2) 房総半島における速度構造トモグラフィの分解能

a) データ

Matsubara et al. (2005)において、関東地方の三次元速度構造が、10km の分解能で示されている。走時トモグラフィー解析には 2000 年 10 月から 2003 年 9 月の間に発生した地震のうち、北緯 34-37 度、東経 138.6-141 度、深さ 200km までの領域を水平方向に 0.01 度（約 1km）、深さ方向に 1 km の領域に分割し、検測数が最大の地震を各領域内から 1 つずつ選択し、地震が一様に存在するようなデータセットを作成した。この領域には、129 個の関東東海観測網および防災科研 Hi-net の観測点が存在する。その結果、解析に用いたデータは 15,214 個の地震からの 422,799 個の P 波到達時刻、 369,596 個の S 波到達時刻である。

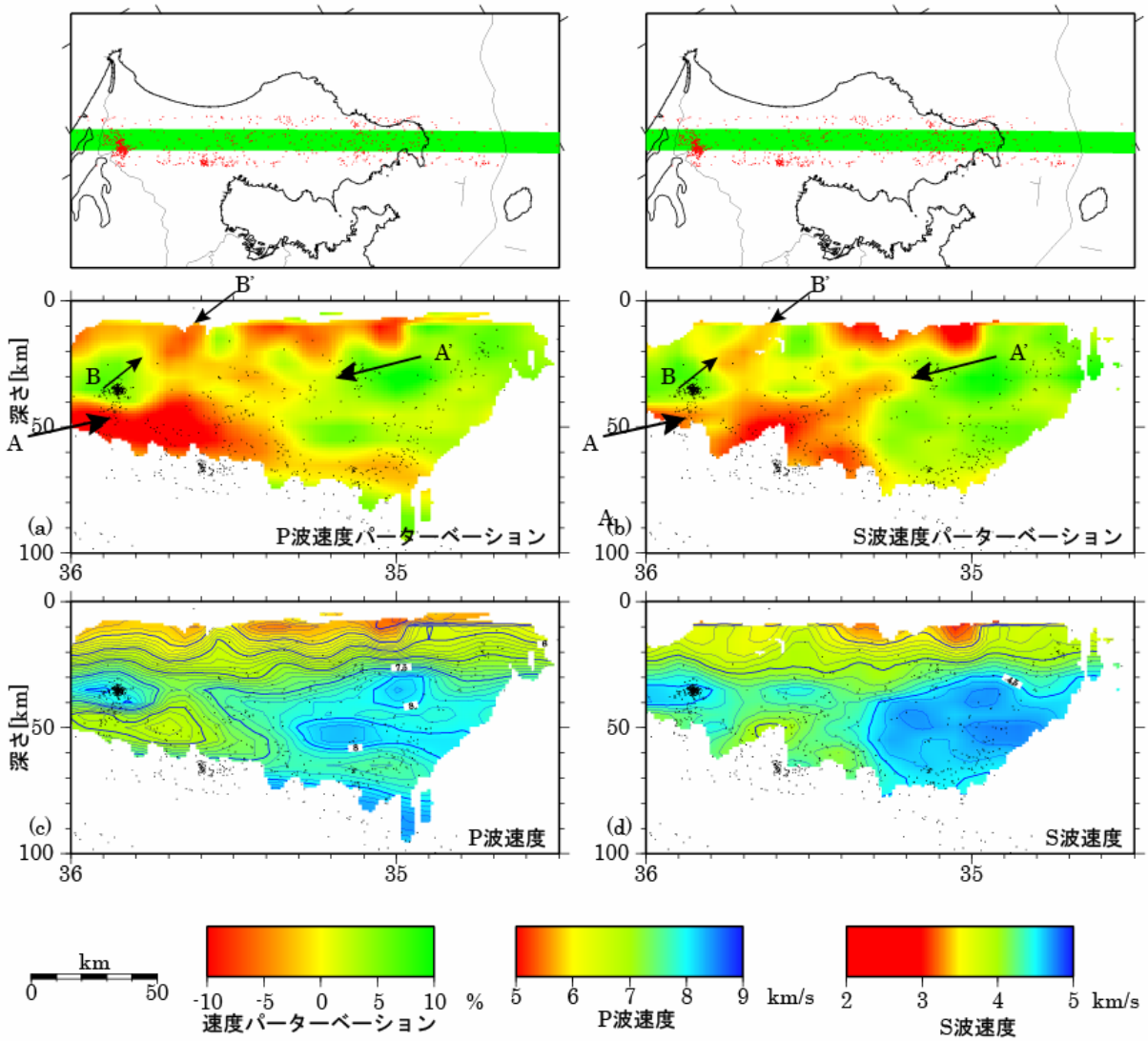

図 8　2002 年に実施された房総半島縦断する反射法探査の領域の鉛直断面

b) 手法

Zhao et al.（1992）の走時インバージョン法（トモグラフィー法）に、ある距離範囲内のグリッドの速度に相関（スムージング）を導入した手法（Matsubara et al., 2004, 2005）を用い、三次元速度構造を求めた。東経 138.6 度から 141 度、北緯 34 度から 37 度を解析

領域として、三次元的に格子点を配置し、それぞれの格子点でのスローネスを未知パラメーターとした。P 波・S 波速度構造・観測点補正値と震源を交互に求め、残差の減少の仕方が落ち着くまで繰り返した。

初期速度構造として、防災科研 Hi-net の震源決定で用いられている構造（鵜川・他、1984）を用いた。格子点は水平方向には 0.05 度（約 5km）間隔で配置し、深さ方向には深さ 50km までは 2.5-5 km 間隔で、50km 以深は 10 km 間隔で配置した。

チェッカーボードテストの結果、分解能は格子点間隔の 2 倍、すなわち水平方向に 0.1 度（約 10km）、深さ方向に 5-10km であった。

c）結果

2002 年に実施された房総半島縦断する反射法探査の領域の鉛直断面を図 8 に示す。フィリピン海フレーの上面に位置する深さ 20～30km では、それほど活発な地震活動はない。S 波の速度パーターベーションでは、深さ 30km 付近から北へ傾斜する低速度層が見られる(図 8 矢印 A-A’)。北緯 35.6～35.8 にかけての深さ 10～25km では、北へ傾斜する低速度領域が存在する(図 8 矢印 B-B’)。

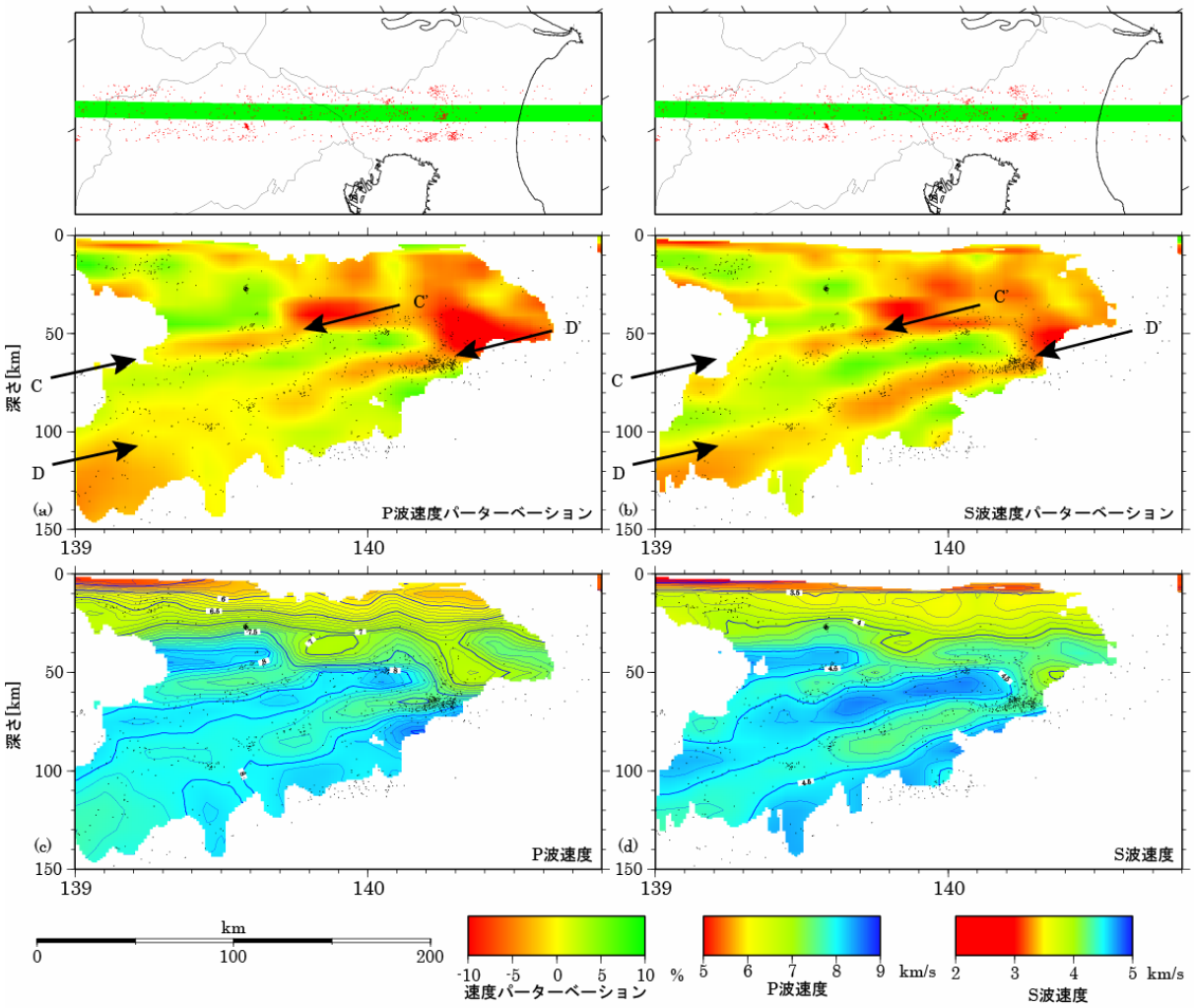

図 9　反射法探査側線に直交する鉛直断面

蓮沼を通り、反射法探査側線に直交する鉛直断面を図９に示す。フィリピン海プレート最上部の低速度海洋性地殻と考えられる低速度層が深さ 50～60km に見られる(図９矢印 C-C’)。フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震活動はその低速度層とその下の高速度海洋性マントル部で発生している。深さ 60～100km においては、太平洋プレートの海洋性地殻の低速度層が見られ(図９矢印 D-D’)、さらにその下の高速度マントル部もイメージングされている。二重地震面の上面は低速度層と一致し、下面は高速度層内に存在する。

3) 関東地方の三次元地震波減衰構造

関東地域における三次元減衰構造は Sekiguchi(1991)などの研究から求められてきているが、既存の研究では地震波速度構造トモグラフィに比べて非常に粗いグリッドが用いられてきた。震度予測などを行なうためには、速度構造と共に減衰構造も重要なパラメータであるため、本研究では、 防災科研 Hi-net によって得られた振幅データから、トモグラフィによって関東地方におけるＰ波およびＳ波の詳細な三次元減衰構造を推定した。

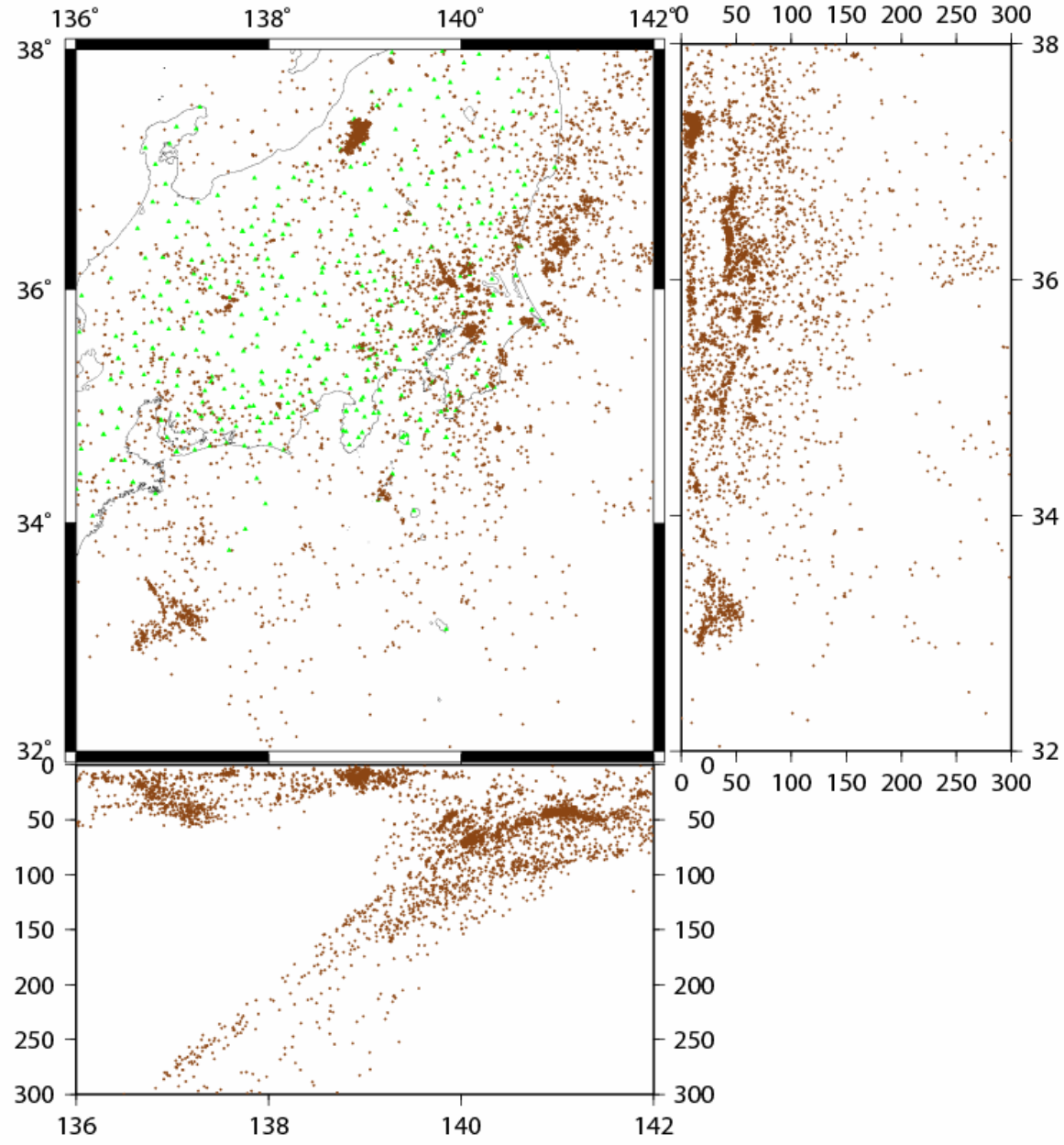

図１０：トモグラフィに用いた震源(茶色の点)、 および防災科研 Hi-net の点(緑三角)。

a) データ

2000 年 10 月から 2005 年 6 月までに発生した地震の中で、以下の条件を満たす防災科研 Hi-net のＰ波、Ｓ波の最大振幅情報をデータとして用いた。

・北緯 32 度～38 度、東経 136 度～東経 142 度、まで深さ 0km～300km の地震
・マグニチュードの大きさが 2.5 から 5.5 の範囲内である地震
・P 波または S 波が到達してから 2 秒以内に最大振幅が到達した地震
・水平方向 0.01 度と深さ方向 1km の中で読み取り数が一番多い地震

これらに当てはまる地震は 4479 個であり、領域内にある防災科研 Hi-net の観測点は 413 点である(図１０)。なお、トモグラフィに用いた総波線数は 179525 である。

b) 手法

最大振幅をデータとした Q 構造トモグラフィ（関根・他 2004 地震学会）で P、S 両方の波について解析を行なった。なお、グリッドは水平方向に 0.25 度深さ方向に 5km のメッシュを切ってあり、初期値の Q としては、Qp＝500、Qs ＝ 200 とし、最大振幅は５Ｈｚ付近にピークを持っているとして計算を行った。なお速度構造は松原・他[2004 合同大会]の西南日本の三次元速度構造を用いている。

c) 結果

トモグラフィの結果およびチェッカーボードテストの結果を以下に示す（図１１～１４）。トモグラフィの図では、低減衰域(High-Q)は水色から青色の寒色系で示し、高減衰域(Low-Q) は黄色から赤色の暖色系で示している。また、黒三角の点は第４紀の火山の位置を示している。なお、Qp と Qs で同じカラースケールを用いているため Qs の方で周囲の赤くなっている部分は、波線は 50 本以上通過しているが、本質的にあまりよく解けていない部分であると思われる。

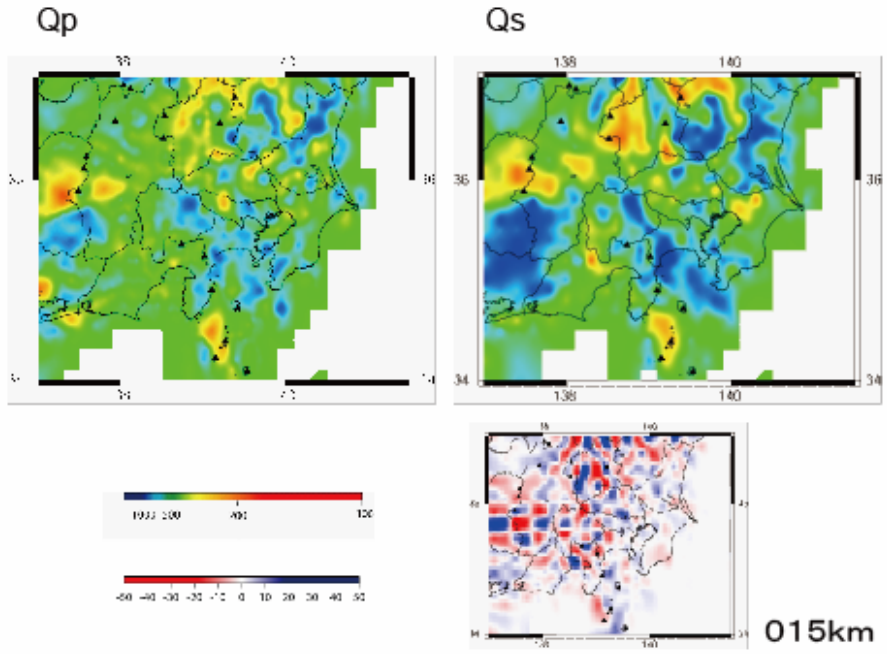

図１１　15km における *Qp* (左上)、 *Qs* (右上)、 チェッカーボードテスト(左下)の結果

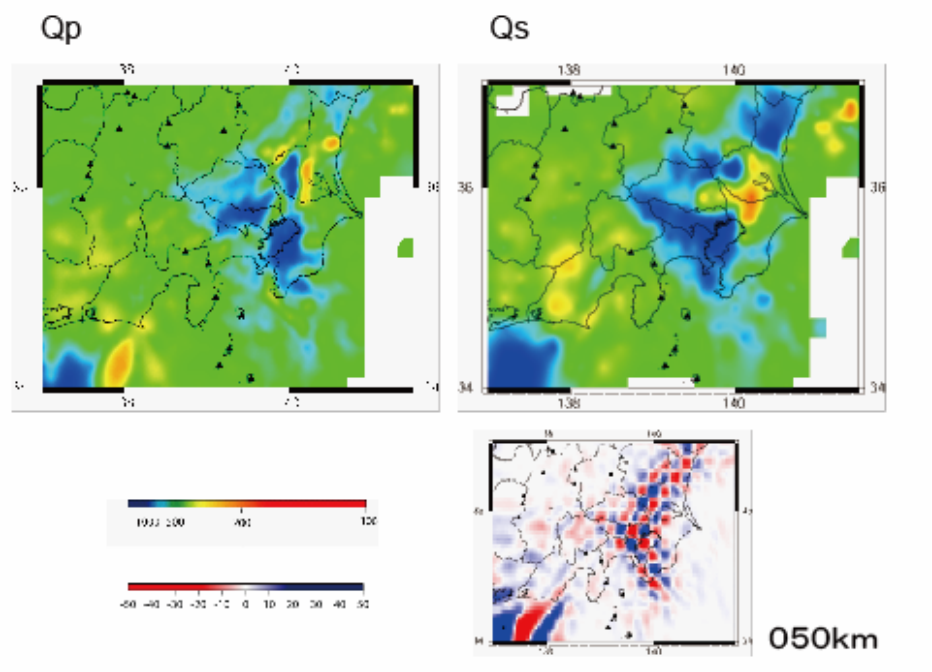

図１２　50km における *Qp*(左上)、 *Qs*(右上)、 チェッカーボードテスト(左下)の結果

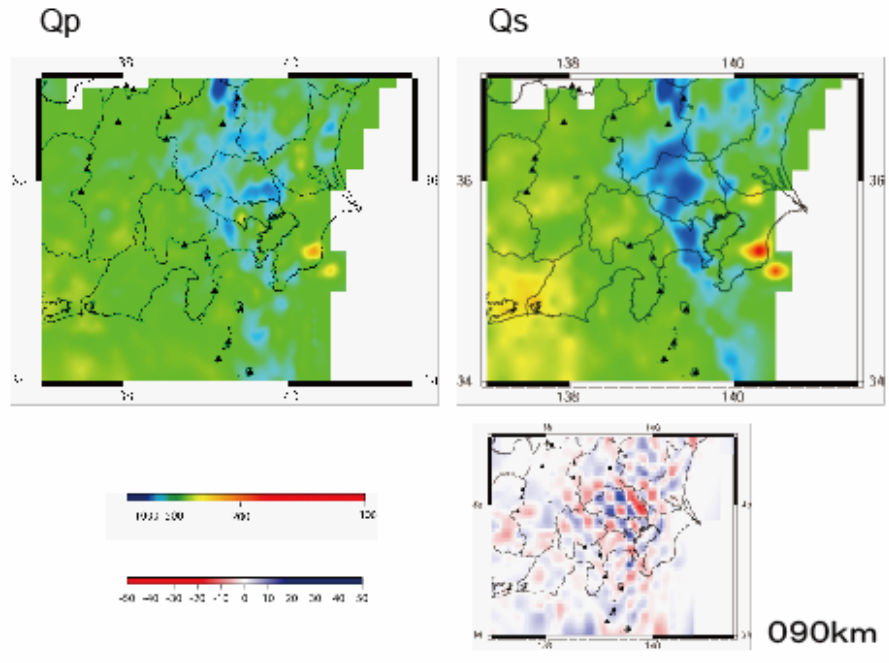

図１３　90km における *Qp*(左上)、 *Qs*(右上)、 チェッカーボードテスト(左下)の結果。

図１１、１２に 15km および 50km の深さにおける Qp および Qs の平面図を示す。深さ 15km では、三宅島や御岳付近に火山起因のものと思われる Low-Q の領域が広がっている。また、神奈川から山梨にかけては Qp、Qs 共にフィリピン海プレートに起因する High-Q の領域が存在する。この領域は深くなるにつれて北東方向に移動し（図１３も参照)、Sato et al. (2005) によって求められたフィリピン海プレートの形状と調和的である（図１４)。また北緯 36 度付近埼玉県東部の 40km から 50km の深さにおいては、非常に顕著な Low-Qs の領域を見ることができる。但し、同じ領域で顕著な Low-Qp は存在しな

い。この領域は Kamiya and Kobayashi （2000）における蛇紋岩の存在が推定されている地域であり、それが本研究によって確認できたと考えられる。

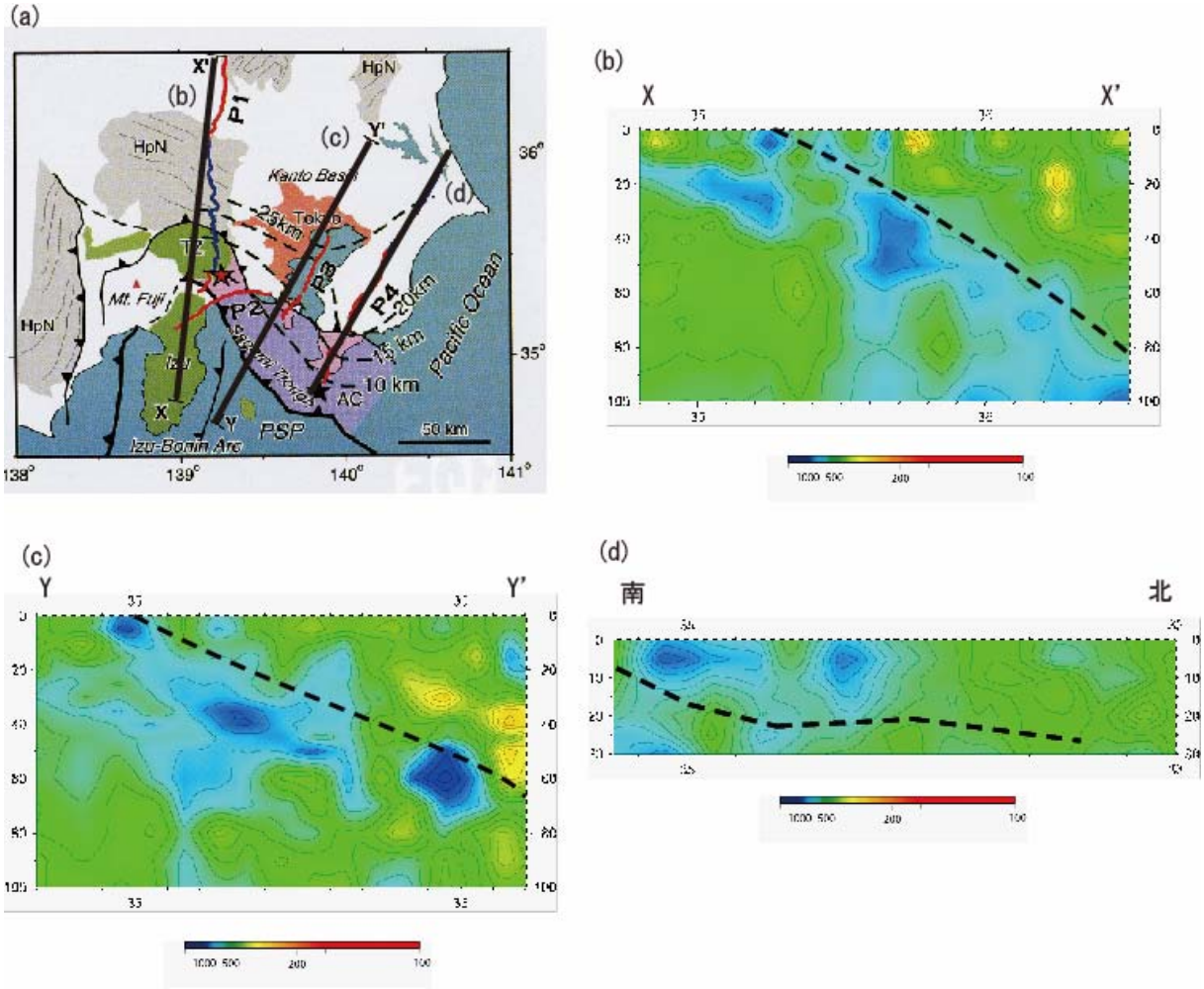

図１４　大大特測線に沿った断面図。

(d) 結論と今後の課題

反射法データの再解析により、関東地方南東沖のプレート構造を解明することで関東地方南部との類似点および相違点が明らかとなった。相模トラフに平行な方向に類似したプレート構造が連続しているが、詳細に比較すると房総半島の東西でフィリピン海プレートの境界の深さがやや異なることが明らかとなった。首都圏の地震発生予測の信頼性を向上するためにプレート構造を高い分解能で解明することは重要である。これまでの調査によりトラフに垂直な方向については詳細なイメージングが得られたため、今後トラフに水平な方向の構造を明らかにしていくことが必要である。

関東地方の 10km の分解能でのトモグラフィ解析の結果、房総半島の深さ 0～10km ぐらいの分解能は非常に悪い。太平洋側については、0～30km ぐらいまで悪い。一方、関東地方の西部では、5km の分解能でも解析可能であった。房総半島の太平洋側は、観測網の端にあたるが、地震は海側でも発生しており、観測点が存在すれば、構造は推定できると考えられる。したがって、この差異は、観測点密度が小さいためと考えられる。観測点密度を大きくすることにより、房総半島においても、詳細な三次元速度構造を求められると考えられる。

P 波、S 波の最大振幅を用いることにより関東地方における三次元減衰構造 Qp、 Qs を推定することができた。今後は、強震動などを計算する際の基本データとして、周波数ごとの Q を三次元的に求めていくことが重要であると考えられる。

(e) 引用文献

1) Asano, S. et al.: Crustal Structure in Izu Peninsula, central Japan, as Derived from Explosion Seismic Observations 1. Mishima-Shimoda Profile, *J. Phys. Earth*, **30**, 367-387, 1982.

2) Hirata, N. et al.: Report on DELP 1989 Cruise in the TTT Junction Areas Part 2: Upper Crustal Structure Near the Trench-Trench-Trench Triple Junction off the Boso Peninsula, Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **67**, 479-512, 1992.

3) Ishida, M.: Geometry and relative motion of the Philippine Sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, *J. Geopyhs. Res.*, **97**, 489-513, 1992.

4) 岩淵洋・加藤幸弘・浜本文隆・近藤忠・進林一彦, 相模湾におけるマルチ・チャネル反射法音波探査, *海洋調査技術*, **3**, 39-51, 1991.

5) Japanese DELP Research Group on Back-Arc Basins and Deep Structure of Oceanic Lithosphere, Report on DELP 1989 Cruise in the TTT Junction Areas Part 1: General Outline, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **67**, 463-478, 1992.

6) 地震調査委員会,:相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(平成 16 年 8 月 23 日), 地震調査研究推進本部, 2004.

7) 海宝由佳, 房総沖海溝三重会合点付近の地殻及びマントル上部の地震波速度構造, 東京大学博士論文, 1992.

8) Kamiya, S., and Y. Kobayashi: Seismic evidence for the existence of serpentinized wedge mantle, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 819-922, 2000.

9) Kamimura, A., J. Kasahara, R. Hino, M. Shinohara, H. Shiobara, G. Fujie, and T. Kanazawa: Crustal structure study at the Izu-Bonin subduction zone around 31°N: Implications of serpentinized materials along the subduction plate boundary, *Phys. Earth. Plant. Inter.*, **132**, 105–129, 2002.
10) 笠原敬司：プレートが三重会合する関東・東海地方の地殻活動様式，*国立防災科学技術センター研究報告*，**35**，33-137, 1985.
11) Kato, S., Multi-channel seismic reflection survey in the Nankai, Suruga, and Sagami tough, *Marine Geodesy*, **11**, 251-268, 1987.
12) 木村尚紀:関東地方南東沖におけるプレート構造と繰り返し地震,*東京大学博士論文*, 2005.
13) 木村尚紀・笠原敬司・山水史生・井川猛・太田陽一・大西正純，関東沖における反射法地震探査（その１），*地球惑星科学関連学会講演予稿集*，E11-P20, 1997.
14) Kimura, H., K. Kasahara, T. Igarashi, and N. Hirata: 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.
15) 小山真人：伊豆半島の地史と足柄・大磯地域の更新世，月刊地球, 8, 743-752, 1986.
16) 松原 誠・関根 秀太郎・小原 一成・笠原 敬司，西南日本の地殻・上部マントルの速度構造，*地球惑星科学関連学会講演予稿集*，S053-P032, 2004.
17)Matsubara, M., N. Hirata, H. Sato, and S. Sakai, Lower crustal fluid distribution in the northeastern Japan arc revealed by high resolution 3D seismic tomography, 2004, *Tectonophysics*, in press
18) Matsubara, M., H. Hayashi, K. Obara, and K. Kasahara: 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.
19) 中島淳一：東北日本弧の地震波速度・異方性構造と温度および流体分布，*東北大学博士論文*, 2002.
20) 野口伸一：関東地域の地震活動・発震機構・火山フロントとフィリピン海および太平洋プレートの沈み込み，*地震研究所彙報*，**73**，73-103, 1998.
21) 沖野郷子・西澤あずさ・浅田昭，相模湾北西部の地殻構造探査，*水路部研究報告*，**30**，383-393, 1994.
22) Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara, and S. Harder (2005), Earthquake source fault beneath Tokyo, *Science*, **309**, 462– 464.
23) Sekiguchi, S., Three-dimensional Q structure beneath the Kanto-Tokai district, Japan, *Tectonophysics*, **195**, 83-104, 1991.
24) 関根秀太郎・松原誠・小原一成・笠原敬司，防災科研 Hi-net の最大振幅データに基づく日本列島下の三次元減衰構造，*日本地震学会講演予稿集 2004 年度秋季大会*，P128, 2004.

25) 石油公団：国内石油・天然ガス基礎調査・海上基礎物理探査「房総沖浅海域」, 2000.
26) Zhao, D., A. Hasegawa, and S. Horiuchi, Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath Northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, **97**, 19,909-19,928 (1992).

(f) 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
Kimura et al.	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 年 1 月
Matsubara et al.	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 年 12 月

2) 口頭発表、その他

著者	題名	発表先	発表年月日
Sekiguchi et al.	Borehole drilling at the arc-arc collision zone in the Yamakita area, central Japan	2nd International Workshop of Strong Ground Motion Prediction and Earthquake Tectonics in Urban Areas ERI, DPRI, NIED and MEXT ERI(Tokyo, Japan)	2005 年 10 月 26 日

(g) 特許出願，ソフトウエア開発，仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成１８年度業務計画案

千葉県北西部から茨城県南部を含む地域にて、自然地震データを利用して弾性波速度構造を求め、求めた地下構造（３次元）を元に自然地震の震源決定を行い、高精度な震源決定を行い、当地の地震発生の場であるプレート構造などを明らかにし、地震発生断層モデルの精緻化に資する。