

阪神・淡路大震災—防災研究への取り組み—
地震予知
—求められる大学の役割—

住友則彦

1. はじめに

私の学生時代、1950年代末ではまだ「地震予知」という言葉は学会ではタブーであった。その後、坪井、和達、萩原等による「地震予知—現状とその推進」の提言や、本学では佐々、西村らの努力で、地震予知研究が学会でも市民権を得て、第1次地震予知研究計画がスタートしたのが1965年である。以来、第2次計画からは「研究」の二文字がはずされたものの、今日まで30年間、国家計画として続けられてきた。しかるに、今また30年ぶりに、「予知」と言う言葉は、少なくとも行政レベルではタブーになりつつあるようである。

1996年の現在は第7次地震予知計画の3年目に当たるが、予知計画発足以来32年目を迎えている。この間には伊豆半島沖地震 (M6.9, 1974)、宮城県沖地震 (M7.4, 1978)、伊豆大島近海沖地震 (M7.0, 1978)、日本海中部地震 (M7.7, 1983)、長野県西部地震 (M6.8, 1984) 等、そして最近では北海道南西沖地震 (M7.8, 1993)、北海道東方沖地震 (M8.2, 1994)、三陸はるか沖地震 (M7.5, 1984) 等多大の被害を伴った地震は枚挙にいとまがない。そして、1995年1月の兵庫県南部地震 (M7.2) が発生し、6500人を上回る犠牲者を始め、ビル、家屋、自動車道橋脚等の倒壊や火災を含む最悪の都市型災害となった。予知に向けられてきた努力は結果的には何等の効力を発揮するには至らなかった。

1995年6月には、「地震防災対策特別措置法」が制定された。法の理念は、一般的には地震予知は当分難しいので、今後は全国的な地震の調査研究を主とした防災対策に重点を置くという事である。国としてはやむを得ない選択とも考えられるが、この法に大学も縛られる事は、地震予知の研究が後退する恐れがあり、気がかりである。

1976年頃、例の東海地方で、明日地震が起きてもおかしくないと言う、いわゆる東海地震説が出され、地震予知連絡会がそれを支持したこともあって、1978年に「大規模地震対策特別措置法」が制定された。この法律は結果的には好むと好まざるとに関わらず、大学を実践的予知計画に組み入れた。地震観測網が拡大し、業務的色彩が強くなっていった。今度は、その一層強化につながるのではないかと危ぶまれている。地震予知計画は国家挙げての事業であるから、大学における通常の研究とは異なる事は否定できない。しかし、社会的要請を第一義と考え、業務的色彩の濃い観測中心主義に傾くことは避けなければならない。かといって観測は全て国の機関に任せてしまう事が最善とも思えない。地震予知の研究はまだ観測とは切り放せない部分が多数有ると思われる。地域を絞った、大学しかやれない研究的観測を充実させる必要がある。

今回の法律では、第7条に総理府に「地震調査研究推進本部」を置くことあり、その第4項に、地震に関する観測、測量、調査または研究を行う関係行政機関、大学等の調査結果を収集し、整理し、及び分析し、並びにこれに基づき総合的な評価を行うとなっている。この法律に基づき、科学技術庁に「地震調査推進本部」が設置され、この下に「政策委員会」と「調査委員会」が設けられ、地震の調査を全国的にやることになっている。また、あらゆるデータはすべて気象庁へ集中されることになった。

このような状況の下で、大学は今後どのようなビジョンを持って研究を進めるのか、大学の果たす役割は何か、何を目指すべきか、まさにこれが問われている。もし、我々が何等の展望も示し得ない場合は、大学は単にデータを提供するだけの一機関になる恐れがある。今回行政が選択した道が最善とは言いがたく、今こ

そ地震予知実現に向けて、長期計画を立てるべき時期にたち至っている。かかる時に大学の役割を述べることは、もとより筆者一人の手に負える問題ではない。衆知を早急に集めるべきであろう。ここでは、極めて個人的な立場で私見を述べることをお許し願いたい。

1992年、岸本兆方は本学を退官するにあたり、「地震予知計画とともに」¹⁾を本誌に寄稿している。本稿をまとめるに当たり、地震予知画の経緯等を含め岸本によってまとめられたり、指摘されたり、提言された事柄を参考にしたところが多い。

2. 兵庫県南部地震を振り返って

さて、大急ぎで兵庫県南部地震とはどのような地震であったかを簡単に振り返っておく。西南日本の上部地殻の広域に卓越している東西圧縮場の中で、今回の地震は、明石海峡下約10 km で典型的な右横ずれの断層運動に伴って発生した。マグニチュードは7.2と内陸活断層の地震としては標準的な大きさであった。(Fig 1)²⁾しかし、地表に現れた地震断層は僅かに、淡路島の野島断層に沿った約10 km 程度だけで、神戸市側では明確に活動した断層は地表に現れなかった。余震域の広がりからは全体として約40 km 程度が見込まれている。

本震直後からの余震活動は、今日まで順調に改良大森公式に従って減少を続けている。震源域での本震以降の余震の累積数を示すと Fig. 2 の様になる。しかし、いわゆる最大余震として予測されているM 6 程度の余震はまだ発生していない。また、今回の地震に関連して、丹波帯広くにわたって微小地震活動が活発に

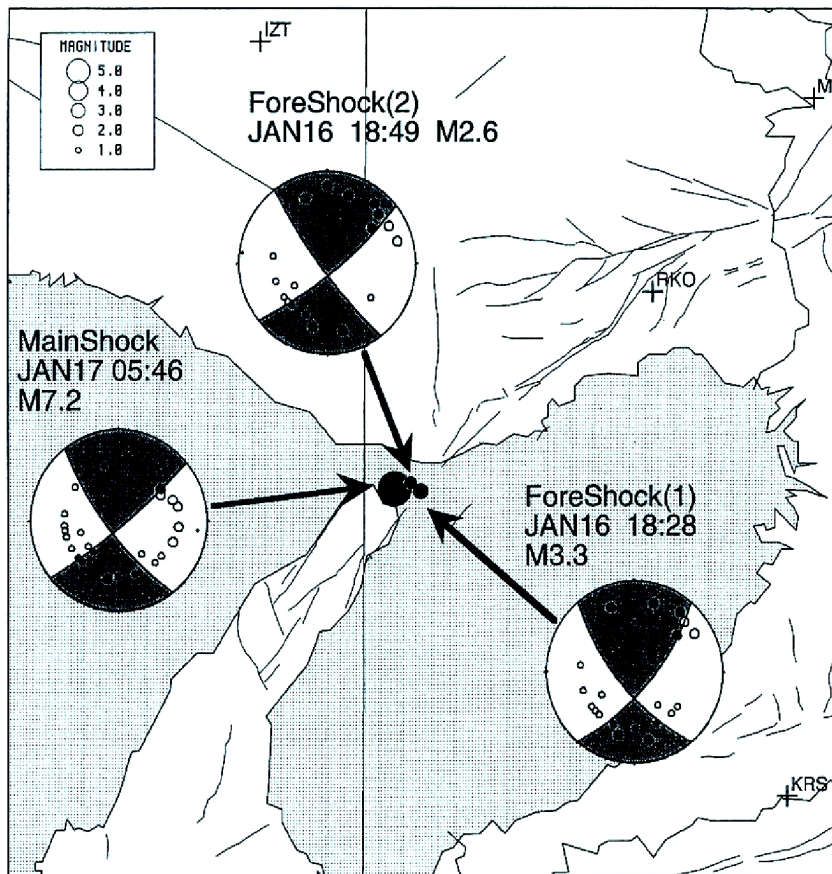


Fig. 1. Locations of the main shock and the fore shocks of Hyogoken-nanbu earthquake and their source mechanisms

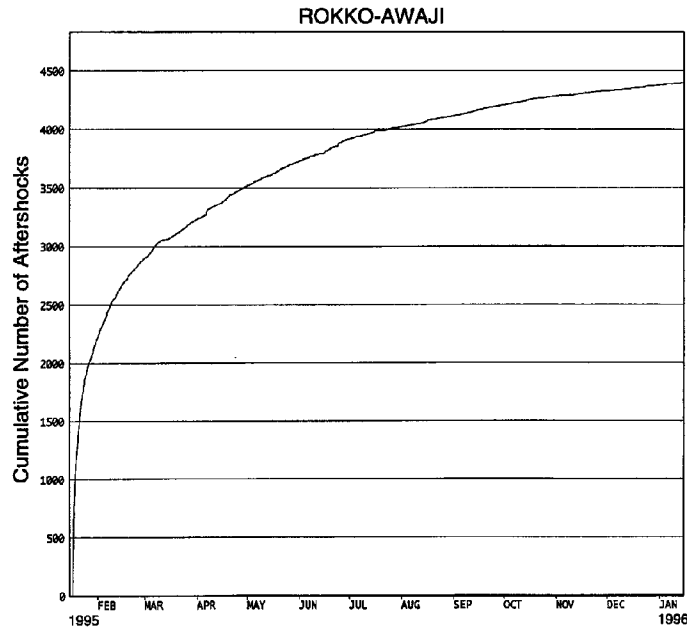


Fig. 2. Cumulative number of after shocks in Rokko and Awaji areas.

なったことは注目すべき現象で、山崎断層や花折断層でも微小地震は一時急増した。(Fig. 3)³⁾ 丹波帯を含む近畿中北部の地殻内部の応力均衡が崩れた可能性がある。今後も誘発地震の発生が懸念されている。Fig. 4 は、余震活動の一例である。これは、昨年12月20日から今年1月4日までの余震活動である。地震予知研究センターではこのような地震情報を提供するソフトを開発し、地域の要請もあって幾つかの自治体の防災関連機関へリアルタイムで伝送している。

そもそも、近畿中北部地方は長期（少なくとも数十万年以上）にわたる東西圧縮力の場の下で、地殻の一边が数十kmのブロック化が進んで来ており、これらブロック境界で逆断層や横ずれ断層が多数確認されている。しかも、多くの場合これら活断層に沿って常時、多数の微小地震活動が観測されている。過去にさかのぼれば、活断層に起因すると思われる中・大の被害地震が多数発生している。今回は六甲断層系の一つが活動したことは確実であるが、一般には歴史地震と活断層との対応は明らかではない。京都における最も近い被害地震は1830年(M6.1)であるが、どの断層の活動であったかは必ずしも明らかではない。これに関しては三木による詳しい研究⁴⁾がある。つい最近になって、1596年の慶長伏見地震は、実は有馬一高構造線の活動によることが確認された。

活断層に沿う微小地震は多いが、中位の地震の発生頻度はそれほど高くはない。丹波帯やその周辺の地震でごく最近の中地震をあげると、1968年の和知地震(M6.5)、1984年の山崎断層でのM5.6の地震等が挙げられる。丹波帯の過去20年間の観測からM1-2以上の微小地震の平均的発生回数は1260回/年である。また、地震の規模別頻度分布を特徴づける、いわゆるb値は渡辺⁵⁾によると、丹波帯ではおよそ0.9であるから、これより推定される、M6級以上の発生頻度は1回/25年、M7級以上は1回/200年である。実際にM7を越える地震は丹波帯および周辺では約400年前の慶長伏見の大地震と寛文年間の琵琶湖北西部の地震が最後であった(1819, 1854年にM7.2が近江・伊勢と伊賀・伊勢に起きているが、これは考えている領域外としてここでは統計に含めなかった)。従って今回のM7.2の地震は統計的には十分あり得る地震であった。先に述べたように、近畿地方に見られる多くの活断層を考えると、今回の地震は起こるべくして起きた地震と考えられる。にもかかわらず、最後まで発生場所や時期の同定が出来なかったところは、かえすがえすも残念である。

さて、この地震について、地震後色々判明したことの概略を述べておこう。これらの殆どは地震予知研

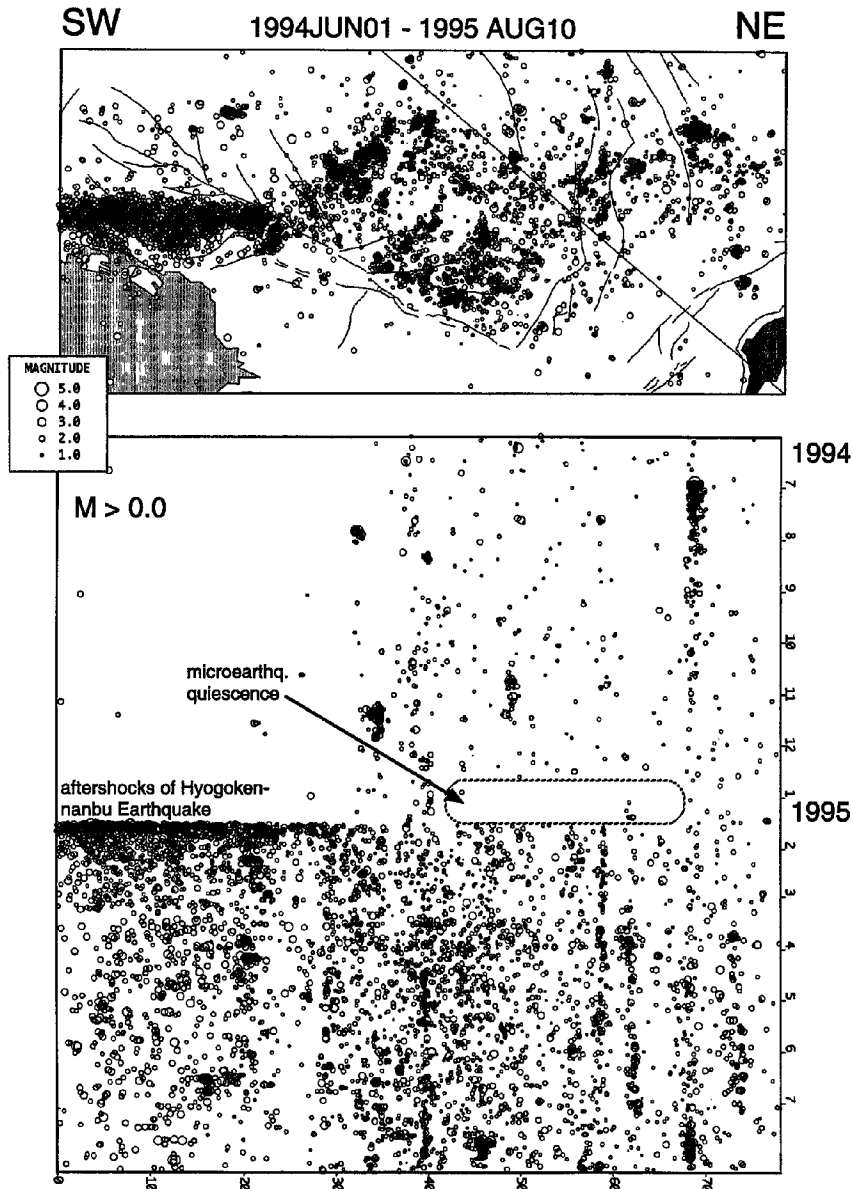


Fig. 3. Distribution of microearthquakes in time and space in Hokusetsu and Tanba areas, central Kinki district, including the northern part of the source region. Induced microearthquakes became active just after the main shock around areas neighbouring with the source region.

究センターの観測結果に基づいてまとめられたものである。まず、地震活動に関しては数年以上も前から、丹波帯は異常であった、数カ月前からさらに異常であったこと等が渡辺によって明らかにされている。詳細を述べる場ではないので、異常と思えた点のみを列挙しておく。

イ) 丹波帯の月別地震発生回数が87年頃から低下⁶⁾をしていた。94年になってこの傾向が急変した (Fig. 5)

ロ) 地震の規模別頻度分布を表すb値は1992~93で大きくなり⁷⁾、しかし1994年には元の値に戻った。

ハ) 丹波帯に限れば平素10年間の微小地震の年平均発生回数は約1,260回で、1年前は約1割多かった。

震央分布図

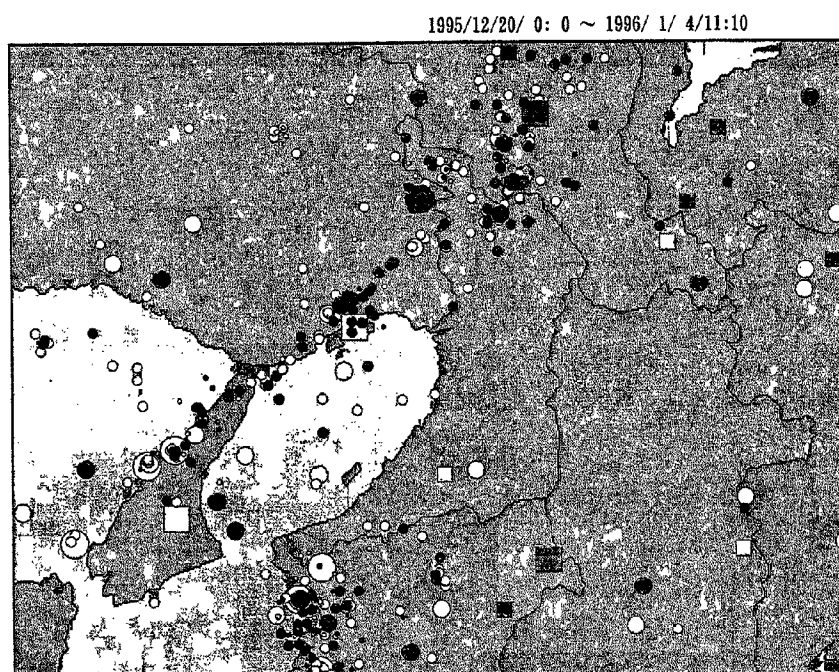


Fig. 4. An example of real time information of seismicity around the source region including neighboring areas, which has been sending to local self governing bodies in Kinki district by means of a personal computer transmission. The original is displayed by color.

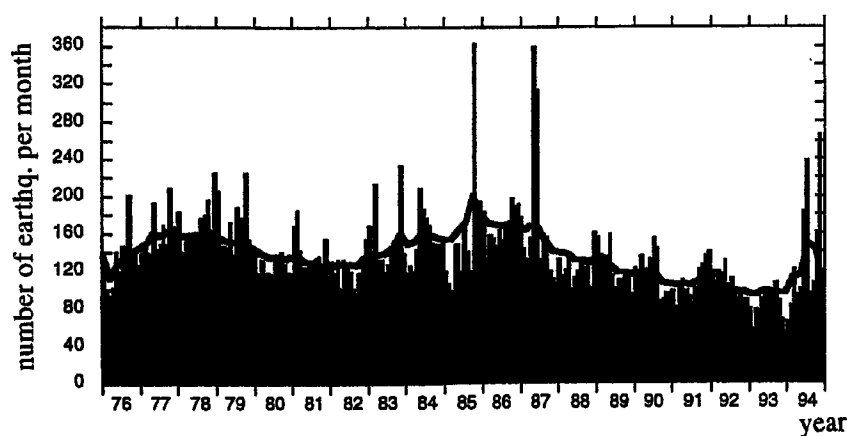


Fig. 5. Time changes of monthly number of microearthquakes observed by Abuyama observation network. Precursory like change of monthly number from gradual decrease to abrupt increase was recognized around 1994, about one year before Hyougoken-nanbu earthquake.

ニ) 地震の積算数が1990年頃から震源域や有馬—高槻構造線，山崎断層，花折断層周辺で活動低下の傾向が見られた (Fig. 6)

ホ) 1994年5月頃から，京都府中部で地震活動が活発化し，南西方向に地震活動域が移動する傾向が見られた⁸⁾。特に兵庫県猪名川町の群発活動は異常だった (Fig. 7)

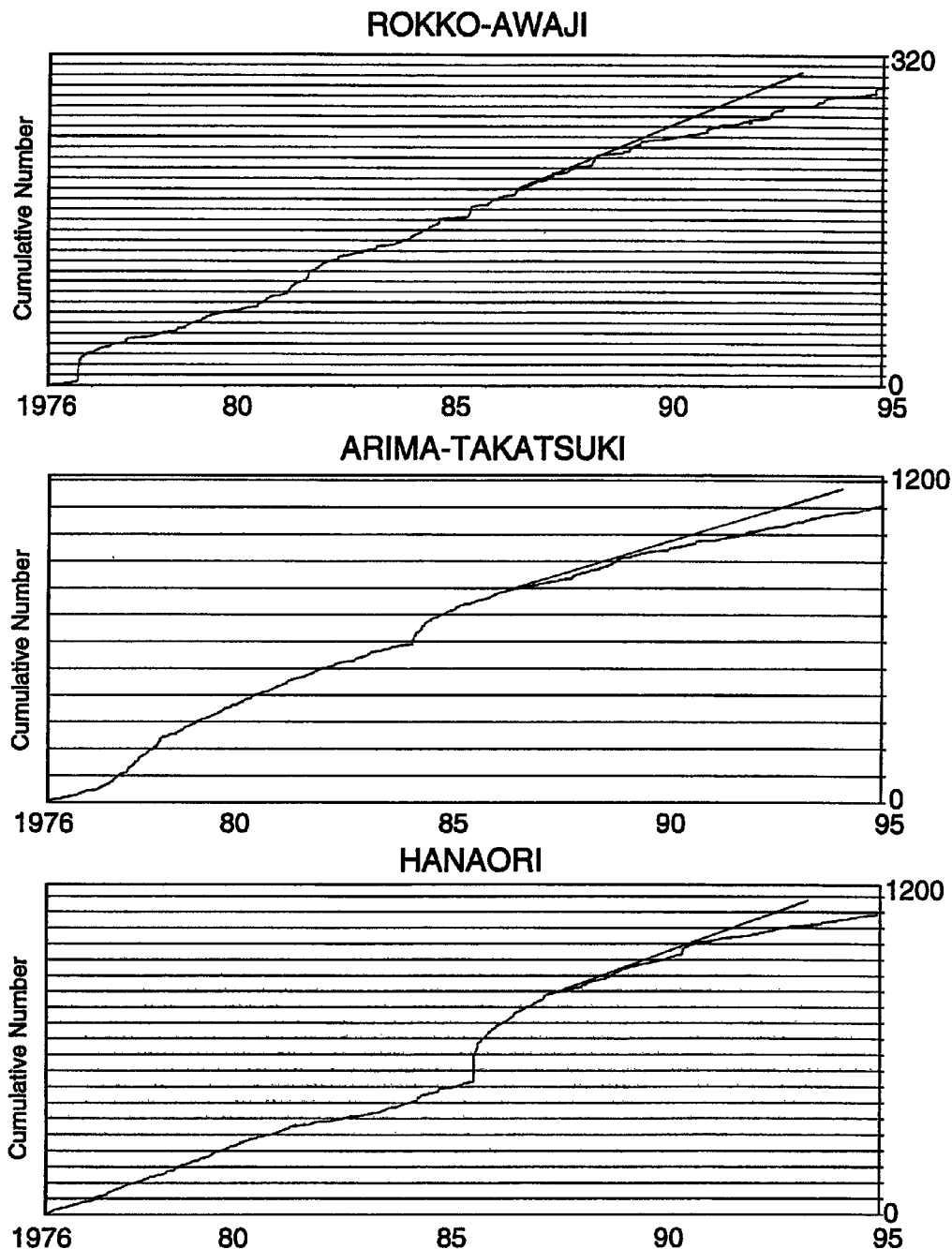


Fig. 6. Examples of seismicity changes appeared in accumulated numbers of microearthquakes around the areas of Rkkou-Awaji, Arima-Takatsuki tectonic line and Hanaori fault. Around 1990 the seismicities of those areas became clearly low and abrupt increases of microearthquakes began just after the main shock.

へ) 震源域では1日前にも4個も前震活動があり、短時間に4個も続けて発生する地震活動は、過去にこの地域にはなかった。

常時監視の体制には無かったとはいえ、これらをことごとく見逃したことは残念である。仲間内では、Fig. 7 の様な1994年の地震活動に異常らしき現象を指摘したものも居たが、深く追求しえなかった体制を

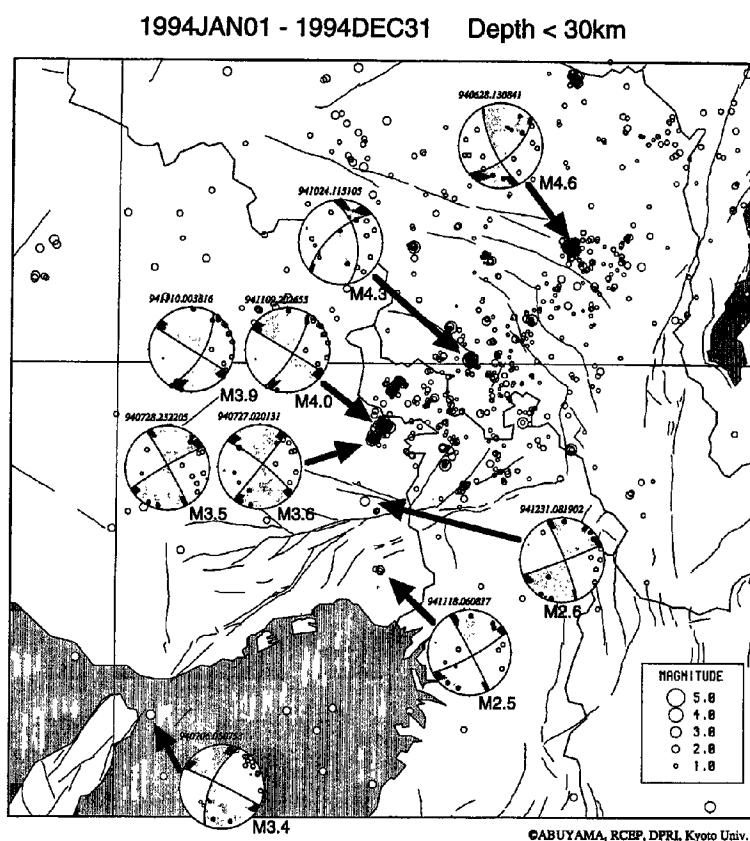


Fig. 7. Locations and source mechanisms of the representative events which occurred in central Kinki district during the period of one year preceding the main shock. It seems that the seismic activity migrated from north-east to south-west.

反省している。しかし、仮に異常に気がついて、地震観測のみから事前に震源を明石海峡下に特定することは殆ど不可能に近かったと思う。このことは大変重要な意味を持っている。それは、後に述べるように、国が今考えている基盤観測の整備充実の中に、地震観測点を 20 km 間隔、全国で約1000点構想がある。これで十分か、なお不足か、あるいは地震観測から何が分かるか、色々議論が分かれるところである。これらの間に答えるために、今回の我々の観測結果は極めて重要な役割を果たすであろう。防災研の今回の地域の地震観測ネットは約 10 km 間隔である。これで上の事がようやく分かった程度であるから、とにかく均一に観測点 (1000点以上) を増やすという、国の方針に疑問を感じざるを得ない。同時に、我々に課せられた責任は重大である。20年以上にわたって蓄積されてきたデータ解析がまだ完全とは言いがたい。もっと地域を細かく区切って活動度を過去にさかのぼって詳細に調べる必要がある。1 千億円以上を必要とする推進本部の計画に適切な助言を出来るのは地震予知研究センターしか無いと思う。

微小地震の活動が現実に活断層などに沿って起っていることは、何らかの地殻の状態を伝えているという事は確かであろう。一般的にはその地震活動にさまざまなステージがあることが予想されている。

- 1) 本震直後時間と共に活動の低下
- 2) 減少しつつ空間的に拡散
- 3) 最終的に消滅
- 4) 大地震発生前の活動の増加
- 5) 時間的・空間的空白域の形成 (第 2 種空白域)

活断層に起きる大地震が1000年以上のサイクルで発生すると考えられているとき、10-20年の観測期間はあまりにも短い、それでも何とか工夫をして、いずれのステージに有るかを見極めることは急務であろう。

次に地殻変動の観測データについて考える。震源に近い六甲山地には鶴甲地殻変動観測点など複数の連続観測点があった。ここには、高感度の伸縮計や傾斜計が設置されていた。しかし、いずれにおいても、またどの観測成分にも地震前に直接的な何らのレスポンスも無かったことは衝撃的である。地震発生プロセスとして、我々が持っていたおそらく共通認識は、地殻の応力が次第に増し、岩盤の変形、歪みの蓄積が進み、最後には弾性限界を越えて流れが生じ、最終破壊に至るであった。しかし、それが殆どと言って良いほど観測されていなかった。

もっとも、六甲高尾、山崎、逢坂山、阿武山等広域の地殻変動に数カ月前から異常があったとの報告⁹⁾があるが、必ずしも明確ではない。依然として、気象影響の除去が不十分ではあるが、しかし、広域に分布する観測所で、ほぼ、同じ時期に、異常らしき変化が認められたことは画期的であった。地殻変動があったか無かったか、極めて局所的なのか、広域なのか今後我々が戦略を立てる上で非常に重要な問題と考えられる。さらに詳しい解析が望まれる。地震前から、不連続的なGPSの観測が近畿地方の数箇所であった。地震後の再測によれば、数cmから数十cmの変動が検出され、しかもそれらは断層の右横ずれ運動と矛盾が無かった¹⁰⁾。地震後の連続観測でも地殻の余効変動¹¹⁾が見事に観測されている。推進本部はGPS観測点も全国に1000点以上の設置を計画していると聞かすが、これらによる精密な地殻の監視は極めて有効である。

一方、湧水など地下水には半年前から異常があったとの報告¹²⁾がある。今回の前兆で、もっともはつきりしているのが「水」関係であったようである。しかし、このセンサーは時間分解能はあるとしても、空間分解能はかなり低い難点がある。仮に、ある場所でたまたま地下水に何らかの異常変化が有っても、地震発生場所の同定は殆ど出来ない。これでは短期予知にはつながらない。地下水系変動のメカニズムの根本的な解明が必要である。

このほか、地震直前に電磁放射や電磁気異常があったらしいのであるが、一般にこの種の情報は震央距離が数100 km、1000 kmと遠方で観測されることが多く、とても事前に場所や時間を予報することは難しいようである。もっと近距離から多数の情報が欲しいのであるが、今回のような都市域での地震に際しては全く無力である。それは都市雑音のほうがはるかに大きいからである。気象、動物異常などいわゆる宏観異常現象が多数報告¹³⁾されているが、仮にこれらの幾ばくかが真実だとして、実用レベルへもって行くのは大変難しいと考えられる。

3. 体制、研究の方向に問題が無かったか

1996年の時点で、推進本部が基盤観測の整備ということで地震観測、地殻変動観測(GPS)を見直しつつある。しかし、実は、これは1965年に第1次計画が発足したときの大きな基本姿勢の一つに、「測地測量や地震観測による地震予知のための基礎データを全国的な規模で収集する」があった。しかし、その後、被害を伴う地震が相次いだり、東海地震説がにわかに注目されること等とも重なって、予知への社会的要請が強まり、一気に予知の実用化を目指した観測の強化、特に南関東・東海地域の観測網の強化へと、前兆把握優先へ傾斜していった。

予知計画発足以来、基本的には測地学審議会が5カ年毎に計画の大綱を策定し、関係大臣に建議し、これに基づいて各省庁をはじめ文部省、つまり大学等が5カ年計画をたて、その計画の実進を進めてきた。この中では、大学が長くリーダーシップの役割を果たしてきたと考えられる。計画は5カ年毎にレビューをし、これを基に、より効果的な新しい企画を盛り込んできたはずである。いつも論点になっていた問題は、地震予知の達成には、基礎研究か前兆把握のいずれを優先すべきかの議論で、ある時は基礎へ、又ある時は前兆重視へ振り子は常に揺れていた。

これらの経緯について岸本は、第6次計画の測地学審議会の建議の冒頭にある「地震予知計画のこれまでの成果と今後の展望」に沿って、地震予知計画において第1次計画以来第6次計画までどのような計画の変遷見直しが行われて来たかをまとめている。大きな転換の一つは第4次計画の立案時に有ったと思われる。この時の予知計画の基本姿勢を読み返すとき、これは全くと言って良いほど、正しい方向を目指していたように思われる。例えば、第4次計画に格調高くうたわれている、「科学的基礎に立つ地震発生機構の解明」（理念1）や「地震の前兆現象把握のための基礎的研究」（理念2）の推進、「地震予知体制の整備」などは、どれをとっても第7次計画にまで連続と受け継がれてきている理念であろう。特に大学にはこれら両「理念」の達成へ向けての研究が課せられていたはずである。なお、もし、第4次計画に問題があるとすれば、短期予知と長期予知の2本柱を立て、定義を、長期は「場所」と「大きさ」、短期予知を「いつ」にと、いかにも予知技術が実用化に入った観を呈する方針を示した事だろう。

問題は、理念と現実がかなりかけ離れて行ったことにある。それは何故だろうか。特に大学の場合、結局のところ、「理念1」や「理念2」にどれだけ多くの研究者の熱意や努力が注がれたか、いささか疑問がないとは言えない。確かに、テレメータ化された地震観測や地殻変動連続観測は「理念1」や「理念2」とは無関係ではない。テレメータ化された結果、地震観測などは飛躍的、質的転換を遂げたことは間違いない。地殻変動もおそらく、観測記録の連続性、計測の安定性はプロマイド方式とは比べ物にならない発展であったと思われる。

然し、「理念」の達成に向けては、最善を尽くしたとは言いがたく、我々はもっと多くを望む必要があったのではないと思われる。もし、我々が可能な限りの十分な努力を積み重ねてきたと言えるのなら、いま、ここに至って何ら「予知研究」の見直しをする必要はない。タブー視する事もない。あるいは、これから進むべき研究の方向を明確に示すことが出来るはずである。予知実現に向けた研究プロセスの「シナリオ」が具体的な形で提示できるはずである。

ある意味で「理念2」に関係した研究者は少なくはなかった。国による地震予知計画へ直接参加してきた研究者から、全く独立の研究者まで含めて各種各様の「前兆把握」の努力は続けられてきた。しかし、これらの多くの熱意は、前兆把握のより一般性を、より普遍性を必ずしも追及するものではなかった。「現象解明」は二の次で、一つでも多くの経験を増やす競争へ傾いた。これは「前兆」らしきものを捉えることは、見方によれば誰にでも出来ることで、その原因解明には極めて高いハードルがあったからであろう。

今、推進本部が目指している調査研究の方針は、第1次計画の理念、基礎的データの蓄積、に立ち返ったとも考えられる。基盤となる観測の観測点を増やし、データを集中させる事には何ら異存はない。然し、誰もが首をかしげたくなるのは、それから先が見えてこないことである。行政のレベルでは「予知」と言う言葉すらタブーに成りつつある。やはり責められるべきは大学に有るのでは無かろうか。

第7次計画では、第4次計画から第6次計画へかけての、どちらかと言えば前兆把握への偏りを修正すべく、地震発生のポテンシャル評価に重点をおいた計画、

- イ) 基礎となる観測の充実
- ロ) 海と陸との境界のダイナミクスの研究
- ハ) 内陸地震の研究

等にウェイトをかけた事業計画が立てられ、実施に移されつつあった矢先に、兵庫県南部地震を迎えてしまった。地震予知観測で得られた情報が十分に活用されてこなかったこと、観測地域に偏りがあったこと、データ流通がほとんどなくて省庁間の協力体制が不足していたこと、等への反省に立って新しい体制が設けられた。一方、第7次計画の「建議」¹⁴⁾ への見直しも行われた。これによれば、測地学審議会としては第7次計画の理念、計画内容の特別な変更を必要としないで、ただ、地震観測網の稠密化、活断層の分布と履歴調査、地殻活動推移の即時的把握能の向上、地震発生直後からの機動的観測、活動直後の活断層や周辺活断層の物理的調査や多項目観測等を強調している。しかし、これらはいずれも第7次計画に盛り込まれていた計画を大きく変えるものではなかった。注目すべきは、今回の地震災害を重視して、社会への地震情報等

の提供を行うことによって防災関係機関との連携を密にすること、工学、心理学等を含む防災関連科学との共同研究を推進することなどが新につけ加えられていることである。

4. 今後大学が目指す方向

上に述べたように、測地学審議会の第7次計画の「建議」の見直しでは大幅な方針の変更は無かったはずであるが、国としては法律に基づいて全体として観測体制の整備にはかなりの変革を行ないつつある。予知計画の変更といえるこのような現実を見ると、大学がまだ、従来の定常地震観測や地殻変動観測から一歩もでられないとすれば、我々は今回の地震で何を学んだのかと、自らも含めて問わざるをえない。

では、どうすれば良いか。「理念1」や「理念2」を現実化するには何をすれば良いか。残念ながら明確な答えは出せない。開き直るなら、分からないことがあまりにも多すぎるからと言わざるを得ない。特に、兵庫県南部地震のような内陸地震は、そもそものような機構で応力集中が起きるのか、最終的破壊の過程で「震源核」がどのように成長するのか、断層面の強度の不均質は何によるのか、強度低下をもたらすトリガーは何か、地殻の水の果たす役割は何か、ほとんど分かっていない。漸く最近になって一部手が付けられたにすぎない。この方面の研究者の数は少ない。問題の攻め方の糸口がつかめていない。

推進本部が政策委員会や調査委員会を設け、これに有識者として限られた大学人を組み入れ、予知への志向を転換して、地震防災のための調査研究を推進していることに、一抹の危惧を感じる。それは、地震予知が原理的に全く不可能であるとは証明されているわけではない。Mが7以上の地震の場合、その莫大なエネルギーが蓄えられる空間の一边の長さは数10 km を越えるはずであるから、破壊の前には何らかの情報をキャッチ出来る可能性は残されている。さらに、夢をふくらませるならば、地震の制御も将来有りうるかもしれない。このように「理念1」や「理念2」につながる基礎的研究には魅力が溢れているはずである。これを、国の方針として予知から防災へと安直にも見える方向転換を行ないつつあるのは、将来に禍根を残す選択である。さらに、兵庫県南部地震をもっと多くの研究者が深刻に受け止め、新なる出発を幅広く行なうべきときに、トップダウン的に一部の研究者のみが加わった会議で、長期的な方針が決められることは極めて残念であると思う。このようなやり方では、予知や制御の開発を目指した地震学一般を研究する若い学生が育たないであろう。

かつて、京阪神の複数の大学の研究者の間に、テクトノフィジックス研究会（TP研究会）があった。地球物理学、地質学の枠を越えた自由でかつ活気と野心に満ちた研究会であった。岸本¹⁾によれば、TP研究会の活動の上に山崎断層研究グループが生まれたり、さらに、それが地震予知のテストフィールド集中観測へつながったと言う。このようなすそ野の広い研究者の情熱があって、やがてそこからブレイクスルーが達成されると思う。

1994年6月、日本学術会議地震学研連と日本地震学会が共催して、地震予知シンポジウムが開かれた。兵庫県南部地震の約半年前であった。予知が可能か不可能かの議論がきっかけとなり、新しい地震予知のブループリントを作ろうとの意気込みでもあった。多くの提案がなされている。筆者も「地震予知総合研究所」を作ろうと提案¹⁵⁾した。予知研究のシナリオ作りから根本に立ち返った予知研究をやろう。それには産、官、学の共同の組織でないと予知技術の早期開発はむづかしい。南極観測隊のような組織を作ろうと提案した。結局、多くの提案が整理検討されないままに、地震が発生し、紆余曲折は有ったものの「地震防災対策特別措置法」の制定になり、予知体制が大幅に変更することになった。

今、大学は衆知を集めて、長期的な観点から予知研究計画を立て国に提言すべきである。しかし、提言すべき新しい方針を立てる前に、あらためて「予知」の効果を考える必要があると思う。昨年6月10日頃北海道に大地震説がでた。いつもと異なるのは、この情報が外務省を通して国外、中国からもたらされたこと、また国の政府機関の一部が対応した事である。大きなパニックに至らなくて幸いだったが、この種のデマは突然出てくるのが普通である。もし、予知連絡会なり調査委員会がある場所の直前予知をやったらどうな

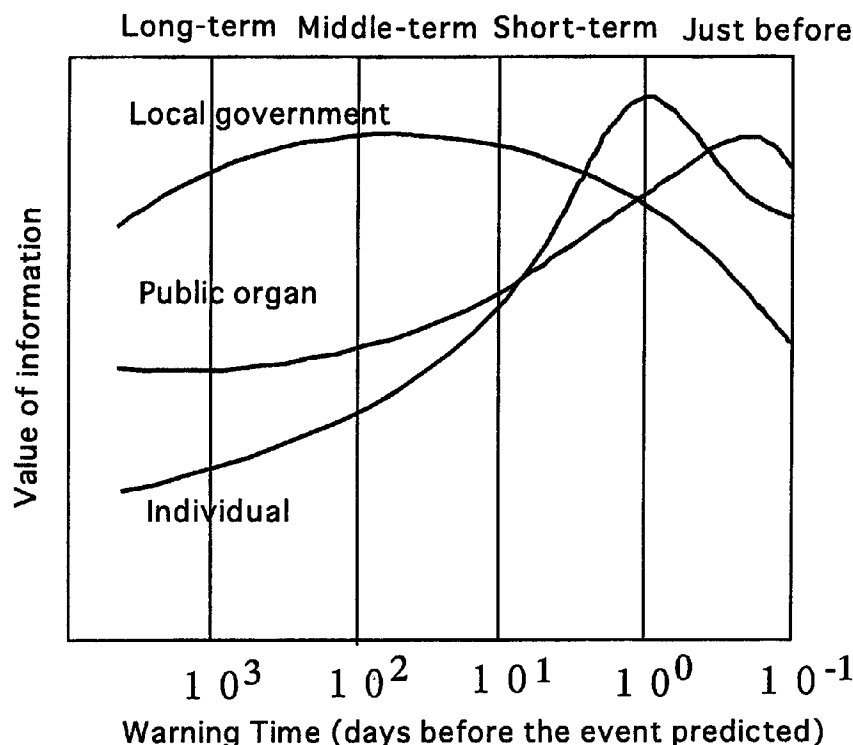


Fig. 8. Conceptual evaluation functions of predictions which are informed as a long-term, a middle-term, a short-term and a just before warning to the local government, the public organ and a person.

るであろうか。気象庁に集められたデータ解析から、この様な情報が突然出てくることはあり得ないことではない。予知をもたらす効果をもっと考えるべきであろう。

予知を知らせる理想的なシナリオとして例えば次のようなものが考えられる。

長期予知（数カ月—数年以上）

場所と規模が予測され国や自治体が公共施設や地域住民へ防災対策の指示が可能

中期予知（数週間—数カ月）

大体の時期が予報され、地域住民へ避難の準備をさせ、経済的混乱などを回避する方策が取れる
短期予知（数日—数週間）

時期の確実度が増し病院、学校など公共施設の閉鎖など個人レベルでも避難準備が可能
直前予知（数時間以内）

交通機関の停止、個人レベルの緊急避難も可能

長期、中期、短期それぞれの時点で適切な情報が出されれば、その効果は計り知れない。しかし、このような事は21世紀でも実現性はかなり低いであろう。わが国では、中期予知は学問的な裏付けがなく、あいまいさも多くて経済的混乱などを招く恐れがあるので効果は低いと評価されてきた。しかし、私はさし当たり中期予知を目指すべきであると思っている。確かに中期予知は現時点では実用からはかなり遠いかも知れないが、数週間から数カ月はまさに震源域での物理過程や物性変化に深く関わる研究に直結しており、予知を科学として攻めるには最適だと考えている。もし、短期予知や直前予知のようなものがいきなり出てくるとしたら、それは、かなりのリスクを伴うものであろう。予知はどこまで行っても、ある種の「不確かさ」がつきものであることが前提であるから、どの段階で、どの程度の誤差を含む情報が、どのくらい効果的かを見積もる必要がある。

予知の効果を考慮した評価関数ともいえるグラフを Fig. 8 に示した。非常に概念的な図であるが、短

期、長期予知の枠組みから、中期を加えるに当たって是非考慮すべき視点の一つかと考える。予知の効果や評価は、当然個人と自治体等とは異なるだろう。もし、予知情報を考えるなら、この様なある種の評価関数を考える必要があるだろう。言い換えれば、予知の研究、技術開発にはこの事を念頭に置く必要が考えられる。南関東・東海地方の予知体制にこのことがどの様に組み込まれているか疑問である。白か黒か灰色かの議論も、評価関数がはっきりしない事によると思う。

さて、今直ぐでなくても、具体的な予知を目指すにはどのような戦略が考えられるだろうか。地震予知はサイエンスかテクノロジーかの議論がある。一方では、予知の実現は地震科学の発展に基づいた日本列島応力場のモデリングの上にしかあり得ないとの意見がある。これに対して、地震現象の複雑性を考慮すると、決定論的な予知が今直ちに出来るとは思えないので、もっと経験を積むことによって、実践的な予知への手がかりが求められるはずとする考えである。そのためにはテクノロジーを駆使して、観測量を増やすより他はないとする考え方である。その場合、なるべく短期間で経験を増すには、観測点の敷き詰め方式しか無いというのである。

地震予知小委員会（平原和朗委員長）でも昨年1年かかって、この問題が十分議論されたように聞いている。そこでの議論の一つは、地震発生の過程のモデリングを達成するより地震予知の実現はない、そのためには応力集中をモデル化するためのパラメータとして、断層面の強度分布、間隙水圧の変化、地殻下部のレオロジーなど多くを必要とする。一方、内陸のM7級の地震は10年に1~2個、従って30年で3~5個以上は起こりうる。それが日本の何処に起こっても、震源核の生成から、主破壊に至る過程を見逃すことなく、つぶさに観測することにより、上に述べたパラメータを求め、摩擦や、破壊の構成則を確立し、そこから日本列島の応力場のモデリングも可能になるのではないかと言うのである。そのためには10 km 間隔で、日本中に面的に観測点を配置、その数約4000点、年間数千億（国全体で）の費用を要する。観測には短周期地震計のみならず広帯域の地震計も設置、また0.1 ppmの精度が保証されるGPSも置く、さらに電磁気や地球化学の観測も加える。特にGPSの数千点配置は確かに大きな魅力で、応力集中が日本全土にわたってリアルタイムに観測される可能性がある。地震予知小委員会では考えられている観測は、推進本部の計画をさらに上回るものであるが、ねらいはかなり違うようである。但し国の機関が責任ある観測をすべきとしている点は一貫している。

問題は、モデリングが地震学の一部で「科学」的テーマであるとするなら、他の分野に比べ突出した予算を付けるのはアンフェアであるという考え方があるそうである。これに対して、いや、地震災害は社会に与える影響は計り知れないほど大きいから、まさか準備出来ただけ効率よく短期間に経験を積み重ねて、テクノロジーとして1日でも早く技術を完成させ、日本のみならず発展途上国へ技術移転をし、国際貢献を果たすべきだとする意見があると聞く。この場合、災害軽減のために、他に比べて高額の予算を必要とするのはやむを得ない。「永久運動」や「錬金術」のように不可能が証明されない限り、高額の予算を付けるのは当然で、思い切った観測体制を早期に実現すべきだと言うことである。しかし、それは国費の浪費である。不可能は自明のことだから、災害軽減に的を絞るなら強震動予測など、もっと地震工学の分野に予算を付けるべきだ、地震災害軽減計画を推進せよとする意見など様々な主張が有るようである。

では、大学ではどのような観測をすればよいか。ここで今一度、過去を振り返っておきたい。予知計画を30年間やって来てうまく行かなかった原因の一つに、地震をあまりに弾性論的な観点からしか見てこなかった点である。地震はどうして起きるか、最終的なトリガーは何によるか、震源付近で地震前に何が起きているか。震源付近の物性は何か。強度の低下に水はどのような働きをしているか。新たな観測量として何が考えられるか。今、地殻下部もしくは中部に高圧の水の存在が予想され¹⁶⁾、その活断層への関与が世界で特に注目されている。この様な内陸地震の発生機構の解明こそが大学の役割とすれば、高密度な観測網を全国的に展開するよりは、多少は的を絞って、さらに電磁氣的観測や地下水の観測等も併用するいわゆる総合観測を行う必要が有るのではないか。第4次計画で導入されたテストフィールドの考え方を是非復活させ、全国的に複数の箇所でも早期に観測・実験を開始すべきであろう。岸本¹⁷⁾は次のような提言をしている。

テストフィールドの増強が、回り道の様でも本質的な予知研究である。

西南日本の大学観測網の協力体制の確立
 地域の特性を生かした内陸地震の研究推進
 各地域における独自のきめ細かい予知研究を積極的にとりあげる
 前兆現象の研究に積極的に取り組む
 前兆現象の仕組み理解と前兆現象理解のためのバックグラウンドの研究

「前兆＝予知」の図式は我々が抱き続けてきた魅力ある研究テーマである。多くの時間と労力を費やした。しかし、いささかの経験を積んだというものの、これらの一般化はほど遠いことを思い知らされてきた。今となっては、予知という言葉そのものが遠いものになりつつあるが、前兆把握から攻めるやり方は無謀なのだろうか。仮に前兆現象があるとしても、それはマグニチュードがある程度（多分5以上）以上の地震がなければ、観測にはかからない。しかも、常識的には震源域かその周辺に限られるだろう。M5程度の地震は山崎断層では10年に一回程度、丹波帯でも3-5年に一回程度位しか期待できない。確かに、ただひたすら前兆を待ち続ける研究ではなかなか成果を期待することは難しい。今日の大学では忍耐は必ずしも尊ばれない。前兆の研究はしばしば研究者を挫折に追い込む。これは日本に限ることではない。結局、前兆のバックグラウンドとなる構造の研究への転換を余儀なくされる。その場合、学問的興味が先行し前兆把握は忘れ去られることが多かったのではないか。新しいテストフィールドの中での時間変化の研究は欠くことのできない重要なテーマである。

5. 地震予知研究センターが目指す方向

最後に地震予知研究センターはいかにあるべきかを述べたい。これは我々の決意表明でもある。我々の地震予知研究センターはその規模において日本あるいは世界の中でも有数の大きさである。予知研究を推進する役割を担っていることは言うまでもない。我々の前には究めるべきテーマが山積している。例えば次のような研究テーマがある。

断層の深部に歪みのエネルギーが蓄積される過程の研究

破壊（滑り）に至るプロセスをモデリング

モデリングのための各種パラメータの取得

特に地殻下部の流動を支配するパラメータの抽出

地殻中の「水」の実態解明のための手法開発

最終的には、21世紀に部分的に地震制御を目指す

また、平成8年度から発足する全国共同利用研として何をするか、すでに全国共同利用研である東京大学地震研究所との役割分担がある。この問題について地震予知研究センターでは多くの時間をかけて議論した。最終的に次のような研究方針をたてた。

方針1

地震発生機構解明に迫る地震観測。地震発生のメカニズムを明らかにするためには、地震発生の場のテクニクスと不均質構造の研究が重要である。第6次計画以来行ってきた地震観測のインテリジェント化（広帯域、高ダイナミクス）を生かした観測研究と地域特性を考慮した集中観測を行う。中でも中小地震（M3-M5）発生前後の微小地震活動の詳細な把握および震源域の応力集中、解放のメカニズムの解明などを目指す。更に、近畿の特定な活断層を選び、複数のボーリング坑を利用した三次元精密地震観測を行い、地震の繰り返し過程など地震活動の決定論的な側面を研究する。さしあたりの目標を次の様に立てる。

5カ年 空白域の実体を明らかにする。

10カ年 活断層の地震発生ポテンシャルを推定する手法の確立

方針2

近畿トライアングル活断層の総合研究。いわゆる近畿トライアングルの活断層の活動度評価の研究を系統的に行い、これを基に全国的な活断層の活動度評価の標準モデルを構築する。この研究では、例えば以下の項目の観測研究を長期にわたって継続して行う必要がある。

- イ) トレンチ等による活動年代の調査
- ロ) 深部構造、破碎帯物性等の探査（地震、電磁気、測地、地球化学など多様な手法による）
- ハ) 深部地殻流動の計測技術開発
- ニ) 地殻内流体運動の計測技術開発
- ホ) 断層周辺応力場の測定技術開発
- ヘ) 断層活動時の破壊様式の研究

これらのテーマの周到な研究計画、実行計画を立て、かつ研究成果の活用をはかるためにはシンクタンクのような組織が必要である。この組織には適切な人材を学、官、産各分野から集めるが、固定したポストは必要最限しか設けない。流動研究員制度を大幅に取り入れる。この様な全国共同利用の総合研究施設を例えば防災研究所に設立し、上記計画を可能な限り早期に始めたい。具体的な施設の設置場所の一つとして、旧阿武山観測所が提供できる。この場所は、第一級の活断層有馬-高槻構造線に近く、敷地も広く、宿泊設備を整備する余地も十分ある。

方針 3

南海地震発生予測の総合観測。次期南海地震発生予測に向けての西南日本観測研究ネットワークの充実をはかる。紀伊半島沖、土佐湾沖および紀伊半島、四国内陸部は南海トラフ沿いの巨大地震の発生予測を経時的に行う場所として世界的にも最適な場所である。海域と陸域での連携を密にした地震観測や地殻変動観測から歪みの蓄積過程を調べることが予測精度を高める不可欠の条件である。このために、地震研究所の和歌山地震観測所、潮岬や室戸岬の同研究所地殻変動観測点、高知大学地震観測所、京大徳島観測所、当センターおよび大阪管区気象台、地質調査所関西センター等が緊密な連携を保った観測研究を行うべきである。必要に応じて東海地域の諸観測網との接続をはかる。特に次の研究が強調される。

- イ) 海域での地殻変動観測技術の開発
- ロ) 海陸双方での地震観測データを統合し、地震活動の時空間分布の数量化表現法を開発し、広域活動をふまえて地域活動特性の抽出を試みる。
- ハ) 陸域での地殻活動総合観測線はポアホール型の歪計等を用いて高密度化を計り、GPS 観測網との結合をはかる。特に紀伊半島、室戸岬などのヒンジラインでは高密度アレイ観測を実施する。

方針 4

リアルタイム地震活動の観測解析と情報伝達。7次計画の「建議」の見直しに基づき、地震防災に重点を置いた観測研究を行う。すなわち、地震観測等の情報をリアルタイム或いは準リアルタイムで地域社会へ伝達する方法の研究を行う。これらは防災科学、人文・社会科学関係者との共同研究を含む。

- イ) 定常地震観測から得られた地震情報を可視化し、地域の防災関係者に常時伝達し、一般社会へ与える効果を研究する。
- ロ) 活断層構造調査、都市域基盤構造調査等に基づき強振動予測を行い、地方自治体防災関係者に協力してハザードマップを作る。
- ハ) 地震時の断層運動から即時に被害予測を行い、これを防災関係者に準リアルタイムに伝送する方法の開発を行う。

方針 5

モデリングのための巨大試料岩石破壊実験と数値シミュレーション。

地震予知の空間・時間分解能の精度を向上するには、震源域における破壊の構成則の確立と応力集中から破壊に至る過程のモデリングが不可欠である。

- イ) モデリングにおいて、野外観測では直接得難いパラメータ推定のため、スケールングを考慮した大規

模サンプルの破壊実験を行う全国共同利用の装置を導入する。

- ロ) 野外観測や室内実験から得られたパラメータ等と構成則を用いて、断層等における応力集中から地震発生に至る数値シミュレーションを行う。

6. おわりに

地震予知計画が大きな節目を迎えていることは間違いない。兵庫県南部地震のもたらした衝撃はあまりにも大きい。犠牲者の数、被害の規模は想像をはるかに越えていた。内陸地震の、しかもM7級の予知は極めて困難であろう事は予測されていた。それでも、観測網の中であったら何か前兆を捉えられる可能性はあると期待していた。これは学問のレベルからほど遠いけれども、確信に近い期待があったはずである。現実は見事に裏切られた。だからと言って30年間の予知計画が無為であったとは思われない。地震予知の問題点が浮き彫りにされた。国家計画の軌道修正が大幅に始まっている。

地震予知は世界的にも混迷期を迎えている。中国やギリシャでの成功例が伝えられているが、どの国でも適用できる確実な方法とは言い切れない。技術的に可能か不可能かと言うより、かりに予知・予報された場合の社会の対応が問題で、市民の反応は国毎に異なるであろう。予知方法自体それぞれの国に適した方法があるのかも知れない。直ちにそれらの方法が日本に適用できるか分からない。特に都市化の進んだ日本では、都市周辺の観測は極めて困難になってきている。かりに前兆と言える信号があっても非常に微弱であろう。都市雑音の中からこれらを取り出すとき、多くの誤差を伴うであろう。それだけ、予知が仮に可能性があってもそれに伴う誤差はかなり大きいことを覚悟しなければならない。

東海地方には判定会議がある。この地方のみ短期予知は可能と考えられている。現実には異常らしき現象が観測されても、判定会が適切な判断を下せるか、極めて難しい問題を含んでいる。今回の推進本部が設けた調査委員会は基本的には全国を対象にしている。東海地方にかけた網を全国に広げたことになるが、事はますます難しくなるだろう。

1891年の濃尾地震がきっかけとなって震災予防調査会が作られ、地震学などの発展に寄与した。次に1923年の関東地震を契機として東大に地震研が出来た。今度は1995年兵庫県南部地震であるが、予知研究推進のための体制に目立った変革はない。地震庁を、と言う声があったが、準備不足で見送りになったようである。折しも、平成8年度から全国共同利用研究所となって新しい出発をした防災研究所に多くの期待がかけられている。国内のあらゆる防災に目を向けた共同利用研究もさることながら、アジア諸国の地震予知、地震防災関連研究者との共同研究を積極的に押しすすめる事もセンターの重要な任務の一つであろう。

本稿をまとめるに当たって、地震予知研究センターによって解析された資料を多数参考にした。関係者にお礼申し上げる。また、当センターの片尾 浩博士には、多くの図を作成していただいた。謝意を表したい。

参考文献

- 1) 岸本兆方：地震予知計画とともに、京都大学防災研究所年報、第34号A1991、pp. 23-44
- 2) 京都大学防災研究所：兵庫県南部地震後の地殻活動、防災研究への取り組み、1996、p. 11
- 3) 京都大学防災研究所：兵庫県南部地震後の地殻活動、防災研究への取り組み、1996、p. 2
- 4) 三木晴男：京都地震、思文閣出版、1979
- 5) 前田直樹・渡辺 晃：微小地震の活動様式—近畿地方中北部の微小地震活動について—、地震、第37巻、第4号、1984、pp. 579-598、1984
- 6) 地震予知研究センター：1995年兵庫県南部地震、1995、p. 19
- 7) 地震予知研究センター：1995年兵庫県南部地震、1995、p. 20

- 8) 京都大学防災研究所：兵庫県南部地震後の地殻活動，防災研究への取り組み，1996，p. 10
- 9) 地震予知研究センター：1995年兵庫県南部地震，1995，p. 23
- 10) 京都大学防災研究所：兵庫県南部地震後の地殻活動，防災研究への取り組み，1996，p. 43
- 11) 地震予知研究センター：1995年兵庫県南部地震，1995，p. 11
- 12) 京大理学研究科・東大地震研：六甲高雄観測室における観測結果，地震予知連絡会報，54巻，1995，pp. 695-712
- 13) 弘原海 清：前兆証言1519！，東京出版，1995
- 14) 測地学審議会：第7次地震予知計画の推進について，1993
- 15) 住友則彦：地震予知総合研究所を作ろう，1994地震予知シンポジウム，1994，pp. 115-120
- 16) Hickman, S, R. Sibson and R. Bruhn: Introduction to special section: Mechanical involvement of fluids faulting, J.G.R. 100, No. B7, pp. 12831-12840, 1995

EARTHQUAKE PREDICTION AN EXPECTED ROLE OF UNIVERSITY

By *Norihiko* SUMITOMO

Synopsis

Since the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake, the government changed the policy of earthquake prediction to that of earthquake investigation and is intending to extend seismic observation networks over Japan islands and cover the whole areas by a lot of GPS stations to monitor real time crustal movements. In such a new situation, the university has been confronted with reconsideration of the earthquake prediction study which have been developed during the period of past 30 years since 1965. We should recognize the policy established in the Fourth earthquake prediction project in which it was stressed that the mechanism of inland earthquake occurrences and those of precursor appearance should be investigated based on science. In order to develop the scientific earthquake prediction we propose to aim to achieve the middle-term prediction and to make integrated experiments in the testfield for the earthquake prediction which was once executed 15 years ago at Yamasaki active fault. Particularly some techniques to observe free water in the middle and upper crust should be developed.