

南海トラフから台湾東部沖までの広域における サイスモテクトニクス

徐 紀人*1

南海トラフから琉球海溝を経て、台湾東部沖までの海域では、フィリピン海プレートの沈み込みによって、大地震と巨大地震が繰り返し発生しており、注目される重要な場所である。南海道地震と東南海地震後の50余年に、プレート境界型の大震は日向灘と台湾東部沖でしか発生しておらず、今後発生する可能性が極めて高く、詳しく検討する必要がある。本稿では、地震の震源分布、M3以上の地震の発震機構を解析した結果、過去の大地震の断層モデル及び地殻変動などのデータに基づいて、沈み込んでいるフィリピン海プレートのスラブ形状モデル及びそれに沿う応力場を検討し、当地域での地震発生様式ならびに今後残された課題などを整理する。

キーワード：フィリピン海プレート、南海トラフ、琉球海溝、台湾東部沖、サイスモテクトニクス

Seismotectonics in the sea region from Nankai Trough to east of Taiwan

Jiren XU *2

The Nankai Trough, Ryukyu Trench and sea region east to Taiwan are seismically active zones. Large earthquakes have occurred frequently along these plate boundaries due to subduction of the Philippine Sea plate. Large earthquakes, however, have not occurred except in the Hyuga Nada and the sea region east to Taiwan since the Nankaido (1946) and Tonankai (1944) earthquakes. In this paper, the slab shape and stress distribution in the subducting Philippine Sea plate were analyzed based on seismicity data and the results of source mechanism determinations in different regions. A discussion of seismotectonics is carried out on the basis of these data and crust deformation data.

Keywords : Philippine Sea plate, Nankai Trough, Ryukyu Trench, sea region east of Taiwan, seismotectonics

* 1 海洋科学技術センター 深海研究部

* 2 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

1. はじめに

南海トラフから琉球海溝を経て、台湾東部沖にかけての地域(図1)では、フィリピン海プレートからユーラシアプレートへの沈み込みによって、M8級の巨大地震と大地震が繰り返し発生しており、海溝型地震が集中する重要な場所である。1944年東南海地震と1946年南海道地震後の50余年間に、プレート境界型のM7.0以上の大地震は日向灘と台湾東部沖でしか発生しておらず、今後数十年間に巨大地震の発生する可能性が極めて高く、詳しく検討する必要がある。

本稿では、SEIS-PC地震活動解析ソフトを使って、気象庁や国立大学観測網による震源分布、ハーバード大学やアメリカ地質調査所(USGS)によるCMT解等の発震機構の解析結果、さらに1498年以來の地震断層パラメータ及び地殻変動などのデータを用いて解析を行った。フィリピン海プレートの沈み込むスラブ形状モデル及びそれに沿う応力場を詳しく検討し、当地域での地震発生様式ならびに今後残された課題などを整理した。

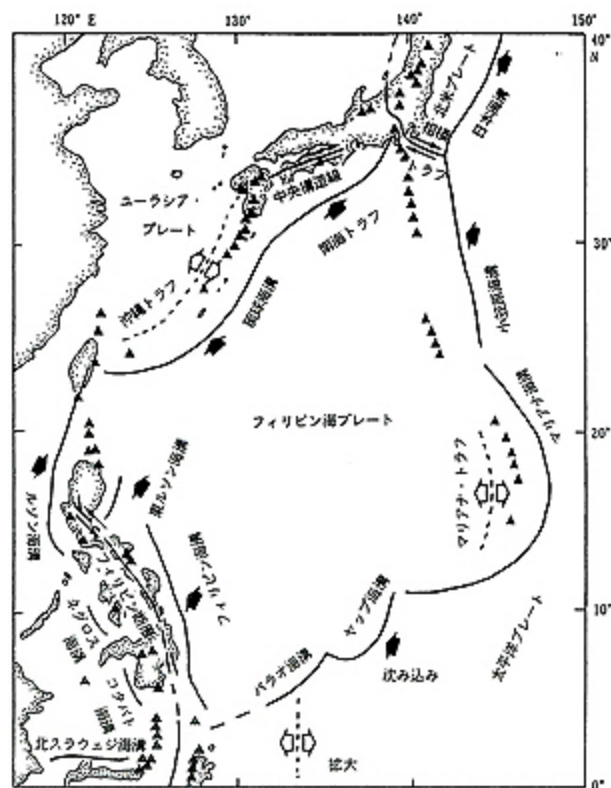


図1 フィリピン海プレートの境界とプレート相対運動。塩田(1984)をもとに作成。

Fig. 1 Index map showing the Philippine Sea plate and relative motion along its boundaries.

2. 地震活動及び震源分布によるフィリピン海プレートのスラブ形状

南海トラフから台湾東部沖までのフィリピン海プレートの沈み込むスラブの形状は、特に四国周辺では非常に複雑である。四国では深さ60 km以浅の浅発地震しか発生していない。一方、紀伊半島南部では、スラブは北西方向に約85 kmまで、豊後水道と日向灘周辺では、西北西方向に約150 kmまで沈み込んでいる。スラブの傾斜も、紀伊半島では約20°であるのに対して、九州では40°以上であり、複雑なスラブ形状が示される(図2, 図3)。

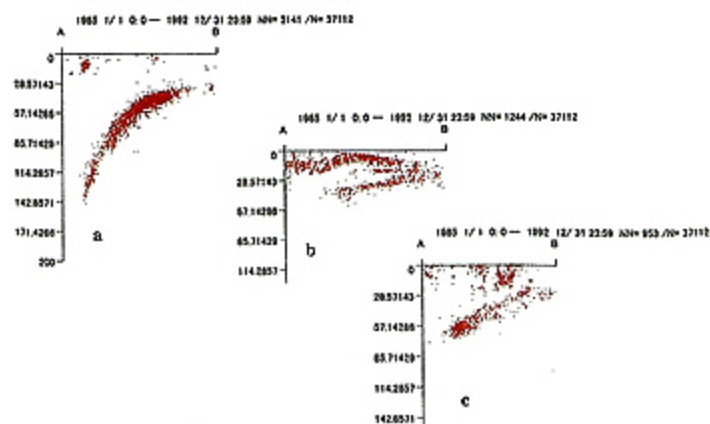
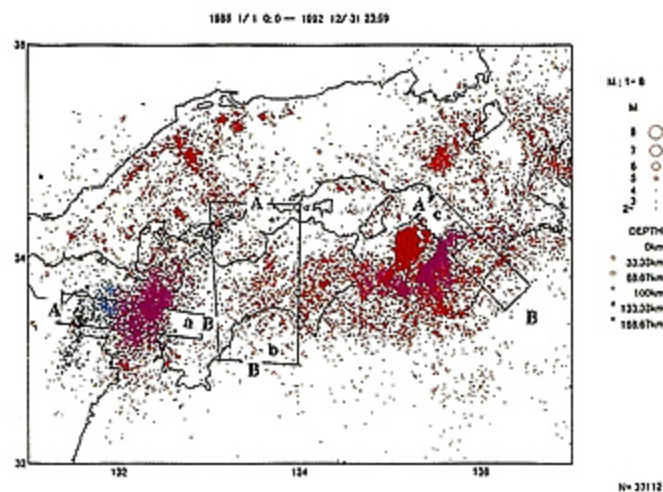


図2 南海トラフ周辺における微小地震(1985-1992)の震央分布及び断面図(中村ら, 1997)。

Fig. 2 Hypocentral distribution and vertical sections of microearthquakes during 1985-1992 in and around the Nankai Trough plotted from the composite data file by Nakamura (1997).

九州一琉球海溝一台湾東北沖では、宮古島付近に地震活動の空白域があるが、ほとんどの場所で深さ200km-280kmまでのやや深発地震が活発しており、フィリピン海プレートは、九州南部では東から西へ、琉球海溝では南東から北西へ、台湾東北沖では南から北へ275kmまで沈み込んでいることがよく分かる(図3)。

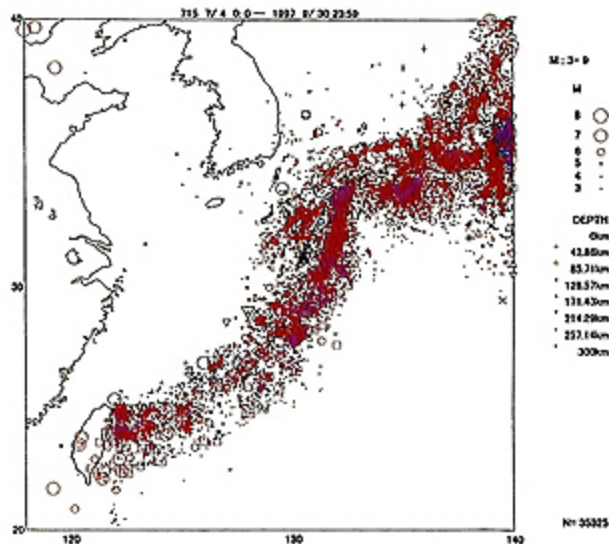


図3 715年から1997年までの期間に発生したM3以上の地震の震央分布。気象庁のデータによる。

Fig. 3 Hypocentral distribution of earthquakes ($M \geq 3$) plotted from the JMA data file.

3. 大、中、小地震の発震機構の結果から推定される応力場の地域的特徴

ハーバード大学やアメリカ地質調査所 (USGS) による1977年以來発生したM5以上の地震のCMT結果及び著者が集中、整理した1936年からの大、中地震の発震機構の解析結果、さらに南海トラフ周辺で1975年から1994年までの期間に発生した中、小地震の発震機構の解析結果を加えて、全部で1936年以來の起った約1,000個大、中、小地震の発震機構解析結果に基づいて、南海トラフから台湾東部沖までの地域における応力場の地域的特徴を調べた。これらの発震機構の主圧力軸と主張力軸の平面投影は図4及び図5に示す。

南海トラフで発生したプレート境界型の地震(例えば、南海道地震と東南海地震、1989年9月24日M5.1)の発震機構は低角逆断層型であり、北西-南東方向の最大圧縮主応力軸(P軸)はフィリピン海プレートの運動方向と一致している(Fig.6)。1996年10月19日、1996年12月3日日向灘で発生した2回の地震(Ms 6.7)の発震機構も、北西-南東圧縮の低角逆断層型を示し、典型的なプレート境界地震である(図6)。大地震の結果と異なり、南海トラフ周辺で発生した地殻下中、小地震のメカニズム結果には、四国ではほぼ南北方向の主圧力軸と東西方向の主張力軸が並んで、ストライクスリップ型を示す地震が多い。四国西部から豊後水道と日向灘周辺を経て、九州中部までの地域では、ほぼ東西方向のスラブ沿いで、down-dip extension型の応力場が示され、九州-琉球海

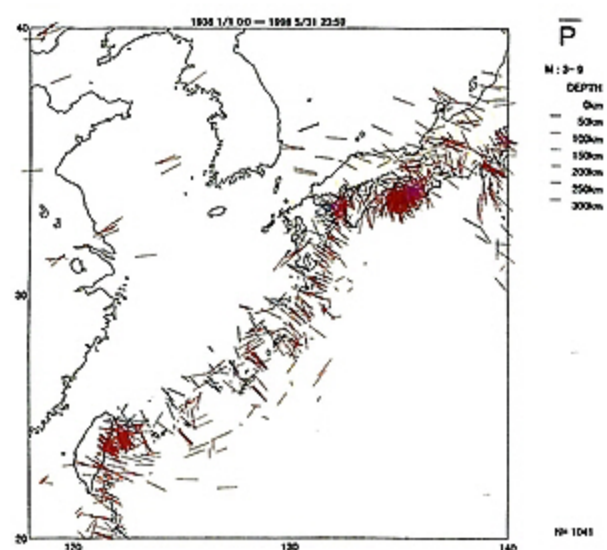


図4 M3以上の地震による主圧力軸(P軸)の水平投影(1936年-1998年)。

Fig. 4 Horizontal projections of P-axes of earthquakes ($M \geq 3$) during 1936-1998.

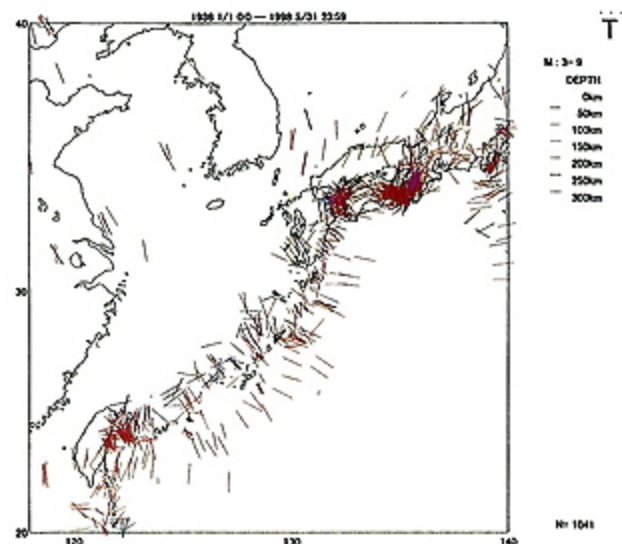


図5 M3以上の地震による主張力軸(T軸)の水平投影(1936年-1998年)。

Fig. 5 Horizontal projections of T-axes of earthquakes ($M \geq 3$) during 1936-1998.

溝の北部に一致することが分かる。紀伊半島付近では、T軸が東西方向から北西-南東に変わって行って、応力場はかなり複雑である。フィリピン海プレートの運動だけではこのような変化を説明できず、もっと長期間の観測データを解析し、さらに広い範囲での検討が必要である。

九州-琉球海溝では、トカラ海峡を境にして、スラブに沿う応力場が北部のdown-dip extension型から南部のdown-dip compression型に変わる(図7(a),(b))。台湾東北沖のフィリピン海プレートの沈み込み域と衝突域の

接合部である花蓮付近は、世界で最も地震活動が活発な場所の一つである。大地震の発震機構結果は花蓮付近を境として異なり、北側ではフィリピン海プレートのスラブに沿う応力場がdown-dip extension型(160 km)か

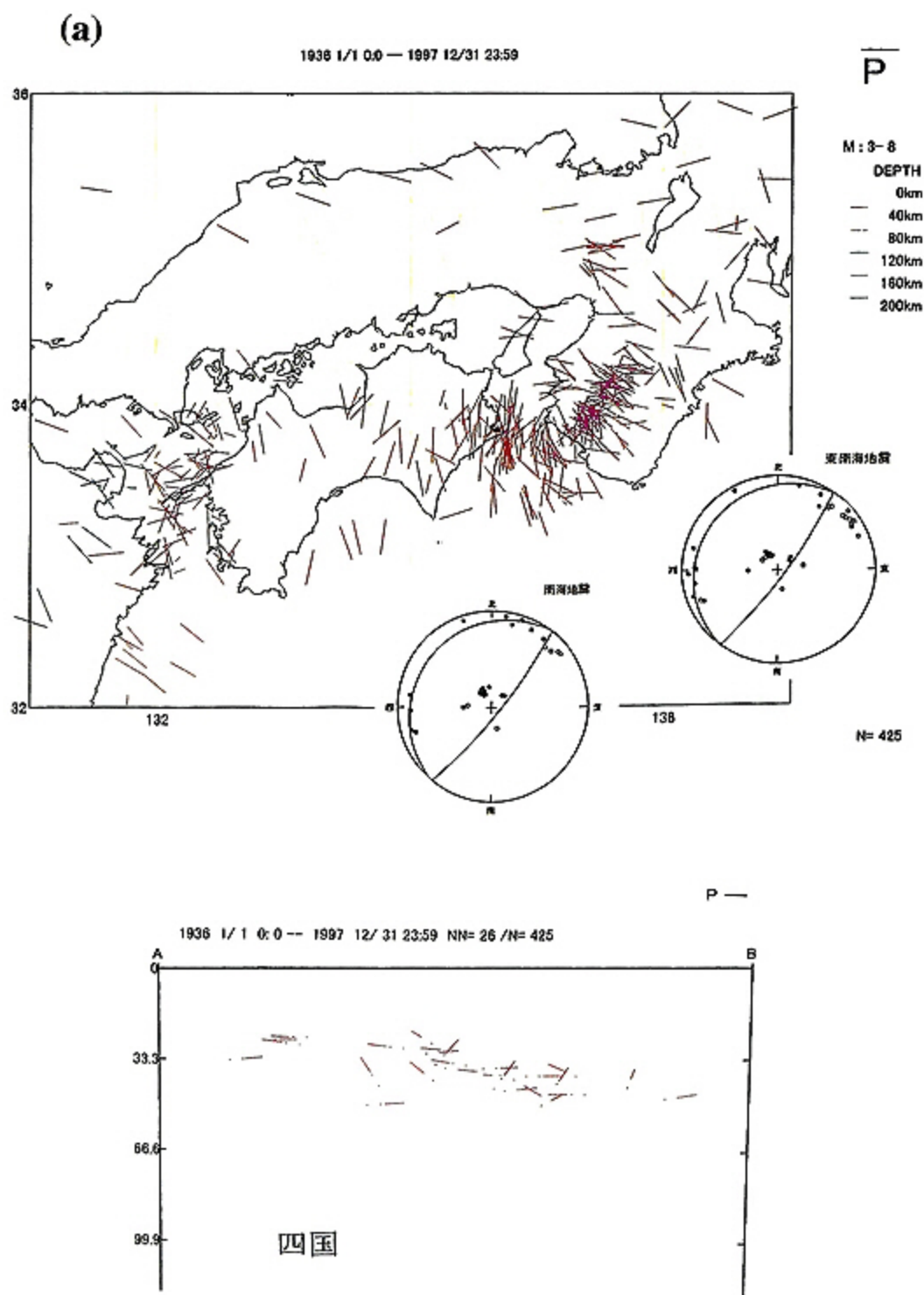


図6 南海トラフ周辺のP軸 (a) とT軸 (b) の水平投影及び断面図。(a)の右下は1944年東南海地震と1946年南海道地震のメカニズム解(岡野, 1988)。

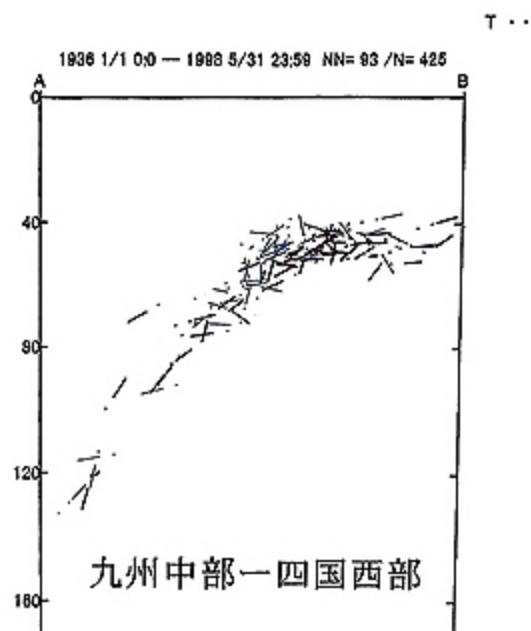
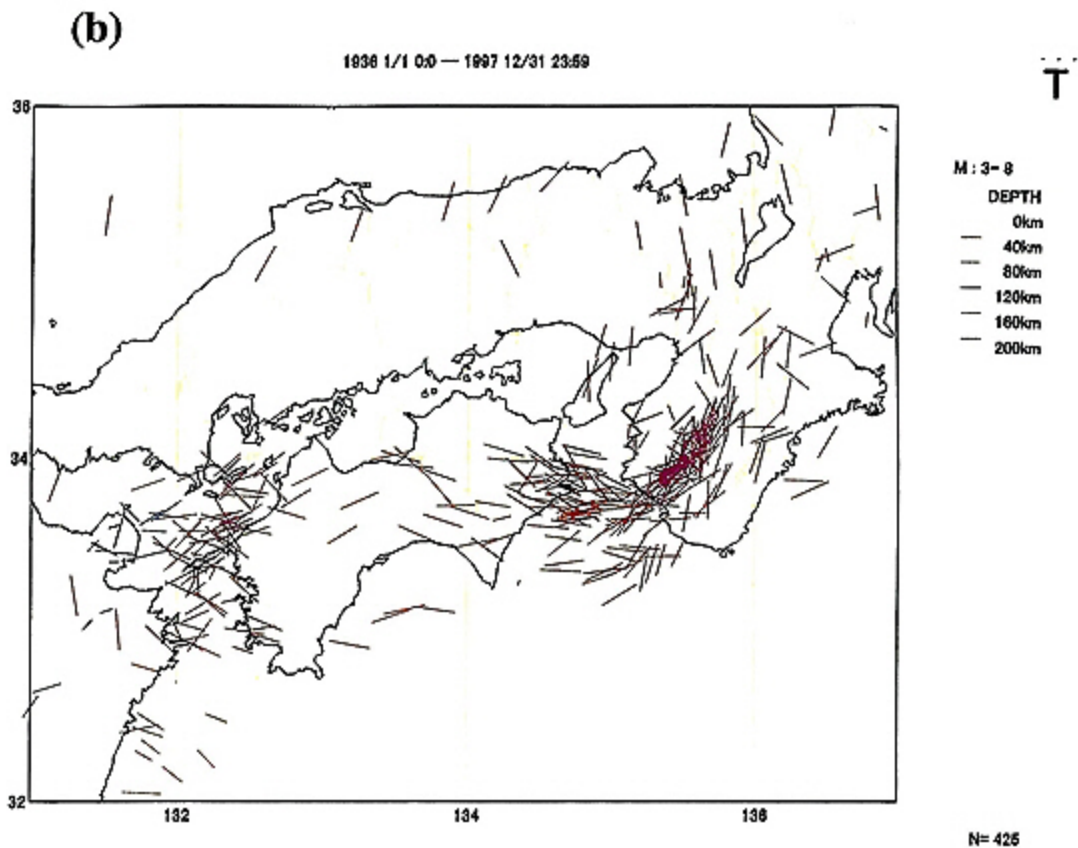


Fig. 6 Horizontal projections of P- and T-axes of earthquakes in and around the Nankai Trough, and mechanism solutions of the Tonankai (1944) and Nankaido (1946) earthquakes.

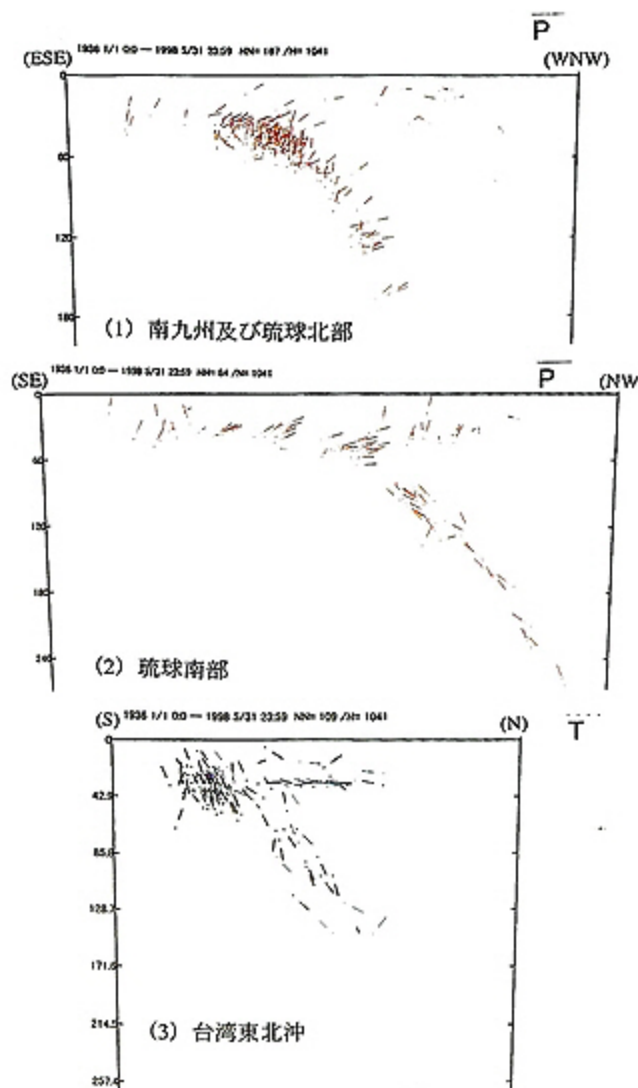


図7 以下の地区における地震のP軸あるいはT軸の断面図。
 (1) 南九州及び琉球北部 (2) 琉球南部 (3) 台湾東北沖
 Fig. 7 Vertical sections of P- or T-axes of earthquakes in three areas.

- Southern Kyusyu and northern Ryukyu area.
- Southern Ryukyu area.
- Northeastern area of Taiwan.

ら down-dip compression 型 (250 km) に変わり (図7(c)), 南側ではほとんどの地震は西北西-東南東圧縮の低角逆断層型である。

浅発地震の発震機構の結果によると, 九州南部から琉球海溝西部までの広い範囲にわたって, 北西-南東方向に引張応力軸 (T軸) が並んでおり (図8), これは注目すべきである。

4. 大地震震源断層面の分布による未来大地震震源域の推定

当地域, 特に南海トラフの周辺で発生した1498年9月

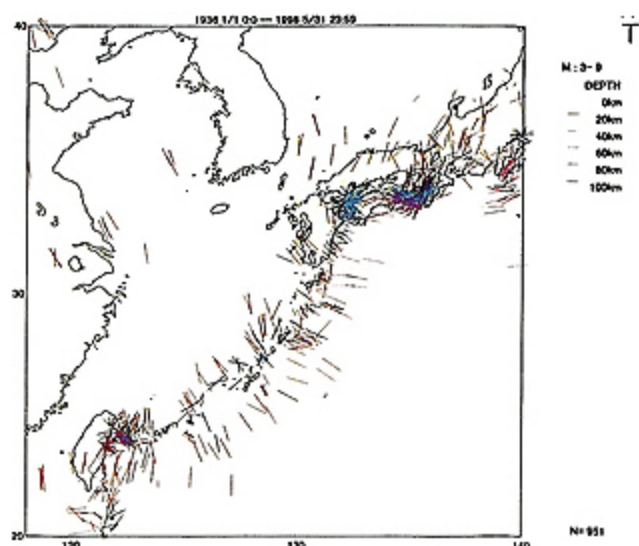


図8 浅発地震 (深さ100kmまで) のT軸の水平投影図。
 Fig. 8 Horizontal projections of T-axes of shallow earthquakes (depth <= 100 km).

(明応) 東海地震から1996年12月3日の日向灘 Ms6.7 地震までのプレート境界型地震の震源断層面分布を図9と図10に示す。1498年以後, 1605年, 1707年, 1854年, 1944年と1946年などM7.9以上の大地震による震源断層域は, 駿河湾から南海トラフに並んでいる。特に, 1605年 (慶長) の東海地震の震源域は南海トラフを超え, 相模湾に至った。大地震の繰り返し時間間隔は約100年-150年であり, 南海道地震と東南海地震後の50余年に, M7以上の地震は日向灘でしか起こっていない。震源断層面の分布によって, これからの巨大地震は南海道地震と東南海地震震源域の東部に発生する可能性が非常に高いと思われる。

5. まとめ及び今後の研究課題

本稿では, 日本及び世界地震観測網による最新の震源データと大量の地震メカニズム結果, さらに1498年以来発生した巨大地震の断層パラメーターのデータを用いて解析を行った。フィリピン海プレートの西北部境界における沈み込むスラブ形状モデル及びそれに沿う応力場の特徴を詳しく検討した上, 南海トラフから台湾東部沖までの広域におけるサイスマテクトニクスが明らかになった。

南海トラフ周辺には次の観測結果がまだうまく説明できず, 今後の研究課題として進んで行きたいと考える。

1. 同じフィリピン海プレートとユーラシアプレートの沈み込む境界に位置しても, GPSのデータによれば, ユーラシアプレートの安定部に対する四国と九州の変位

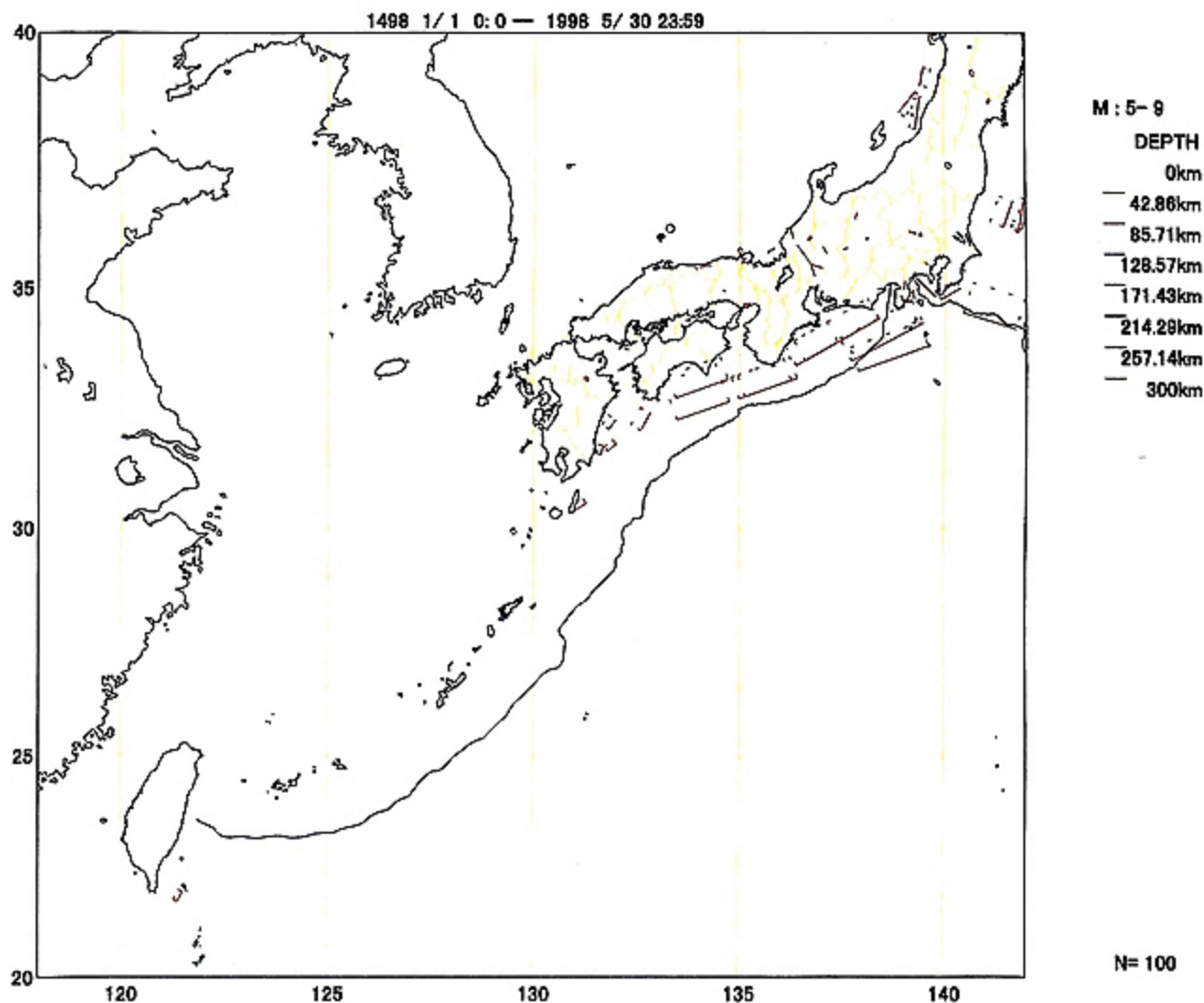


図9 巨大地震と大、中地震 ($M \geq 5.4$) の震源断層の水平投影 (1498年-1997年)。
Fig. 9 Horizontal projections of fault plane of earthquakes ($M \geq 5.4$) during 1498-1997.

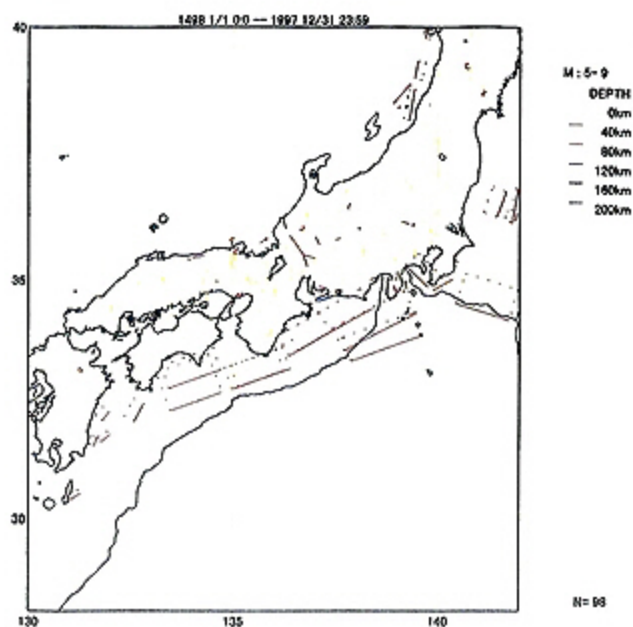


図10 南海トラフ周辺における巨大地震と大、中地震 ($M \geq 5.4$) の震源断層の水平投影 (1498年-1997年)。
Fig. 10 Horizontal projections of fault plane of earthquakes ($M \geq 5.4$) during 1498-1997 in and around the Nankai Trough.

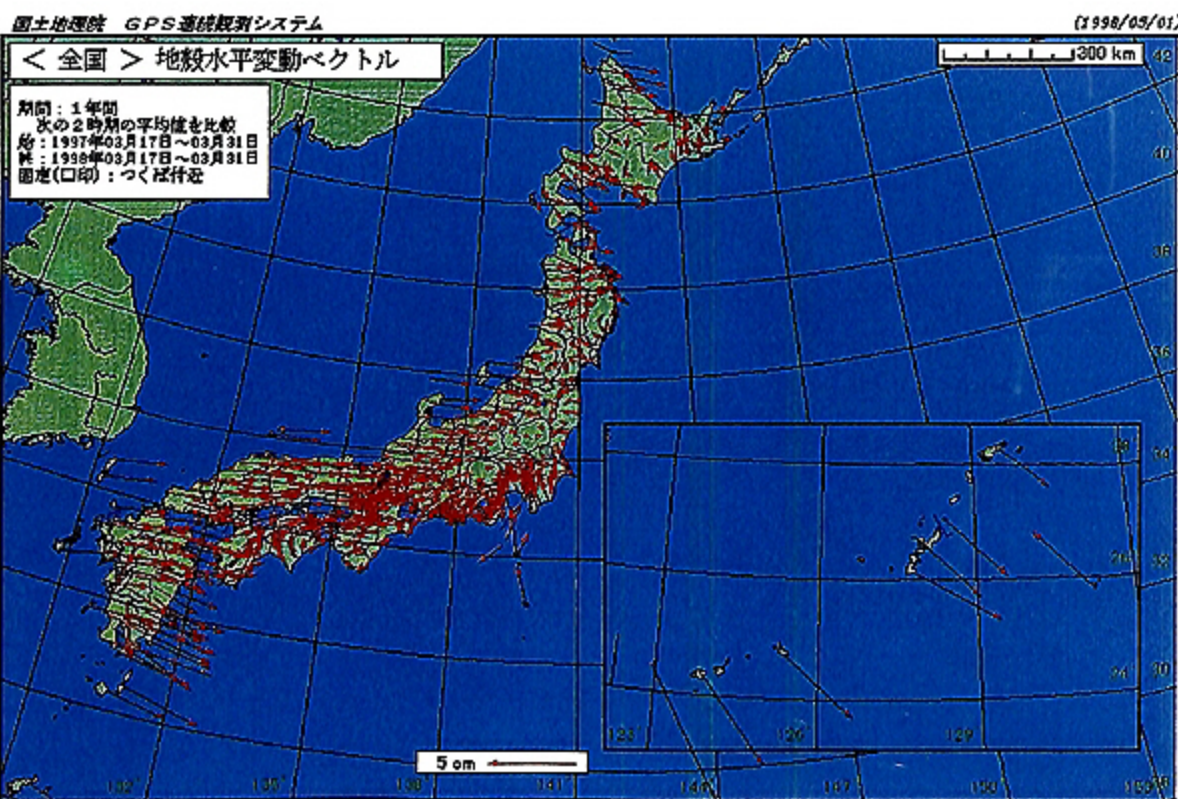


図11 GPS連続観測システムによる日本全国の地殻水平変動ベクトル (1997年-1998年)。国土地理院による。
Fig. 11 Horizontal displacement vectors in Japan for the year 1997-1998 determined from GPS Observations.

が全く逆になっており、大きな差が見られる (図11)。

2. 四国周辺におけるフィリピン海プレートの複雑な沈み込むスラブの状況とその成因について、若いフィリピン海プレートの北西方向への運動だけでは説明できない。

3. よく知られる四国における地殻地震とマントル地震のP軸方向が互いにほぼ直角である理由として、太平洋プレートとフィリピン海プレートからの力が別々に地殻とマントルに加わるためであるという説があるが、納得しにくい。

人工地震探査あるいはトモグラフィを用いて、南海トラフ周辺の地下構造の詳細な考察は、非常に重要である。九州南部から琉球海溝、琉球トラフ域までの地域に対する観測と研究は、まだ十分ではない。例えば、沖縄トラフの拡大と、当域におけるサイスマテクトニクスとの関係はまだ十分に理解されていない。

謝 辞

本稿の作成にあたって、気象庁気象研究所の石川有三氏が開発された地震活動解析ソフト SEIS-PC for Windows95 を使わせていただいた。また、東京大学地震研究所中村正夫氏らの研究成果及び貴重なデータを使わ

せていただいた。海底下深部構造フロンティアのプログラムディレクター河野芳輝先生はじめ、フロンティア及び深海研究部の多くの方々にはご指導、ご協力を頂いた。

ご協力をくださった皆様に心から深く感謝いたします。

引用文献

- 石川有三, 中村浩二 (1997): SEIS-PC for Windows95, 地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集, p. 78, 1997
- 中村正夫, 渡辺見, 許斐直, 木村昌三, 三浦勝美 (1997): 西南日本外帯における地殻下地震の活動特性, 京都大学防災研究所年報, 第40号 B-1, 1-20.
- 岡野健之助 (1988): 四国の地震, 土佐出版社。
- 佐藤良輔 (1995): 日本の地震断層パラメーターハンドブック, 鹿島出版社。

(原稿受理: 1998年7月10日)