生する原因として、近傍の中規模地震あるいはスロースリップイベントによるトリガー(Igarashi et al., 2003; Templeton et al., 2008)⁵⁾⁶⁾、また花崗岩領域で多数見られることから花崗岩領域で定常すべりが起きにくくバースト型になりやすい可能性が議論されている(Templeton et al., 2008)⁶⁾。伊豆衝突帯では海洋性島弧地殻が沈み込むため脱水がなくプレート間の剪断強度が高く衝突境界となるモデルが提案されている(Seno, 2008)¹²⁾。また、この領域の地震はフィリピン海プレートから剥離し衝突付加した伊豆・小笠原島弧の上部地殻より下に分布する(図 7、Arai et al., 2009²⁾)。このように、関東西部の相似地震の発生場は、通常の海洋性プレートが沈み込む場合のプレート境界と比べて岩石組成も発生域も異なる。このような岩石組成、地震の発生場・発生様式の違いが、茨城県南西部における定常型相似地震の鋭い面状分布(図 3、Kimura et al., 2008)⁴⁾ および山梨県東部におけるバースト型相似地震の深さ方向に幅を持って分布、といった発生様式の違いの原因となっている可能性がある(図 8)。

相似地震の発震機構解に注目すると、地震発生帯の上限に沿って低角逆断層型の相似地震が分布する。これより、この面に沿ったすべりが示唆される。関東西部の相似地震から推定されるすべり速度はフィリピン海プレートの運動速度に比べて低速である。これは、1923 年関東地震震源域が固着しているため、このすぐ西に位置することから、固着の影響を受けている可能性がある。周辺の現象に着目すると、Seno (2005)¹³⁾ は伊豆半島下にデタッチメント断層を推定している。また、2007 年 10 月 1 日、神奈川県西部で M4.9 の低角逆断層型の地震が発生した。武田・行竹(2008)¹⁴⁾ は余震の詳細分布を決定し、低角な節面が断層面に相当し、伊豆島弧とフィリピン海プレートとの間に力学的境界が存在しているとすると、この地震はこの境界で発生したことを示した。深さは 13.9km と決定された。この地震は山梨県東部・神奈川県西部の地震の多発地帯の南に位置し、詳細決定した震源分布と比較すると、この深さはその上面とほぼ一致する。これらのことから、伊豆半島下のデタッチメント断層、神奈川県西部の M4.9 の地震、および山梨県東部・神奈川県西部の地震多発帯の上面に沿う面ですべりが発生している可能性が考えられる。しかし、デタッチメント断層の深さは 15~20km とやや深く、詳細な関係は今後の課題である。

b) 関東地域東部の相似地震発生域における高速度異常

関東地域の下には、南からフィリピン海プレートが、東から太平洋プレートが沈み込んでいる。これらの海洋性プレート最上部の低速度海洋性地殻がイメージングされている(たとえば Matsubara et al., 2005)¹⁵⁾。防災科研 Hi-net で観測・読取されたデータを用

いて関東地域のトモグラフィーの再解析を行った。解析領域は、関東地域を含む東経 138 ~ 141°、北緯 34.5 ~ 37.5°、深さ 0 ~ 200km である。手法は、Zhao et al. (1992)¹⁶⁾ にスムージングや観測点補正值の計算を取り入れた手法 (Matsubara et al., 2004; 2005)¹⁷⁾¹⁵⁾ である。分解能は水平方向が 0.1° (約 10km)、深さ方向が 10km である。

首都直下観測網 (MeSO-net) では、神奈川県藤沢市から茨城県つくば市にかけて稠密な観測がなされている。その約 20km 北西の断面を図 9 に示す。関東地域東部の深さ 15 ~ 40km には、茨城・千葉県境付近に北側の高速度域と南側の低速度域の境界が存在することが分かる。この境界は、日本海拡大時に反時計回りに回転した東北日本弧の南端と考えられている利根川構造線 (高橋, 2006)¹⁸⁾ と一致する。利根川構造線よりも南側には、日本海拡大に伴う東北/西南日本弧間堆積盆が存在すると考えられ、低速度領域であることと調和的である。

北西-南東 (九十九里 ~ 茨城県南西部) 断面を図 10 に示す。利根川構造線付近に高/低速度領域の境界が存在することが分かる。しかし、深さ 40km 以深のフィリピン海プレート上面の相似地震活動は、利根川構造線の直下からさらに北西に約 20km 離れた領域から北西側に向けて存在する。阿武隈・八溝・筑波山地の東側には 18 ~ 16Ma の前期中新世において火山フロントが存在し、その後、現在の位置まで徐々に西進して行った (高橋, 2008)¹⁹⁾。この 18 ~ 16Ma における火山フロントと相似地震活動の始まる位置は一致する。これらのことから、昔の火山フロントの残渣のウェッジマントルに高速度な物質が存在し、その領域と高速度なフィリピン海プレートが接触する部分で地震活動が活発となり相似地震が起こっていると考えられる。

九十九里 ~ 茨城県南西部の約 20km 北東側の北西-南東の断面では、最上部の海洋地殻が相模トラフから連なる低速度領域として深さ 40km 程度まで、その下の高速度マントル部が深さ 60km 程度まで沈み込んでいる様子がわかる (図 11)。利根川構造線付近から北西側ではフィリピン海プレート最上部の低速度領域が不明瞭になり、フィリピン海・ユーラシア両プレートの高速度領域の接触部における相似地震活動が活発になっている。この領域は、上述の古い火山フロントの西側の領域にあたるため、相似地震活動の始まる位置と利根川構造線が一致していると思われる。

後続位相の解析からフィリピン海プレート最上部の低速度層は群馬県付近まで達している (Hori, 1990; Hori, 2006)²⁰⁾²¹⁾ と考えられる。そのため、浅い領域である相似地震活動領域にも低速度海洋地殻が存在すると考えられるが、トモグラフィー解析では不明瞭である。これは、フィリピン海プレートの海洋地殻の一部は陸側の地殻にアンダープレートティングして薄くなっていると考えられる。

c) 関東地域減衰構造トモグラフィー解析手法開発

関東地域の下には南からフィリピン海プレートが、東から太平洋プレートが沈み込み、複雑な構造をなしている。関東地域における地震の揺れに対する防災・減災のためには、揺れの大きさに影響を与える地震波の振幅を精度良く推定する必要がある。さらに、地震の規模を示すマグニチュードを精度良く決めるためにも、三次元減衰構造を推定することは重要である。

観測点が稠密に存在し、地震も多い場所における解析には、地震波トモグラフィー法が用いられる。これまで、関東地域における減衰構造については、Sekiguchi (2001)²²⁾や Sekine (2005)²³⁾ 等の結果が得られている。速度トモグラフィー法については、Zhao et al. (1992)¹⁶⁾ にスムージングや観測点補正值の計算を取り入れた手法(Matsubara et al., 2004; 2005)¹⁷⁾¹⁵⁾ 等が用いられている。減衰構造の推定のために、この速度トモグラフィー法における速度インバージョンを減衰構造インバージョンへの変換を行った。

本手法では、あらかじめ推定された三次元速度構造を用いて精度のよい波線経路を推定する。さらに、細かいグリッドを配置すると同時に、解の安定化のためスムージングを導入する。このことにより、分解能の高い結果に加え、減衰しやすい領域、しにくい領域の位置をより精度良く把握できるモデルが得られる。インバージョンとしては、仮定した減衰構造を元に地震波の理論振幅を計算し、観測振幅との差を残渣として当該波線経路に残渣を分配し、多くの波線から得られる残渣と調和的になるように減衰構造を推定する。

本手法を稠密な MeSO-net のデータに適用することにより、詳細な減衰構造が得られると期待される。

d) MeSO-net で見た房総半島下の地震のプレート境界変換波および変換面形状の推定

i) はじめに

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)が、その翌日に房総沖で 1923 年関東地震の最大余震(M7.5)が発生した(図 12)。また、房総沖ではスロースリップイベントが平均 6 年間隔で繰り返し発生することが知られている。さらに、フィリピン海プレート上面で多数の相似地震が見出されている。これらの現象の発生する場を明らかにすることは、その発生メカニズムを解明する上で重要である。

地下の速度不連続について、自然地震の後続位相は有用な情報を与えてくれる。房総半島沖の相似地震より深い地震の波形記録には、P 波と S 波の間に到達する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・火山岩層(以下、VCR 層とする)での変換波に同定されている(Kimura et al., 2010)²⁴⁾。防災科研の高感度地震観測網で捉えられた変換波、詳細震源決定の結果、および深部反射法構造探査を組み合わせることにより、相対比較を積み重ね、房総半島沖の相似地震の詳細な発生場が明らかにされた(Kimura et al., 2010)²⁴⁾。これにより、底付け作用と呼ばれる、沈み込むプレートの最上部がはがれ、上盤側に付加する現象が進行していることが明らかとなった。現在活動的なプレート境界を表す相似地震が VCR 層下面に沿って分布することから、VCR 層が沈み込むフィリピン海プレートの本体からはがれつつあり、上盤側に底付けしつつあると言える(図 13)。その海溝側では房総スロースリップイベントが平均 6 年間隔で繰り返すことから、底付け作用の進行が間欠的であることが示唆された。

近年になって首都圏に稠密な地震観測網、MeSO-net が整備され、観測期間は短いものの、観測点が密なことから位相の追跡が容易であり、後続位相の明瞭な観測事例が報告さ

れている(酒井他, 2008)²⁵⁾。MeSO-net で観測された後続位相を詳細に検討したところ、上下動成分において、フィリピン海プレート上面で発生した地震では P 波と S 波の間に 1 つ、これより深い地震で 2 つの位相が明瞭に認められた(図 14)。前年まで、これらの位相の起源を検討するため関東平野の基盤構造および房総半島沖の地下構造に基づき走時計算を行ってきた。その結果、前者は堆積層基盤、後者は堆積層基盤および VCR 層下面で励起された SP 変換波として説明でき、既存研究と同一の位相を MeSO-net で確認できた。さらに、VCR 層下面の SP 変換波を詳しく見ると、到達時刻より約 0.5 秒遅れて別のパルスが認められる。これは、VCR 層上面での SP 変換波とすると走時が再現された。そこで今回は、地殻構造に関する情報をさらに抽出するため、この位相の到達時刻の空間的な変化について調べ、変換面の形状を推定した。

ii) MeSO-net で見られる後続位相

房総沖の深さ 50km の地震について、SP 変換波の観測走時と理論値を比較した結果を図 15・16 に示す。比較には、表層の影響を相殺するため P 波との走時差を用いた。房総半島南東部では、理論走時と観測走時がほぼ一致したが、房総半島中央部から西部と西側の観測点ほど直達 P 波からの後続位相の到達時刻が徐々に早くなり、理論値とのずれが次第に大きくなる傾向が見られる。理論値とのずれは最大で -1.9 秒に達する。

iii) 構造モデル推定

房総半島東部では観測走時と理論走時がほぼ一致するにも関わらず半島中西部において両者に差が見られることから、少なくとも房総半島南東部の構造がそのまま房総半島中西部まで連続している訳ではないと言える。そこで、後続位相が VCR 層下面での SP 変換波であるという前提に基づき、このような観測走時を説明できる地下構造モデルを推定した。推定は試行錯誤的に行い、以下のようなケースを検討した。まず、(1)フィリピン海プレートの構造を 5、10、15、20 km 深くした構造により走時を計算し、観測値と比較した。次に、(2)房総半島東岸の深さ 18km を中心に南北方向を軸として 10、20、30、45、60 度回転させた構造モデルについて同様の解析を行った。

なお、初期構造モデルは以下のように作成した。速度構造は Hi-net のルーチン処理で用いられる構造を参考に作成し、さらに深部反射法構造探査によりフィリピン海プレートの表層にイメージングされた VCR 層(Kimura et al., 2009; Kimura et al., 2010)²⁴⁾²⁶⁾を加えた。また、関東平野を厚く覆う堆積層の影響を評価するため、MeSO-net E.DD15 観測点(センサー標高 75m)と、近接した Hi-net 中深層観測点(養老、N.YROH: センサー標高 -1920m、観測点間距離は 2.3 km)での P 波および S 波の到達時刻を比較した。ほぼ直下で発生した M5 クラスの地震の波形例を図 17 に示す。記録を比較すると P 波初動および S 波初動の波形はよく似ている。P 波および S 波の到達時刻の差を複数の地震で平均すると、E.DD15 で N.YROH より平均でそれぞれ 1.0 秒、2.7 秒遅れる。そこで 1 次元速度構造を仮定し観測点間距離を考慮して、センサー標高および走時の差から表層の平均的な V_p および V_s を推定したところ、それぞれ平均 1.9 km/s、0.7 km/s と見積もられた(V_p/V_s 比は 2.7)。そこで構造モデルの表層部に、これらの速度を有する堆積層を追加した。基盤深度は鈴木(2002)²⁷⁾および林他(2006)²⁸⁾による MeSO-net 房総測線直下での基盤深度を東西方向に延長した。前述したように、地下の地震波速度不連続面で励起

された SP 変換波は観測点直下では P 波として進行するため、直達 P 波との走時差をとると表層の影響が相殺されると期待される。そこで、直達 P 波との走時差を比較した。走時計算は Zelt and Barton (1998)²⁹⁾ による差分法走時計算プログラム FAST を用いた。

iv) 結果および考察

解析の結果、(1)では 10km、(2)では 45 度傾けた時に P 波と SP 変換波の走時差の残差 2 乗和 (S) が最小となった。両者の S を比較すると、後者が小さく、観測値が良く説明される。以上より、VCR 層下面からの SP 変換波とみられる位相の走時を説明するには、西に傾斜する変換面が適当であると言える。このよう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。そこで周辺の活動と比較すると、傾斜の推定された領域は相似地震活動域の西端と一致する。また、南方延長が 1923 年関東地震および最大余震の震源域の境界に重なり、このような構造変化がセグメント境界として機能している可能性がある。一方、今回の解析では VCR 層下面で励起された変換波を用いたことから、推定された変換面は VCR 層下面の形状変化を見ており、VCR 層の層厚変化が捉えられた可能性もある。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。

3) サブテーマ 地震計設置方位推定

a) MeSO-net 観測点設置方位の推定

観測された地震波を用いてプレート境界の位置や境界付近の性状を推定する場合、水平動 2 成分の記録から動径方向 (radial) 成分とそれに直交する成分 (transverse 成分) を適切に合成することが重要となる。しかし、MeSO-net のような孔底設置型の地震計の場合、水平動 2 成分の設置方位を目視確認することは非常に困難であり、全ての観測点で明確な設置方位情報が得られているとは必ずしも言えない。これまで、MeSO-net 観測点建設の進展に伴い、観測された遠地地震動の長周期成分を用いた設置方位推定を行ってきた (汐見他, 2009)³⁰⁾。今年度は、設置方位推定結果の評価方法を見直すともに、新たな観測記録を追加し、2010 年末までに整備された MeSO-net 観測点の水平動地震計の設置方位の推定を行った。

昨年度までと同様、MeSO-net 観測点に近接する防災科研 F-net/Hi-net で観測された遠地地震波形を基準波形とし、MeSO-net 観測点で得られた波形との相関係数を求めることで設置方位の推定を行った。本解析では、MeSO-net および基準として用いた防災科研 F-net/Hi-net とも、観測された波形を変位波形に変換した後、50 秒から 100 秒の帯域通過フィルタを適用した。F-net/Hi-net 観測点については、各観測網のホームページ記載の設置方位情報(防災科研、広帯域、高感度地震観測網ホームページ)³¹⁾³²⁾を用いて南北および東西成分の波形を合成し、基準波形とした。解析に用いた地震の一覧を表 1 に示す。ここで、灰色で表示されている地震が、今年度、新たに解析に追加したものである。なお、震源情報は米国地質調査所 (USGS) による速報カタログに依った。

MeSO-net 観測点から約 20 km 以内に存在する F-net/Hi-net の観測波形を抽出し、MeSO-net での観測波形を 1 度ずつ回転させながら、F-net/Hi-net 変位波形に対する相互相関係数を計算した。昨年度までは、各 MeSO-net 観測点において、地震ごと観測点ごと

に計算された相互相関係数の重み付き平均を求め、この値が最大となる回転角をその観測点の設置方位としていた。しかし、回転角に対する相互相関係数の変化は明瞭ではなく、推定結果がデータの品質に強く依存する傾向が見られた。今年度は、回転角 φ ごとの相互相関係数の重み付き平均 $C(\varphi)$ とその標準偏差 $\sigma(\varphi)$ を用いることとした。相互相関係数が最大値 C_{\max} を示す方位角 φ_0 について最大値から標準偏差 $\sigma(\varphi_0)$ を引いた値を超える相互相関係数を示す回転角 φ に対し、相互相関係数 $C(\varphi)$ を重み $w(\varphi)$ として用いたことにより得られる平均値 θ および標準偏差 σ_θ を求めた。

$$\theta = \tan^{-1}(Y/X)$$

$$\begin{cases} X = \sum_{\varphi} \cos(\varphi) \cdot w(\varphi) \\ Y = \sum_{\varphi} \sin(\varphi) \cdot w(\varphi) \quad (\text{ただし、回転角}\varphi\text{は、}C(\varphi) > (C_{\max} - \sigma(\varphi_0))\text{を満たす場合のみ}) \end{cases}$$

$$w(\varphi) = \{[C(\varphi) - (C_{\max} - \sigma(\varphi_0))]/\sigma(\varphi)\}^2$$

このようにして得られた角度の平均値 θ を地震計設置方位の推定値、標準偏差 σ_θ を推定誤差とした。

2010 年末までに整備された MeSO-net 観測点のうち、十分な S/N の記録が得られた 178 観測点を対象に地中地震計 N 成分の設置方位を推定した結果を図 18 および表 2 に示す。本解析により、新たに 10 観測点の情報が追加された。MeSO-net 観測点の地中地震計 N 成分は、磁北（およそ $N-7^\circ E$ ）を向くように設置されている(笠原他, 2009)³³⁾が、本解析により求められる設置方位は、真北方向からの差異である点に注意が必要である。

設置方位を推定することが出来た観測点の約 6 割にあたる 105 観測点で、地中地震計の N 成分は、磁北 $\pm 5^\circ$ 、すなわち $N-12^\circ E$ から $N-2^\circ E$ の範囲に設置されており、154 観測点（87%）が磁北 $\pm 10^\circ$ の範囲に含まれることを確認した。設置方位と磁北との差が 20° を超える観測点が 6 箇所（3%）あったが、そのうち 90° 以上の差が存在する観測点は、既報(汐見他, 2009)³⁰⁾の 3 観測点（E.SKMM、E.MKJM、E.YTBM）のみであった。本解析で推定した設置方位(表 2)と既報の設置方位(汐見他, 2009)³⁰⁾の差分の頻度分布を図 19 に示す。これまでの解析で十分な観測記録が得られなかった観測点や解析結果が安定しなかった点（例えば、E.SDMM や E.SNJM など）において 5° 以上の推定値の変化が見られたが、8 割以上の観測点で推定値の差分は推定誤差レベルの 2° 以内となっており、安定した設置方位推定が実施できていると考えられる。

(c) 結論ならびに今後の課題

東京大学地震研究所に集約される中感度稠密地震観測データを防災科学技術研究所地震研究部地震観測データセンターに転送し、基盤的地震観測網データと統合的に処理を行い、本プロジェクトの研究基盤となるデータベースの維持及び保管を引き続き行った。

また、相似地震活動や群発地震活動の高精度相対震源決定処理により関東地方西部の地震クラスターの特徴を解析するとともに、関東地域における広域三次元地震波速度構造トモグラフィ解析を進め、相似地震発生域が高速度異常域に対応すること、高速度異常域周辺の地質学的な事象と比較することでテクトニックな解釈を行い、減衰構造トモグラフ

ィーの高度化にむけた手法開発、MeSO-net および既存の基盤観測網との統合処理により、房総半島下の地震による変換波を元に変換面の形状推定を行い、プレート境界性状解明に向けた解析を進めた。さらに、これまで開発した手法に基づき、中感度地震計設置方位推定値の検証を行った。

今後は、相似地震活動や群発地震活動の高精度相対震源決定処理により地震クラスターの特徴を解析するとともに、3次元地震波速度・減衰構造に基づき、後続波解析等を行うことで、プレート境界面性状、浅部地震基盤構造を明らかにし、首都直下のプレートモデルの構築が課題として挙げられる。

(d) 引用文献

- 1) Sato, H., Hirata, N., Koketsu, K., Okaya, D., Abe, S., Kobayashi, R., Matsubara, M., Iwasaki, T., Ito, T., Ikawa, T., Kawanaka, T., Kasahara, K., and Harder, S.: Earthquake Source Fault Beneath Tokyo, *Science*, 309, 462-464, 2005.
- 2) Arai, R., T. Iwasaki, H. Sato, S. Abe, N. Hirata: Collision and subduction structure of the Izu-Bonin arc, central Japan, revealed by refraction/wide-angle reflection analysis, *Tectonophysics*, 475, 438-453, 2009.
- 3) Kimura, H., Kasahara, K., Igarashi, T., and Hirata, N.: Repeating earthquake activities associated with the Philippine Sea plate subduction in the Kanto district, central Japan: a new plate configuration revealed by interplate aseismic slips. *Tectonophysics*, 417, 101-118, 2006.
- 4) Kimura, H., T. Takeda and Y. Yukutake, K. Obara, K. Kasahara: Detailed hypocentral distribution and activity of small repeating earthquakes at the Kanto region, central Japan, *Eos Trans. AGU*, 89(53), Fall Meet. Suppl., U33A-0030, 2008.
- 5) Igarashi, T., Matsuzawa, T., Hasegawa, A.: Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone. *J. Geophys.*, 108, doi:10.1029/2002JB001920, 2003..
- 6) Templeton, D. C., Nadeau, R. M., and Bürgmann, R.: Behavior of Repeating Earthquake Sequences in Central California and the Implications for Subsurface Fault Creep, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 98, 52-65, doi: 10.1785/0120070026, 2008.
- 7) Chen, K. H., R.-J. Rau, and J.-C. Hu: Variability of repeating earthquake behavior along the Longitudinal Valley fault zone of eastern Taiwan, *J. Geophys. Res.*, 114, B05306, doi:10.1029/2007JB005518, 2009.
- 8) 木村尚紀: 関東地方の相似地震, 地震予知連絡会会報, 83, 596-608, 2010.
- 9) Nadeau, R.M. and Johnson, L.R.: Seismological studies at Parkfield VI: moment release rates and estimates of source parameters for small repeating earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 88, 790-814, 1998.

- 10) Waldhauser, F. and Ellsworth, W. L.: A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1353-1368, 2000.
- 11) 木村尚紀, 武田哲也, 小原一成, 笠原敬司: 関東地方の相似地震に見られるすべり速度の分布, *日本地震学会講演予稿集*, P3-47, 2009.
- 12) Seno, T.: Conditions for a crustal block to be sheared off from the subducted continental lithosphere: What is an essential factor to cause features associated with collision?, *J. Geophys. Res.*, 113, B04414, doi:10.1029/2007JB005038, 2008.
- 13) Seno, T.: Izu detachment hypothesis: A proposal of a unified cause for the Miyake-Kozu event and the Tokai slow event, *Earth Planets Space*, 57, 925-934, 2005.
- 14) 武田哲也, 行竹洋平: 2007年10月1日神奈川県西部の地震活動 (Mj 4.9), *地震予知連絡会会報*, 79, 110-111, 2008.
- 15) Matsubara, M., Hayashi, H., Obara, K., and Kasahara, K.: Low-velocity oceanic crust at the top of the Philippine Sea and Pacific plates beneath the Kanto region, central Japan, imaged by seismic tomography, *J. Geophys. Res.*, 110, B12304, doi:10.1029/2005JB003673, 2005.
- 16) Zhao, D., A. Hasegawa, and S. Horiuchi: Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, 97, 19909-19928, doi:10.1029/92JB00603, 1992.
- 17) Matsubara, M., N. Hirata, H. Sato, and S. Sakai: Lower crustal fluid distribution in the northeastern Japan arc revealed by high resolution 3-D seismic tomography, *Tectonophysics*, 388, 33-45, doi:10.1016/j.tecto.2004.07.046, 2004.
- 18) 高橋雅紀: 日本海拡大時の東北日本弧と西南日本弧の境界, *地質学雑誌*, 112, 12-32, 2006.
- 19) 高橋雅紀: 新第三系研究の進展, *日本地方地質誌*, 関東地方, pp. 16-61, 2008.
- 20) Hori, S.: Seismic waves guided by untransformed oceanic crust subducting into the mantle: The case of the Kanto district, central Japan, *Tectonophysics*, 176, 355-376, 1990.
- 21) Hori, S.: Seismic activity associated with the subducting motion of the Philippine Sea plate beneath the Kanto district, Japan, *Tectonophysics*, 417, 85-100, 2006.
- 22) Sekiguchi, S.: A new configuration and a seismic slab of the descending Philippine Sea plate revealed by seismic tomography, *Tectonophysics*, 341, 19-32, doi:10.1016/S0040-1951(01)00182-2, 2001.
- 23) Sekine, S.: Tomographic Inversion of Ground Motion Amplitudes for the 3-D Attenuation Structure beneath the Japanese Islands, *防災科学技術研究所研究報告*, 68, 137-174, 2005.

- 24) Kimura, H., Takeda, T., Obara, K., and Kasahara, K.: Seismic Evidence for Active Underplating Below the Megathrust Earthquake Zone in Japan, *Science*, 329, 210-212, 2010.
- 25) 酒井慎一, 笠原敬司, 中川茂樹, 鶴岡弘, 佐々木俊二, 平田直, 木村尚紀: 首都圏地震観測網 (MeSO-net) から見たスロースリップとプレート構造: 日本地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集, S143-P009, 2008.
- 26) Kimura, H., Kasahara, K., and Takeda, T.: Subduction process of the Philippine Sea Plate off the Kanto district, central Japan, as revealed by plate structure and repeating earthquakes, *Tectonophysics*, 472, 18-27, doi:10.1016/j.tecto.2008.05.012, 2009.
- 27) 鈴木宏芳: 関東平野の地下地質構造, 防災科学技術研究所研究報告, 63, 1-19, 2002.
- 28) 林広樹, 笠原敬司, 木村尚紀: 関東平野の地下に分布する先新第三系基盤岩類, 地質学雑誌, 112, 2-13, 2006.
- 29) Zelt, C. A. and Barton, P. J.: 3D seismic refraction tomography: A comparison of two methods applied to data from the Faeroe Basin, *J. Geophys. Res.*, 103, 7187-7210, 1998.
- 30) 汐見勝彦, 佐々木俊二, 酒井慎一, 笠原敬司, 関根秀太郎, 中川茂樹, 小原一成, 平田直, 棚田俊收: 地震動の長周期成分を用いた首都圏地震観測網 (MeSO-net) の設置方位推定, 地震研究所彙報, Vol. 84, pp. 115-125, 2009.
- 31) 防災科研広帯域地震観測網ホームページ:
http://www.fnet.bosai.go.jp/st_info/?LANG=ja.
- 32) 防災科研高感度地震観測網ホームページ: <http://www.hinet.bosai.go.jp/REGS/direc>.
- 33) 笠原敬司, 酒井慎一, 森田裕一, 平田直, 鶴岡弘, 中川茂樹, 楠城一嘉, 小原一成: 首都圏地震観測網 (MeSO-net) の展開, 地震研究所彙報, Vol. 84, pp. 71-88, 2009.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果	発表者氏名	発表場所	発表時期	国際・国内の別
関東地方西部のバースト型相似地震の詳細分布	木村尚紀・武田哲也・小原一成・笠原敬司	日本地球惑星科学連合大会	2010年5月	国内
首都圏地震観測網 (MeSO-net) で見た房総半島下の地震による変換波	木村尚紀・武田哲也・関根秀太郎・小原一成・酒井慎一・笠原敬司	日本地球惑星科学連合大会	2010年5月	国内

関東地域東部の相似地震発生域における高速度異常	松原誠・小原一成	日本地球惑星科学連合大会	2010年5月	国内
Detailed distribution and activity of burst-type repeating earthquakes at the western Kanto, central Japan	Kimura, H., T. Takeda and K. Obara, K. Kasahara	2010 Western Pacific Geophysics Meeting	2010年6月	国際
Deep Plate Structure, Slow Slip, and Small Repeating Earthquakes off the Kanto Region, central Japan: Active Underplating below the Megathrust Earthquake Zone	Kimura, H., T. Takeda and K. Obara, K. Kasahara	8th Joint Meeting of UJNR Panel on Earthquake Research	2010年10月	国際
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	木村尚紀・武田哲也・小原一成・酒井慎一・笠原敬司・平田直	日本地震学会	2010年10月	国内
Peeling off of the uppermost crustal layer from the subducting plate at deep extensions of the subduction zone in Japan	Kimura, H., T. Takeda, K. Obara, and K. Kasahara,	2010 AGU Fall Meeting	2010年12月	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Seismic Evidence for Active Underplating Below the Megathrust Earthquake Zone in	Kimura, H., Takeda, T., Obara, K., and	Science, 329, 210-212.	2010年7月	国際

Japan	Kasahara, K.			
-------	-----------------	--	--	--

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果	対応者氏名	報道・掲載機関	発表時期	国際・国内の別
JGN2plusアワード「社会基盤貢献賞」	木村尚紀	情報通信研究機構	2011年3月	国内

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 23 年度業務計画案

1) 国立大学法人東京大学地震研究所に集約される中感度稠密地震観測データを防災科学技術研究所地震研究部地震観測データセンターに転送し、基盤的地震観測網データと統合的に処理を行い、本プロジェクトの研究基盤となるデータベースの維持及び保管を継続して行う。

2) 相似地震活動や群発地震活動の高精度相対震源決定処理により地震クラスターの特徴を解析するとともに、3次元地震波速度・減衰構造に基づき、首都直下後続位相解析装置を用いて後続波解析等を行うことで、プレート境界面性状、浅部地震基盤構造を明らかにし、首都直下のプレートモデルを構築する。