

関東・東海地域の震源分布から推定した
フィリピン海及び太平洋プレートの等深線

石田 瑞穂*

国立防災科学技術センター

**The Configuration of the Philippine Sea and the Pacific
Plates as Estimated from the High-resolution
Microearthquake Hypocenters
in the Kanto-Tokai District, Japan**

By

Mizuho Ishida

National Research Center For Disaster Prevention, Japan

Abstract

The occurrence of large earthquakes in the Kanto-Tokai (K-T) District has been interpreted by the interaction among the Philippine Sea (PHS), the Eurasian (EUR) and the Pacific (PAC) plates. In this region, the PHS and PAC plates underthrust beneath the EUR plate.

As the first step for understanding the tectonic process taking place beneath the K-T region, we attempt to delineate the configuration of the PHS and PAC plates on the basis of the spatial distribution of microearthquakes. We used about 9000 hypocenters of high resolution for the two-year period from 1983 to 1984 which were determined by the K-T Observational Network of the National Research Center for Disaster Prevention. Assuming that the upper surface of a descending slab is located about 10 km above the inclined seismic zone, we estimate the upper surface of the PHS and PAC slabs.

The contour lines of the upper surface of the PHS and the PAC slabs obtained in this study are about 10 to 20 km shallower than those obtained by other researchers. The PHS slab subducting from the Suruga trough is clearly traced from the south to the north but the northernmost tip in the inland area, where microearthquake activity is absent. The slab is again traced to the east from the northernmost tip of the Sagami trough. However, the contour line

* 第2 研究部

appears to be discontinued beneath Tokyo Bay, showing the change of the dip angle of the slab from the north to the south. The configuration of the PAC slab subducting from the Japan trench is much the same as those obtained by other researchers.

1. はじめに

関東・東海地域における地震発生場は、従来、ユーラシア・フィリピン海・太平洋の3つのプレートの相対運動という枠組の中で討議されてきた。これ等3プレートは、房総半島沖に三重会合点を持ち、関東・東海地域の大部分はユーラシアプレートに、伊豆半島はフィリピン海プレートに属すると考えられている（図1）。

しかし、近年、「東北日本=北米プレート」説（小林，1983；中村，1983）が提唱されると、この地域において、新たに4枚のプレートによる運動が、問題とされるようになった。この仮説に従えば、関東地域は北米プレートに、東海地域と伊豆半島とは従来どおりユーラシアとフィリピン海プレートとに夫々属し、これ等3枚のプレートはフィリピン海プレートの最北端で会合する。さらに、これ等のプレートの下方には、日本海溝から沈み込んだ太平洋プレートが存在する。

「東北日本=北米プレート」説は、プレート境界で過去何回か発生している大地震のスリップベクトルから推定されたプレートの相対運動を矛盾なく説明するとされている。しかし、関東・東海地域の複雑な地震活動を、従来の3プレートから、新説の4プレートにした

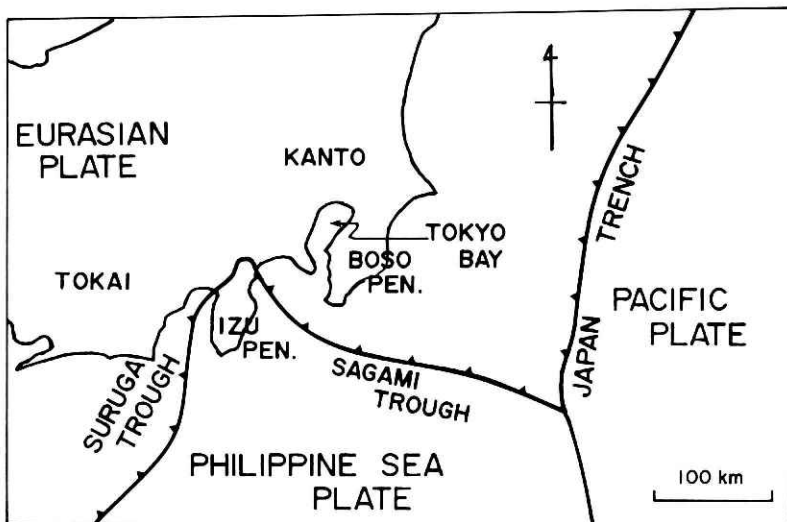


図1 関東・東海地域近辺のプレート境界（Nakamura (1982) による）。

Fig. 1 Plate boundaries among the Philippine Sea (PHS), Eurasian (EUR) and Pacific (PAC) plates in the Kanto-Tokai District (after Nakamura (1982)).

からといって、全て説明できるわけではない。いずれにしても、プレート間の相対運動で引き起こされる大地震の発生機構を明らかにするためには、まずプレートの形を明確に知る必要がある。その為の最も基本的データの一つが、微小地震の震源分布である。

関東・東海地域において、微小地震の震源分布から沈み込むスラブの形状を求める事は、既に多くの研究者達(中村・島崎, 1981; 津村, 1981; Shimazaki et al., 1982; Maki, 1984; 野口, 1985; 笠原, 1985; 山崎・大井田, 1985)によって試みられている。それ等の結果は大勢において一致はしているが、他の地球物理及び地質学的データを考慮した場合、個々の点で様々な問題が生じる。本稿では、それ等問題の所在を鮮明にするため、関東・東海地域で国立防災科学技術センター(防災センター)が6ヶ年計画の下に展開してきた高感度地震観測網の整備が殆んど完成した1983年と、完成後の1984年の最新データに基づいて、再度微小地震の震源分布からフィリピン海及び太平洋プレートの形状の解明を試みた。

2. 資 料

基になる震源要素(位置、震源時)としては、防災センターで定常処理により求められた値を用いた。震源決定の方法等は、鶴川他(1984)に詳しく述べられている。データの期間は、1983年と1984年の2ヶ年、震源の範囲は北緯 34.0° から 37.0° 、東経 137.0° から 141.3° で、以下の条件を満足する震源約9000個が使われた。

- ①緯度・経度の計算誤差10km以内
 - ②深さの計算誤差20km以内
 - ③震源時の計算誤差1.5秒以内
 - ④走時残差の2乗平均1.0秒以内
 - ⑤震源決定に用いた観測点数7点以上
- 用いた観測点分布は、図2に示されている

3. 方 法

フィリピン海及び太平洋プレート上面は、次の様な仮定に基づいて求めた。

- ① プレートはトラフ軸から沈み込みを開始する。
- ② フィリピン海及び太平洋プレートの厚さは、夫々30km (Abe and Kanamori, 1970)と70km (Kanamori and Press, 1970)とする。
- ③ フィリピン海プレートについては、地震多発領域の上端より10km上方をプレート上面とする。但し、多数の地震がプレートの外(下)側に分布する場合は、でき得る限り地震がプレート内に分布するようにプレート上面を移動する。又、70~80km以浅の太

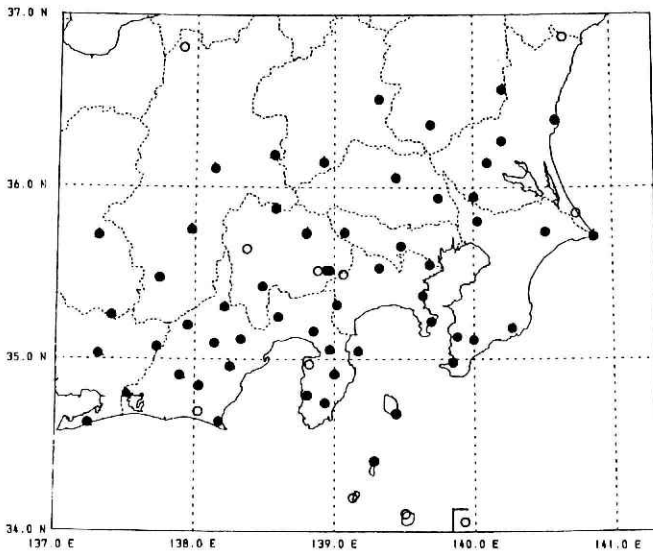


図2 防災センターの高感度地震観測点。黒丸は1983年までの震源決定に用いられた観測点を、白丸は1984年に加わった観測点を示す。

Fig. 2 Seismographic stations operated under the Kanto-Tokai Observational Network of the National Research Center for Disaster Prevention (NRCDP). Open circles indicate newly added seismographic stations since 1984.

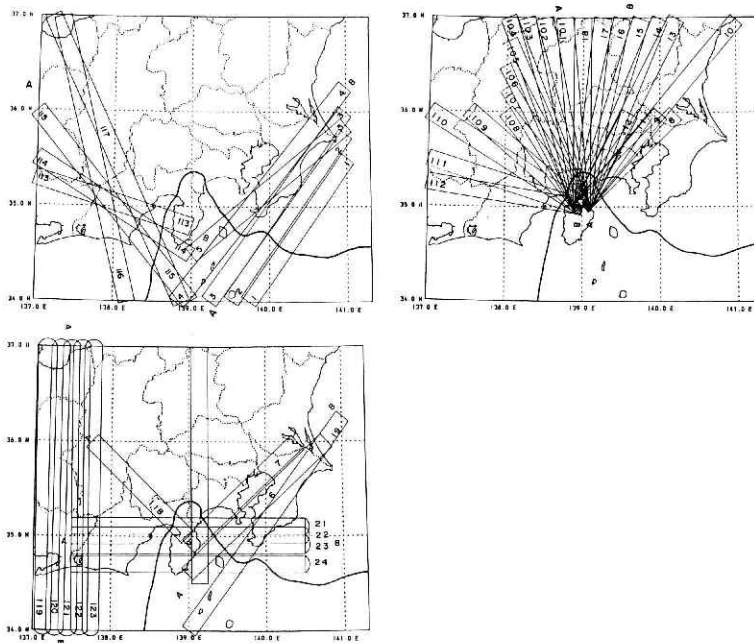


図3 フィリピン海プレート上面を求めるために調べた垂直断面の位置。

Fig. 3 Location of each section shown in Figs. 5 and 6. Each number refers to that of Figs. 5 and 6.

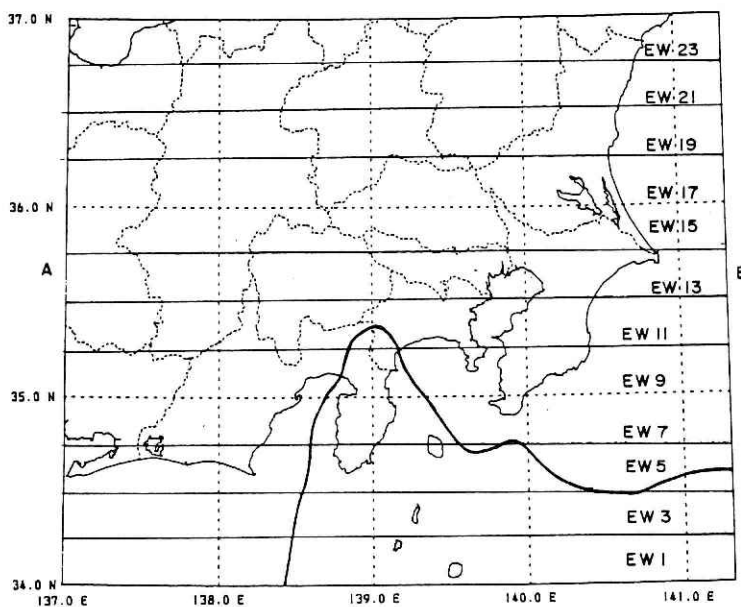


図4 太平洋プレート上面を求めるために調べた垂直断面の位置。

Fig. 4 Location of each section shown in Fig. 7. Each number refers to that of Fig. 7.

太平洋プレートについては、地震多発領域の上端をプレート上面とし、これ以深ではフィリピン海プレートと同様に考える。

- ④ プレートは沈み込み方向、あるいはそれと直交する方向に滑らかに連続し、傾斜角及び傾斜方向は急変しない。

上記の仮定の下に、フィリピン海及び太平洋スラブ上面を求めるため調べた震源の垂直断面の位置を、図3と4に示す。夫々の垂直断面の震源分布は、図5から7に示されている。図5と6はフィリピン海プレートの、図7は太平洋プレートの沈み込みに相当する地震の垂直分布を示している。各断面図には、巾20km(図5,6)ないし27km(図7)の範囲内の地震がプロットされている。図中、太い実線は前述の仮定に基づいて推定されたプレート上面を、一点鎖線は下面を示す。トラフ軸は▼印で示されている。

4. 結 果

主として、図5から7の各断面に示されたプレート上面を、滑らかに接続して求めたフィリピン海及び太平洋プレート上面の等深線を、図8と9に示す。フィリピン海プレートに関しては、できるだけ限りトラフ軸と直交する垂直断面に基づいて等深線を求めた。太平洋プレートに関しては、図7で示された東西断面の他に、各断面を半巾ずつずらした東西断面と、南北断面も参考にして等深線を求めている。図8、9の破線は、データが十分でないため不

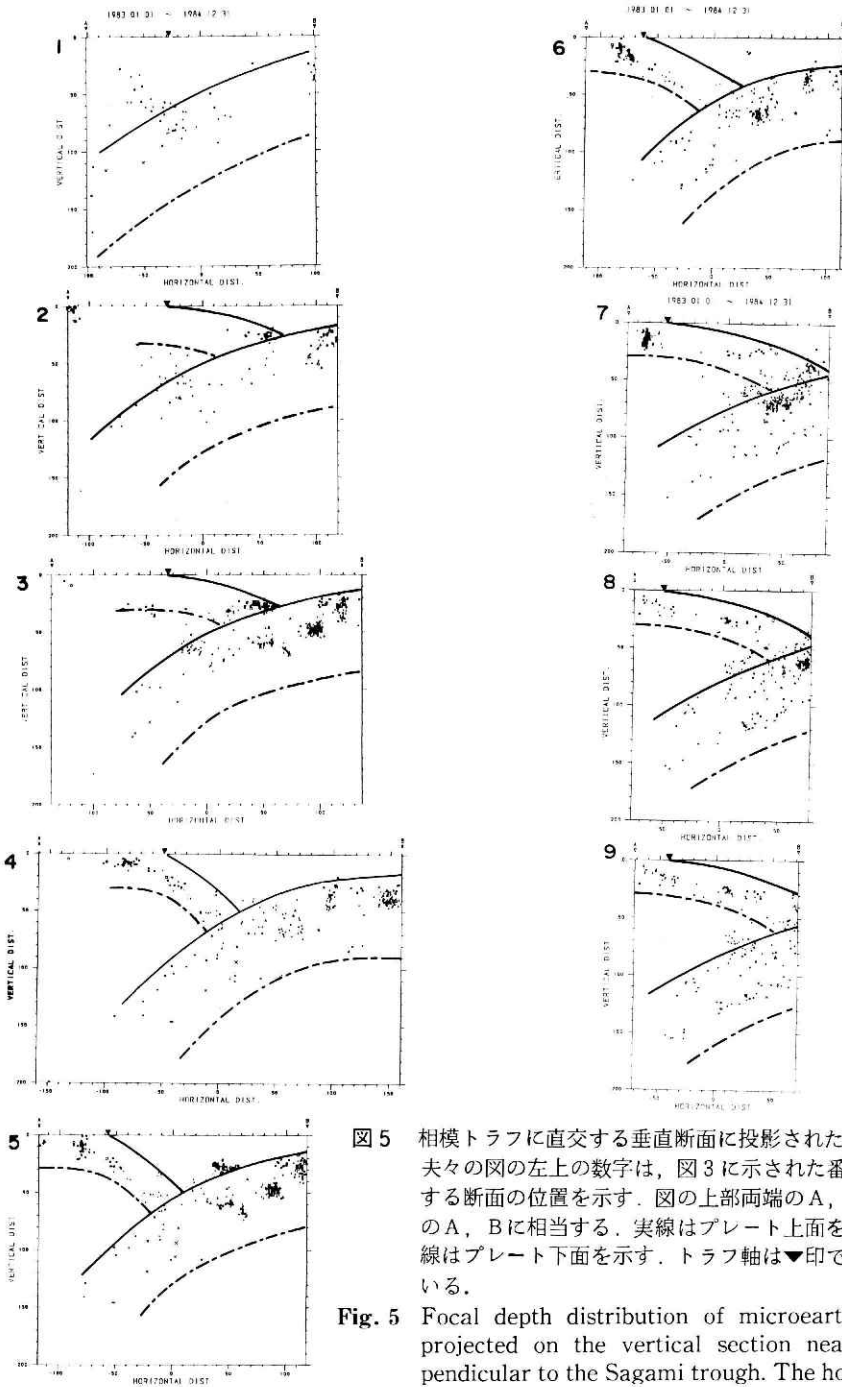


図5 相模トラフに直交する垂直断面に投影された震源分布。夫々の図の左上の数字は、図3に示された番号に相当する断面の位置を示す。図の上部両端のA、Bは図3のA、Bに相当する。実線はプレート上面を、一点鎖線はプレート下面を示す。トラフ軸は▼印で示されている。

Fig. 5 Focal depth distribution of microearthquakes projected on the vertical section nearly perpendicular to the Sagami trough. The horizontal scale is the same as the vertical scale. A and B on the top refer to those in Fig. 3. Solid and broken lines indicate the location of the upper and lower boundaries of a descending slab assumed in this study, respectively.

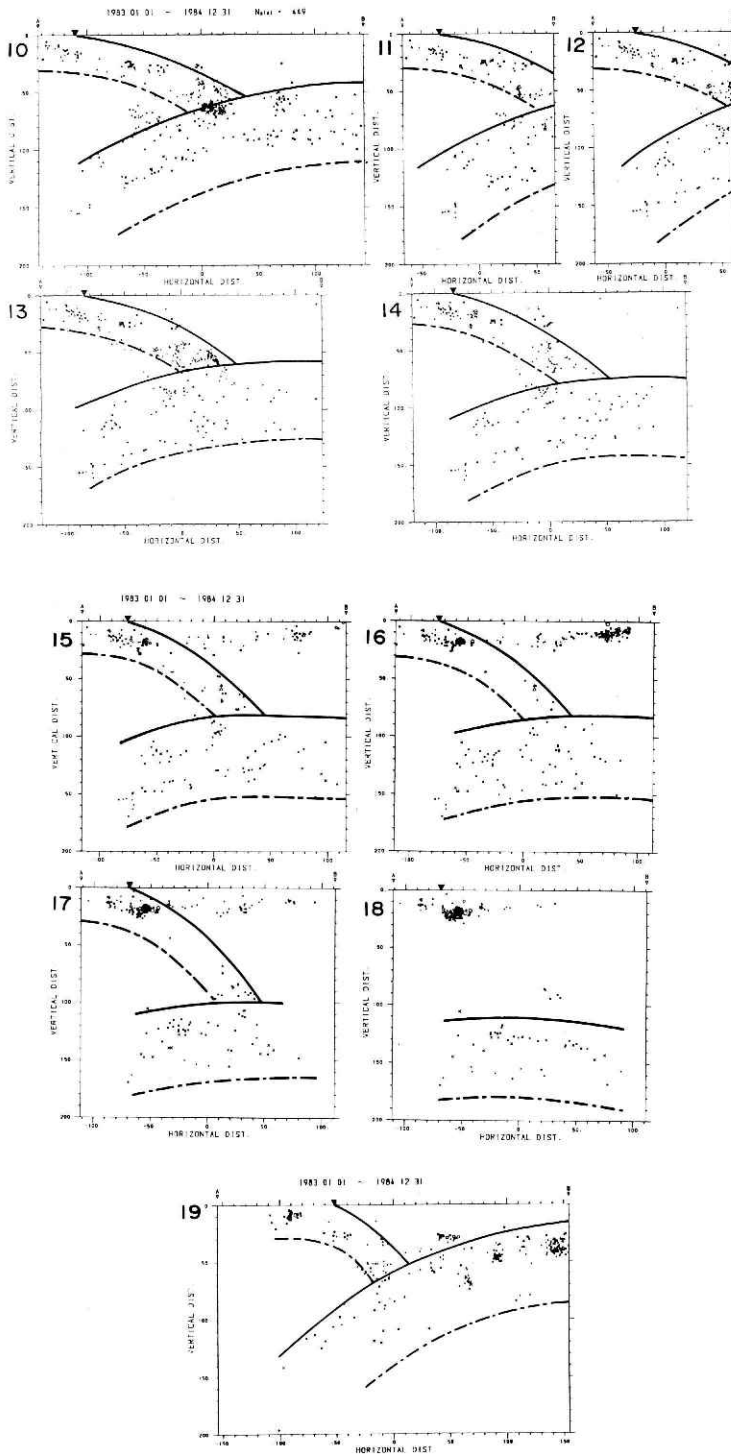


図 5 のつづき
 Fig. 5 Continued from the preceding page.

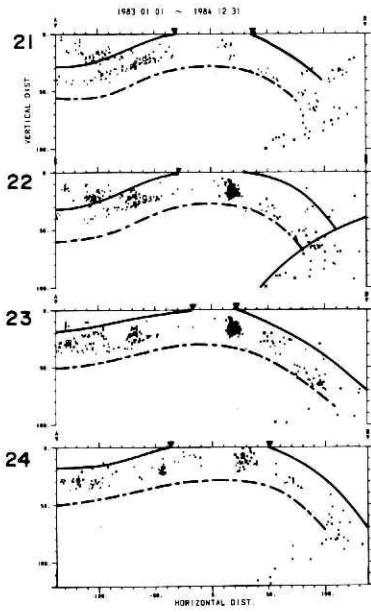


図5 のつづき
Fig. 5 Continued from the preceding page.

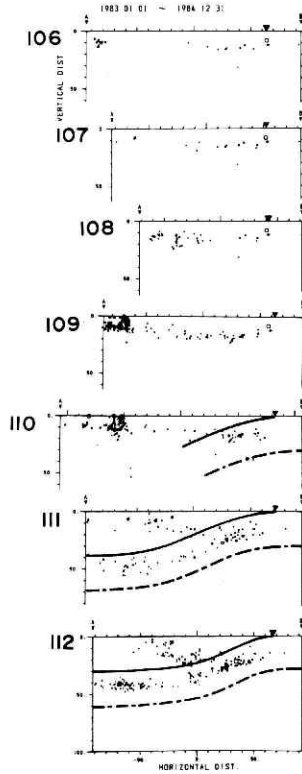
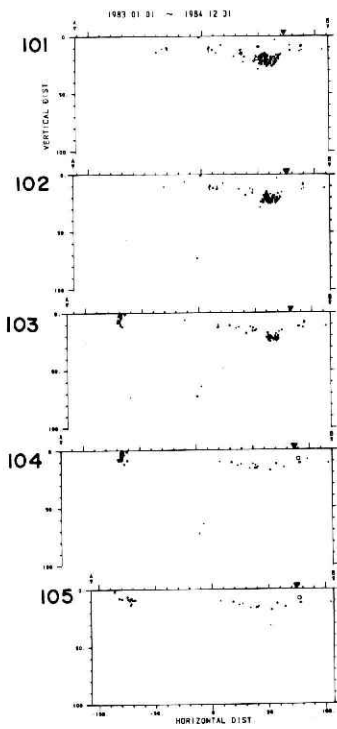


図6 駿河トラフ及び南海トラフ軸に直交する垂直断面の震源分布。以下は図5と同様。
Fig. 6 Vertical sections nearly perpendicular to the Suruga trough.

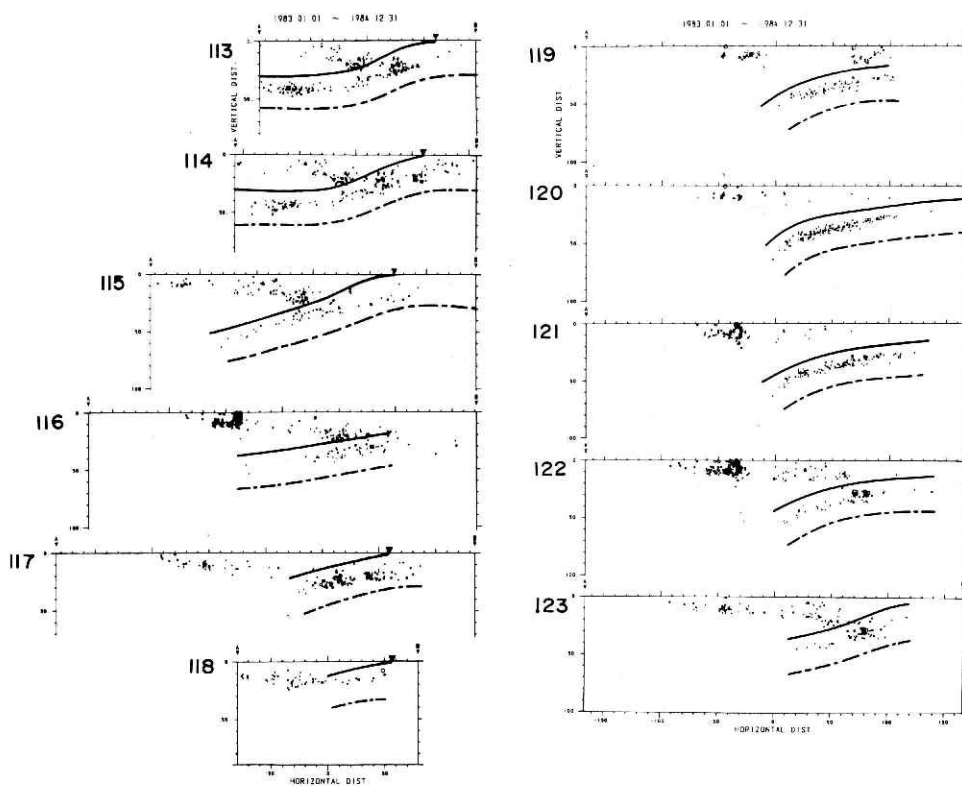


図 6 のつづき
Fig. 6 Continued from the preceding page.

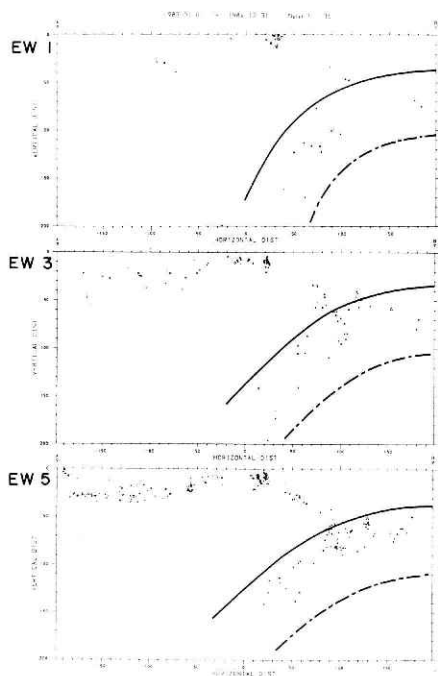


図 7 図 4 に示された位置の垂直断面。
以下は図 5 と同様。
Fig. 7 Vertical sections nearly perpendicular
to the Japan trench.

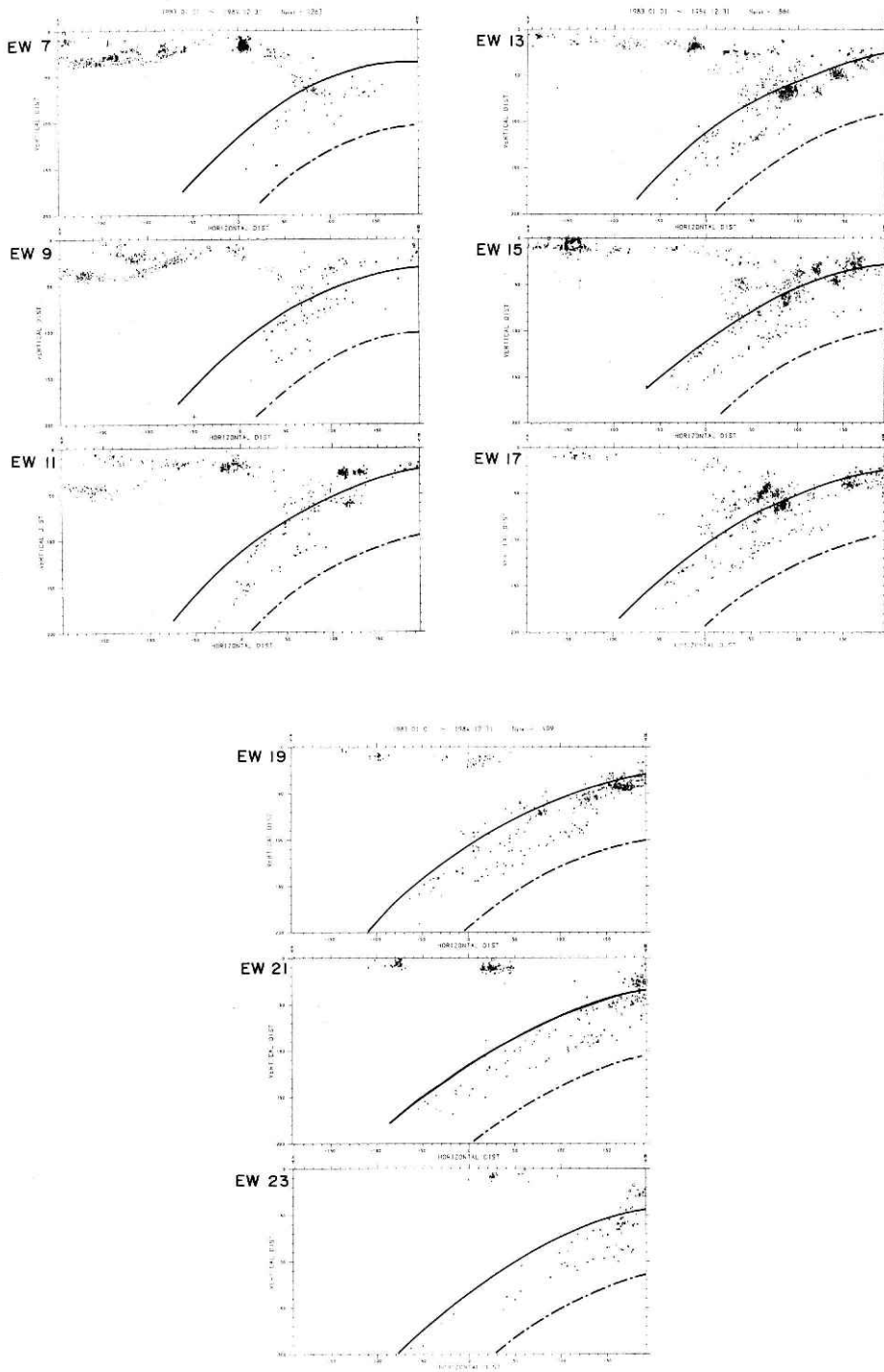


図7 のつづき
Fig. 7 Continued from the preceding page.

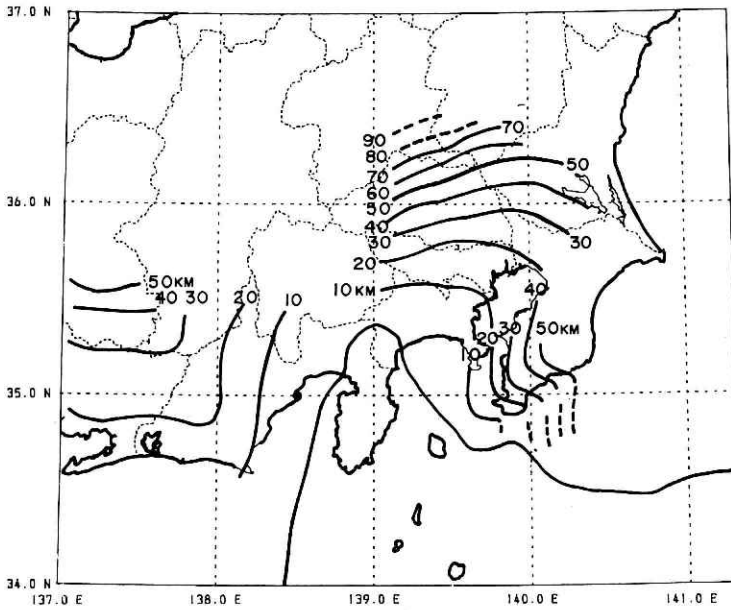


図8 図5, 6に基づいて求めたフィリピン海プレート上面の等深線。破線はデータが不十分なため不確かな事を示す。数字は等深線の深さをkmで現わしている。

Fig. 8 Depth contour map of the upper boundary of the subducted PHS plate obtained from Figs. 5 and 6. Numbers indicate the depth in KM.

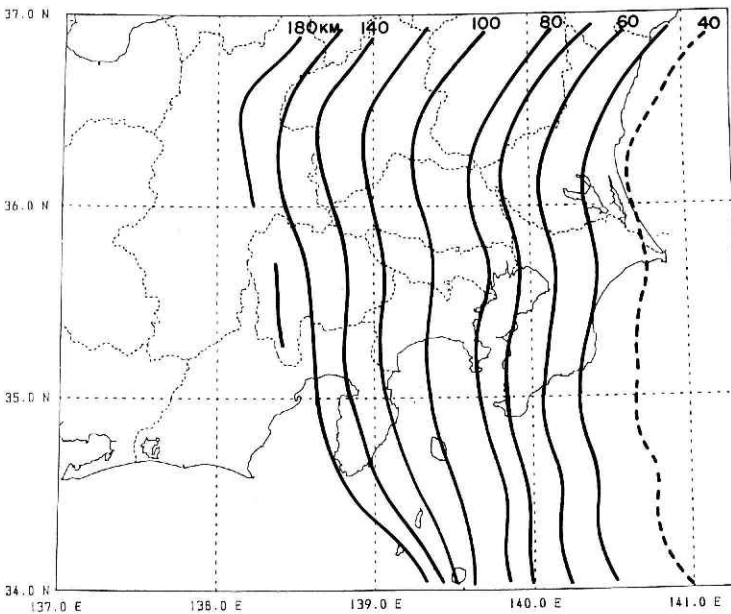


図9 図7に基づいて求めた太平洋プレート上面の等深線。以下は図8と同様。

Fig. 9 Depth contour map of the upper boundary of the subducted PAC plate obtained from Fig. 7. Numbers indicate the depth in KM.

確かな事を示す。図中、数字は等深線の深さをkmで示す。トラフ軸は実線で示した。

図8と9とによって、相模トラフ及び駿河トラフから沈み込んでいるフィリピン海プレートと、日本海溝から沈み込んでいる太平洋プレートの概観を把握する事ができる。

5. 考 察

図10と11は、関東・東海地域において、他の研究者達により既に求められているフィリピン海及び太平洋プレート上面のモデルのうち代表的なものを示している。本稿で求められた結果(図8, 9)と、図10と11に示されたモデルとを比較すると、今回求めた等深線は全体的に浅い事が解る。その主な要因は、震源決定に用いた速度構造と観測点分布等の違いによる震源分布そのものの差と、スラブ上面の定義とに負っている。震源決定精度等については、既に、鶴川他(1984)に詳しく述べられているので、ここでの議論は省略する。プレート上面の定義については、今までの研究者の多くは、地震多発領域の上端付近をプレート上面

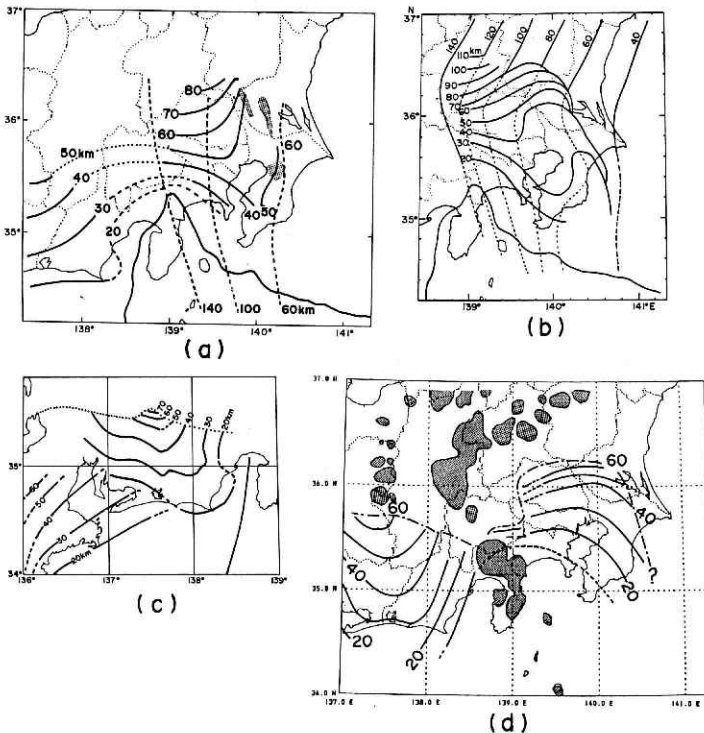


図10 フィリピン海プレート上面のモデル。(a) Shimazaki et al. (1982) によって求められた等深線。(b) 野口 (1985) によって求められた等深線。(c) 山崎・大井田 (1985) によって求められた等深線。(d) 笠原 (1985) によって求められた等深線。

Fig. 10 Depth contours of the upper boundary of the PHS plate obtained by (a) Shimazaki et al. (1982), (b) Noguchi (1985), (c) Yamazaki and Ooida (1985), and (d) Kasahara (1985).

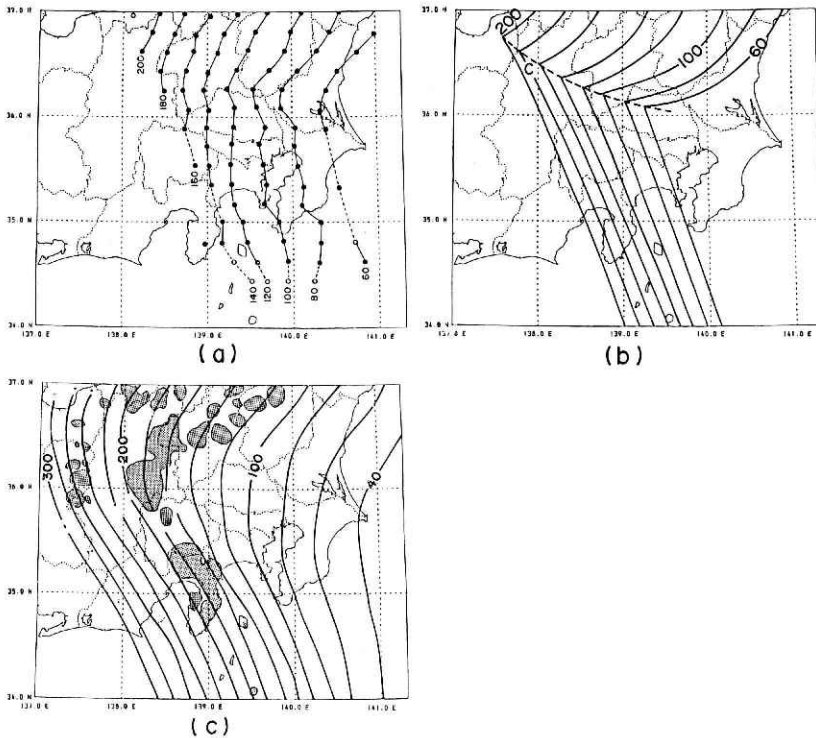


図11 太平洋プレート上面のモデル, (a) 津村・唐鎌 (1981) によって求められた等深線, (b) Maki (1984) によって求められた等深線, (c) 笠原 (1985) によって求められた等深線.

Fig. 11 Depth contours of the upper boundary of the PAC plate obtained by (a) Tsumura and Karakama (1981), (b) Maki (1984), and (c) Kasahara (1985).

としていたが、本稿では、フィリピン海プレートに関しては、地震多発領域の10km上方をスラブ上面と仮定した。その理由は、もし、伊豆半島がフィリピン海プレートの陸上に現われた部分であり、相模トラフ及び駿河トラフがその沈み込み口であると仮定するならば、図5の断面9から14で示されるように、地表即ちプレート上面は、地震多発領域から約10km上方にあると考えられるからである。70~80km以浅の太平洋プレートに関しては、浅発地震の発震機構等に基づいて、Takagi et al.(1978) が、地震多発領域の上端付近をプレート上面と仮定している事に準拠した。しかし、それ以深に関しては、発震機構等を考慮したとしても、現段階でプレート上面を限定する事は困難である。そこで、本稿では、70~80km以深に関しては、フィリピン海プレートについても地震多発領域の上方10km近辺をプレート上面と仮定した。プレート上面として、本稿の仮定と従来の方法とで、どちらがより現実に近いモデルを与えるかは、今後の研究によって明確にされるべきであろう。

次に個々の場所について述べる。フィリピン海プレートに関しては、伊豆半島の西側で、駿河トラフから西に行くにつれて、その沈み込み方向が西方から北方へと変化していく。こ

の沈み込み方向の変化の様子は、図8で解るように本稿のモデルでは、図10(a)程滑らかでもなく、図10(c)や(d)程鋭角を成してもいない。

伊豆半島の北西、駿河トラフと相模トラフを結ぶ陸域の駿河トラフ寄りでは、図8も含めていずれのモデルでも等深線は求められていない。図6の断面101~109を見て解るように、微小地震のデータからはプレートの沈み込みを現わすような震源分布は認められない。

図10(b)によると、相模トラフ北端でのフィリピン海プレートの沈み込みの最深点は北緯36.5°付近で110kmに達する。今回のデータに基づく限り、70km以深の等深線を描く事は困難である。又、東経140.0°以東の相模トラフからの沈み込みに関しても、図10(b)や(d)に示されたような等深線を求めるためには、震源分布が不鮮明である。今回用いたデータが2年間という期間のため、データ数の不足を招いた結果なのか、あるいは事実として、現在プレートの沈み込みが存在していないのかは、今後のデータの蓄積を待って再度調べる必要がある。

相模トラフから沈み込んでいるフィリピン海プレートの形状は、図8と10から解るように、モデルごとにかなり異なる。その中でも今回の結果に特徴的な事は、東京湾の北と南で等深線が連続していない事である。東京湾の北側と南側に相当する震源の垂直断面図は、夫々図5の断面4~6と断面7~8である。両図において、プレート上面は必ずしも一意的に求められているわけではないが、両者を比較する限り、少なくとも震源の垂直分布の差は認められる。図8の等深線は、東京湾の南側では、主として図5の断面4~6、19、21~23に基づいて求められた。断面4~6、19の場合、もう一つの可能性として、図12に示されるような

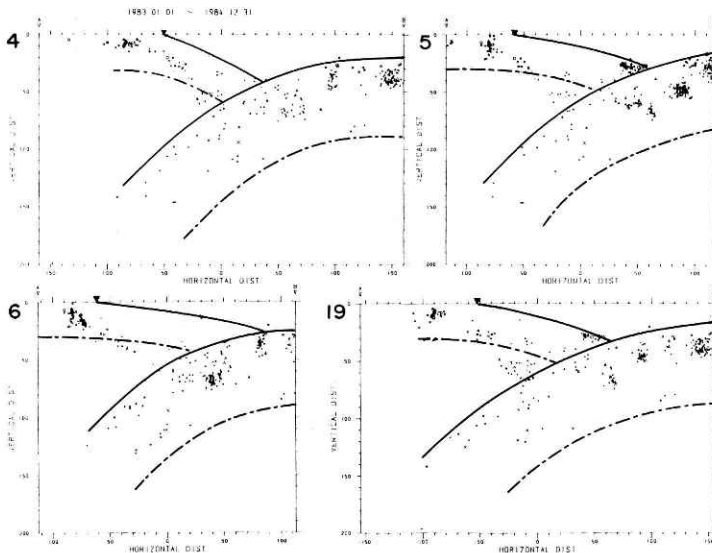


図12 断面4~6、19で考えられるもう一つのプレート上面の求め方。
 Fig. 12 Vertical section nearly perpendicular to the Sagami trough. Thick solid line shows another possible upper boundary of the plate.

プレート上面の求め方も考えられる。もし、断面4～6, 19については図12に示されたようなプレート上面を、図5の断面21～23の代わりに断面2～3を用いるならば、図8の代わりに図13に示されるような等深線を求める事も可能になる。しかし、どちらの等深線がより適当であるかを震源分布のみに基づいて断定するのは困難である。

1923年の関東地震は、フィリピン海プレートとユーラシアプレート境界で発生した典型的なプレート境界地震であり、相模トラフにおけるフィリピン海プレートの沈み込みを表わしていると考えられている。この地震の断層モデルは、多くの研究者 (Kanamori, 1971, Ando, 1974; 石橋, 1977; Matsu'ura, 1979) によって求められているが、その中の一つ、震源断層面の地表交線が相模トラフと最も良く一致する石橋 (1977) による断層モデルを、図8の等深線と重ねて図14に示した。図14で見られるように、相模トラフ側で二分されている主断層の境界線と、等深線の不連続箇所とはみごとに一致する。しかし、最近の Ishibashi (1985) の報告によると、図14の断面BはAに較べて高角であり、本稿の結果と逆の傾向を示している。図15は、山崎・大井田 (1985) による駿河トラフ及び南海トラフから沈み込んでいるフィリピン海プレート上面の等深線を示している。この図によると、伊勢湾の下でも、東京湾の下と同様、等深線の不連続面が認められる。

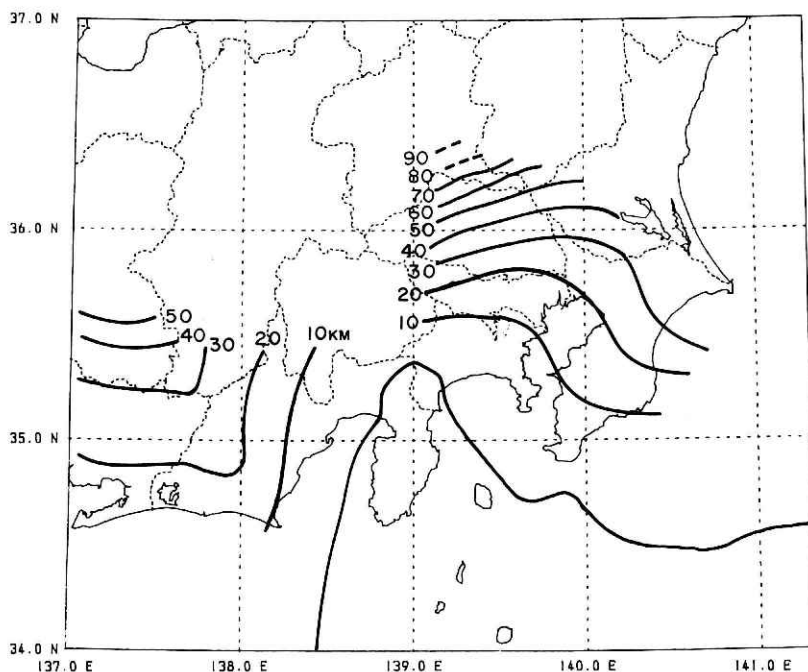


図13 断面21～23の代わりに断面2～3と図12に基づいて求められたフィリピン海プレート上面の等深線。

Fig. 13 Depth contours of the upper boundary of the PHS plate obtained by using Fig. 12.

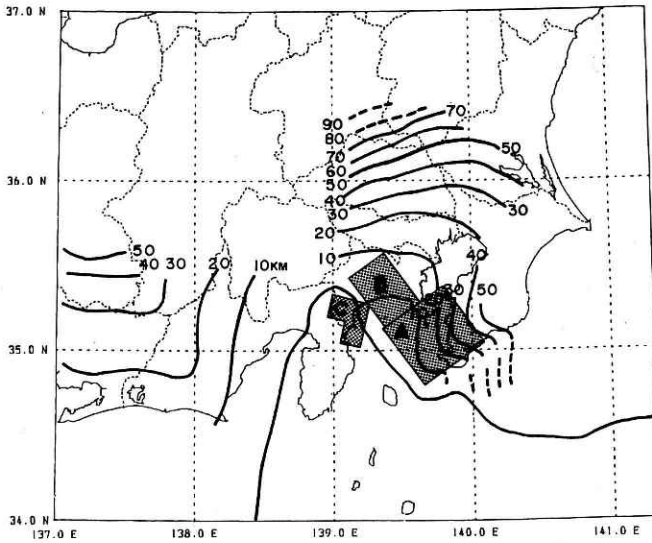


図14 図8の等深線と石橋（1977）による1923年関東地震の断層面（陰影を施した部分）
 Fig. 14 The fault plane of the 1923 Kanto earthquake (shaded rectangles) obtained by Ishibashi (1977) on the depth contour map of Fig. 8.

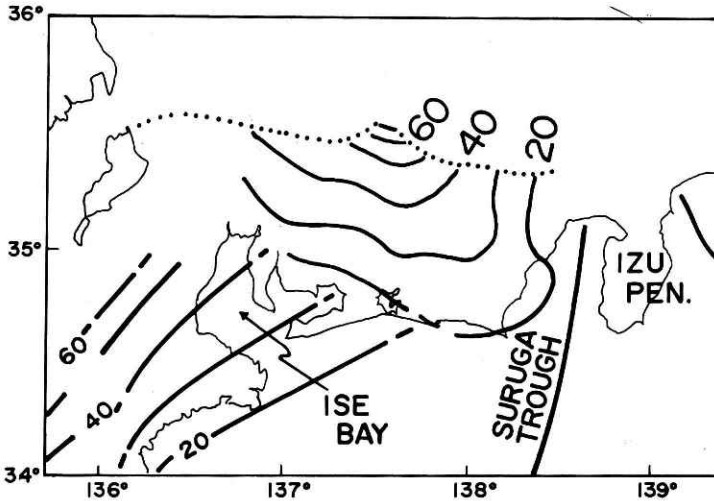


図15 駿河トラフ及び南海トラフから沈み込んでいるフィリピン海プレート上面の等深線（山崎・大井田（1985）による）
 Fig. 15 Contour map of the inclined seismic zone by Yamazaki and Ooida (1985).

上記の例や震源分布のみに基づいて、図8と図13のモデルの当否を結論する事は難しいかもしれない。しかし、さらに、図16に示された位置の、震源の垂直分布も加えて両等深線を再検討した結果、すくなくとも震源分布に基づく限り、図8の等深線の方がより妥当であると考え、今後、発震機構等の研究も加えて検討すべき問題であろう。

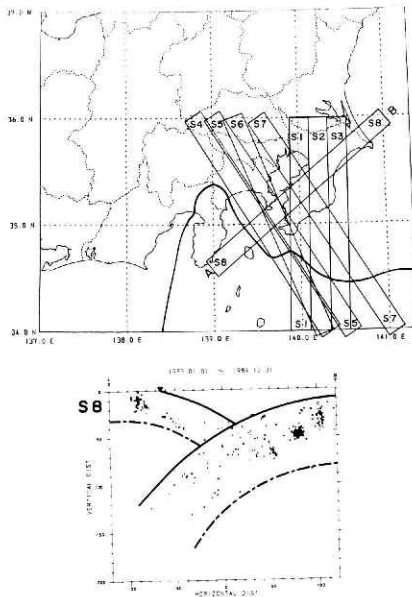


図 16 補足として調べた垂直断面の位置(上図)とその一例(下図)。下図は、上図S8の位置に相当する垂直断面を示す。また、その両端のA、Bは、S8の上端のA、Bに相当する。

Fig. 16 Location of vertical sections examined as a supplement and an example of those vertical sections.

太平洋プレートに関しては、図11(b)を除いて、全てのモデルの傾向は似ている。図7の断面E W 7～17で明瞭な二重深発地震面が認められる事も従来の結果(Ishida, 1984)と同様である。70～80km以浅では地震多発領域の上端を、それ以深では地震多発領域の上方10km付近をプレート上面と仮定したが、プレート上面の決め方に多少不確定さは残っている。

実際に、プレート形状の厳密な議論を進める場合、微小地震の震源分布のみでは、自ずから限界がある。今後、微小地震の発震機構、あるいは大地震の発生過程等が研究上重要な鍵となるであろう。いずれにしろ本稿の結果は、現在最も信頼度が高いと考えられる震源分布データに基づくものであり、プレート運動を解明していくための重要な基礎データを提供するものである。その意味で、本稿では用いた震源分布図をできる限り多く示した。

6. 結 論

関東・東海地域の地震発生様式を理解するために、防災センターの1983年と1984年の震源データに基づき、フィリピン海及び太平洋プレート上面の形状を推定した。

その結果、

- ① 伊豆半島の両側、相模トラフと駿河トラフから東と西に傾き下がるフィリピン海プレート最北端部のプレート上面の形状は、図8で示されているようになりかなり明確になってきた。しかし、両トラフを結ぶ陸域の一部、駿河トラフ側では、従来同様、沈み込みを示唆するような地震は確認できなかった。

- ② 東京湾の北と南で、フィリピン海プレートは不連続、あるいは沈み込みの勾配が急変している可能性が考えられる。
- ③ 相模トラフ東部、東経 140° 以東で、フィリピン海プレートの沈み込みを示すような震源分布は確認できなかった。
- ④ フィリピン海プレート上面の最深点は、北緯 $36.2^{\circ}\sim 36.3^{\circ}$ 、東経 $139.1^{\circ}\sim 139.8^{\circ}$ 近辺で70km、それ以深については、プレートの存在は明らかでない。
- ⑤ 太平洋プレート上面の等深線は、従来の結果と比較して、平均的に10km程度浅く求められたが、その他の点では大差は認められなかった。

本稿で示したプレート上面の等深線は、第一次近似としてのフィリピン海及び太平洋プレートの形状を表わすものであり、詳細については、今後、データの蓄積を待って調べてゆくつもりである。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始有益な議論をして下さった東京大学地震研究所中村一明教授、草稿を読んで適切な御意見を頂いた国立防災科学技術センター大竹政和地震活動室長に深く感謝致します。また、図の作成に協力して下さいました国立防災科学技術センター中川八重子氏に、合わせて感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Abe, K. and H. Kanamori (1970): Upper mantle structure of the Philippine Sea. M. Hoshino and H. Aoki, eds, *Island arc and ocean*, Tokai University Press, Tokyo, 85-91.
- 2) Ando, M. (1974): Seismo-tectonics of the 1923 Kanto earthquake. *J. Phys. Earth*, **22**, 263-277.
- 3) 石橋克彦 (1977): 1703年元禄関東地震の震源域と相模湾における大地震の再来周期。地震学会講演予稿集, **2**, 115.
- 4) Ishibashi, K. (1985): Possibility of a large earthquake near Odawara, Central Japan, preceding the Tokai earthquake. *Earthquake Predict. Res.*, **3** (in Press).
- 5) Ishida, M. (1984): The spatial distribution of earthquake hypocenters and the three-dimensional velocity structure in the Kanto-Tokai District, Japan. *J. Phy. Earth*, **32**, 399-422.
- 7) Kanamori, H. and F. Press (1970): How thick is the lithosphere? *Nature*, **226**, 330-331.
- 6) Kanamori, H. (1971): Faulting of the great Kanto earthquake of 1923 as revealed by seismological data. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Univ. Tokyo, **49**, 13-18.
- 8) 笠原敬司 (1985): 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 (印刷中)。
- 9) 小林洋二 (1983): プレート“沈み込み”の始まり。月刊地球, **5**, 510-514.
- 10) Maki, T. (1984): Focal mechanisms and spatial distribution of intermediate-depth earthquakes beneath the Kanto District and vicinity with relation to the double seismic planes. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Univ. Tokyo, **59**, 1-51.

- 11) Matsufura, M., T. Iwasaki, Y. Suzuki and R. Sato (1980): Statical and dynamical study on faulting mechanism of the 1923 Kanto earthquake, *J. Phys. Earth*, **26**, 119-143.
- 12) Nakamura, K. (1982): Plate motion may be measured *in situ* by subsidence at trenches, *J. Geod. Soc. Japan*, **28**, 174-176.
- 13) 中村一明 (1983): 日本海東縁新生海溝の可能性. 地震研究所彙報, 東京大学, **58**, 711-722.
- 14) 中村一明・島崎邦彦 (1981): 相模・駿河トラフとプレートの沈み込み. 科学, **51**, 490-498.
- 15) 野口伸一 (1985): フィリピン海プレートの形状と茨城地震活動の特徴. 月刊地球, **7**, 97-104.
- 16) Shimazaki, K., K. Nakamura and T. Yoshii (1982): Complicated pattern of the seismicity beneath metropolitan area of Japan: proposed explanation by the interactions among the superficial Eurasian plate and the subducted philippine Sea and Pacific slabs. *Abstract paper presented at Intern. Conf. Mathematical Geophysics*, Château de Bonas, France, 20-25 June 1982, *Terra Cognita*, **2**, p.403.
- 17) Takagi, A., A. Hasegawa and N. Umino (1978): Seismic activity in the northeastern Japan arc. C. Kisslinger and Z. Suzuki, eds., *Earthquake Precursors, advances in Earth and Planetary sciences*, Centers for Academic Publications Japan, 95-104.
- 18) 津村建四郎・唐鎌郁夫 (1981): 関東地方の深発地震面について. 地震学会講演予稿集, **2**, 8.
- 19) 鶴川元雄・石田瑞穂・松村正三・笠原敬司 (1984): 関東・東海地域地震観測網による震源決定方法について. 国立防災科学技術センター研究速報, **53**, 1-88.
- 20) 山崎文人・大井田徹 (1985): 中部地方におけるフィリピン海プレート沈み込みの形状. 地震, **38**, 193-201.

(1985年11月18日 原稿受理)