

九州南部・南西諸島北部域に発生する地震の検知能力について

著者	後藤 和彦, 大屋 恵, 森 直子, 八木原 寛, 角田 寿喜
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要=Reports of the Faculty of Science, Kagoshima University
巻	35
ページ	49-59
別言語のタイトル	On the Detectability of Earthquakes in and around Southern Kyushu and Northern Nansei Islands, Japan
URL	http://hdl.handle.net/10232/00009290

九州南部・南西諸島北部域に発生する地震の 検知能力について

後藤和彦¹⁾・大屋 恵²⁾・森 直子³⁾・八木原 寛¹⁾・角田寿喜¹⁾
(2002年9月6日受理)

On the Detectability of Earthquakes in and around Southern Kyushu and Northern Nansei Islands, Japan

Kazuhiko GOTO¹⁾, Megumi OOYA²⁾, Naoko MORI³⁾, Hiroshi YAKIWARA¹⁾
and Toshiki KAKUTA¹⁾

Abstract

The detectability of the earthquakes in and around Southern Kyushu and Northern Nansei Islands observed by Nansei-Toko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Kagoshima University was investigated for the period from 1995 to 2001 as the basic data of ability of seismic network. It is revealed that the detectability of 7km depth earthquakes in Southern Kyushu is improved remarkably during the last 7 years, for example from M2.0 in 1995 to M0.5 in 2001 at the Northwestern Kagoshima Prefecture. On the other hand, the detectability in Northern Nansei Islands is without large improvement from October, 1996, then the difference of detectability with Southern Kyushu was enlarged. For the earthquakes at the depth of 160km in Southern Kyushu, detectability of M2.0 or less is estimated to be near limitative. Because it did not change much in adding the high-density seismic stations in October, 2000.

Keywords : detectability, ground noise, Southern Kyushu, Nansei Islands, seismic network

1. はじめに

1991年に設立された鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所 (NOEV) では、南九州から南西諸島北部域にかけての領域で微小地震観測網の整備を進めるとともに他機関とのデータ交換を行うことにより、観測データがリアルタイムで収録されている観測点は1993年の4点から現在では80点以上となっている。この結果、鹿児島大学で震源決定されている地震の最小規模 (検知能力) は時間とともに大きく変化している。地震観測網の地震

検知能力の評価は、地震学における最も基本的な事項のひとつである地震活動などを調査する際に必要不可欠なことである。また、観測点を効果的に増設する際にも有用である。本稿ではNOEVの地震検知能力について述べる。

地震検知能力を推定するには、実際に発生した地震をデータとして調べる方法と地震波の最大振幅を表す経験式を利用する方法がある。前者は、解析対象領域に発生した地震の規模別頻度分布からその領域の最小マグニチュードを求める方法 (例えば、望月・他; 1978, 横山,

¹⁾ 鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所 〒892-0871 鹿児島市吉野町10861

Nansei-Toko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Faculty of Science, Kagoshima University, Yoshino 10861, Kagoshima 892-0871, Japan.

²⁾ 株式会社コーアガス日本 〒890-0073 鹿児島市宇宿2丁目1-13

KOA GAS NIHON Co., Ltd., Usuki 2-1-13, Kagoshima 890-0073, Japan.

³⁾ フィット産業株式会社 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通5-1-5 永原ビル

First International Technology Co., Ltd., Nagahara Bldg., Onoe-dori 5-1-5, Chuo, Kobe 651-0088, Japan.

1984) や各観測点で P (S) 波初動到達時刻を検測できた地震の最小マグニチュードを震央距離の関数として求める方法 (長宗・他, 1969) がある。これらの方法は検知能力の現状を良く表現できるものの、地震活動が低い領域や将来観測網を増強しようとする地域の検知能力を調べることは向かない。後者は、経験的に導かれる地震波最大振幅が観測点のグラウンドノイズレベルより大きい場合に P (S) 波初動到達時刻が検測でき、検測値が定数個以上ある時に震源を決定できるものと考え、震源決定される地震の最小マグニチュードを求める方法である (例えば、市川; 1978, 山内・高山, 1987)。この方法は、検測値の最小個数などを仮定する必要があるが、仮定によって結果は異なる場合があるが、地震活動度が低い領域を含む解析領域全域の検知能力を推定することができる。本稿では、九州南部-南西諸島北部域全域での検知能力の評価を目的としているので、後者の方法を採用する。

2. テレメータ地震観測点の整備状況

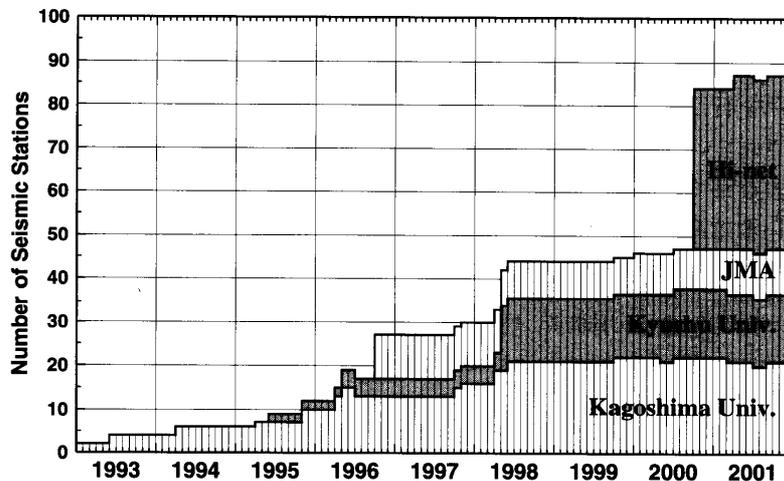
鹿児島大学理学部地学科 (現在の地球環境科学科) が運用していた桜島と長屋山 (大浦町) のテレメータ地震観測点は、1991年に NOEV が設立されるとともに観測所に引き継がれ、その後しばらくの間は現地での記録収録方式の観測点データとともに研究に用いられていた。1993年になると新たに 2ヶ所のテレメータ観測点があり、1994年には更に 2ヶ所が加わり、計 6 テレメータ観測点の観測網ができ、ようやくリアルタイムで地震活動が見られるようになった。テレメータ地震観測点はその後も増え続け、1998年 6月以降は約 20点となっている。また、

他機関とデータ交換を行なっているテレメータ観測点も徐々に増加している。1995年 6月には九州大学との間で隣接地域にある観測点からデータ交換を試験的に開始し、1998年 5月以降は 15点の九州中北部の観測点データが鹿児島大学に伝送されるようになってきている。気象庁との間では 1996年 10月からデータ交換を始め、主に南西諸島域の観測点のデータが鹿児島大学に送られてきている。さらに、2000年 10月に高感度地震観測網 Hi-net (Obara et al., 2000) の主に九州中南部の観測点に加わり、鹿児島大学でデータが収録されているテレメータ観測点は一挙に倍増した。本稿では、現地記録収録方式の観測点は除き、テレメータ観測によってリアルタイムで得られるデータに基づく検知能力を調べる。第 1 図にテレメータ観測点数の時間推移を示す。

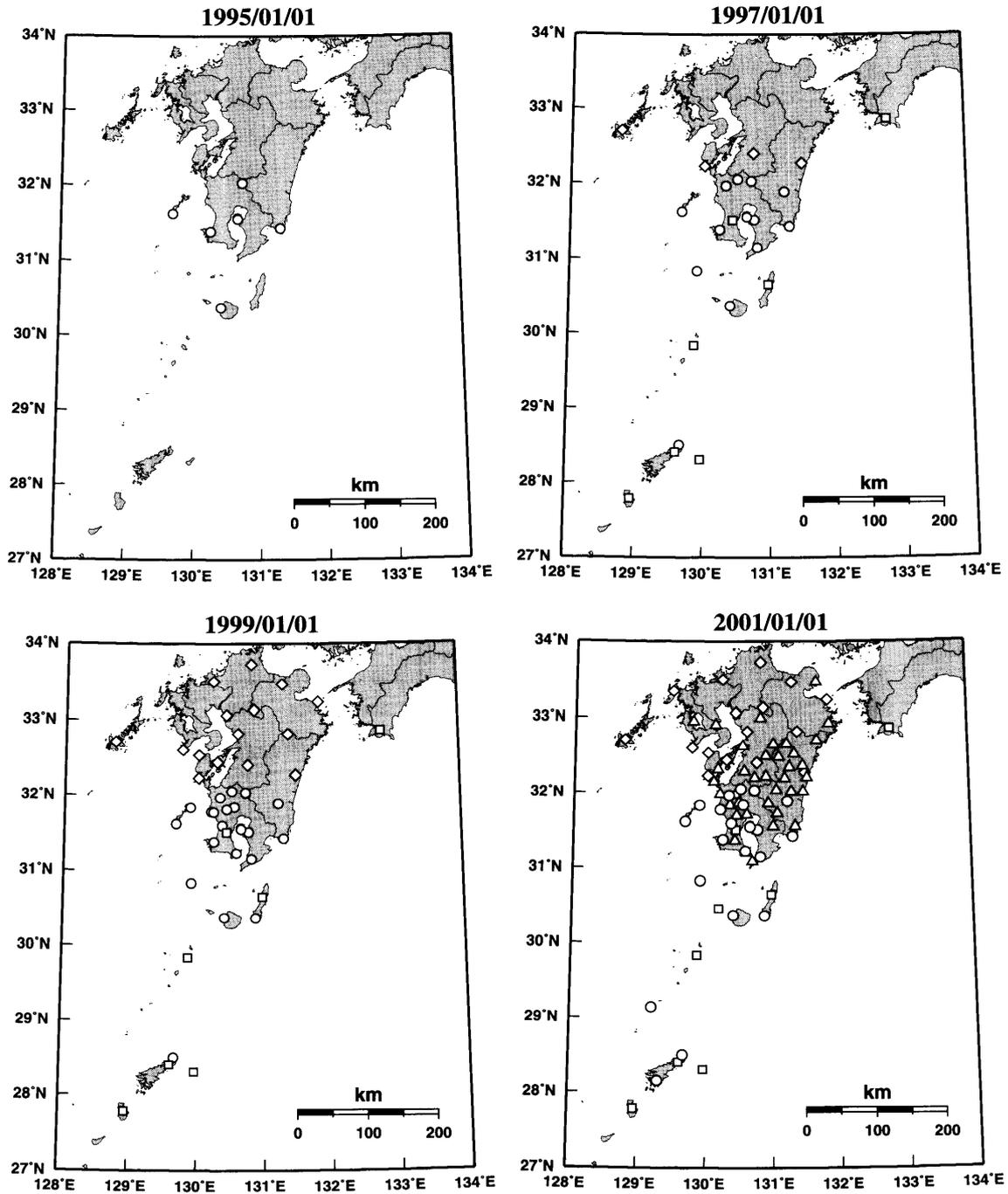
第 2 図に 1995年 1月 1日から 2年ごとのテレメータ観測点の配置を示す。地震観測点は年々増加し、特に九州南部では 2000年 10月に Hi-net の観測点があったことによりかなり稠密な観測網になっていることがわかる。一方、南西諸島北部域では 1996年 10月に鹿児島大学の既設の臨時テレメータ観測点に気象庁の観測点があったが、その後は 1999年後半に 2ヶ所の臨時テレメータ観測点 (奄美大島瀬戸内町と宝島) が増設されたのみであり、この領域の観測体制は 1996年 10月以降あまり変化していない。その結果、現在では九州南部域と南西諸島北部域の地震観測点の整備状況に大きな差ができています。

3. グラウンドノイズレベルの測定

経験的に導かれる地震波の最大振幅から地震検知能力を評価するためには、まず各地震観測点でのグラウンドノ



第 1 図 鹿児島大学に観測データがテレメータ伝送されている地震観測点数の時間推移。



第2図 鹿児島大学に観測データがテレメータ伝送されている地震観測点の配置。1995年1月1日から2年毎に示されている。○印は鹿児島大学、◇印は九州大学、□印は気象庁、△印はHi-netの観測点である。なお、図の範囲外に位置する数点の観測点は省略されている。

イズレベルを求めておかなければならない。

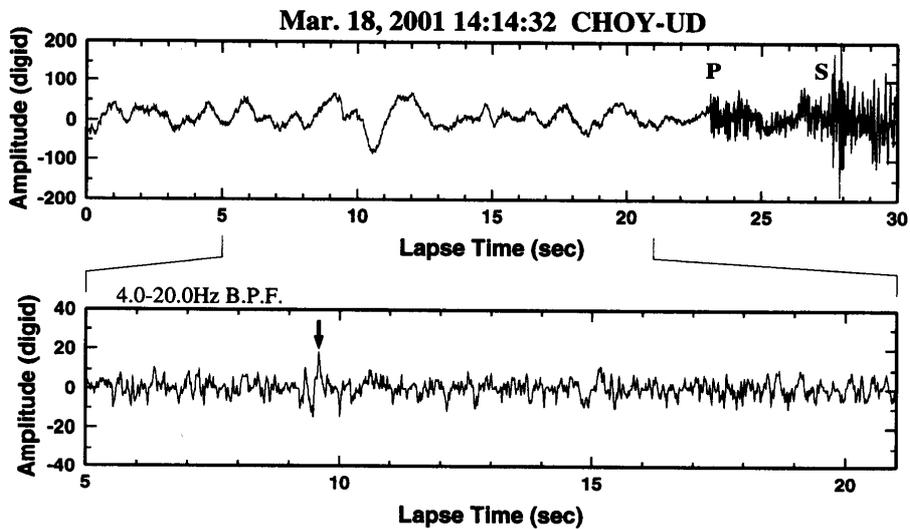
NOEVで収録されている各観測点のデータの多くは、固有周波数が1Hzの地震計で観測されたもので、サンプリング周波数100HzでAD変換される際に25Hzのローパスフィルターを通したものである。観測された記録の一例を第3図に示す。本稿では観測される最小マグニチュー

ドの地震が対象であり、それらの地震の記象は、図に見られるように、かなり短周期の波である。一方、図の地震記象の前に見られるグラウンドノイズは、地震記象と同程度の周期の波のほかに、それらより長周期の波（主に脈動）を多く含んでいる。これらの長周期の波は、地震記象からP(S)波の初動到達時刻を検測する際の障害に

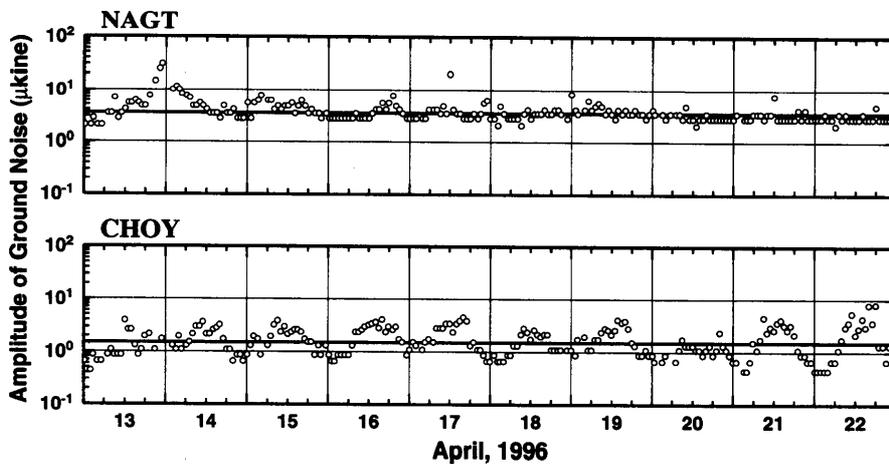
はあまりならない。本稿では、観測されたすべての周期を含むグラウンドノイズではなく、地震波の初動検測の障害になると考えられる周波数4~20Hzのグラウンドノイズの振幅をグラウンドノイズレベルとする。測定は、地震波や明らかな人為的ノイズあるいは電氣的ノイズが混入していない16秒間の4~20Hzのバンドパスフィルターを通した波形の最大振幅（第3図下図の矢印）をその時点のグラウンドノイズレベルとして行った。

グラウンドノイズレベルの測定は、1996年と2000年のデータについて行った。グラウンドノイズは、人間活動に起因

するものと自然現象に起因するものがあり、日変化あるいは年変化をしていることが考えられる。そこで、日変化の様子を知るために、1996年4月の1ヶ月間について毎正時のグラウンドノイズレベルの測定を全観測点について行った。NAGT（屋久島永田）とCHOY（長屋山）観測点の1996年4月13日~22日の結果を第4図に示す。NAGTのグラウンドノイズレベルには日変化は見られないものの、CHOYでは明瞭な日変化が認められる。調べた多くの観測点でも、振幅に違いはあるものの、CHOYと同様の日変化を示している。しかし、グラン



第3図 グラウンドノイズレベルの測定例。上図：地震波を含んだ観測波形。PとSはP相とS相の到達を示している。下図：地震波を含まない16秒間について4~20Hzのバンドパスフィルターを通した波形。この波形の最大振幅（矢印）をグラウンドノイズレベルとしている。

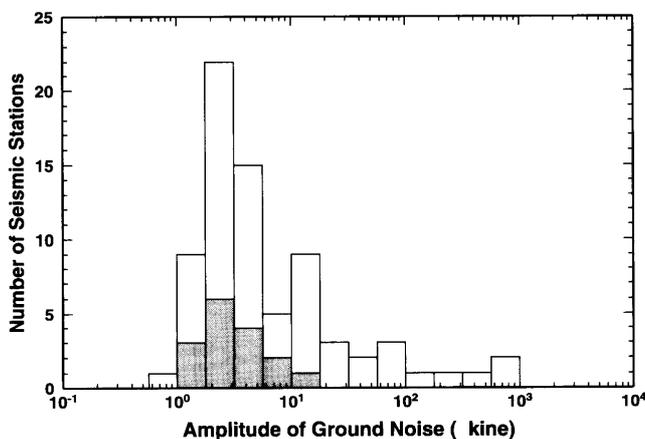


第4図 NAGT（屋久島永田）とCHOY（長屋山）観測点での1996年4月13日~22日の毎正時のグラウンドノイズレベル（○）と1996年1年間のデータから求められたグラウンドノイズレベルの平均値（太線）。

ドノイズレベルの日変化を地震検知能力の評価に反映させることは困難である。そこで、検知能力の評価では各観測点の平均的なグラウンドノイズレベルを用いることとし、以下の方法で求めた。まず、毎日の0時から4時間毎に測定した6個の値の平均値をその日の平均的なグラウンドノイズレベルとする。次に、この方法で1996年1年間の毎日の平均的なグラウンドノイズレベルの測定値の平均をその観測点の平均的なグラウンドノイズレベルとした。第4図の太線はこのようにして求めたものであり、推定した平均的なグラウンドノイズレベルが妥当なものであることがわかる。なお、1996年1年間の毎日の平均的なグラウンドノイズレベルの年変化は、調べたすべての観測点でほとんど認められなかった。これは、今回の測定が4~20Hzのバンドパスフィルターを通したデータについて行っているため、特に脈動の変化の影響をあまり受けなかったためと考えられる。ただし、気象条件(風など)によっては、第4図のNAGTで4月13日~14日に見られるように、短期的にグラウンドノイズが大きくなることはあった。

1996年のデータの測定から、数週間1日6回のグラウンドノイズレベル測定値の平均を観測点の平均的なグラウンドノイズレベルとみなしても実用上問題がないことがわかったので、2000年のデータについては、2000年11月の3週間1日6回、その時点で稼動している全観測点についてグラウンドノイズレベルの測定を行った。1996年の測定時と重複している観測点について、1996年と2000年のグラウンドノイズレベルを比較すると差はほとんど認められず、この間の地震観測環境の変化は大きくなかったものと考えられる。

第5図は、グラウンドノイズレベルの度数分布である。影をかけた分布が鹿児島大学の観測点、白抜きは他機関



第5図 グラウンドノイズレベルの度数分布。影かけは鹿児島大学の観測点、白抜きは他機関の観測点である。

の観測点を示している。多くの観測点でグラウンドノイズレベルは20 μ kine以下であり、数10 μ kineを超えるものは主に南西諸島域の離島の観測点である。

4. 地震検知能力の推定方法

微小地震のマグニチュードを決める時には、

$$0.85M - 2.50 = \log A + 1.73 \log r, \quad (1)$$

(渡辺, 1971)が多く用いられる。ここで、 M はマグニチュード、 A は最大速度振幅(μ kine)、 r は震源距離(km)である。(1)式から得られる最大振幅が観測点でのグラウンドノイズレベルより大きい場合には、その観測点でP(S)波の初動到達時刻の検測が可能である。そして、P(S)波初動到達時刻を検測できた観測点が3(または4)点以上あると、原理的には震源は決定できることになる。

しかし、現実には地震波の振幅がグラウンドノイズレベルをわずかに超える程度では初動到達時刻の検測は難しい。そこで、本稿では(1)式で推定される最大振幅がグラウンドノイズレベルの k 倍以上の場合にP波とS波の初動到達時刻が検測でき、そのような観測点が4点以上ある時に震源を決定できるものと仮定した。このようにして震源決定される地震の最小マグニチュードが検知能力である。 k の値は、以下のように実際の地震データを用いて推定した。

1997年鹿児島県北西部地震の余震域・阿久根市沖・日向灘・種子島・種子島東方沖・薩摩半島南部の深さ160 km付近は、いずれも地震活動が活発な領域である(第6図)。これらの領域では地震数が多く、信頼性の高い規模別頻度分布を得ることができる。この分布は、

$$\log N = a - bM, \quad (2)$$

の関係であることが知られている。ただし、 N は(積算)地震発生数、 a と b は定数である。規模別頻度分布では、あるマグニチュード以下になると観測される地震数は(2)式から期待される数より少なくなる。このマグニチュードがその領域で観測できる最小規模、検知能力である。そこで、上述の6領域において(2)式から得られる検知能力と測定されたグラウンドノイズレベルおよび(1)式で得られる最大振幅から推定される検知能力が一致するように k の値は13とした。

5. 地震検知能力の時間推移

NOEVで震源決定されている地震の震央分布(第6図)を見ると、九州南部域の主な活動域としては内陸部

から西方海域にかけての深さ15km程度より浅い活動、日向灘から種子島東方沖にかけての深さ20km~60kmの活動、および薩摩半島南部下の深さ160km前後の稍深発地震活動があげられる。そこで、検知能力は、深さ7km, 30km, 160kmについて調べた。第7~9図にそれぞれの深さでの1995年1月1日から2年毎の検知能力を示す。いずれの場合も、検知能力は観測点の増加に従い年々高くなっていることが分かる。第10図は、NOEVで震源決定された地震数の推移を示したものである。1995年には6,000個程度であったが、1997年と1998年を除くと地震数は徐々に増加し、2001年には21,000個を超えており、検知能力が向上したことに対応している。なお、1997年と1998年の地震数の増加は1997年鹿児島県北西部地震(M6.5とM6.3)の余震活動に依るものである。

深さ7kmの地震検知能力(第7図)は、1995年には九州南部の一部でM2.0を下回る地震の震源が求められる程度であったが、2001年には九州南部のほぼ全域でM1.0を下回る地震まで震源決定されるようになったことを示している。例えば、鹿児島県北西部域では1995年の検知能力はM2.0であるが、2001年にはM0.5程度となっている。このことは、この領域に震源決定される地震数がおよそ30倍になっていることに相当する。九州南部の観測点数は2000年10月に飛躍的に増えており(第1図, 第2図)、このことに伴い内陸部の検知能力は高まっている。しかし、M1.5の検知能力を示す領域の広さは1999年と2001年で大差ない。これは、領域内の観測点密度が大きくなったものの、観測網の拡がりに変化がないことに依っている。周辺部の地震検知能力を高めるためには、周辺海域あるいは離島に地震観測点を新設する必要があることを示している。南西諸島北部域では1996年10月以降地震観測点がほとんど増えていないため、地震検知能力の変化は小さく、九州南部域との差が顕著になっている。

深さ30kmでの地震検知能力の変化の特徴は、深さ7kmの場合とほぼ同じである(第8図)。深さ160kmでは、1997年以降の検知能力は解析領域全域であまり大きくは変化していない(第9図)。このことは、第10図の深さ60km以深の地震発生数が1996年以降ほとんど変化していないことと対応している。観測点が密になった2001年の観測網の中心部での検知能力はM2.0を下回る程度で、1999年とほとんど同じである。すなわち、2000年10月の観測点の稠密化(第1図, 第2図)は検知能力の変化にあまり影響しておらず、この領域の深さ160kmの地震の検知能力は限界に近いことを示している。ただし、観測点のグランドノイズが現状より大幅に

改善される(例えば大深度地震観測点)ならば、この限りではない。

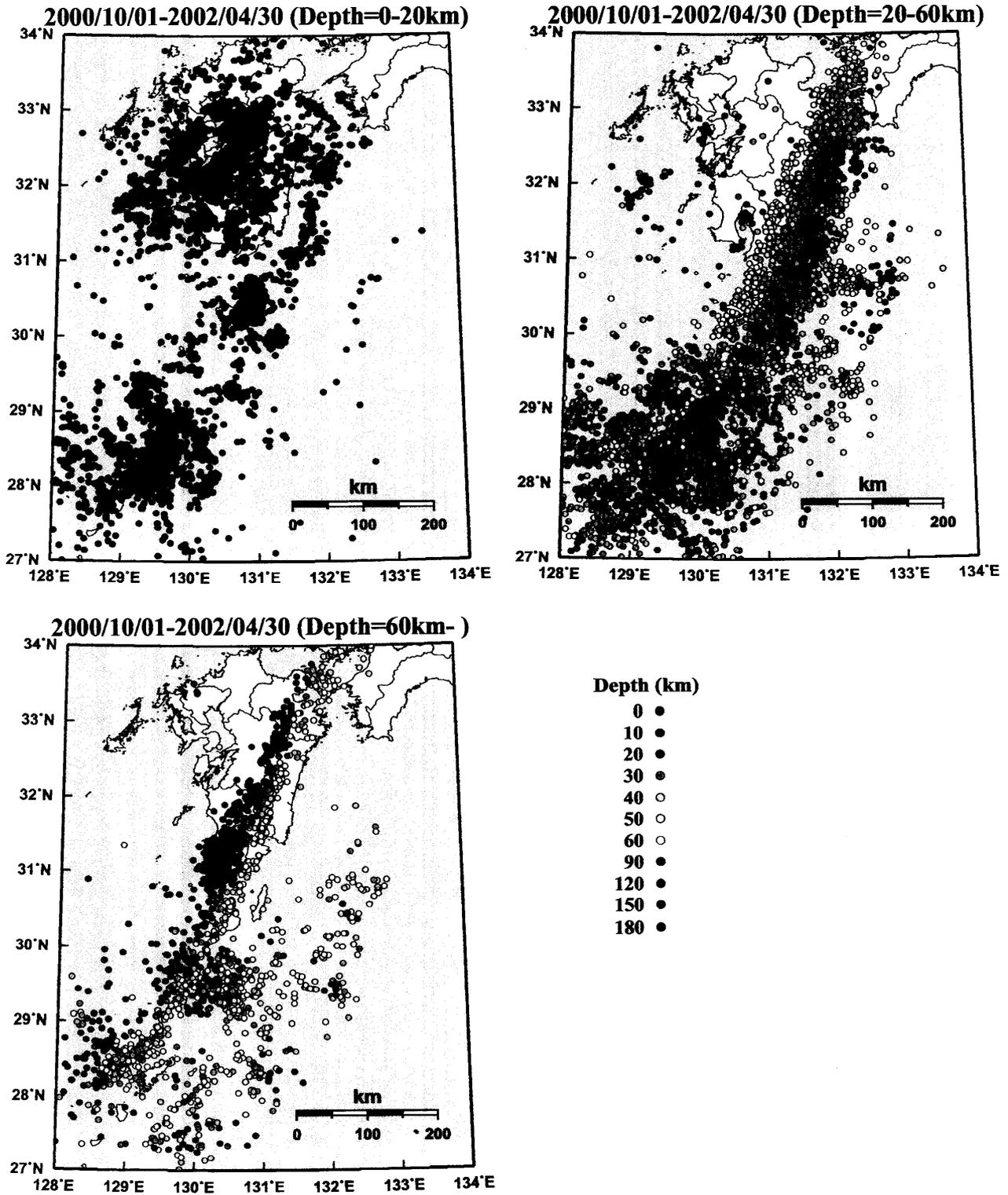
6. おわりに

本稿ではNOEVが震源決定した九州南部一南西諸島北部域に発生する地震の検知能力の推移と現状を示した。第4図のCHOYに見られるように、多くの観測点でグランドノイズレベルは日変化をしており、検知能力も昼間と夜では異なっているはずである。また、日々の気象条件などに依っても、検知能力は変化しているものと考えた方がよい。第7~9図は平均的な地震検知能力の分布であり、時々刻々変化する検知能力を表すものではないが、地震活動の時空間変化を調査する場合などに有用である。また、現在の地震観測網の欠点を明示しており、将来の地震観測点の増設を効率的に行なう際の参考資料となる。

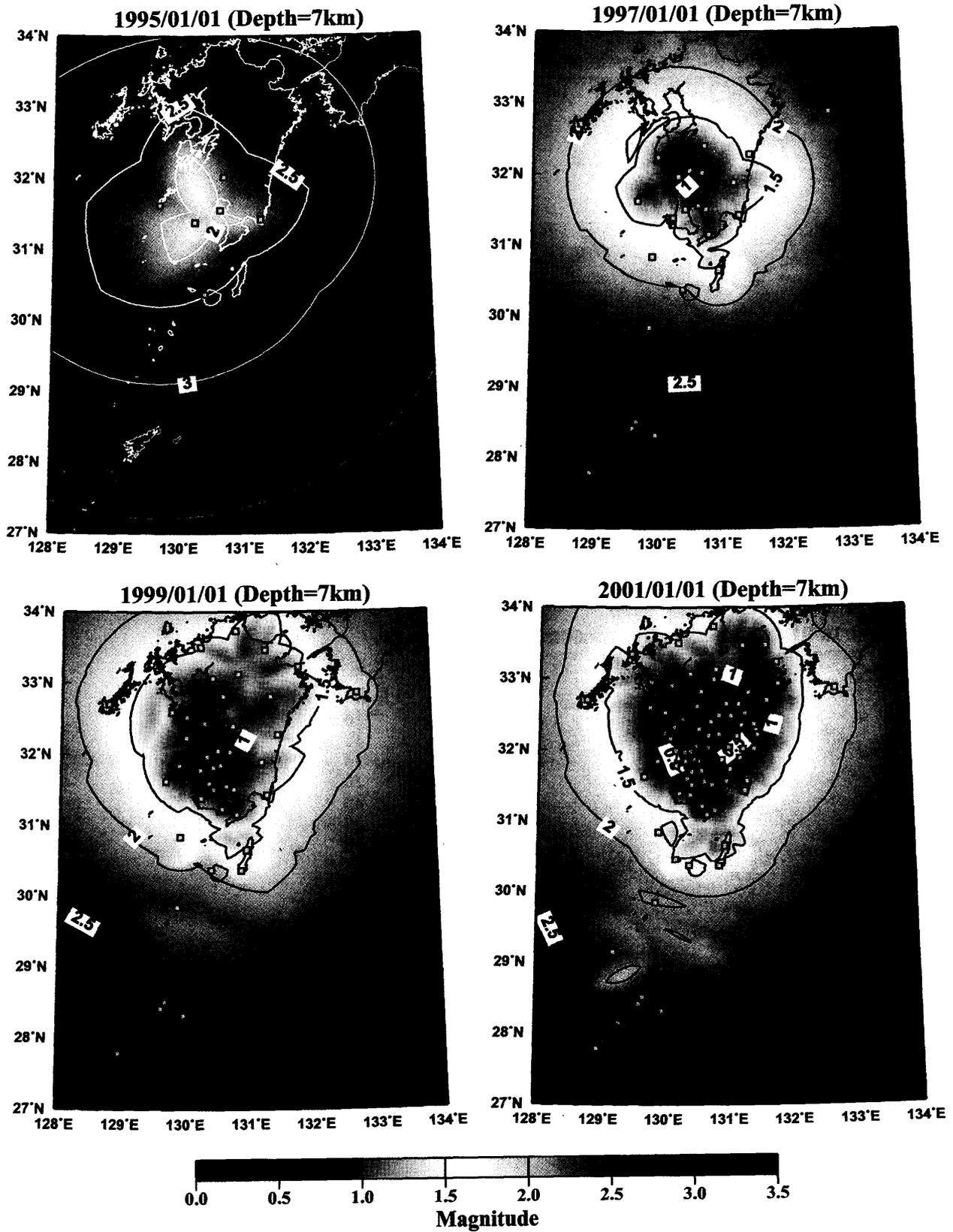
九州南部の地震観測点の整備は日本全国と比較して大幅に遅れていたが、ここ7年程度でほぼ全国並となってきており、詳細な地震活動に関する研究も可能になってきつつある(例えば、角田・後藤, 2002)。一方、南西諸島北部域は依然として観測網の貧弱な状況が続いており、地震検知能力は九州南部に比べて極端に低くなっている(第7~9図)。奄美大島周辺域は、第6図に見られるように地震活動は活発である。さらに、この領域では1911年にはM8.0の巨大地震が発生しており、この領域の地震観測体制を早急に強化すべきである。

本稿で示した地震検知能力は、P(S)波初動到達時刻を検測できる観測点が4ヶ所以上であると仮定して推定されたものである。しかし、原理的には3ヶ所の観測点で4個以上のP(S)波初動到達時刻が検測できている場合には震源を決定することができる。NOEVでは、奄美大島周辺域およびトカラ列島域に発生する地震については3観測点でも震源を決定している(九州南部域では原則として4観測点以上)。すなわち、この領域の現状の検知能力は、第7~9図に示したものよりは高くなっているものと考えられる。ただし、震源決定に用いる観測点を3点で良いとしていることにより、震源決定された地震には震源精度の悪い地震も含まれることになる。第6図の深さ20km以深のトカラ列島一奄美大島域の震央分布が、九州南部域に比べてばらばらついているように見えるのは、震源精度の悪い地震が含まれているためであると考えられる。

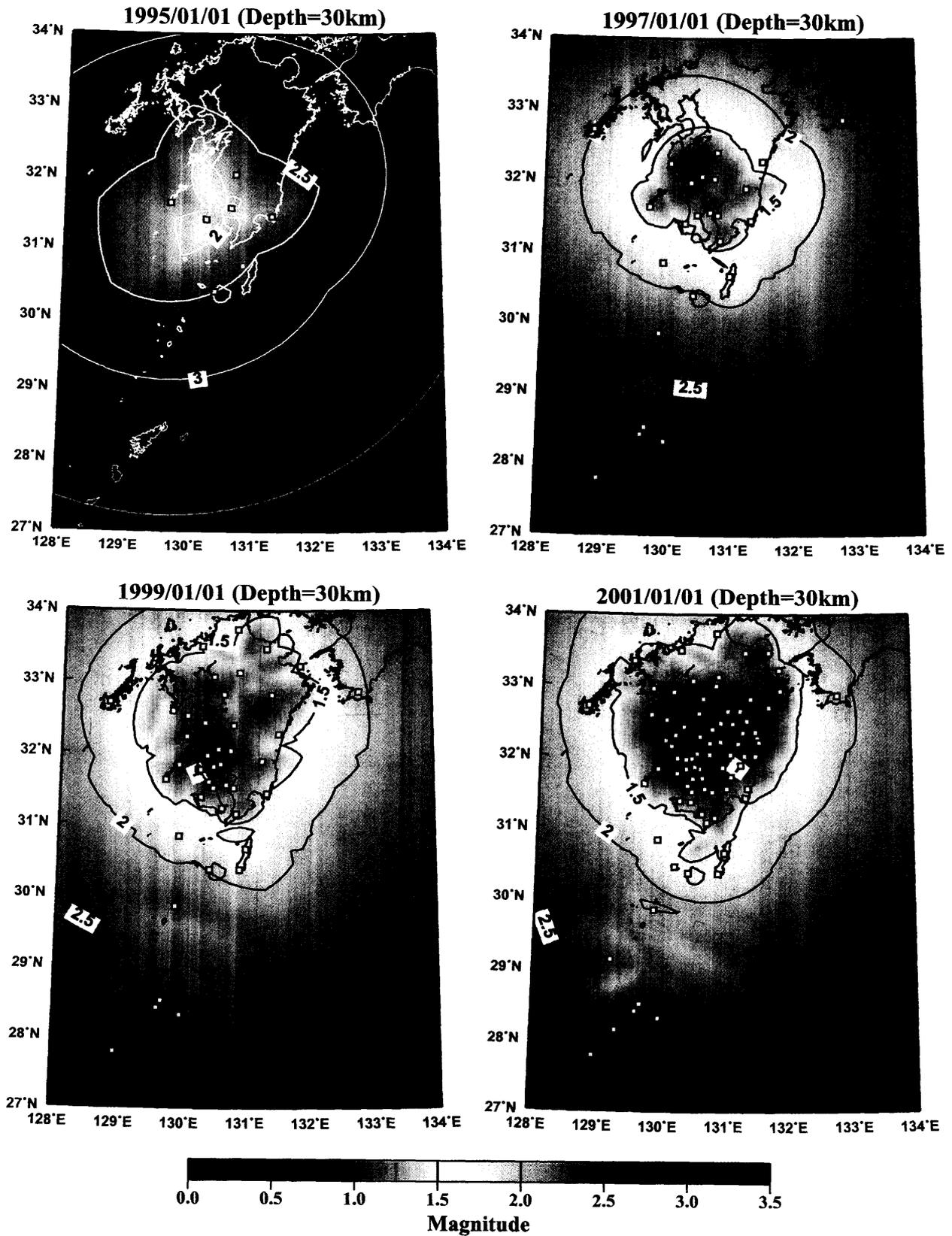
地震の検知能力は地震観測網の能力の一側面であり、如何に小さな地震まで震源決定できるかと同時に、決定



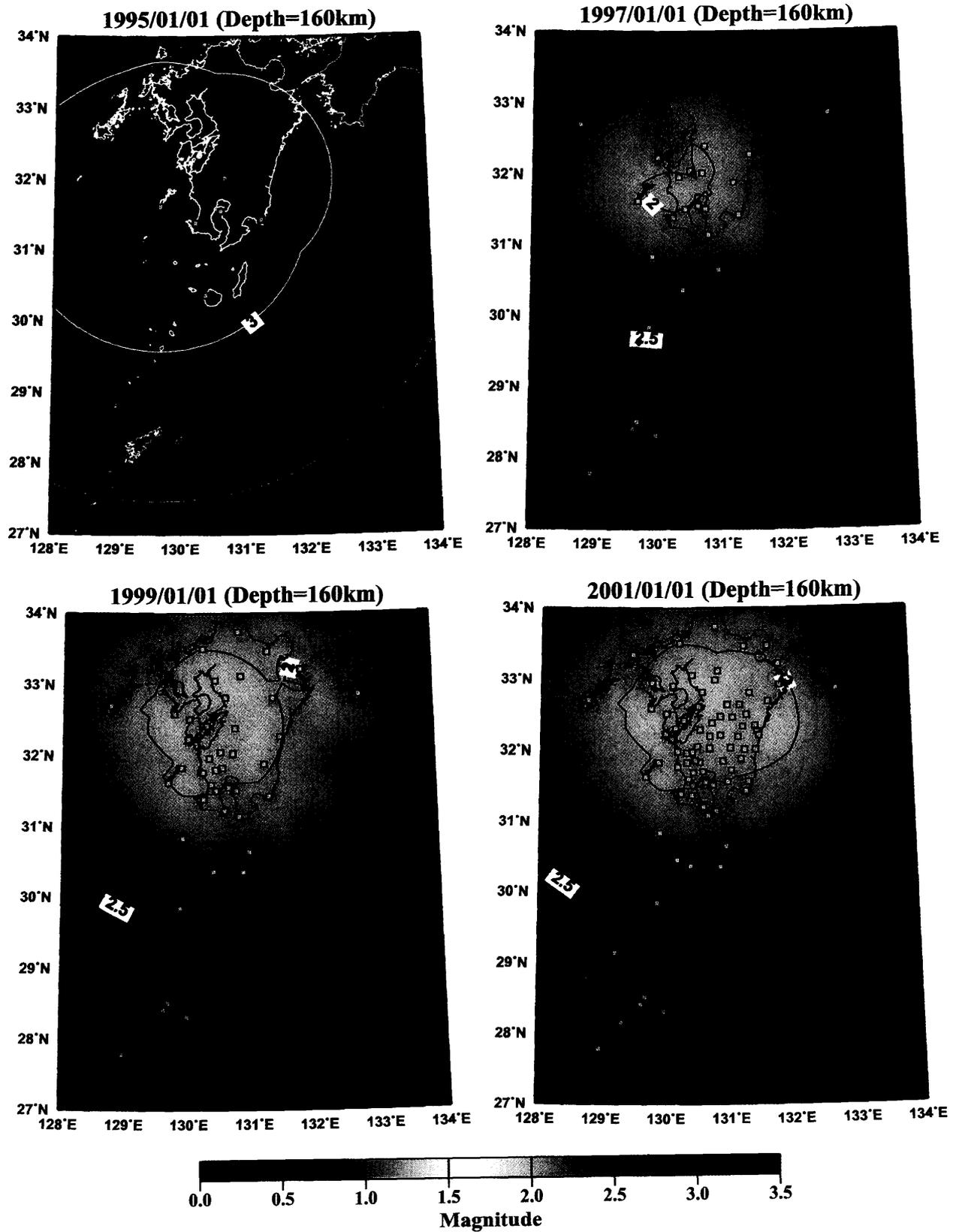
第6図 NOEVで震源決定された地震の震央分布(2000年10月~2002年4月)。左上:深さ0~20kmの地震。右上:深さ20~60kmの地震。左下:60km以深の地震。



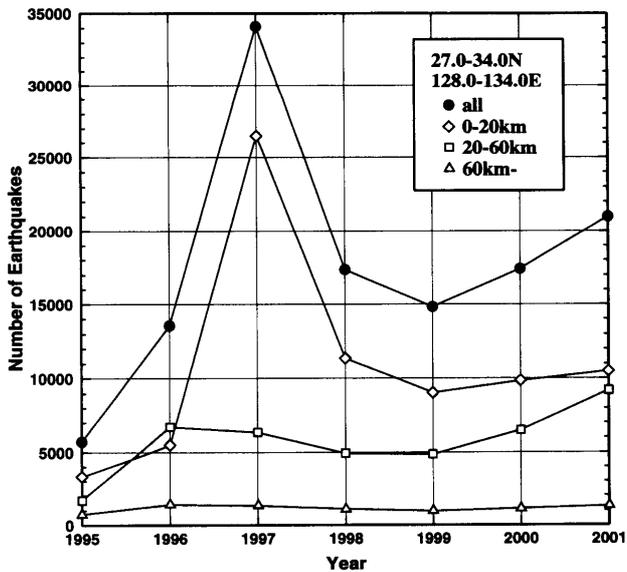
第7図 深さ7kmの地震の検知能力。1995年1月1日から2年毎に示されている。図中の数値はマグニチュードであり、等値線は0.5間隔で描かれている。□印は地震観測点である。



第8図 深さ30kmの地震の検知能力。1995年1月1日から2年毎に示されている。図中の数値はマグニチュードであり、等値線は0.5間隔で描かれている。□印は地震観測点である。



第9図 深さ160kmの地震の検知能力。1995年1月1日から2年毎に示されている。図中の数値はマグニチュードであり、等値線は0.5間隔で描かれている。□印は地震観測点である。



第10図 NOEVで北緯27～34度，東経128～134度の範囲に震源決定された地震数の時間推移。●印はすべての地震，◇印は深さ0～20kmの地震，□印は深さ20～60kmの地震，△印は60km以深の地震である。

された震源の精度がどの程度であるかを吟味することも重要である。震源決定精度については次稿で述べる予定である。

本稿の図の作成においては，Generic Mapping Tools (Wessel and Smith, 1995) を利用した。

参考文献

- 市川政治，1978，気象庁新地震観測網の震源決定能力，*験震時報*，**42**，55-60。
- 角田寿喜・後藤和彦，2002，九州－南西諸島北部の地震活動とテクトニクス，*地震2*（投稿中）。
- 望月英志・小林悦夫・岸尾政弘，1978，1965年～1974年の気象庁の震源検知能力，*験震時報*，**42**，23-30。
- 長宗留男・横山泰孝・須賀盛典，1969，旭川および根室で観測される小地震・検知能力・マグニチュード（M）の決定，*験震時報*，**32**，103-115。
- Obara, K., S. Hori, K. Kasahara, Y. Okada, and S. Aoi, 2000, Hi-net: High sensitivity seismograph network in Japan, *Eos*, **81** (fall suppl.), 863.
- 渡辺晃，1971，近地震のマグニチュード，*地震2*，**24**，189-200。
- Wessel, P., and W. H. F. Smith, 1995, New version of the generic mapping tools (GMT) version 3.0 released, *Eos Trans.*, AGU, **76**, 329.
- 山内義敬・高山博之，1987，札幌管区気象台地震波形テレメータシステム整備による地震検知能力の変化について，*験震時報*，**51**，35-45。
- 横山博文，1984，最近の気象庁地震観測網の震源決定能力，*験震時報*，**49**，53-65。