

1. 4 自然地震による地殻構造探査（首都圏地域）

梅田 康弘（京都大学防災研究所）
渡辺 邦彦（京都大学防災研究所）
大見 士朗（京都大学防災研究所）
平田 直（東京大学地震研究所）
ト部 卓（東京大学地震研究所）
酒井 慎一（東京大学地震研究所）
五十嵐俊博（東京大学地震研究所）

(1) 研究の目的

制御震源による地震探査は、火薬による発破、バイプロサイス、エアガンなどにより非常に多くの点で弾性波を放射し、その反射波・屈折波を非常に密なアレイ観測網で記録することによって、プレート境界などの顕著な反射面や、二次元の詳細な速度構造が推定可能となっている。しかし、ほとんどの場合、震源が地表面近くにあるため、地殻の浅部の構造は詳細に求められるが、より深部の構造、沈み込むプレート近傍の地震発生層の構造については詳細には推定できないこともありうる。

一方、自然地震による地殻構造探査は、到達時刻の不確かさや、構造とのトレードオフによる、震源位置の不確かさ、また、震源の非均一な分布により、厳密さにおいては制御震源には及ばないが、より深部の情報、さらには、震源断層そのものの情報をももたらし得ることに利点がある。

そこで、本研究では、制御震源では明らかにできない地殻深部の弾性波速度構造、フィリピン海プレートと関東地方を形成するプレートとの境界近傍の構造を、自然地震を用いて明らかにし、首都圏に被害を発生させる地震の震源断層のイメージングを行うことを目的としている。

(2) 南関東地域の地震活動と地殻構造に関する過去の知見

関東地方は、陸地を形成する上盤側プレートの下に、南の相模トラフからフィリピン海プレートが沈み込んでいる。さらに、その下には東の日本海溝から太平洋プレートが西に向かって沈み込んでおり、非常に複雑な地殻構造を形成している。

それに伴い、定常的な地震活動も非常に活発である。とりわけこの地域では、沈み込むプレートで発生する地震が、陸域深部にも多数発生していることに特徴がある（図1）。

被害地震も過去に多数発生している。1923年に発生した関東地震は沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界で発生したが、この震源域は、神奈川県南部や千葉県の房総半島南部の直下を含んでおり、都市直下で発生した地震でもあった。

現在、南関東地域では東京大学地震研究所、防災科学技術研究所、気象庁などにより、高密度の定常地震観測網が敷かれている（図2）。しかし、房総半島周辺域は堆積層が厚く、また、人口稠密地域であるため、多くは深さ1000m以上の位置にボアホール型の地震計を埋設することによって観測が行われている。そのため、関東地方の他地域と比べても幾分

設置間隔が広い。

本地域では過去にも地震波トモグラフィ解析（例えば、Kamiya and Kobayashi, 2000、図 3）が行われており、詳細な P 波、S 波の地震波速度構造が得られている。しかし、房総半島地域のように、解像度は他地域と比較すると低く、あまりよく求められていない場所も存在する。また、フィリピン海プレートとその陸側上部プレートとの境界の位置は、近傍の微小地震分布を基にした推定（例えば、Ishida, 1992）が行われているが、詳細な構造探査の結果を基にしたプレート境界のイメージングはまだなされていない。

(3) 観測概要

本研究では、房総半島地域に稠密アレイ観測点を設置し、既存の観測網データも併用した自然地震観測を行う。地震観測点は、千葉県安房郡白浜町から佐倉市にかけて房総半島を縦断する測線に配置する（図 4）。この測線は、平成 14 年度に実施された制御震源による地殻構造探査測線にほぼ沿っている。観測点間隔は最近接部分で約 2 km、最も空いている場所で 10km であり、測線全体で 30 点の設置を行う。

今回設置する観測点は比較的都市部に近い所に位置している。そこで、得られたデータは、ISDN や ADSL などのインターネット回線を用いて東京大学地震研究所に伝送する（図 5）。ただし、通常のインターネットサービスプロバイダ経由でのアクセスの場合、経路上でのデータの漏洩、あるいは無人となる観測点でのセキュリティ対策が求められる。そこで、本観測に置いては、NTT の地域 IP 網内で IP のグループを形成し、そのグループ内でのみデータの伝送を行うサービス（フレッツグループアクセス）を使用し、セキュリティを高めることとした。

伝送されて来たデータは、東京大学地震研究所内に設置したコンピューターで受信する。このコンピューターでは、新規観測点から送られてきたデータとともに、関東地方に各機関によって設置されている既存観測点のデータも取り込み、連続記録および、トリガー記録の収録を行う。

(4) 解析手法、期待される成果

本自然地震観測により蓄積されたデータを基にして、以下のような解析を行う。

1. 地震波トモグラフィ解析による P 波および S 波の速度構造推定

新規設置点および既存観測点で得られた P 波及び S 波到達時刻の読み取り値を基に、地震波トモグラフィ解析を行い、関東地方全体の 3 次元速度構造を推定する。本観測による観測網の高密度化により、とりわけ房総半島域において、解像度の向上が期待される。本解析により、数 km～十数 km スケールの空間分解能をもった、プレート構造、震源断層を含む広い領域の速度構造が明らかになる。

2. レシーバー関数解析による地震波速度構造解析

観測点のほぼ直下から来る地震波形を用いてレシーバー関数解析を行い、観測点直下付近の速度構造の推定を行う。

レシーバー関数は観測点で得られた地動の水平動動径成分を上下動成分でデコン

ポリューションすることによって得られる。この処理により、ある境界面でP波からS波に変換して観測点に到達した波を抽出でき、観測点直下のS波の速度構造が推定可能となる。

厳密には、水平成層構造において鉛直下方から入射・変換した波を仮定し、比較的均質な地殻構造の推定に用いられる手法である。しかし、近年、プレート沈み込み境界近傍のような、傾斜構造を持ち、多少不均質な地殻構造をもつ場にも適用されてきている。また、入射方向に対してトレースすることにより、到来方向に応じた観測点の直下のある範囲の速度構造を推定し、さらに、多数の観測点の組み合わせによって3次元的速度構造の推定もなされている。

ただし、レシーバー関数法は、フィルター処理によるスペクトルのゆがみや帯域の制限、インバージョン時の層の厚さと速度のトレードオフ、不均質構造に対する適用などの問題を抱えており、未だ発展途上の手法である。

そのため、拘束条件として、表面波インバージョンとの併合 (Du and Foulger, 1999)、スローネスの等しい近地稍深発地震の走時を用いた拘束 (Nakamichi *et al.*, 2002)、制御震源によって得られた反射面による拘束 (Galve *et al.*, 2002) などにより、より詳細な速度構造を得る試みがなされている。

本研究では、まず、既存観測点におけるレシーバー関数解析を行う。その際、ボアホール観測点においては、地表面反射の影響を考慮に入れて解析を行うため、手法の改良をする必要があるだろう。この解析により、深さ方向で1から数km程度の分解能で速度境界面と速度構造が得られることが期待される。さらに、房総半島域の新規アレイ観測点は、制御震源による地殻構造測線とほぼ同一測線上に配置されている特性を生かし、浅部の構造を拘束することにより、より詳細な深部の速度構造の抽出が可能となるだろう。

3. 反射波・変換波の検出によるプレート面形状の推定

観測波形に数多く見られる顕著な波群の中から、プレート境界面起源と考えられる反射波・変換波を抽出し、その分布を詳細に調べることにより、プレート面の形状の推定を行う。

反射・変換面としては、プレート境界面の他に沈み込むプレート上部の堆積層・海洋性地殻・マンツルの各境界面や、陸域のコンラッド面、モホ面などがあり、また、これらの面でのPS変換、SP変換とその多重反射を考慮する必要がある。しかし、この解析法は、自然地震の発生位置とプレート上面との位置関係を推定する目的に対しては、もっとも分解能の高い解が得られることが期待される。

アレイ観測は、震源断層で変換された波の情報を効率よく抽出可能にする。また、反射・変換強度の変化を追うことにより、震源断層面およびプレート境界面の物理的特性把握も可能となる。

4. 得られた3次元速度構造、プレート境界面の形状を基にした震源の再決定

大地震の震源断層をイメージングするためには、まず、定常的に発生している地震の発生位置を推定し、プレート境界との位置関係を知ることが重要となる。その

ため、3次元速度構造を用いた震源の絶対位置の推定を行う。また、プレート境界近傍に発生する地震群については、波形の相関を利用した相対震源決定を行うことにより、地震間やプレート境界との位置関係の相対精度の向上にも努める。

これにより、震源断層および地震波伝播に関する、総合的なモデル構築のためのデータの取得を行い、震源断層のモデル化に大きく寄与することが期待される。

(5) 平成 14 年度の成果

本年度は、既存観測点のデータ構築と自然地震活動の解析、新規観測点の設置を行った。

自然地震活動については、特に、repeating earthquake に注目した解析を行った。

Repeating earthquakes はプレート境界面における、非地震性すべり域に囲まれた小アスペリティの繰り返しすべりと考えられており、東北日本弧太平洋プレート沈み込み帯では、大地震のアスペリティとの相補的位置関係や、非地震性すべりと repeating earthquakes の繰り返し間隔・すべり量との調和的な関係が指摘されている (Igarashi *et al.*, 2003)。

また、関東地方の太平洋プレート沈み込み帯でも調査が進められており、多数の repeating earthquakes が見出されている (五十嵐, 2002; Igarashi, 2002, 図 6)。

そこで、本報告では、関東地方下に沈み込むフィリピン海プレート境界近傍で発生する地震について調べ、その結果を報告する。

用いたデータは、1981 年 7 月～2002 年 7 月に発生した、東京大学地震研究所の地震観測網で記録・保持されている M3 以上の地震の地震波形記録である。

その結果を図 7 に記す。図 7 上図は repeating earthquakes の発生位置を、想定大地震の震源域、スローイベントのすべり領域と併せて示した。また、図 7 中図は、上図中 B-B' で囲まれた範囲の東西鉛直断面図、図 7 下図は深さ 20-40km のフィリピン海プレート境界近傍で発生した相似地震・repeating earthquake のマグニチュード-時間図である。

これをみると、太平洋プレートと比較して、フィリピン海プレートではあまり repeating earthquakes は発生していなかった。特に、大地震の想定震源発生位置ではほとんど発生しておらず、その周辺域でいくつか発生していた。一方、スローイベントの発生場所には repeating earthquakes が見られた。これは、東北日本弧の太平洋プレートで見られた傾向とほぼ一致している。しかし、発生していてもバースト型がほとんどであり、長期間にわたって繰り返し発生している地震群はほとんど見られなかった。これは、むしろ内陸で発生する地震に傾向が似ている。フィリピン海プレートの太平洋プレートとの特性の違いを示しているかもしれないが、M3 クラスの地震活動度はそれほど高くないため、より小さな地震を含めて解析を行い、検証する必要がある。また、本研究によって得られる詳細な 3 次元速度構造やプレート境界面の形状を基にした震源再決定により、フィリピン海プレートのすべりや応力場との関係、さらには物理的性質についての情報を得ることが期待できる。

新規観測点の設置については、平成 14 年度中には測線配置を計画し、測線全体の下見を行った。年度内には、16 点の設置許可を取り、9 点の設置工事が行われている (図 8)。また、都市部に近い房総半島域の特性を生かした収録方法を検討し、インターネット回線を用いた伝送方法を採用し、使用機材のテストを行った。その際、観測点やデータのセキュリティを考慮した収録方法の検討を行った。

また、東京大学地震研究所内にデータ収録装置を立ち上げた。南関東地域と周辺で発生している地震は気象庁の震源記録、遠地地震についてはアメリカ地質調査所より電子メールによって発信されている地震記録を基にして地震波形の切り出しを行うシステムを構築し、既存観測点で得られる地震のトリガー記録の収録を開始した。さらに、連続記録の収録もあわせて開始した。

(6) 平成 15 年度の研究計画

(a) 新規観測点の設置・データ収録

現在工事中の観測点を含め、平成 15 年中に 30 点全点の設置を行い、データ収録を開始する。また、関東地方とその周辺に設置されている既存観測点で得られたデータも近地・遠地地震を含めてデータ蓄積を継続する。

(b) 地殻構造解析

既存観測点のデータを用いて、レシーバー関数解析と自然地震の変換波の抽出を行い、プレート境界面の形状の推定を試みる。

さらに、新規に得られた波形データを基に、房総半島周辺域の大まかな地殻構造の推定と、震源再決定を行う。また、本観測での特徴を生かした地殻構造解析手法を開発し、そのテストを行う。

引用文献

- 1) Du, Z. J., and Foulger, G. R. : The clustal structure beneath the northwest fjords, Iceland, from receiver functions and surface waves, *Geophys. J. Int.*, 139, 2, 419-432, 1999.
- 2) Galve, A., Sapin, M., Him, A., Diaz, J., Lepine, J.-C., Laigle, M., Gallart, J., and Jiang, M. : Complex images of Moho and variation of V_p/V_s across the Himalaya and South Tibet, from a joint receiver-function and wide-angle-reflection approach, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2182, doi: 10.1029/2002GL015611, 2002.
- 3) 五十嵐俊博 : 関東一東北地方の相似地震活動, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 東京, 2002.
- 4) Igarashi, T. : Spatio-temporal distribution of repeating earthquakes in the Kanto District, Japan., American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union, San Francisco, 2002.
- 5) Igarashi, T., Matsuzawa, T., and Hasegawa, A. : Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, *in press*, 2003.
- 6) Ishida, M. : Geometry and relative motion of the Philippine Sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, *J. Geophys. Res.*, 97, pp. 489-513, 1992.
- 7) Kamiya, S., and Kobayashi, Y. : Seismological evidence for the existence of

serpentinized wedge mantle, Geophys. Res. Lett., 27, pp. 819-822, 2000.

- 8) Nakamichi, H., Tanaka, S., and Hamaguchi, H.: Fine S wave velocity structure beneath Iwate volcano, northeastern Japan, as derived from receiver functions and travel times, J. volcanol. Geotherm. Res., 116, 235-255, 2002.

成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月 日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月 日
Toshihiro Igarashi	Spatio-temporal distribution of repeating earthquakes in the Kanto District, Japan	American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union, San Francisco	2002.12.6

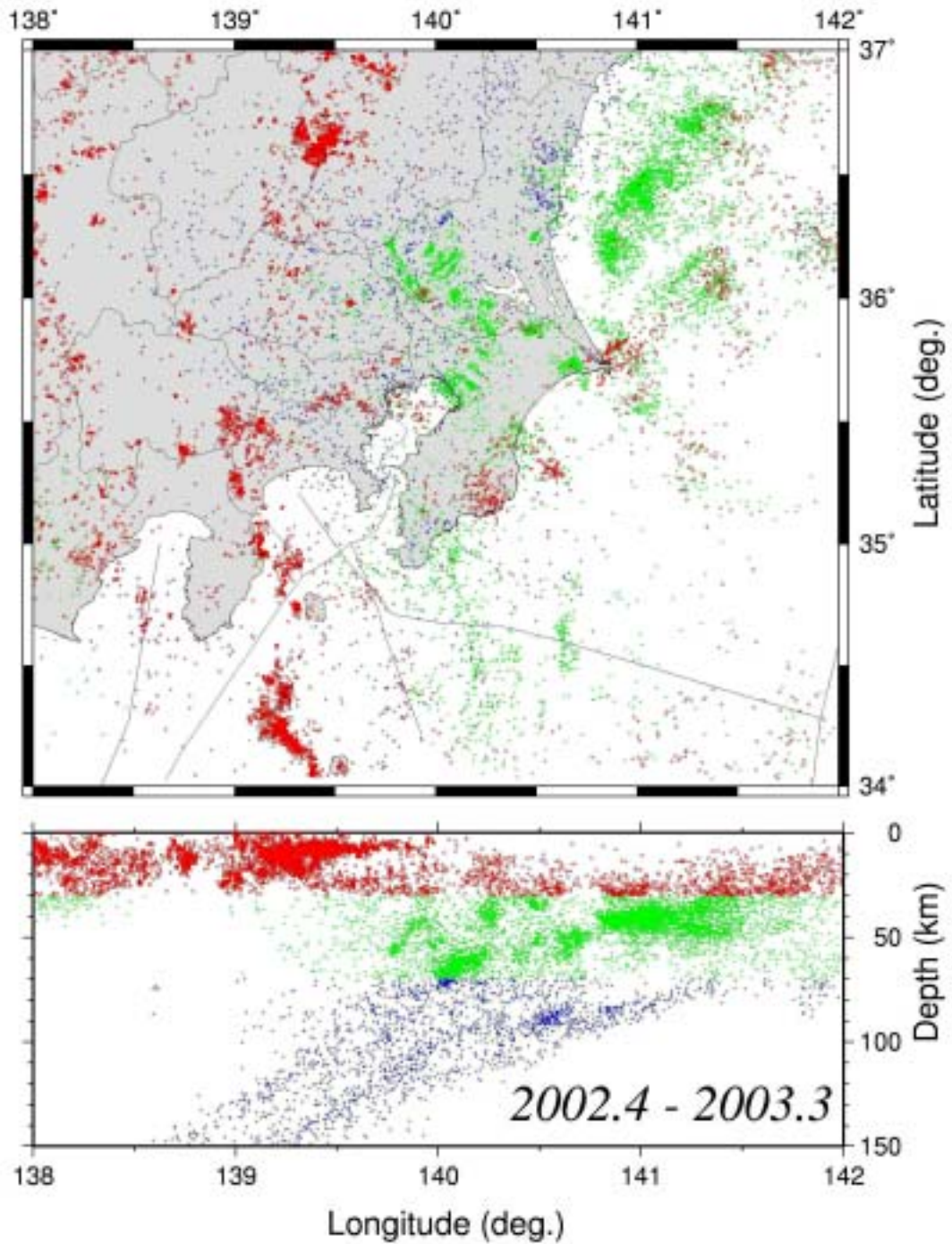


図1 関東地方に発生した地震の震央分布図と東西断面図（2002年7月～2003年3月、気象庁震源）。深さ0-30kmを赤色、30-70kmを緑色、それ以深を青色で記す。

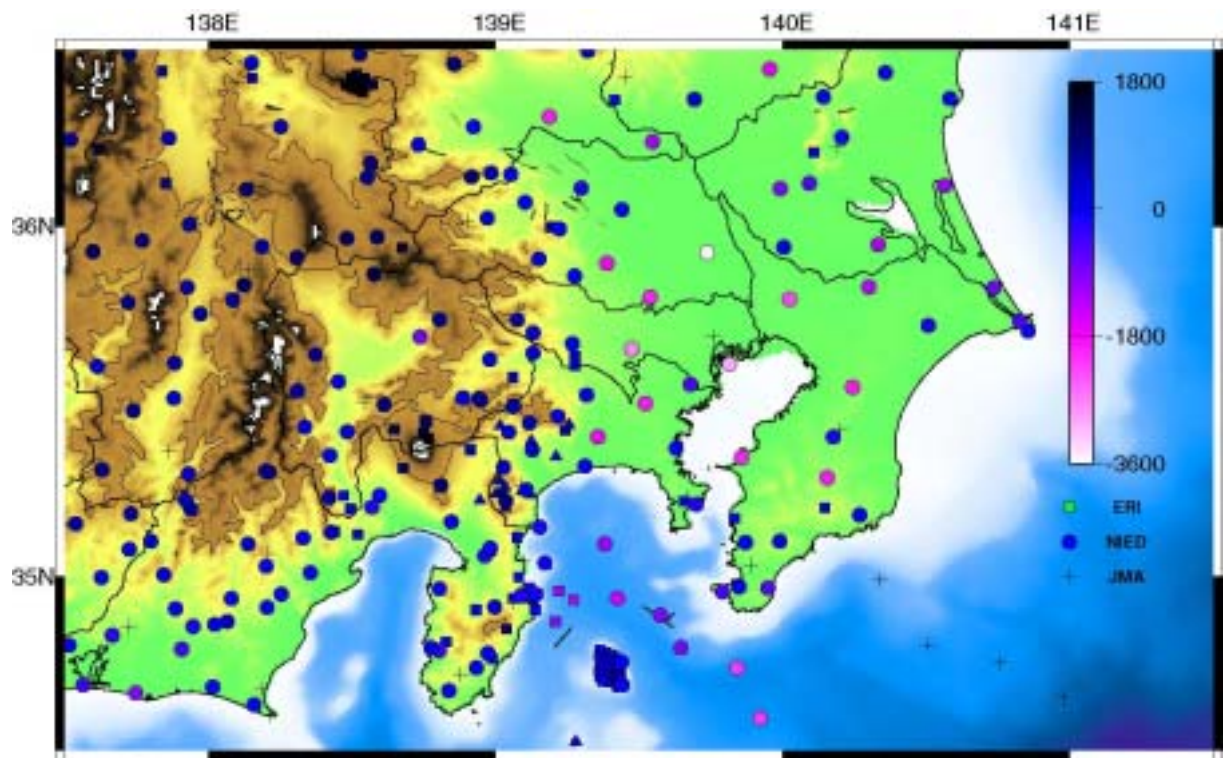


図2 関東地方の既存観測点配置図。東京大学地震研究所（四角印）、防災科学技術研究所（丸印）、気象庁（+印）の観測点を表示した、表示色は設置深度によって変えている。

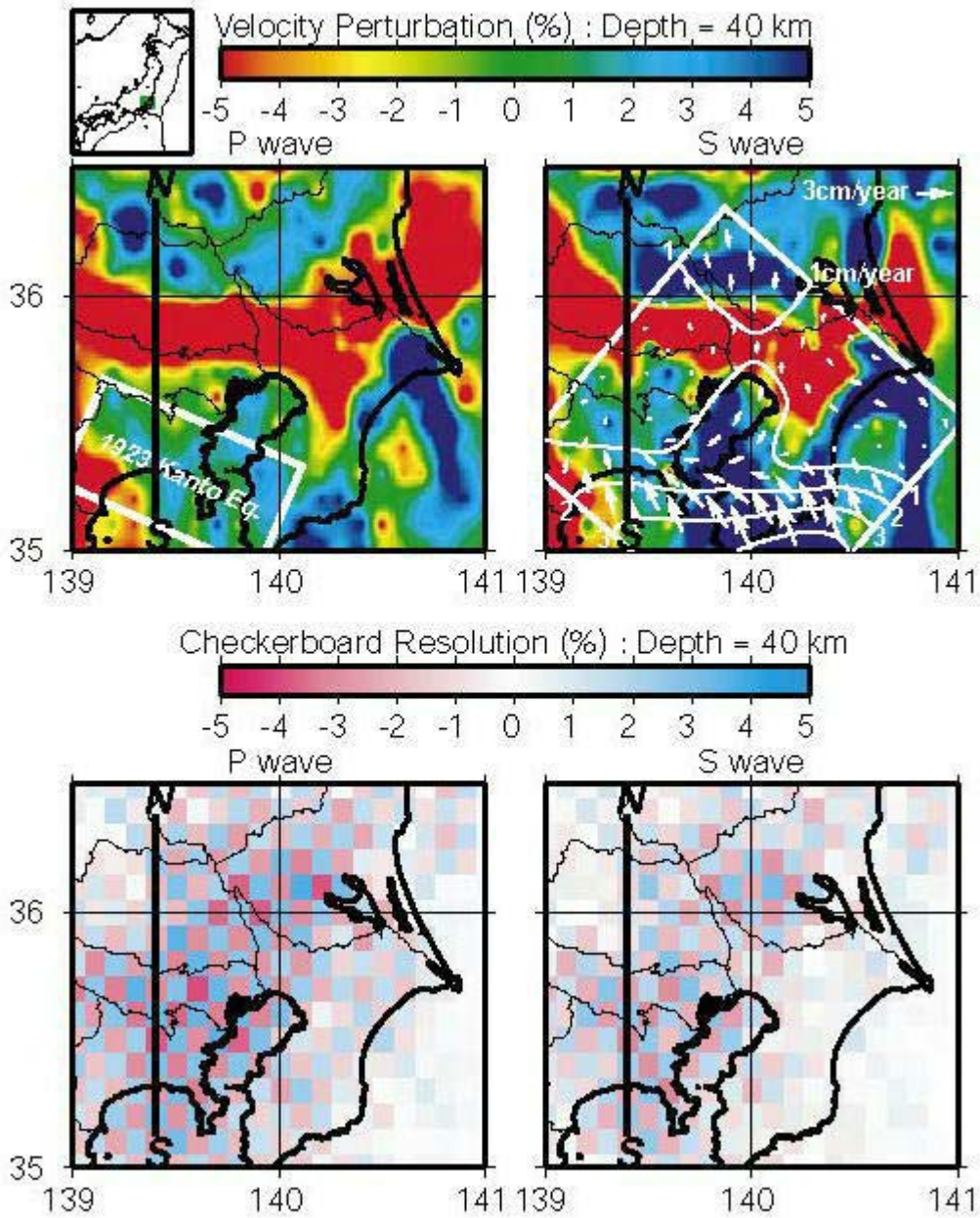


図3 関東地方の地震波トモグラフィーによる解析例 (Kamiya and Kobayashi, 2000 による)。左上と右上はそれぞれ深さ 40km における P 波速度構造と S 波速度構造を示し、左下と右下は P 波、S 波それぞれのチェッカーボードレゾリューションパターンを示している。

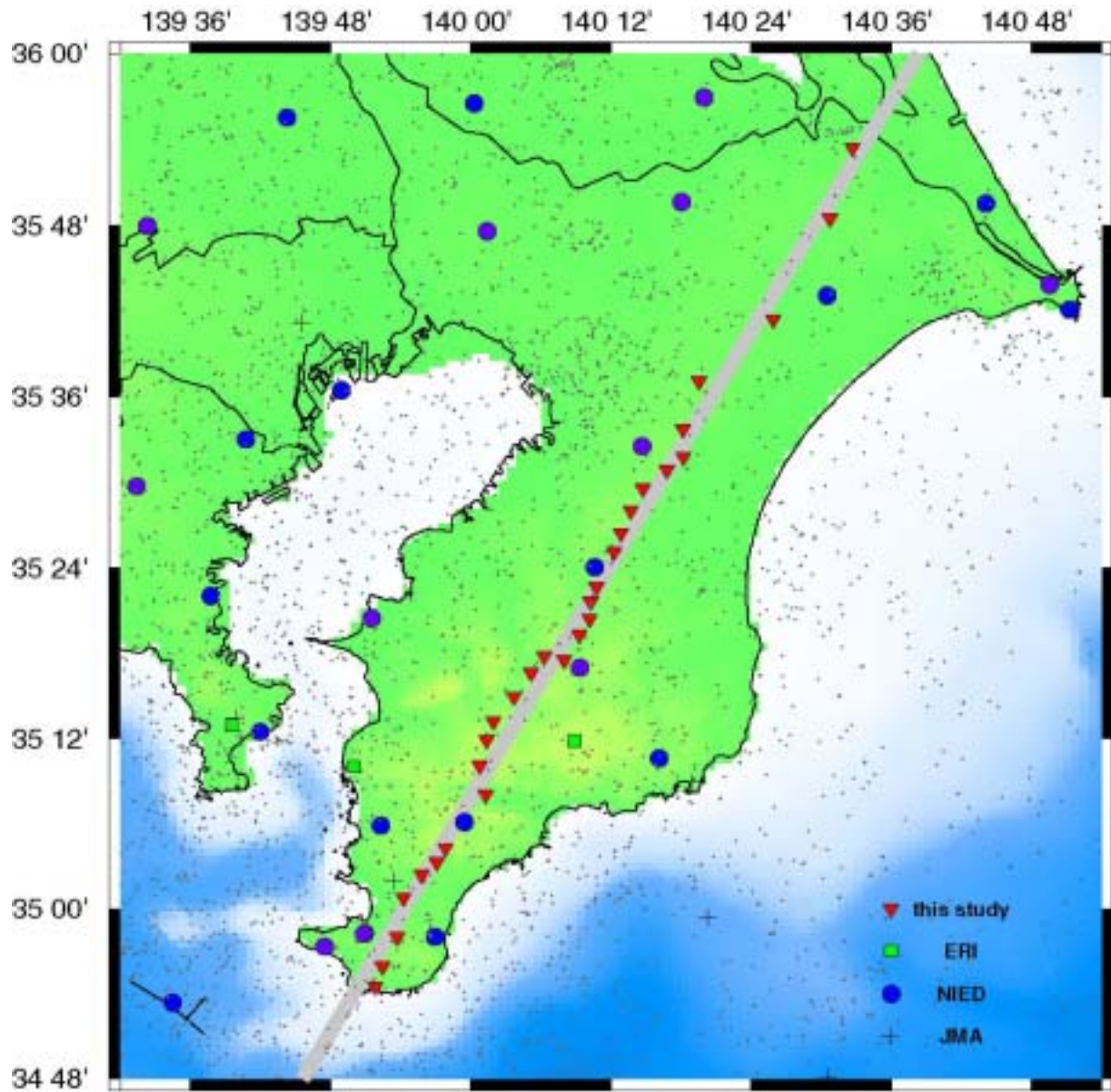


図 4 房総半島における新規観測点配置図。本研究で新規に設置する観測点を赤色、地震研究所、防災科学技術研究所、気象庁の既存観測点をそれぞれ、四角、丸、+印で示す。

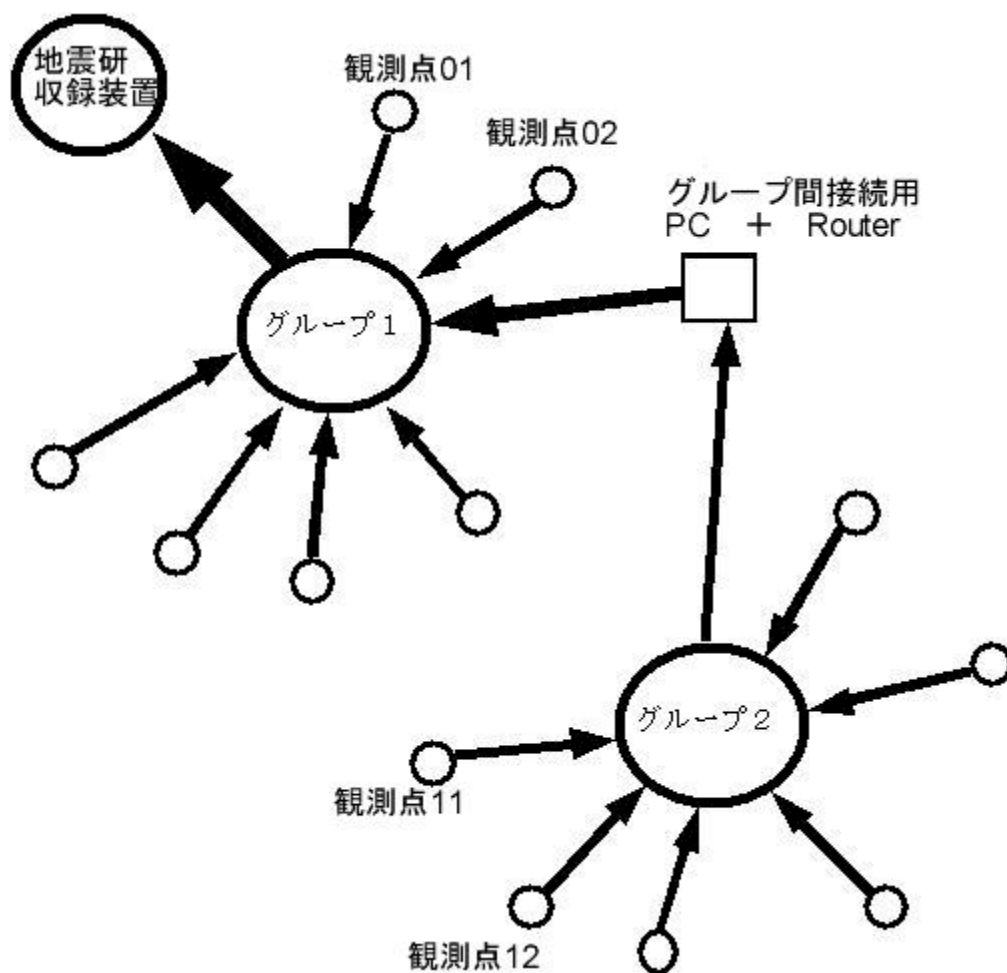


図 5 データ伝送系の概念図。矢印でデータの流れを表す。各観測点で記録されたデータは、NTT の地域 IP 網のグループ内で伝送される。グループ間の伝送は PC とルーターを併設した観測点で行い、最終的に全データは東京大学地震研究所内にある収録装置に電送される。

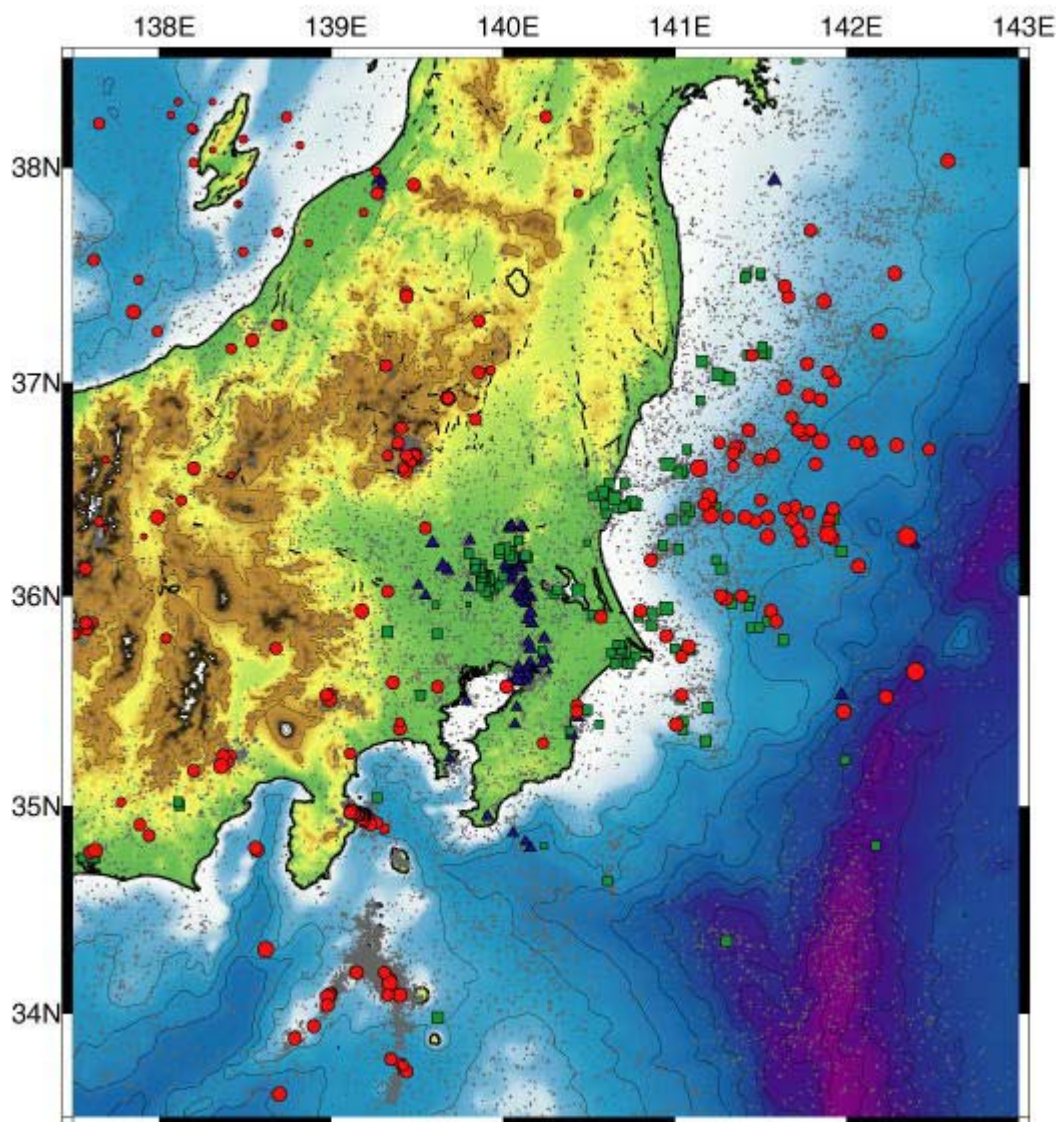


図6 関東地方の repeating earthquakes の分布図 (Igarashi, 2002 による)。1981 年 7 月から 2002 年 7 月の間に発生した M3 以上の地震を解析した。深さ 0-30km の地震を赤、30-60km の地震を緑、60km 以深の地震を青で示す。その他の地震は灰色の点で示している。

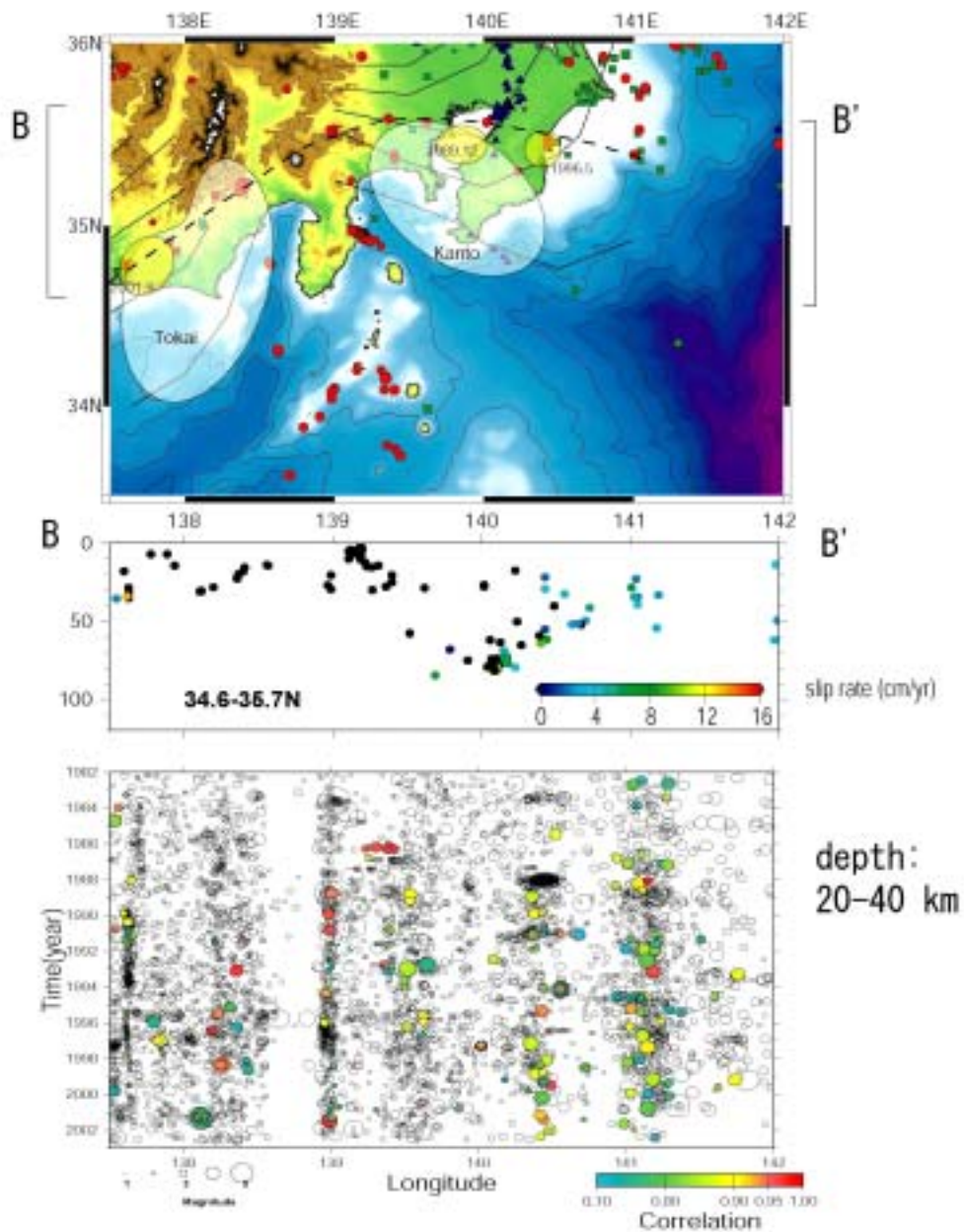


図7 上) Repeating earthquakes の空間分布 (1981年7月~2002年7月, Igarashi, 2002による)。細線は沈み込むフィリピン海プレートの深さを示している。白い楕円は推定関東・東海地震の震源域、黄色い楕円はスローイベントのすべり域を示す。中) 上図 B-B' の範囲の repeating earthquakes から推定されたすべり速度分布の東西鉛直断面。下) 上図範囲の深さ 20-40km で発生した地震のマグニチュード-時間分布。色つきの円は相似地震であり、そのうち、赤色で示されたものが repeating earthquake である。



図 8 （左）短周期地震計と（右）テレメータ装置の外観。