

# 神奈川県西部域におけるメカニズム解の決定

行竹洋平\*・棚田俊收\*・本多 亮\*・伊東 博\*・原田昌武\*

The determination of focal mechanisms in the region of western Kanagawa

by

Yohei YUKUTAKE\*, Toshikazu TANADA\*, Ryou HONDA\*, Hiroshi ITO\* and Masatake HARADA\*

## 1. はじめに

伊豆-小笠原島弧と本州側島弧との衝突帯に位置する神奈川県西部域周辺では、過去に M7 - M8 クラスの大規模な地震が繰り返し発生している(石橋, 1993)。その断層モデルや想定震源域に関して、これまでに様々な角度からのモデルが提案されてきている(例えば、荻原, 1993)。しかしながら、こうしたモデルの検討に資するための観測結果は、現在のところ得られていない(棚田, 2006)。そこでこの領域における応力場の空間的な変化を推定することは、どのモデルが妥当であるのかを評価すること、および神奈川県西部域の複雑なテクニクスを理解するために重要である。地震発生域における応力場を推定するためには、地震のメカニズム解が重要なデータとなる。

この領域の詳細な応力場の空間変化を推定するための第一段階として、著者らは温泉地学研究所の定常観測点網のデータを用い微小地震のメカニズム解を決定した。本論では、決定されたメカニズム解およびそれらの空間分布の概要に関して報告する。

## 2. 使用データならびにメカニズム解決定手法について

温泉地学研究所では、1989(平成元)年からテレメータ観測を開始した(温泉地学研究所, 1999)。1995(平成6)年には、東京大学地震研究所や防災科学技術研究所の地震波形と合わせて処理ができるようになった(伊東ほか, 2005)。これにより、丹沢地域から伊豆半島までの範囲で地震のメカニズム解が推定できるようになった。現在では、気象庁一元化協定の参画により 66 点の観測点の地震波形データを用いることができる(行竹ほか, 2006)。

本論では、2000(平成12)年1月から2006(平成17)年8月の期間で、神奈川県西部域で発生したイベントを用いた。この期間で、P波S波到達時刻およびP波極性が

手動で読み取られたイベントは、およそ 9000 イベントに達する。これらのイベントの震源位置は、丹沢地域の一次元速度構造モデル(平賀, 1987)を用い、hypomh法(Hirata and Matsuura, 1987)により計算されている。メカニズム解は、岡田(1988)の手法を用い、これらのイベントのP波極性、地震波の射出角ならびに方位角から決定した。この際、P波極性の数が9個以下であるイベントは取り除いた。この条件を満たすイベントの多くは震源位置の標準偏差(不確定さ)が0.6km以内に決定されている。ただし観測点の配置が悪い領域では、震源の標準偏差が0.6km以上であるイベントが存在する。これらのイベントは、地震波射出角の誤差も大きくなるため取り除いた。メカニズム解の精度は、メカニズム解の圧縮軸(P軸)および引張り軸(T軸)の標準偏差(以下、それぞれ $\sigma_p$ および $\sigma_T$ と表記)から評価した。なお、岡田(1988)に従い、 $\sigma_p$ あるいは $\sigma_T$ が $40^\circ$ 以上あるメカニズム解は、メカニズム解決定不可能なイベントと見なした。

## 3. 結果

決定できたメカニズム解は、464 イベントであった。これは、発生したイベント数の5%にあたる。決定できたメカニズム解の割合は非常に少ない。これは、発生したイベントのマグニチュードが小さいことおよび、丹沢や伊豆半島を震源とする場合、観測点網の端にあたり観測点配置が偏在していることに起因している。

本報告では、決定できたメカニズム解を、 $\sigma_p$ および $\sigma_T$ の大きさで分類した。 $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $20^\circ$ 未満、 $\sigma_T$ が $30^\circ$ 未満および $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $40^\circ$ 未満のものに分類したものに分類した。 $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $20^\circ$ 未満、 $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $30^\circ$ 未満のメカニズム解を、図1および図2に示す。震源およびメカニズム解の情報は、表1および表2にそれぞれ示す。なお、 $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $40^\circ$ 未満(ただし、図1および図2のメカニズム解は除く)のほとんどのメカニズム解は、節

\* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586  
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第38巻, 69-76, 2006.

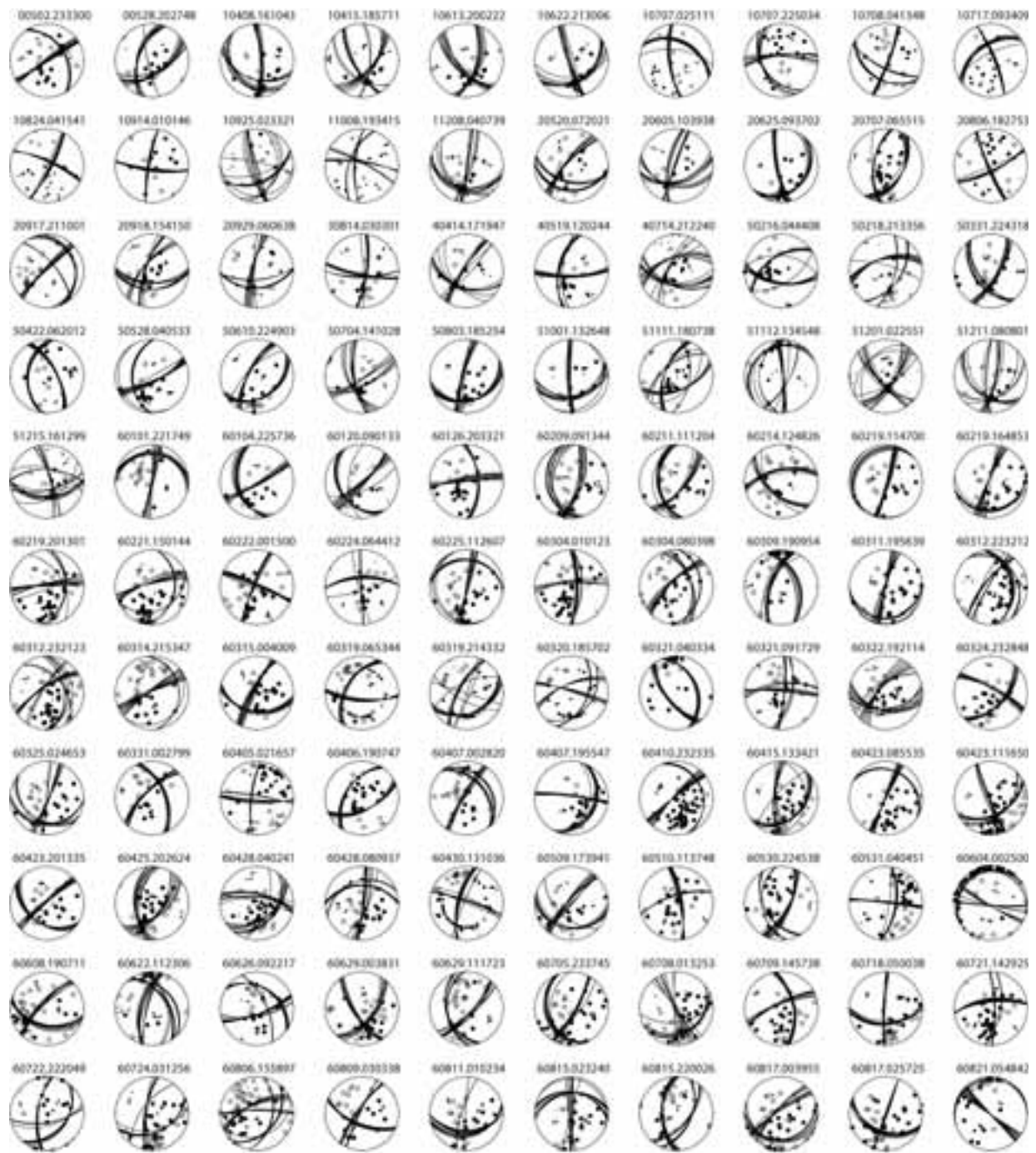


図1  $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $20^\circ$ 未満に決定されたメカニズム解。最適な節面の解(10個まで)が表示されている。各メカニズム解は、上半球投影で投影されている。各メカニズム解の上には、発震時刻(年月日.時分秒)が表示されている。例えば、60320.185702は2006年3月20日18時57分2秒を示している。

面が一方向に決定できなかったため、本報告ではそれらの表記は省略した。 $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $20^\circ$ 未満のメカニズム解のほとんどは(図1)、節面が一方向に決定されている。一方、 $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $30^\circ$ 未満であるメカニズム解では、節面が一方向に決定されていないイベントが含まれてくる(図2)。節面が一方向に決定されているメカニズム解のみを客観的に選択し議論するため、本論において著者らは $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $20^\circ$ 未満のイベントを精度良く決定さ

れたメカニズム解と見なし解析に使用した。

精度良く決定されたメカニズム解(図1)の空間分布ならびに震源断面図は図3に示す。これらのメカニズム解のP軸方位角空間分布は図4に示す。著者らは、メカニズム解の空間分布を議論するため、神奈川県西部域を丹沢西部域、丹沢東部域、足柄平野域、箱根域、伊豆半島東部域の5領域に区分した(図4)。各領域における、P軸T軸の方位角および伏角(水平方向からの角度)は、



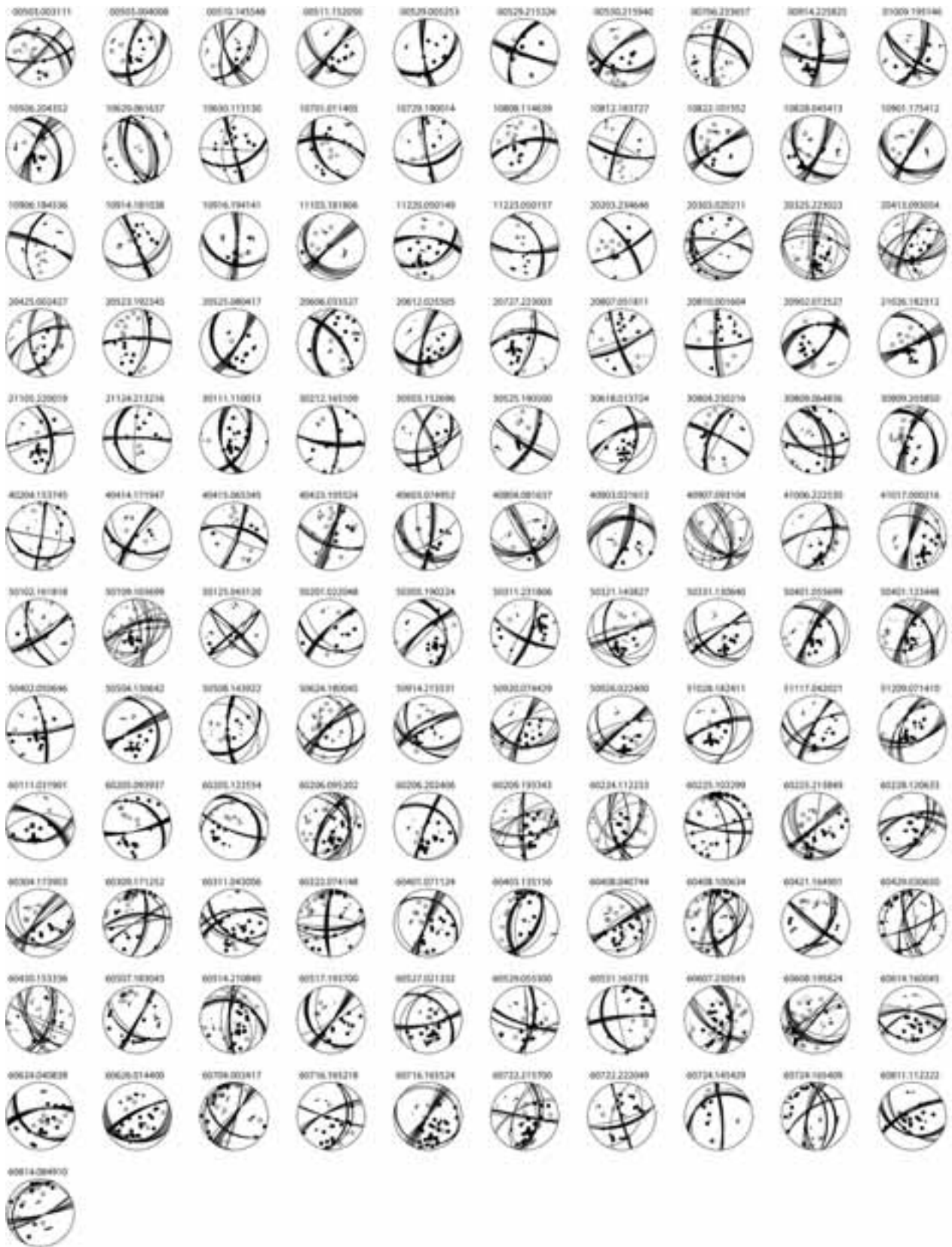


図2  $\sigma_p$ かつ $\sigma_T$ が $30^\circ$ 未満に決定されたメカニズム解（ただし、図1のメカニズム解は除かれている）。図の詳細は、図1と同じである。

ローズダイアグラムを用いて図5に示す。

発生したイベント数に対する精度良く決定されたメカニズム解の割合は、箱根域以外の領域で4~5%であっ

た。一方、箱根域でこの割合は0.2%であった。これは、箱根域で発生するイベントはほとんどマグニチュード1.0以下であり、P波極性を読み取れる観測点数は少な





表2  $\sigma_p$ かつ $\sigma_r$ が30°未満に決定されたメカニズム解パラメータ(ただし、表1のイベントは除く)。図2に表示されたメカニズム解と対応している。

No.	発震時刻	緯度	経度	震源の深さ (km)	発震機構	P軸方位	T軸方位	N軸方位	P軸力	T軸力	N軸力	最大主応力	中間主応力	最小主応力	最大主応力の傾斜角	最大主応力の方位角	最大主応力の方位角の誤差	最大主応力の方位角の標準偏差
1	200000001	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
2	200000002	16	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
100	200000100	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
101	200000101	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
102	200000102	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
103	200000103	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
104	200000104	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
105	200000105	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
106	200000106	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
107	200000107	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
108	200000108	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
109	200000109	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
110	200000110	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
111	200000111	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
112	200000112	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
113	200000113	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
114	200000114	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0
115	200000115	14	151	33	1.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	100	0	0	0	0	0	0

(次頁につづく)

表 2 (つづき)

No.	年月日	緯	経	深度	震源	震源深さ(km)	M	震位差	震源の傾斜	P軸方位(°)	P軸傾斜角(°)	N軸方位(°)	N軸傾斜角(°)	T軸方位(°)	T軸傾斜角(°)	震源の深さ(km)	震源の傾斜	震源の方位角	震源の傾斜角	震源の方位角	震源の傾斜角	
114	20060702	35	139	23.4	139.2442	23.4	1.9	20	0	0	180	90	0	90	30	21	81	81	173	203	27	81
115	20060702	35	139	23.4	139.2319	23.4	1.1	27	0	0	118	78	0	20	107	68	203	88	176	243	88	88
116	20060724	35	139	23.37	139.1898	23.37	1.2	12	0	0	208	115	0	31	12	42	23	138	175	14	14	72
117	20060724	35	139	23.32	139.1888	23.32	1.2	11	0	0	208	20	0	30	10	42	23	138	175	14	14	72
118	20060724	35	139	23.25	139.1888	23.25	1.2	11	0	0	208	20	0	30	10	42	23	138	175	14	14	72
119	20060724	35	139	23.18	139.1888	23.18	1.2	11	0	0	208	20	0	30	10	42	23	138	175	14	14	72
120	20060724	35	139	23.11	139.1888	23.11	1.2	11	0	0	208	20	0	30	10	42	23	138	175	14	14	72
121	20060724	35	139	23.04	139.1888	23.04	1.2	11	0	0	208	20	0	30	10	42	23	138	175	14	14	72

- \*1 震源の深さが-1.0km以下に決定されたイベントは、-1.0kmに固定
- \*2  $\phi_p, \phi_T$ が $20^\circ$ 以上をランク0と定義(岡田, 1993)
- \*3 北から東方向への角度
- \*4 鉛直下向きから上方向への角度

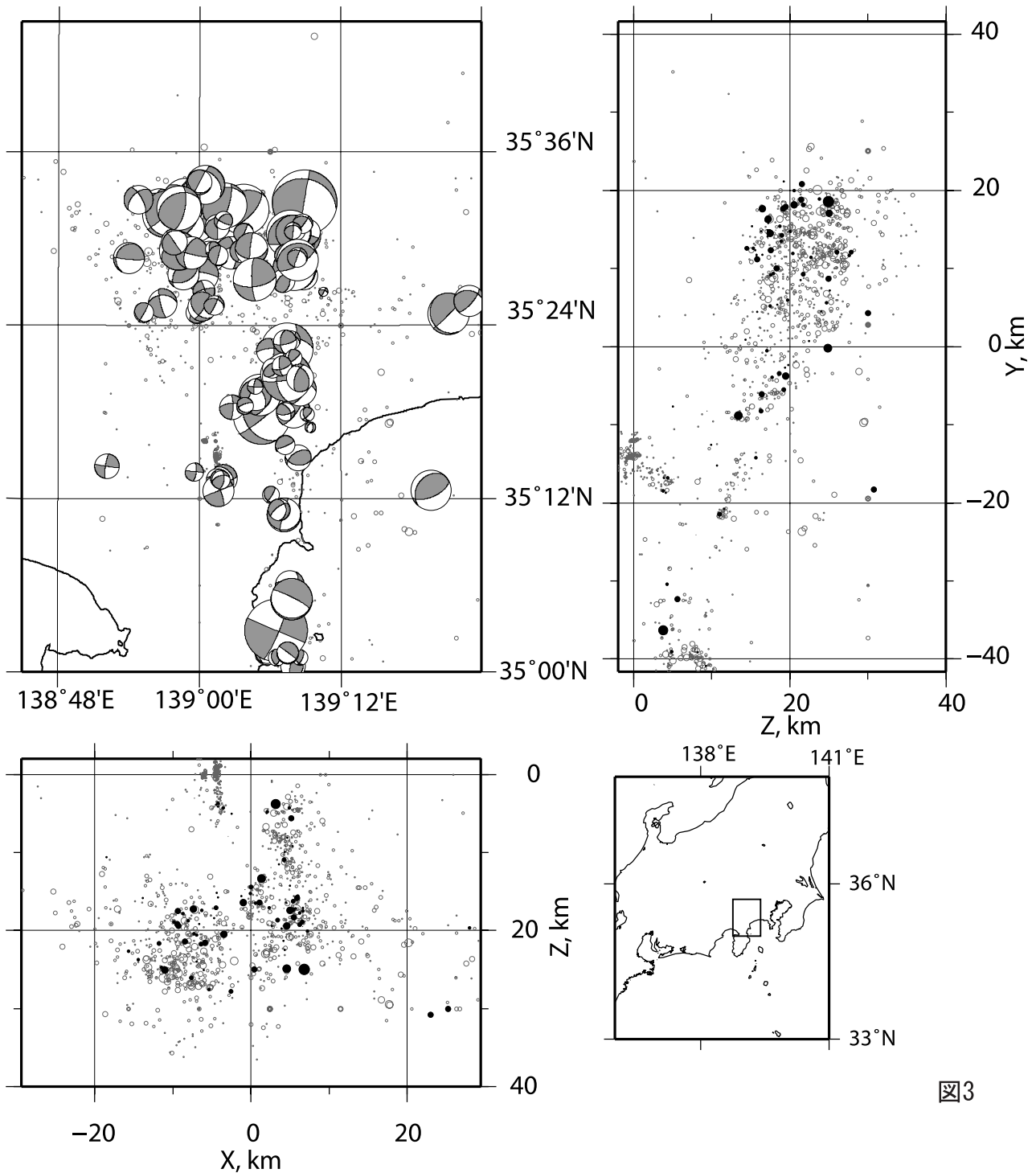


図3

図3 精度良く決定されたメカニズム解の空間分布および震源断面図。黒丸はメカニズム解が精度よく決定されたイベント、灰色丸はそれ以外のイベントを示す。

表3 各領域において分類されたメカニズム解のタイプの割合(%)。分類の基準については、本文中に記載。

領域名	正断層型	逆断層型	横ずれ断層型	中間型
丹沢西部	3	13	11	74
丹沢東部	5	15	10	70
足柄平野	8	19	15	57
箱根	8	0	58	33
伊豆半島東部	11	22	11	56

い(9個以下)ことに起因している。

メカニズム解のタイプは、精度良く決定されたメカニズム解に対して次の定義に従い分類した；正断層型はP軸方位角の絶対値が60°より大きいイベント、逆断層型はT軸方位角の絶対値が60°より大きいイベント、横ずれ断層型はP軸およびT軸方位角の絶対値が30°以下のイベント、それ以外のイベントは中間型。分類されたメカニズム解の割合は表3に示す。

丹沢西部域では、P軸の方位角は東西から西北西-東南東方向に卓越している(図4、図5の(1))。卓越して発生しているメカニズム解のタイプは、中間型(74%)である。逆断層および横ずれ型のイベントは、13%および10%発生している。正断層型のイベントはほとんど発生していない(表3)。丹沢東部域では、P軸の方位角は北北西-南南東方向に卓越している(図4、図5の(2))。卓越して発生しているメカニズム解のタイプは、丹沢西部域と同様に中間型(70%)である。そのほかのメカニズ

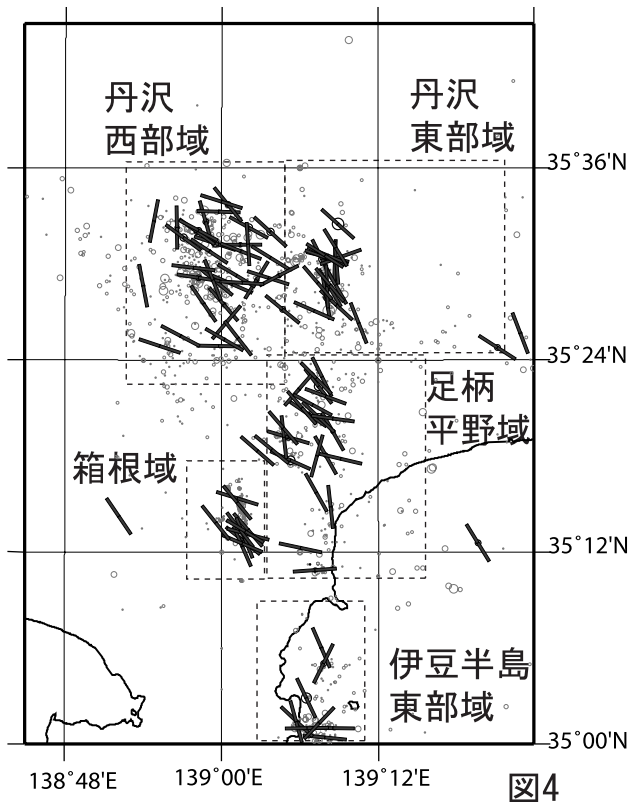


図4 精度良く決定されたメカニズム解P軸方位角の空間分布。灰色棒は、P軸の方位角を示す。灰色丸は、それ以外の震源分布を示す。

ム解の割合も、丹沢東部域と類似している。足柄平野域では、P軸方位角は東西から北北西-南南東方向を向いている(図4、図5の(3))。卓越して発生しているメカニズム解のタイプは、丹沢東部および西部域と同様に、中間型(57%)である(表3)。箱根域では、P軸方位角は北北西-南南東方向に卓越している(図4、図5の(4))。卓越して発生しているメカニズム解のタイプは、横ずれ断層型(58%)である。逆断層型のイベントは、丹沢東部、西部域および足柄平野域とはことなり発生していない。中間型のイベントの割合は、丹沢東部、西部域および足柄平野域と比較して33%と少ない(表3)。伊豆半島東部域では、P軸方位角は東西方向に卓越している(図4、図5の(5))。卓越して発生しているメカニズム解のタイプは、中間型(56%)である。

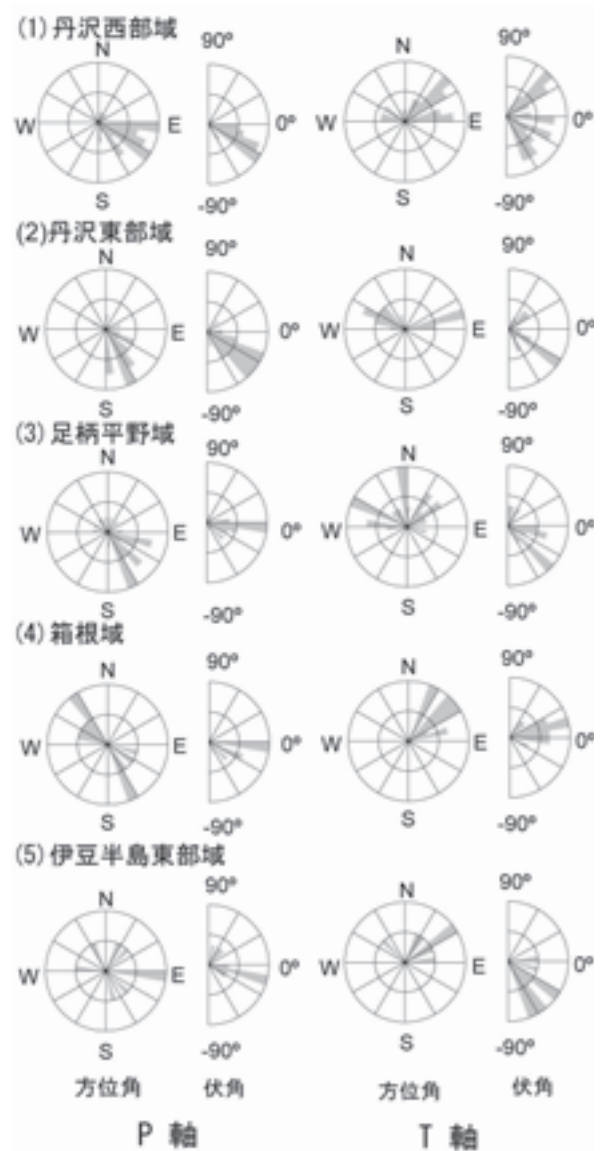


図5 P軸およびT軸の方位角ならびに伏角(水平方向からの角度)のローズダイヤグラム。頻度は10°間隔で計算した。

#### 4. 考察

メカニズム解のP軸方向は、丹沢地域から三宅島にかけての広域的なテクトニック応力場(例えば、Townend and Zoback, 2006)とおおむね一致している。ただし神奈川県西部域を領域区分して見ていくと、P軸の方向ならびにメカニズム解タイプは、空間的に変化していることが分かった。

丹沢東部域においてP軸方位角は、その周辺の丹沢西部域および足柄平野域と比較して、北北西-南南東方向に卓越している。この結果は、丹沢東部で最大圧縮応力軸の方向が南北方向に回転している可能性を示唆している。箱根域における横ずれ型のメカニズム解の割合は、周辺の領域と比較して多かった。この結果から、この領域で上載圧は中間主応力と等しくなっていることが示唆される。さらに、最大圧縮応力の大きさは、逆断層型の地震が発生せず正断層型の地震が発生していることから、上載圧に近いことが考えられる。伊豆半島東方域では、東西方向のP軸を持つ中間型の地震が多く発生している傾向が見られた。この領域は、箱根域と同様に、群発地震が多発している(行竹ほか、2006)。群発地震が発生する領域では、メカニズム解P軸は最大圧縮軸方向と必ずしも一致しない例が報告されている(佐藤ほか、1997)。今後、P軸方位角が最大圧縮軸方向を表しているかどうかを定量的に評価するため、ストレスインバージョン法を用いて応力場を推定することが求められる。

#### 5. まとめ

本論では、神奈川県西部域における応力場の空間変化を推定するために、この領域で発生したイベントのメカニズム解を推定した。その結果、決定されたメカニズム解の割合は、全イベント数の3%であった。神奈川県西部域でP軸方向ならびにメカニズム解タイプは、以下のように空間的に変化していることが分かった。

1. 丹沢東部域では、東西から西北西-東南東方向のP軸を持つ中間型のメカニズム解が多い。
2. 丹沢西部域では、北北西-南南東方向のP軸を持つ中間型のメカニズム解が卓越している。
3. 足柄平野域では、北西-南東方向のP軸を持つ中間型のメカニズム解が多い。
4. 箱根域では、北北西-南南東方向のP軸を持つ横ずれ断層型のイベントが多く発生している。逆断層型のイベントは、発生していない。
5. 伊豆半島東部域では、東西方向のP軸を持つ中間型のイベントが多く発生している。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、東京大学地震研究所ならびに防災科学技術研究所の波形データを使わせていただいた。防災科学技術研究所の岡田義光理事長には、メカニズム解計算プログラムを使用させていただいた。

#### 参考文献

- 萩原幸男 (1993) 「神奈川県西部地震」研究の現状と展望, 地学雑誌, 102(4), 377-340
- 平賀士郎 (1987) 箱根火山と箱根周辺海域の地震活動, 温地研報告, 18(4), 125p.
- Hirata, N. and Matsu'ura M. (1987) Maximum—likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phs, Earth Planet. Inter.*, 47, 50-62.
- 伊東 博・宮下雄次・棚田俊收・代田 寧・倉石隆介・加藤正造 (2005) 新たな総合研究システムについて, 温地研観測だより, 55, 23-32.
- 岡田義光 (1988) 震源計算・発震機構解計算プログラムの改良, 国立防災科学技術センター研究報告, 41, 153-162.
- 温泉地学研究所 (1999) 温泉地学研究所における「神奈川県西部地震」のとりくみ, 温地研報告, 29, 3-40.
- 佐藤隆司・楠瀬謹一郎・長 秋雄・木山 保・山田文孝・相澤隆生(1997)群発地震発生域直上における近く応力測定 —兵庫県猪名川町における—, 地震, 50, 57-65.
- 棚田俊收 (2006) 神奈川県西部地域の地震活動とその発生環境, 月刊地球, 印刷中
- Townend, J. and Zoback, M. D. (2006) Stress, strain, and mountain building in central Japan, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2005JB003759.
- 行竹洋平・棚田俊收・本多 亮・伊東 博・原田昌武 (2006), 温泉地学研究所リアルタイム地震情報処理の信頼性—2006年伊豆半島東方沖地震を例にして—, 温地研報告, 38, 63-68.