

# 温泉地学研究所の地震観測網における震源決定精度と検知能力

棚田俊収\*

Detection Capability of the Seismic Observational Network of  
the Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

by

Toshikazu TANADA\*

Abstract

The Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture (HSRI) is constructing the seismic observational network in the western part of Kanagawa prefecture. There were 9 observation stations in April 1989 and the number has increased to 30 at the present, and includes seismic stations belonging to other organization including the Earthquake Research Institute of Tokyo University (ERI), the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NRIESDP) and the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IISEE).

The accuracy of determining the hypocenters and origin times of earthquakes in and around Kanagawa prefecture is investigated using a method of prediction analysis. Contour maps of the estimated standard errors of hypocenters parameters and origin times are calculated for event depth and several magnitude.

This method has shown events measuring  $M = -1.0$  of a depth of 10km in the Hakone area, events measuring  $M = 2.0$  of shallow depths ( $< 20\text{km}$ ) in the Kanagawa area: Accuracy falls in areas several km from the network.

## 1. はじめに

温泉地学研究所は、近い将来発生するであろう「神奈川県西部地震」の発生メカニズム研究のため、箱根火山に配置した当時の地震観測施設を再構築し、1989（平成元）年よりテレメータ地震観測を開始した。1989（平成元）年当初の観測点は9か所あり、観測範囲は箱根を中心とした数十キロメートル程度であった。その後「神奈川県西部地震」の研究をさらに推進するために、県独自の観測点増設や他機関とのデータ交換を図った。その結果1998（平成10）年4月現在、温泉地学研究所の地震観測点は30か所に、観測範囲は神奈川県西部を中心に東西、南北各100キロメートルの領域に広がった。1989（平成元）年当初と比べると、観測点数は約3倍、観測範囲は約5倍程度に拡大した。

この観測網の拡大は、1989（平成元）年より約7年間にわたって順次行われた。そのため、観測網の震源決定能力は年代ごとに異なっており、地震活動度等を研究する際には震源データの取り扱いに注意する必要ができた。そこで、本論文では、予測解析法を用いて観測点の増設に伴う震源決定能力の変遷を評価した。また、震源決定できるマグニチュード下限の評価（検知能力）は、各観測点の平均的グラウンドノイズを考慮した手法を用いて計算した。

\* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市人生田 586  
神奈川県温泉地学研究所報告, 第29巻, 第1・2号, 47-56 (1999)

2. 温泉地学研究所における地震観測網.

当所の観測網は、1998（平成10）年4月現在、30か所の観測点から構成されている。図1に機関別観測点配置を、左下と右下には神奈川県西部と箱根地域の拡大図を示した。通常、温泉地学研究所では、県西部地域内（図1左下）で発生している地震活動の把握に努めている。

観測点の増設状況は年表形式で表1に示した。

機関別観測点の取り込み状況を次に述べる。

温泉地学研究所（HSRI）は13点の観測施設を保有している。震源決定の対象地域には、神奈川県西部地震の発生想定域、国府津—松田断層、神縄断層や箱根火山地帯が含まれている。

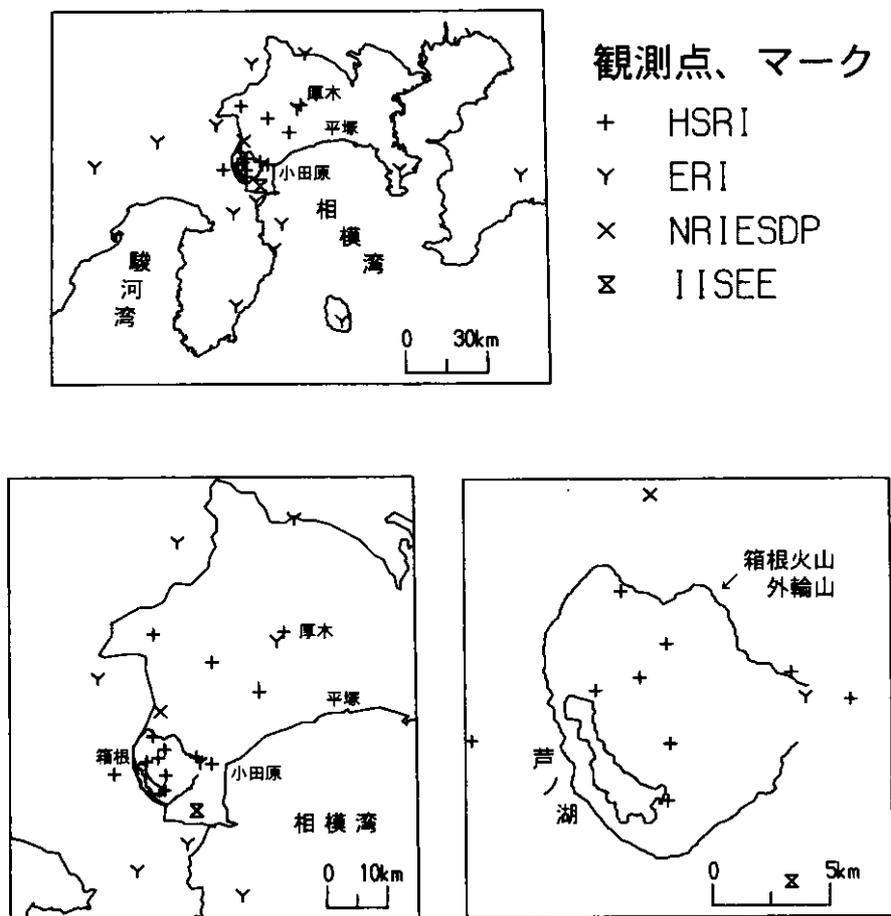


図1 1998年4月現在の観測点分布図(30観測点)  
 左下は神奈川県西部地域、右下は箱根地域の拡大図を示す。図中の観測点マークは機関名ごとに示した。  
 HSRI：温泉地学研究所、ERI：東京大学地震研究所、NRIESDP：科学技術庁防災科学技術研究所、IISEE：  
 建設省建築研究所

Fig.1 Observational network as April 1998(30 stations).  
 Upper right and lower left show western Kanagawa and Hakone, respectively. Current observation  
 stations include seismic stations of other organization, including the Earthquake Research  
 Institute of Tokyo University(ERI), the National Research Institute for Earth Science and  
 Disaster Prevention (NRIESDP) and the International Institute of Seismology and Earthquake  
 Engineering(IISEE).

東京大学地震研究所 (ERI) からは、中部日本に展開している観測点の内、神奈川県を中心とした関東・東海地域に設置された 15 ヶ所の地震データを、当所に取り込んでいる。このデータ取り込みの目的の一つは、当所地震観測点 13 か所周辺部で発生している地震の震源決定精度を高めることである。

また、科学技術庁防災科学技術研究所 (NRIESDP) の南足柄観測点 (当所名:地蔵堂) および建設省建築研究所 (IISEE) の湯河原観測点のデータも温泉地学研究所へ伝送されている。両観測点のデータ取り込みの目的は、県西部地域内のデータを有効利用し、当所観測網内の震源決定精度を高めることである。この震源決定精度の向上により、神奈川県西部地震発生想定域の絞り込みや活動度の変化などに関する研究の発展が期待される。

### 3. 震源決定精度と検知能力の評価

震源決定精度や検知能力を評価する方法としては、震源データを統計的に扱う松村 (1984) の方法、モンテ・カルロ法を用いて評価する方法 (Sato et al, 1967) や、人工地震を用いて検討する方法 (久保田ほか, 1986、棚田ほか, 1992) などがある。

#### 3.1 震源決定精度の評価

ここでは、Wolberg (1967) の予測解析法を用いて震源決定精度を評価した。Peters and Crosson (1972) はこの方法を震源決定精度の評価に適用し、観測点の配置と震源決定精度の関係について議論した。また、この方法を使って石井・高木 (1987) は東北地域、久保田ほか (1986) は静岡県中部に展開した地震観測網の震源決定精度を評価をした。

表 1 温泉地学研究所地震観測網の観測点リスト

Table 1 Station list of Hot Springs Res. Inst.

観測点名	コード	観測期間	89'	90'	91'	92'	93'	94'	95'	96'	97'	備考
			H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	
日向	HIN	89' 4/ 1-										温泉地学研究所
金時	KIN	89' 4/ 1-										温泉地学研究所
小塚山	KZY	89' 4/ 1-										温泉地学研究所
大涌谷	OWD	89' 4/ 1-										温泉地学研究所
湖尻	KZR	89' 4/ 1-										温泉地学研究所
駒ヶ岳	KOM	89' 4/ 1-										温泉地学研究所
元箱根	MOT	89' 4/ 1-										温泉地学研究所
地蔵堂	IZD	90' 11/ 1-										防災科学技術研究所
湯河原	YGW	90' 11/ 1-										建築研究所
塔ノ峰	TNM	92' 4/ 1-										温泉地学研究所
奇	YDR	93' 4/ 6-										温泉地学研究所
岩倉	IWK	93' 4/ 6-										温泉地学研究所
大又沢	OMZ	94' 4/ 27-										(大海より移設)
大滝	OTK	89' 4/ 1-94' 4/ 27										(観測中止)
温地研	ONK	89' 4/ 1-92' 5/ 7 92' 5/ 8-95' 3/ 10 95' 3/ 21-										(移設) (移設) 温泉地学研究所
城山	SRY	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
秋山	AKY	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
大山	OYM	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
富士小山	FJO	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
富士山	FUJ	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
奥山	OKY	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
箱根	HKN	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
武山	TAY	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
清澄	KYS	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
熱海	ATA	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
菲山	NRV	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
初島	HAT	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
川奈	KAW	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
二子山	FUT	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所
河津	KWZ	96' 4/ 1-										東京大学 地震研究所

1998年 4月 1日現在

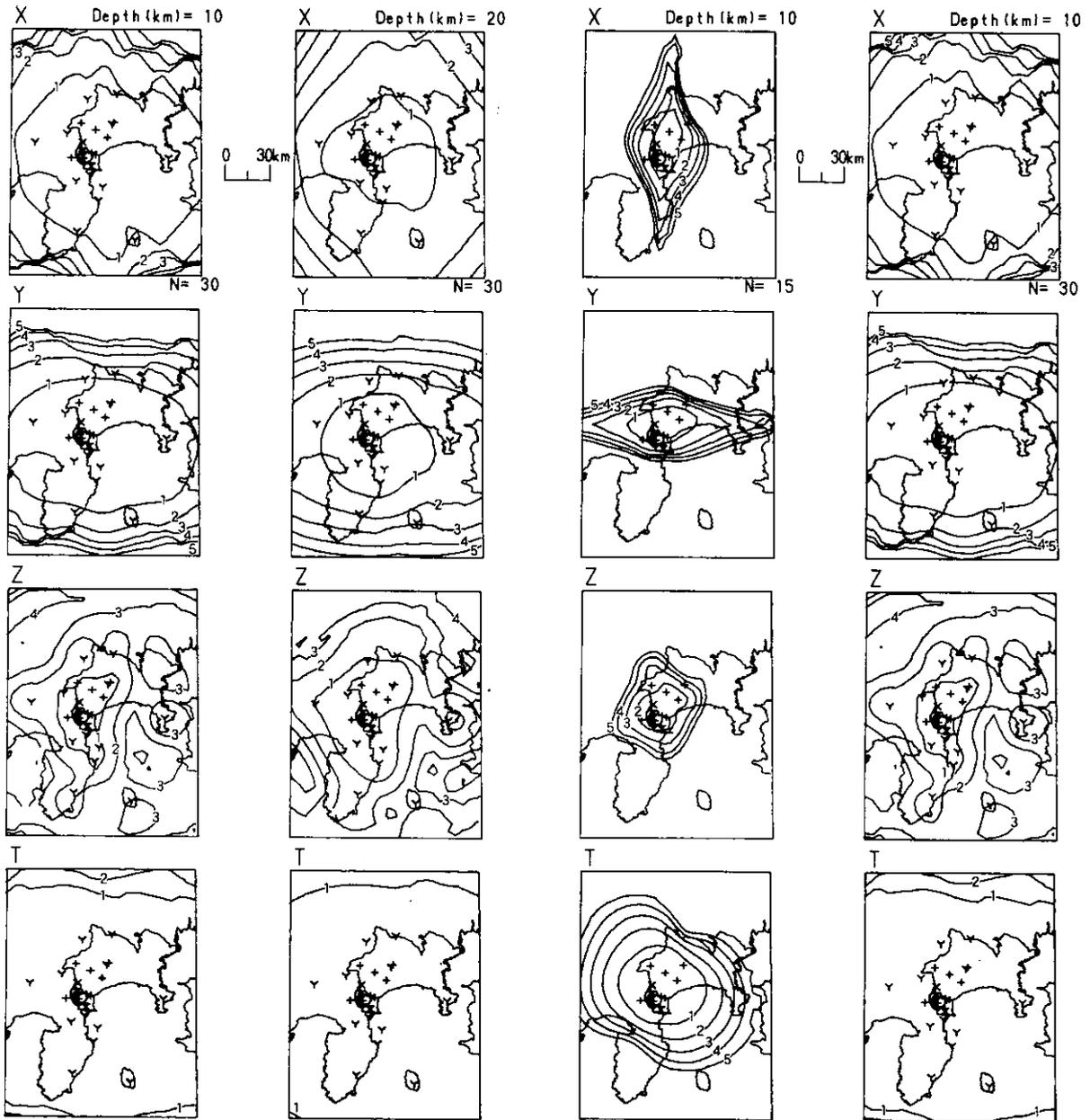


図2 深さ10と20kmにおける震源決定精度分布  
 図中の等値線値は、X、YとZはkm単位、Tは秒単位で示した。  
 Fig.2 Maps show detectability and accuracy of hypocenter parameters with a depth of 10km (left) and 20km(right). The units X, Y and Z are in km, and T is in seconds.

図3 観測点数(N)が15と30の場合における震源決定精度分布  
 Fig.3 Same map in Fig.2 showing reading from N=15 (left) and 30(right) stations.

この予測解析法は、観測方程式を最小自乗法で解く際の分散共分散行列の性質を利用して精度を算出する。つまり、初動データの逐次近似による解を求めることなしに、与えられたデータの組だけから直接未知量の標準偏差(震源決定精度)を計算できる。仮定した震源に対し、

各観測点の走時は、平賀(1987)の丹沢域速度構造モデルを用いた。計算には、石井・高木(1987)の方法の通り、初動の読みとりに0.05秒の標準偏差を、速度構造には0.1km/秒の標準偏差を仮定した、また、震源決定精度は、P波のみを用いて計算した。

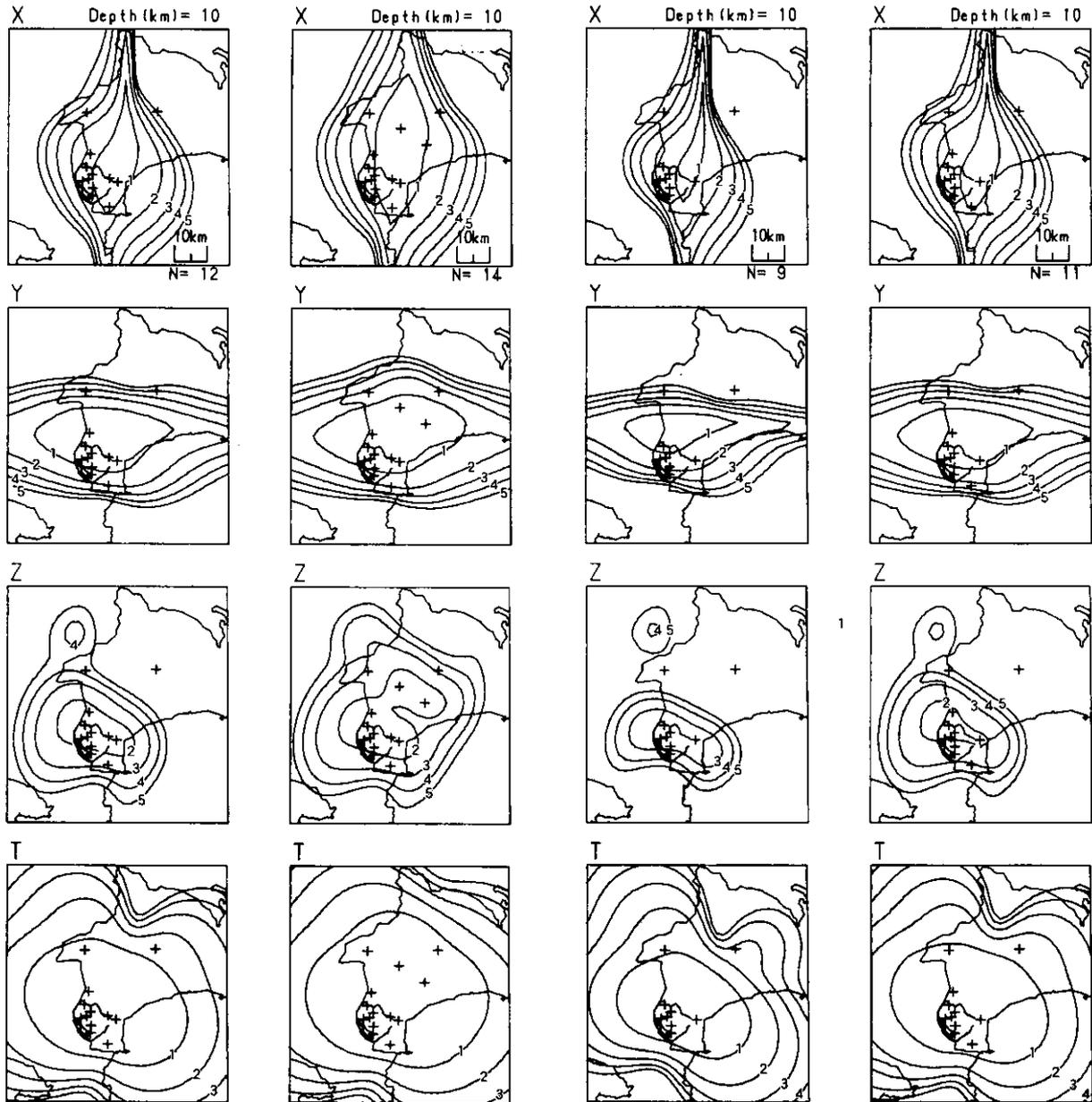


図4 神奈川県西部地域における観測点数増加に対する震源決定精度分布  
 Fig.4 The detectability and accuracy of hypocenter parameters in western Kanagawa when the number of stations is increased.

図2~5におけるX、Y、Zはそれぞれ東西、南北、深さ方向の震源決定精度の標準偏差を、Tは発震時のそれを示す。図中の等値線は、5 km以下の範囲を1km 間隔で、Tは5秒以下の範囲を1秒間隔で描いた。図右下のNは、観測点数を示す。

図2は、観測点数30、すなわち現在の観測点配置状況を意味している。震源の深さは、実際の震源の深さを考慮して、10 kmと20 kmに仮定した結果を示した。X、Y

とTの等値線は、箱根を中心として同心円状の単純なパターンをしている。10 と20 kmにおけるXとY方向の震源決定精度は、神奈川県西部地域で1 km以内、県内では2 km以内と読み取れる。一方、深さZの等値線は複雑なパターンを示し、県西部と県東部ではZ方向の震源決定精度に1 km程度の差が生じていることが判明した。発震時Tの誤差は、県内1秒以下であった。

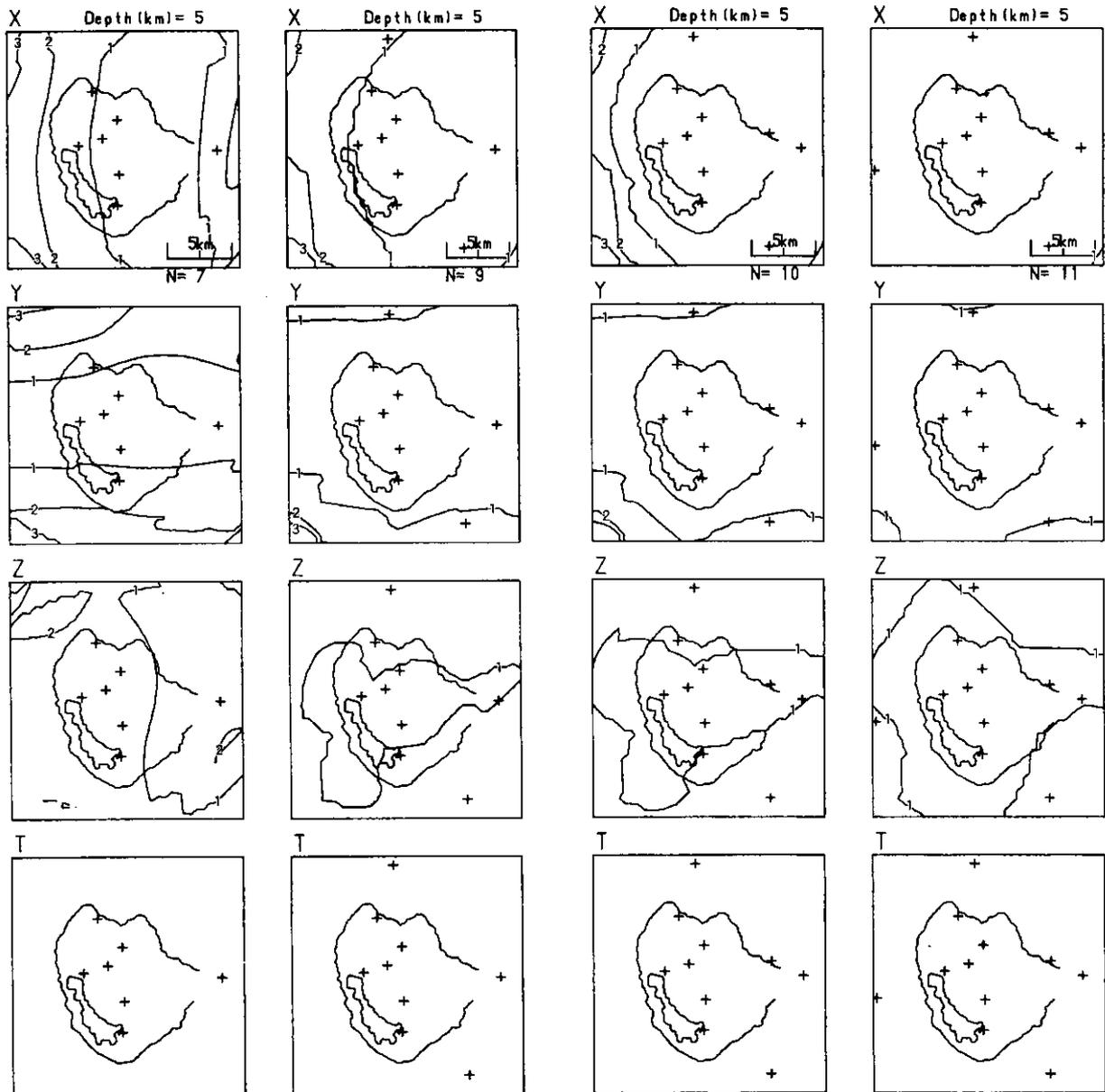


図5 箱根地域における観測点数増加に対する震源決定精度分布  
Fig.5 Same as Fig.4 for Hakone.

震源の深さを 10 km に仮定した場合には、神奈川県境より北側に観測点が少ないため、X と Y との等値線間隔が狭まり、急激に震源決定精度が落ちている。深さ方向 Z については、県西部と東部間で精度の差が、震源の深さ 20 km の場合より明瞭にあらわれた。これは、観測点の間隔が東西で異なるために生じたと考えられる。

震源の深さ 20 km の場合では、深さ 10 km の場合よりも、決定精度の良い範囲が狭まり、これは、震源決定精度がその深さとともに悪くなっていることを示している。

図 3~5 では、観測点の増加に対応させて計算を行った。

図 3 は、東京大学地震研究所のデータを取り込む前と後の結果である。震源の深さは 10 km に固定している。取り込み前の 15 か所観測（左図）のときは、観測能力の範囲が県西部だけに限られていた。また、X 方向の誤差が南北方向に、Y 方向の誤差が東西方向に指向性をもっていた。しかし、データの取り込みによって、この指向性は解消され、精度の高い範囲が県央部や県東部まで延びてきたことがよくわかる。県西部周辺で発生している地震の震源決定精度を高める目的は、十分に達成している。図 4 は、県西部における結果である。震源の深さは 10 km に固定している。この地域には、神奈川県西部地震の発生想定域、国府津一松田断層や神縄断層などの活断層が含まれており、もっとも精度の高い震源が要求される地域である。図 4 のとおり、観測点数の増加に伴い、震源決定精度の高い範囲が順次広がっている。

松田町寄付近の採石発破を用いて、震源決定の誤差を調査した結果によると、実際の発破点と比べ震源決定された発破点は南北方向に約 5 km ずれていた（棚田ほか, 1992）。このズレの原因は、図 3 や 4 が示唆するように、当時の観測点が採石発破点を取り囲んでいないことによって生じたと考えられる。

図 5 は、箱根地域における結果である。この地域では深さ 5 km より浅いところで火山性地震が発生しており、震源の深さに対する精度が要求される地域である。

なお、予測解析法の計算には箱根カルデラ内部と外輪山に位置する観測点だけを用いた。この理由は、箱根の火山性地震はこれらの観測点で得られた走時を中心に震源決定されることが多いためである。

震源決定精度の高い範囲は図 5 のとおり、観測点の増加に伴って広がっている。観測点が 7 点や 9 点のときは、精度が東高西低であった。観測点が 10 点になると、カルデラ内における精度の東高西低は解消する。しかし、外

輪山西側（静岡県側）には、東高西低の影響が残っている。この影響を取り除くために、1997（平成 9）年 3 月裾野観測点を増設し、11 観測点体制とした。

これにより外輪山西側に決定精度の良い範囲が延び、火山全域で一様な震源精度を得ることができた。

### 3.2 検知能力の評価

検知能力の評価として、震源決定ができるマグニチュード下限分布を、次の手順より算出した。

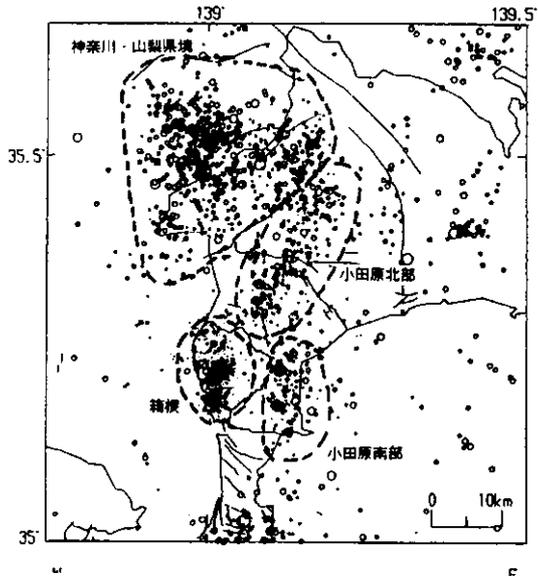
まず、5km 間隔の格子点毎に震源を配置する。

特定の深さとマグニチュードをもつ各震源からの速度振幅を渡辺（1971）の式より各観測点毎に計算した。次に、その振幅値が各観測点の平均的グラウンドノイズの 2 倍より大きい場合のみ初動の読みとりが可能であるとした。観測点数 30 のうち 4 点以上で初動が読みとれた場合、震源決定が可能とし、3.1 章で述べた精度（X、Y、Z、T）の計算をおこなった。

図 6 は、震源の深さを 10 km と 20 km と仮定した場合の結果である。精度（X、Y のみ）が 5 km 以内で得られるマグニチュードを等間隔線で示した。この等間隔線は、-1 から 3 の範囲で 1 km ごとに描かれている。

深さ 10km の場合、箱根周辺はマグニチュード -1 以上、県内ほぼ全域ではマグニチュード 2 クラスの検知能力がある。深さ 20km で、マグニチュード -1 クラスの地震は、箱根直下でしか検知できない。マグニチュード 2 クラスの検知能力範囲も、深さ 10 km の場合よりやや狭まっている。

次に、神奈川県西部地域内で観測された地震のマグニチュード頻度分布を調べた。データは温泉地学研究所のものを用いた。震源分布内の区分けは、図 7 に示したとおりである。一般に、累積数とマグニチュードの直線関係から、観測網における地区ごとの検知能力が推定できる。箱根カルデラ内では、ほぼマグニチュード 0 クラス、その周辺部にあたる神奈川・山梨県境、小田原北部と南部では 1 クラスまで検知できている。この結果は、図 6 の計算結果と矛盾していない。



89'4 - 96'3

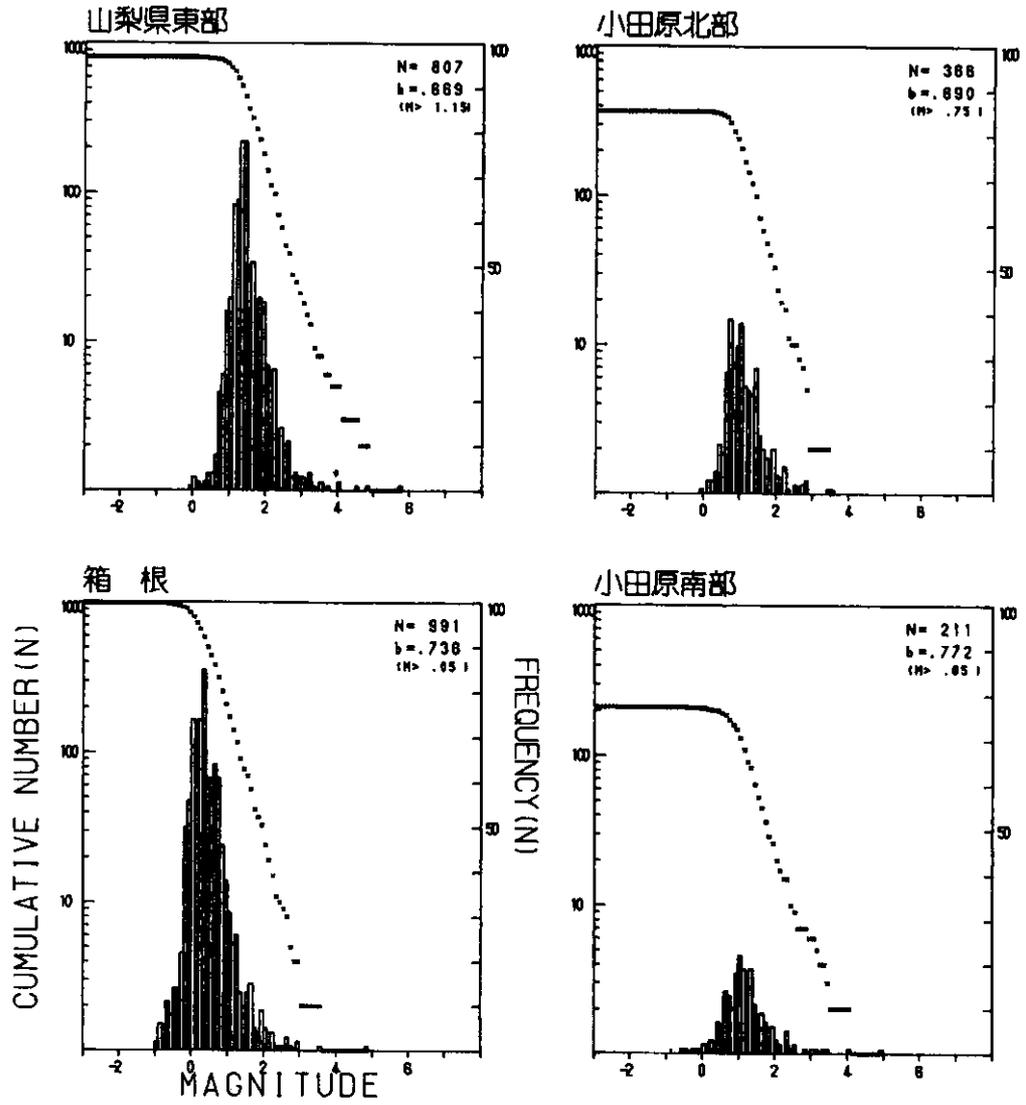


図6 地域別マグニチュード頻度分布とその積算曲線  
 Fig.6 Cumulative magnitude distribution for four regions (upper map).

#### 4. まとめ

一般的に、震源決定の精度は、観測点の分布、地震波到達時間の読みとり精度、地下の速度構造の正確さ、震源計算方法に依存する。また、震源決定できる最小マグニチュードは、各観測点の地震波検出能力、すなわち、各観測点のS/N（信号/ノイズ）比や検出のためのフィルター処理に関わっている。本報告では、観測点の増加による震源決定精度を評価した。解析には、Wolberg（1967）の予測解析法を用いた。

解析の結果、次のことが判明した。

（1）震源決定精度は観測点が増加するごとによくなっていた。

1998年4月現在の観測点分布では、神奈川県西部地域の震源の誤差は、深さ20km以内でX、Y、Z各々の1km程度であった。神奈川県東部ではX、Y、Z各々の誤差が2km程度であった。

発震時丁の誤差は、県内1秒以下であった。

（2）震源決定できるマグニチュードの下限は、深さ10kmの地震に対し・箱根で-1クラス、神奈川県西部地域で1程度であった。

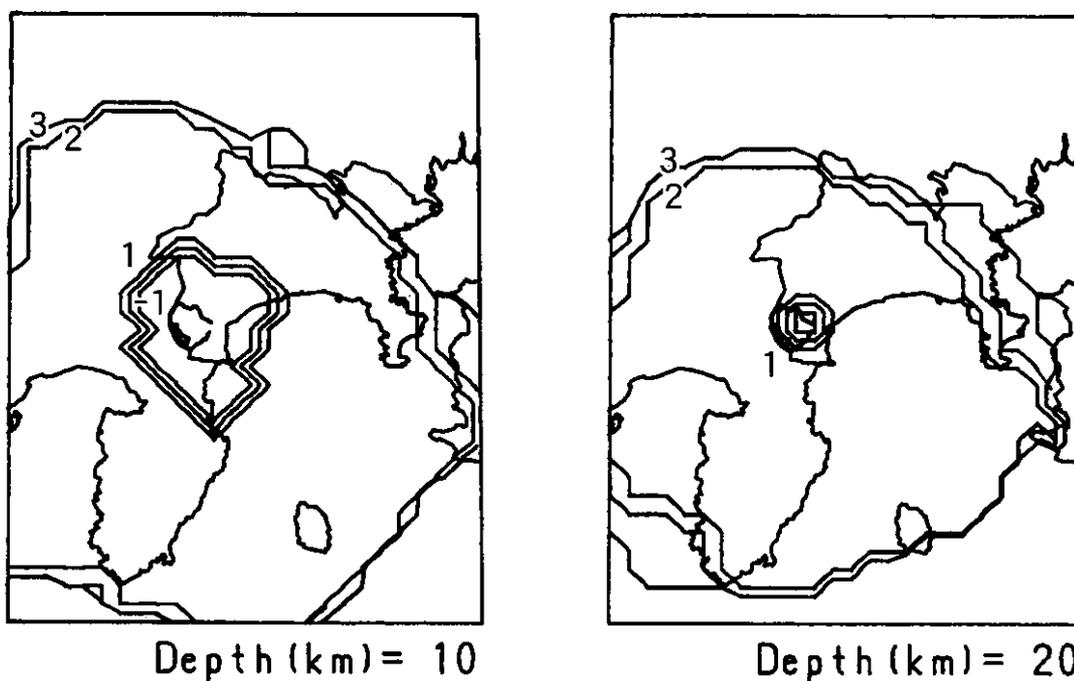


図7 マグニチュードにおける検知能力分布

Fig.7 Maps show detection capability for earthquakes with a depth 10km(left) and 20km(right)

参考文献

平賀士郎 (1987) 箱根火山と箱根周辺海域の地震活動, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 18 巻, 第 4 号, 149-273.

石井紘、高木章雄 (1978) 東北大学における地震・地殻変動の検知能力について (1) 微小地震, 地震 2, 37, 140-150.

久保田隆二、棚田俊収、渡辺茂、加藤照之、足立弘道、相澤隆生、田中ゆり子、小泉真一、窪倉誠、加瀬良一、金子数夫 (1986) 富士川周辺地域の微小・極微小地震観測 (その 1), 地震 2, 39, 81-98.

松村正三 (1984) 微小地震観測網の検知能力の評価について—国立防災科学技術センター関東・東海地殻活動観測網—, 地震 2, 37, 475-489.

PETERS, D. C. AND R. S. CROSSON (1972) Application of Prediction Analysis to Hypocenter Determination Using a Local Array, Bull. Seism. Soc. Amer., 62, 775-778.

SATO, Y., I. OCHI and Y. KOTAKE (1967) Accuracy of the Determination of Earthquake Source Parameters in and around Japan, Bull. Earthq. Res. Inst., 45, 1-5.

棚田俊収、伊東博、八巻和幸、小鷹滋郎、山中義彰、飯塚進 (1992) 採石発破を利用した神奈川県温泉地学研究所の震源決定精度の検討, 地震学会講演予稿集 No. 1, 175.

渡辺晃 (1971) 近地地震のマグニチュード, 地震 2, 24, 155-164

WOLBERG, J. R. (1967) Prediction Analysis, D. Van Nostrand Co. Inc., Princeton, N. J