

2.3 孔井付近速度構造調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 孔井付近速度構造調査

(b) 担当者

| 所 属 | 役 職 | 氏 名 |
|-----------------|---------|-------|
| 独立行政法人防災科学技術研究所 | | |
| 固体地球研究部門 | 主任研究員 | 関口渉次 |
| 固体地球研究部門 | 総括主任研究員 | 笠原敬司 |
| 固体地球研究部門 | 主任研究員 | 堀 貞喜 |
| 固体地球研究部門 | 主任研究員 | 小原一成 |
| 固体地球研究部門 | 研究員 | 木村尚紀 |
| 固体地球研究部門 | 研究員 | 汐見勝彦 |
| 固体地球研究部門 | 特別研究員 | 関根秀太郎 |
| 固体地球研究部門 | 特別研究員 | 松原 誠 |
| 固体地球研究部門 | 特別研究員 | 林 広樹 |

(c) 業務の目的

地震基盤の速度構造について、既往データ（自然地震観測データ、構造調査データ）から、地下構造について初期的な結果を推定する。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

- 1年目：房総半島を中心とした自然地震発生様式について、防災科学技術研究所の観測データを整理するとともに、自然地震を使った地下構造の研究のまとめを行う。リアリティの高い地下構造を求め、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、当地の地震発生場であるプレート構造などを明らかにする。関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。
- 2年目：神奈川県西部域を含む地域にて、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。また、関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。
- 3年目：関西地区地域にて、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。また、関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。
- 4年目：観測点密度の低い北関東地域地域にて、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。また、関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。

5 年目：千葉県北西部地域にて、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、当地の地震発生現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。また、関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。関東平野については、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究のまとめを行う。ボーリング孔を利用し、Hi-netを整備する。

(e) 平成14年度業務目的

房総半島を中心とした自然地震発生様式について、防災科学技術研究所の観測データを整理するとともに、自然地震を使った地下構造の研究のまとめを行う。リアリティの高い地下構造を求めるため、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、当地の地震発生現場であるプレート構造などを明らかにする。関東平野について、既存地質資料などを取りまとめた総合的研究を推進する。

速度構造や地質構造は、現在、地震調査研究推進本部によって進められている平野部の地下構造調査結果や、本研究で実施している地殻構造探査の成果と合わせ解析し、総合的な首都圏・近畿圏の速度構造モデルの構築に資する。

(2)平成14年度の成果

(a) 業務の要約

房総半島を中心とした自然地震発生様式について、防災科学技術研究所の観測データを整理するとともに、トモグラフィ法による自然地震を使った地下構造の研究のまとめと新たな三次元地下構造研究を行った。

(b) 業務の実施方法

防災科学技術研究所は、関東東海地域を中心に20年余自然地震観測を行ってきた。観測データベースに基づき、房総半島を中心に地震活動様式や、三次元インバージョン研究（トモグラフィ）を整理・概観するとともに、首都圏のプレート構造についてトモグラフィ法によって新たな三次元地下構造研究を行った。

(c) 業務の成果

1) 房総半島周辺の地震活動

関東地方は、世界にも極めて稀な海溝 - 海溝 - 海溝型の3重会合点の近傍に位置し、相模トラフより沈み込むフィリピン海プレート及び日本海溝から沈み込む太平洋プレートの2つの海洋性プレートが複雑に相互作用し、日本でも特に地震活動の活発な領域となっている。関東地方は厚い堆積層に覆われ、また首都圏であることから人工的なノイズが極めて強く地震活動の観測には極めて不利な領域であった。しかし、防災科研による深層地震観測施設を初めとした微小地震観測網の整備によって高精度な震源データが得られるようになり、詳細なプレートモデルが構築されている（笠原、1985；Ishida、1992；堀、1997；野口、1998など）。その結果、同地域の地震活動は前述の2つのプレート及び陸側プレート間で発生するプレート境界型の地震、およびスラブ内部で発生する地震に大きく分類されることが知られている。その活動はプレート構造の複雑さを反映して、地殻内部から上部マントルの深さにいたるまで様々な深度で発生し、活発な地震クラスターが複数形成されている。南関東地域に位置する房総半島周辺もまた、このようなテクトニックセッティングの支配下にあり、その地震活動は複雑かつ活発である。以下に、その特徴

について述べる。

図 1 に防災科研・関東東海地殻活動観測網によって得られた、房総半島周辺の 1990 年 1 月 1 日から 2002 年 12 月 31 日の期間の M2.0 以上の震央分布を示す。(a) (d) で示したクラスターにおいて、特に地震活動が活発であることが認められる。図 1 に示した矩形領域の東西断面を図 2 に示す。図 2 では、クラスター(a) (d)の位置および太平洋プレート(PAC)上面、フィリピン海プレート(PHS)上面の境界をあわせて示す。以下、各断面に基づいて地震活動の特徴を述べる。

i) 断面 A： 活発な 2 つのクラスター(a)、(b)が存在する。その特徴は以下の通りである。

クラスター(a)： 千葉市周辺で、深さ 60~80 km の領域で発生する活動で、いわゆる千葉県中部の活動と呼ばれている。そのメカニズムは東西方向に圧縮軸を有するスラスト型の解が卓越する。圧縮軸の方位はグローバルなプレート運動モデルから予想される太平洋プレートとフィリピン海プレートの相対運動方向と一致し、次のクラスター(b)の深度分布と合わせて太平洋プレート上面で発生する活動と考えられている。

クラスター(b)： クラスター(a)同様、東西方向に圧縮軸を有するスラスト型のメカニズム解が卓越している。クラスター(a)よりやや浅く、深さ約 40~55 km の領域で発生している。クラスター(a)、(b)の延長と日本海溝の位置は滑らかに連続し、同海溝から沈み込む太平洋プレート上面の深度分布が把握される。その他、この断面で認められる特徴として下記の点が挙げられる。太平洋プレートスラブ内では、二重深発地震面が認められる。太平洋プレートより浅部のフィリピン海プレートスラブ内でも活動度は低いが地震活動が認められる。また、上部地殻に相当する深度での活動は認められない。上部地殻で地震活動が極めて低調であることは、関東平野で一般的に認められる特徴であり、断面 B~D でも同様である。

ii) 断面 B： クラスター(a)、(b)より活動度はやや低いが、地震活動の活発な領域としてクラスター(c)が認められる。同クラスターは深さ毎にさらに 3 つのクラスター(c1)、(c2)、(c3)に分類される。クラスター(c1)ではフィリピン海プレートと陸側プレートの相対運動方向に一致する北西-南東方向に圧縮軸を有するスラスト型のメカニズム解が卓越する。同領域では、過去 20 年間で M5 クラスの地震が何回か発生しており、そのうち 1983 年に発生したイベント(M5.9)のメカニズム解及び 1 ヶ月間の震源分布を図 3(a)に示す。その震源分布からほぼ水平な節面が断層面と考えられ、次のクラスター(c2)とあわせた考察からフィリピン海プレート上面での活動と解釈されている。同クラスターの内陸部では定常的な活動が認められるが、その東方沖では 2~3 年間で M4 クラスのイベントを最大地震とする群発地震活動が発生している。クラスター(c2)で過去に発生した顕著な活動として 1987 年千葉県東方沖地震(Mjma 6.7)が挙げられ、この地震によって死者 2 名、家屋全壊 10 棟の被害が引き起こされた。メカニズム解および本震発生後 24 時間の余震分布を図 3(b)に示す。余震分布とメカニズム解の関連から、北北西-南南東方向のほぼ垂直な節面が断層面と考えられる。また、クラスター(c1)との関連から、フィリピン海プレートのスラブ内部で発生した、スラブをほぼ垂直に破断するやや逆断層成分を有する右横ずれ型の活動であったと解釈されている(Okada and Kasahara, 1990)。その成因については、周辺の地震活動との関連から、北西進するフィリピン海プレートの東端が太平洋プレートと衝突するためによって生じるプレートの内部変形を解消するための活動との解釈がなされている。同領域では、その後 1989 年末頃まで余震活動が認められたが、現在では活動は低調に推移している。その下部に位置するクラスター(c3)では、ほぼ東西に圧縮軸を有するスラスト型の解を有する活動が卓越し、クラスター(a)、(b)同様太平洋プレート上面の活動と考

えられる。このことはクラスター(c1)、(c2)の解釈とも調和的であり、またクラスター(a)、(b)の西落ちの深度分布とも調和的である。その他、断面 A 同様太平洋プレートスラブ内の二重深発地震面、フィリピン海プレートスラブ内部での活動が認められる。

iii) 断面 C： クラスター(c)の南部は北部に比べて活動度は低い、ほぼ水平な震源分布およびメカニズム解から前述のクラスター(c1)同様フィリピン海プレート上面での活動と考えられるため、便宜上クラスター(c)に含めている。その他、顕著なクラスターとして(d)が認められる。クラスター(d)では、ほぼ東西に圧縮軸を有するダウディップコンプレッションのメカニズム解が卓越し、その深度から太平洋プレートスラブ内で発生する二重深発地震面の上面に相当する活動である。1992年2月2日に発生した M6.1 の地震時には、ほぼ鉛直に分布する余震分布が観測された。メカニズム解との関連から、東落ちの高角逆断層が生成された活動であったと解釈されている。その他、断面 A、B 同様太平洋スラブ内の 2 重震発面、フィリピン海プレートスラブ内の活動が認められる。

iv) 断面 D： 深さ 20~70 km の範囲で、相模トラフより東落ちに滑らかに分布する活動が認められ、フィリピン海プレートの多重沈み込みを反映した活動との提案がなされている。その深部には、太平洋プレートによる 2 重深発地震面が認められる。

1990/01/01 - 2002/12/31 (NIED) $M \geq 2.0$ Nplot=7024

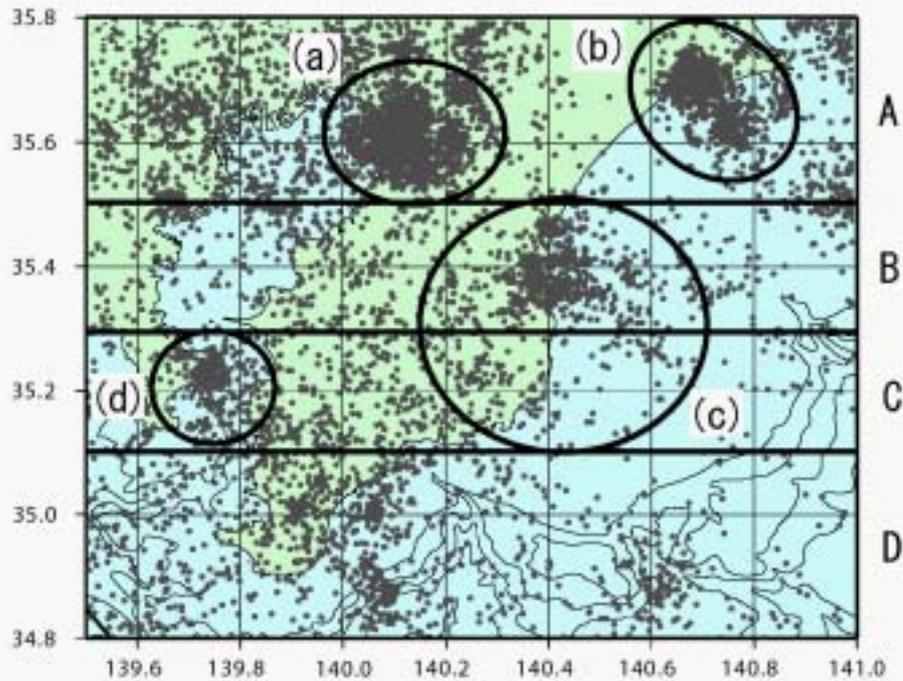


図1 房総半島周辺の震央分布図 ■ 関東東海地殻活動観測網による震源

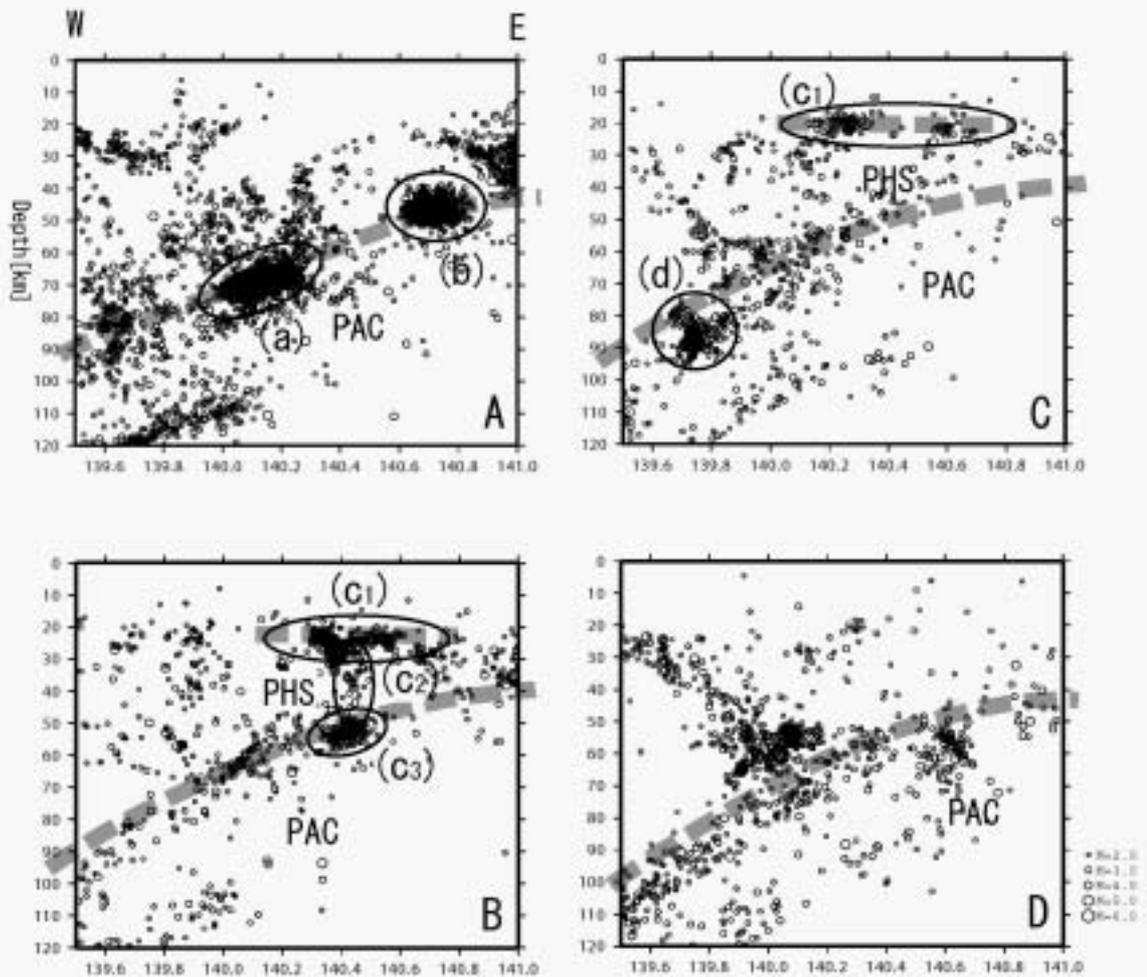


図2 図1に示した矩形領域での東西断面図 図1に示したクラスター、太平洋プレート(PAC)およびフィリピン海プレート(PHS)の位置をあわせて示す。また、両プレート上面の深度を波線で示す。

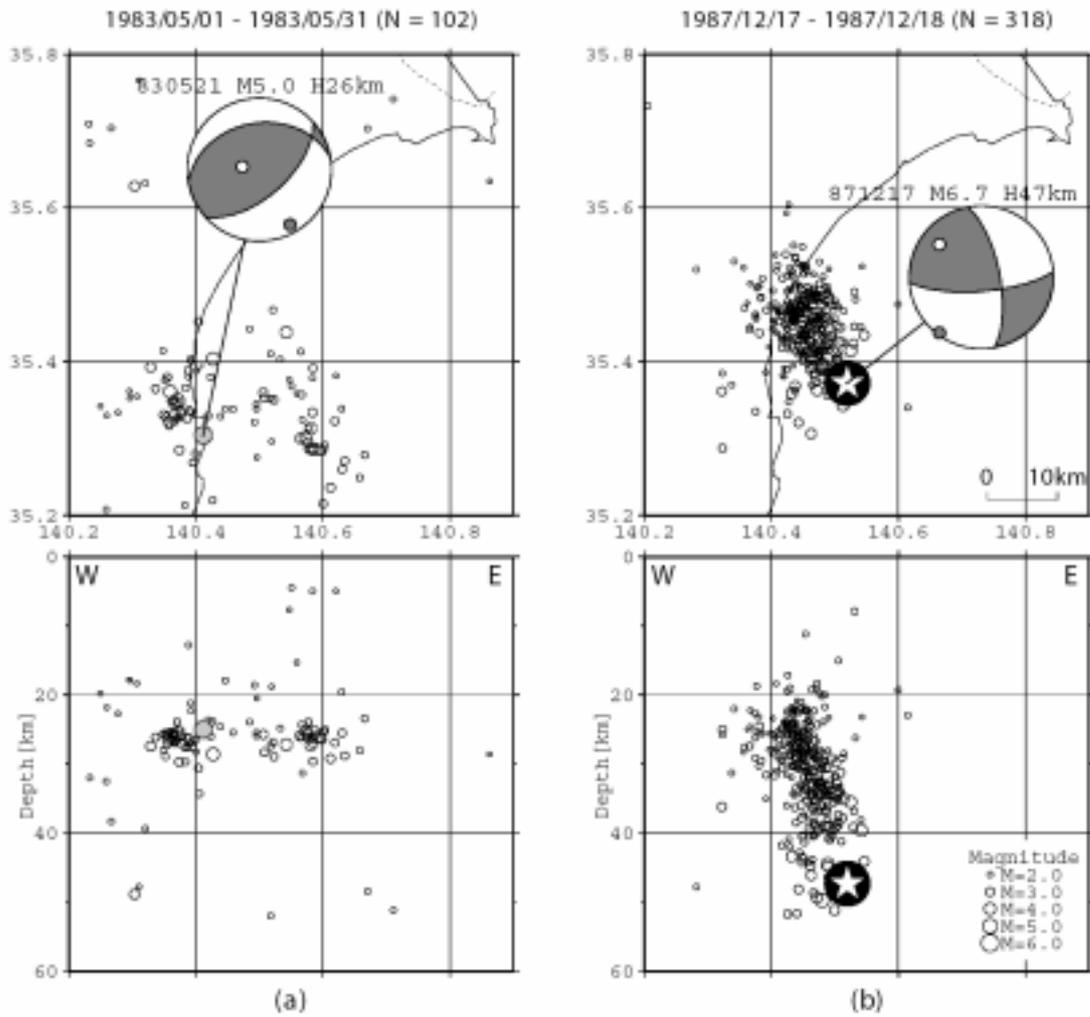


図3 (a)1983年5月の九十九里浜沖における地震活動の震央分布および東西断面図。最大地震のメカニズム解をあわせて示す。(b)1987年千葉県東方沖地震(星印)発生後24時間以内に発生した余震の震央分布、東西断面図。本震のメカニズム解をあわせて示す。

2) 地震波速度構造

関東地域の速度構造は、Ishida and Hasemi (1988)をはじめトモグラフィ手法によってこれまで、比較的詳しく調べられている。そのうちのいくつかをここでは紹介する。

) Ohmi and Hurukawa (1996)の研究

防災科学技術研究所の関東東海微小地震観測網 41 観測点で観測された 3,038 個の地震の P 波走時読みとり値データ 40,763 個を用いて、水平方向には 4km、深さ方向には 4-10km ブロックに関東地域を分割し地震波速度構造を求めた。その結果、関東地方には幅約 25 km の東西に延びる低速度帯が深さ 30-60km に見られた(図 4、5、6)。また、深さ 60km 付近に南北方向に伸びる低速度帯が見られた。これらはそれぞれフィリピン海プレートと太平洋プレート上面の低速度層と結論づけた。また 139°25' E 139°55' E、35°55' N 付近の顕著な低速度域は、伊豆小笠原弧の低密度地殻が堆積したものと推測している。得られたイメージがやや不明瞭なのは、観測点補正が 3 次元不均質を部分的に吸収する働きがあるものを使用したのが原因の一つと考えられる。

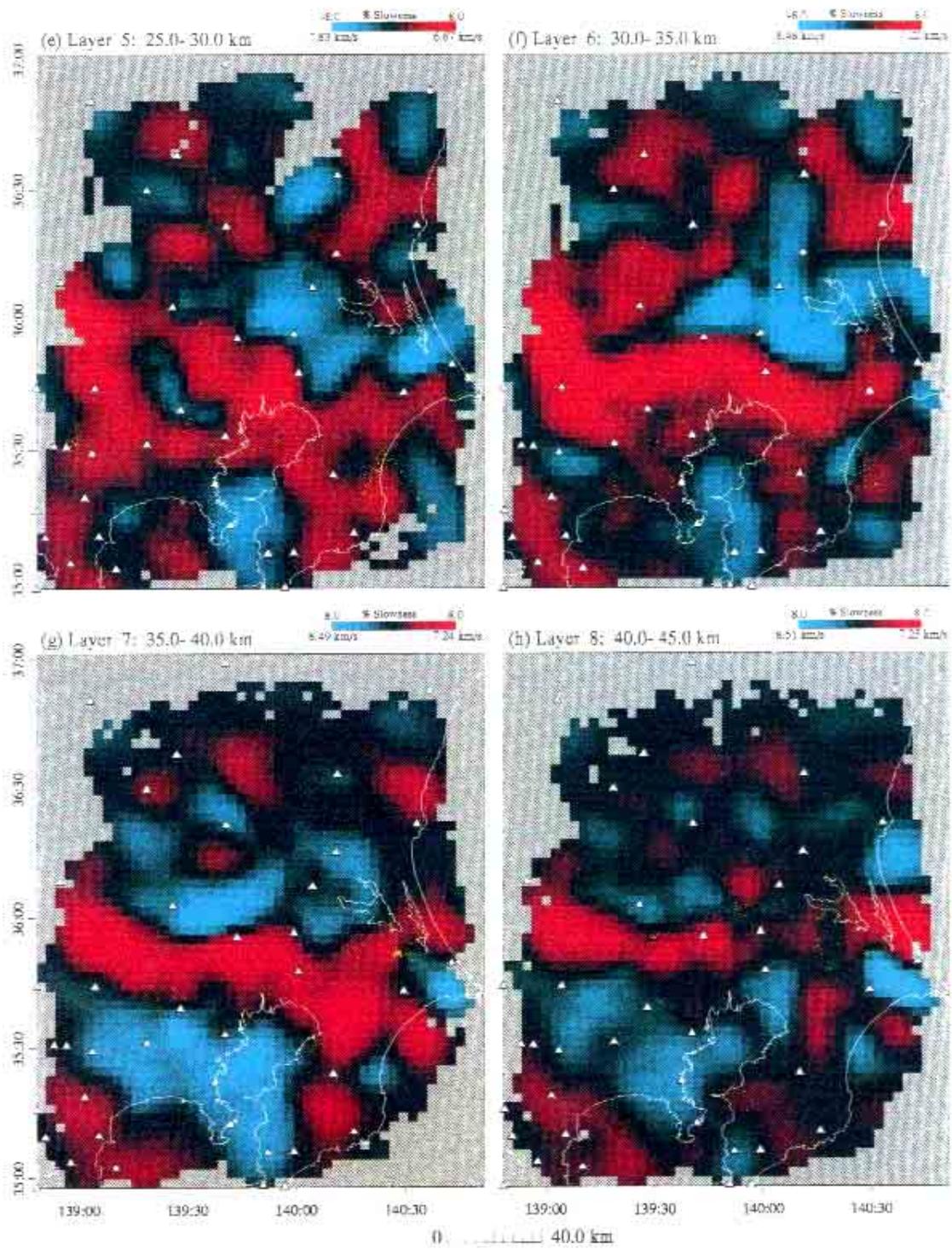


図4 関東地方のP波地震波速度不均質の水平分布（深さ25-45km）

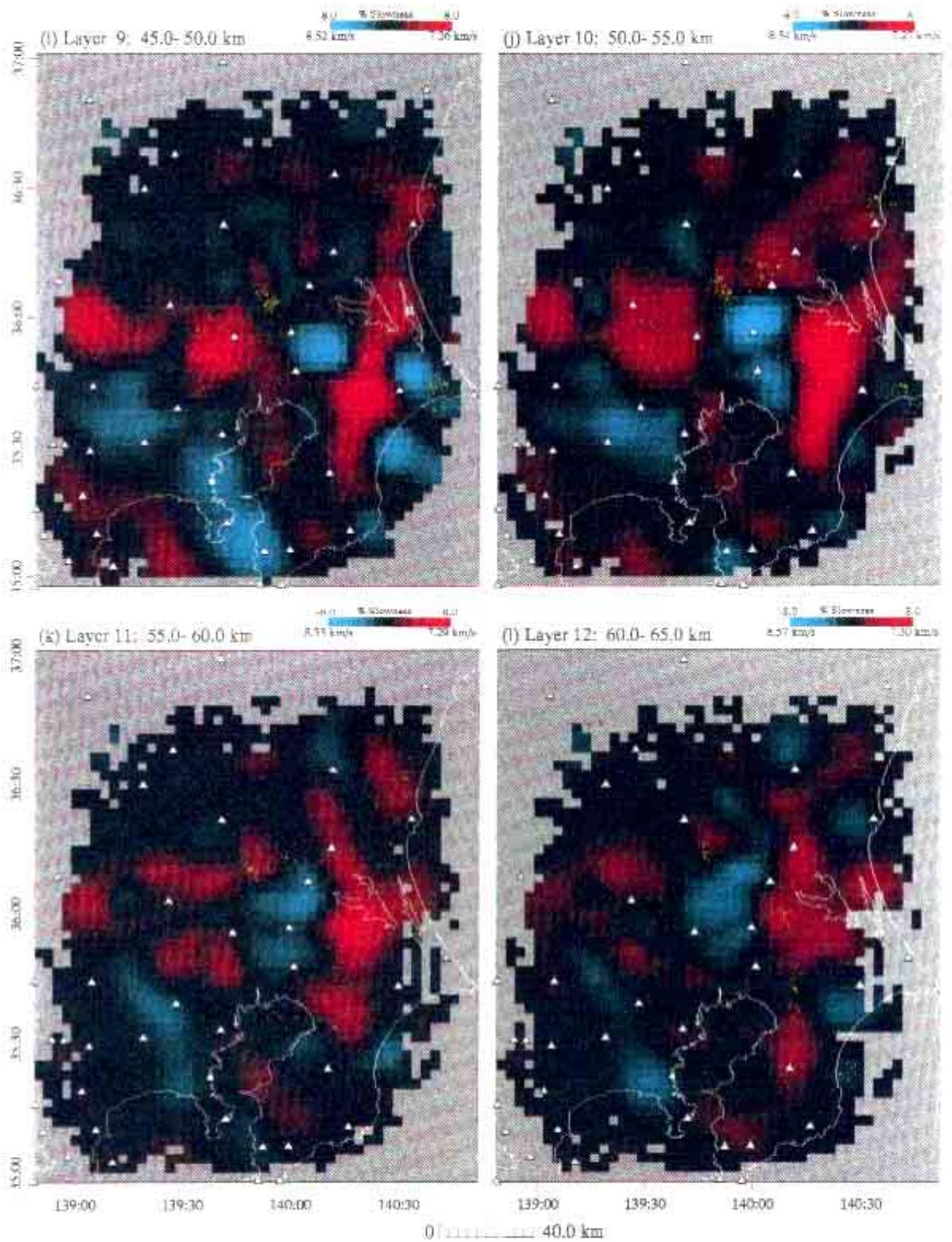


図5 関東地方のP波地震波速度不均質の水平分布（深さ45-65km）

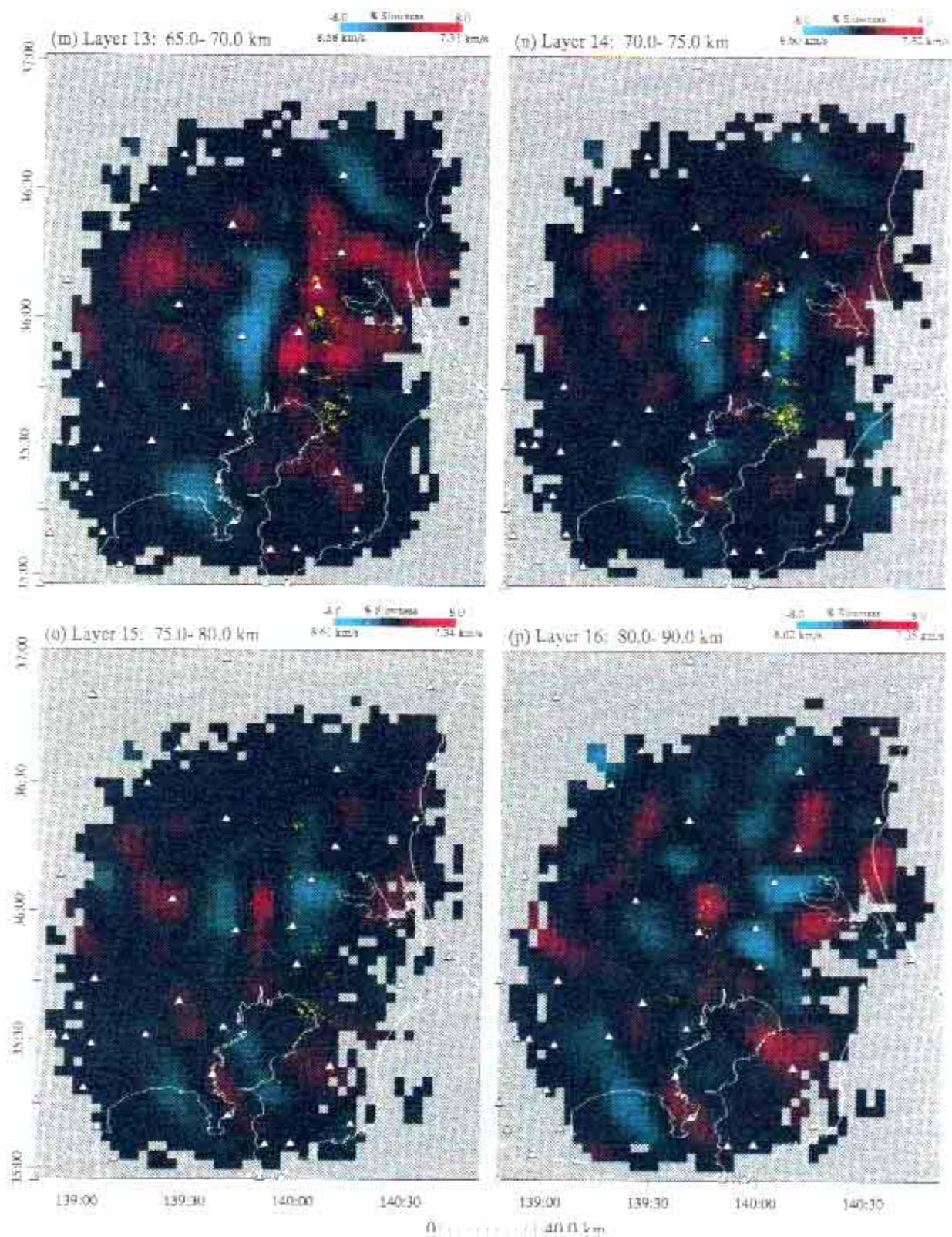


図6 関東地方のP波地震波速度不均質の水平分布（深さ65-90km）

ii) Kamiya and Kobayashi (2000)の研究

防災科学技術研究所の関東東海微小地震観測網にて観測された 12,489 個の地震の P 波走時読みとり値 282,909 個、S 波走時読みとり値 90,276 個を用いて、北緯 33-37 度、東経 136.8-141 度、深さ 0-600km の領域をおよそ 0.1 度 x 0.1 度 x 10km に分割し、P 波 S 波両方の速度分布を求めそれらの値からポアソン比も求めている。Ohmi and Hurokawa (1996)でも確認された深さ 40 km 付近の東西に延びる低速度域の一部が、ポアソン比が高いことを見つけ、蛇紋岩化したためと解釈した (図 7)。しかしながら、その箇所はモホ不連続面に近い箇所であり、仮定していた単純な平面と異なる不連続面の形状に影響を受けている可能性は否定できない。

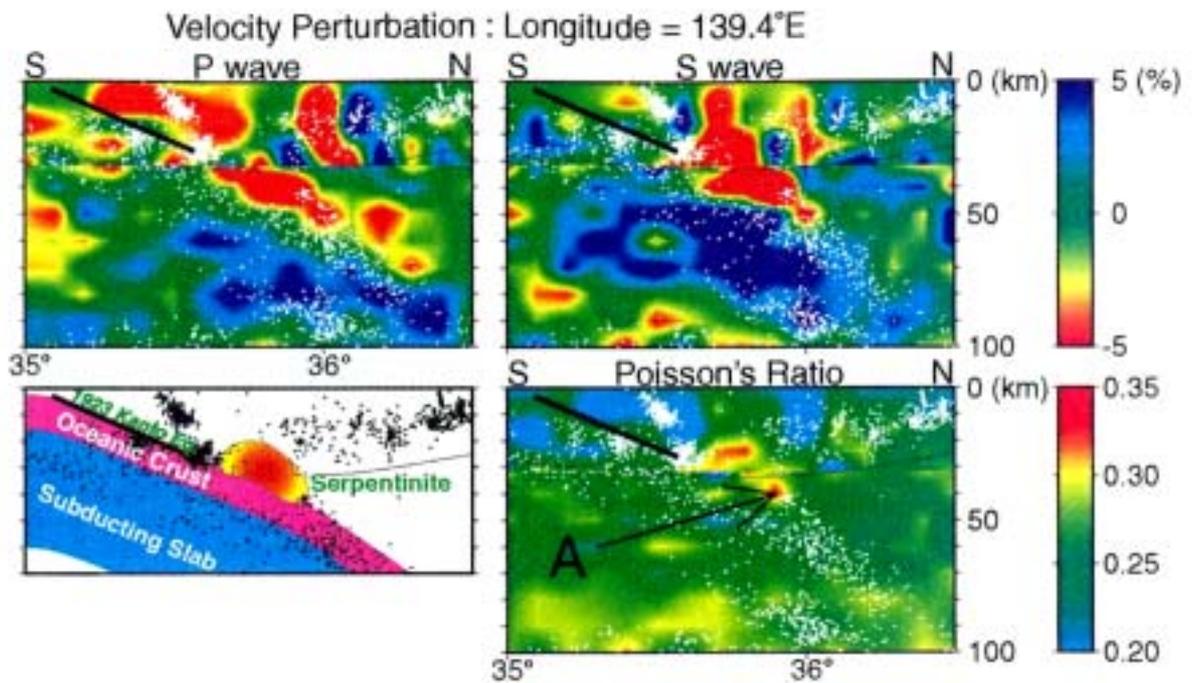


図 7 関東地域の東経 139.4 度断面での P 波速度分布、S 波速度分布、ポアソン比分布およびその概念図

iii) Sekiguchi (2001)の研究

防災科学技術研究所の関東東海微小地震観測網 128 観測点で 1981-1998 年の間に観測された 15,139 個の地震の P 波読みとり値データ 560,322 個を用いて、北緯 35-37 度、東経 136-141 度、深さ 0-400 km の領域をおおむね 0.05 度 x 0.05 度 x 5km ブロックに分割し、各ブロック内は速度コンスタントとしてインバージョンによって求めた (図 8)。その結果沈み込むフィリピン海プレートと太平洋プレートの上部の低速度層と思われる低速度域が明瞭に認められた (図 9)。Lees and Ukawa (1992)によって示されているように伊豆付近の火山フロントのモホ不連続面下にも低速度層がこの結果でも確認された (図 9)。また、非地震性の沈み込んだフィリピン海プレートが深さ 70-80km 付近で関東から中部地方にかけて存在していることが示された (図 10)。非地震性のフィリピン海プレートはそのさらに

西の領域でも見られる (図 1 1)。北に行くにつれて垂れ下がり、太平洋プレートに達しているようにも見える。S波についてもその速度構造を同様に求めたので、ポアソン比を計算してみた (図 1 2)。Kamiya and Kobayashi (2000)と同様の箇所にポアソン比の高い領域が見られるが、それ以外の領域 (たとえば伊豆半島の下) にも値の高い領域が見られる。他の地域の高ポアソン比を説明する必要があるだろう。図 9 にみられる低速度層をもとにフィリピン海プレートの形状を模式的に示したのが図 1 3 である。これまで地震分布から得られたフィリピン海プレートの形状とは違ったものが得られた。

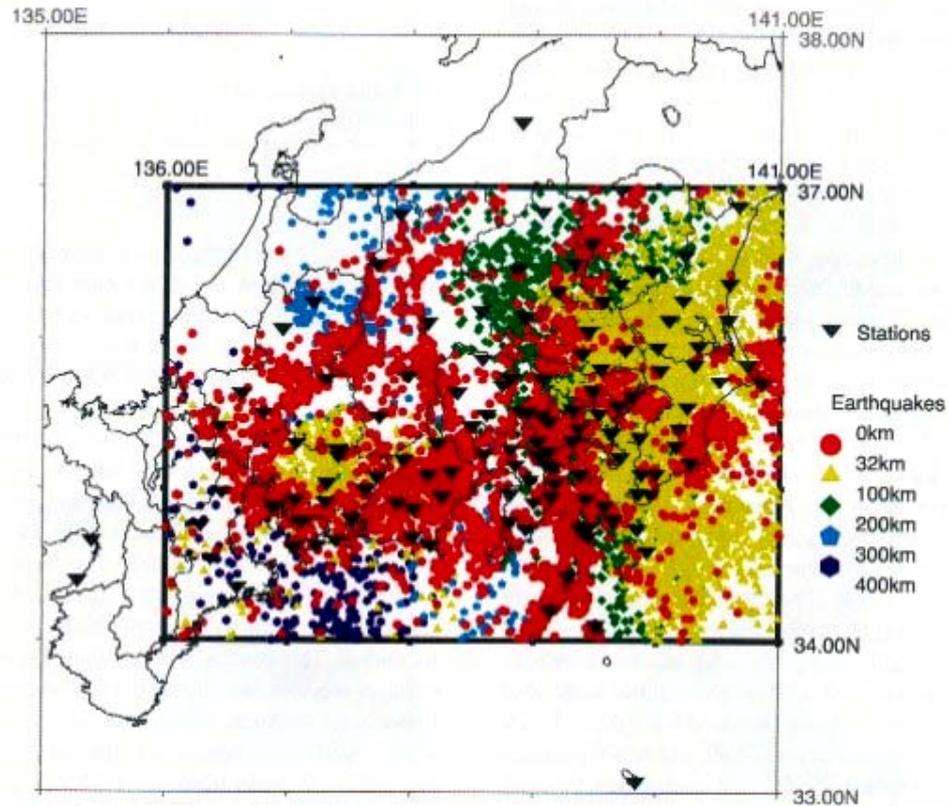


図 8 使用した地震および観測点分布図

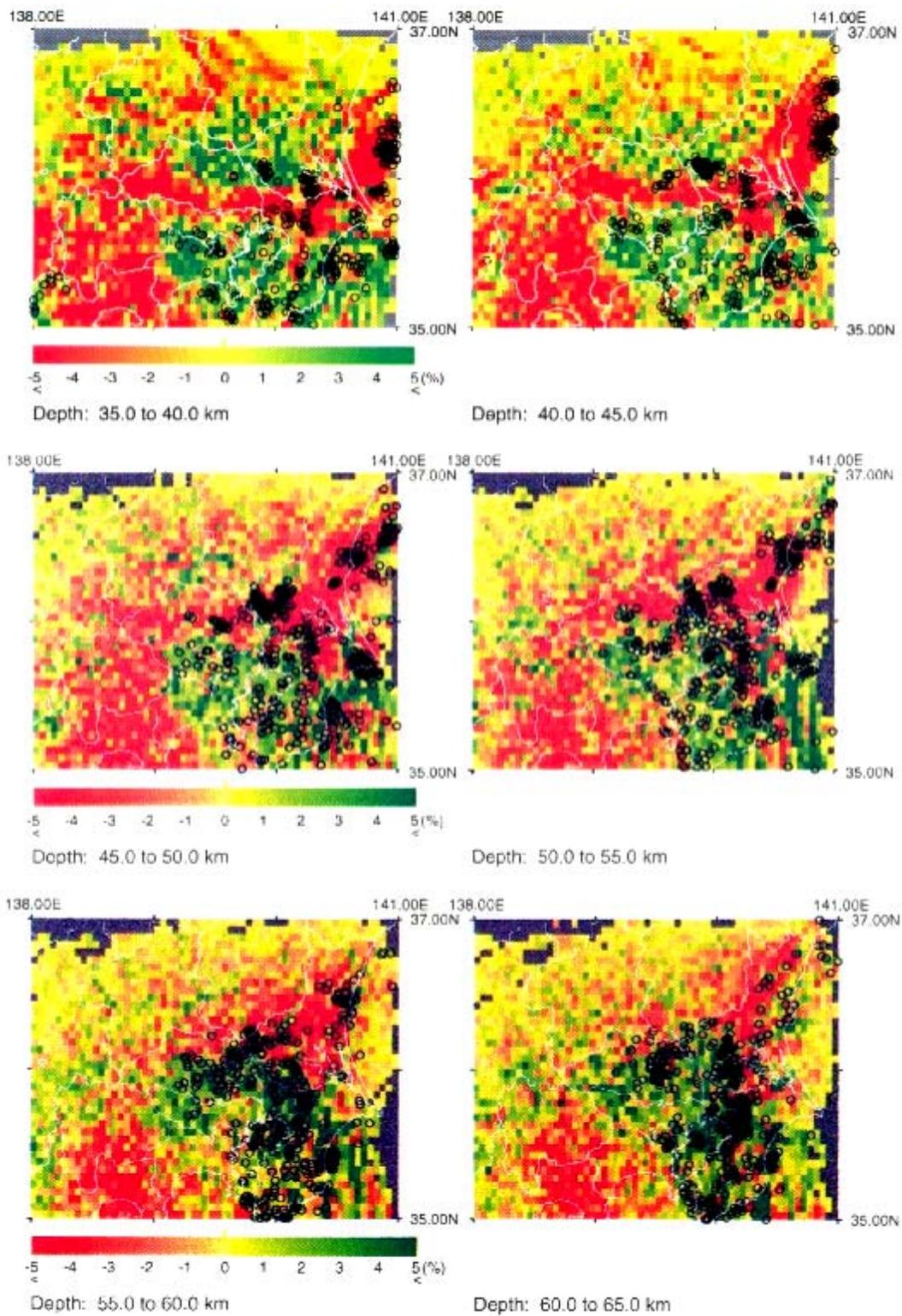


図9 関東地方のP波速度分布図（深さ35-65km）