

## アメリカの地震予知研究

浜田 和郎

国立防災科学技術センター

第2研究部首都圏地震予知研究室

**Recent Studies for Earthquake Prediction  
in the United States of America**

By

**Kazuo Hamada***National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo*

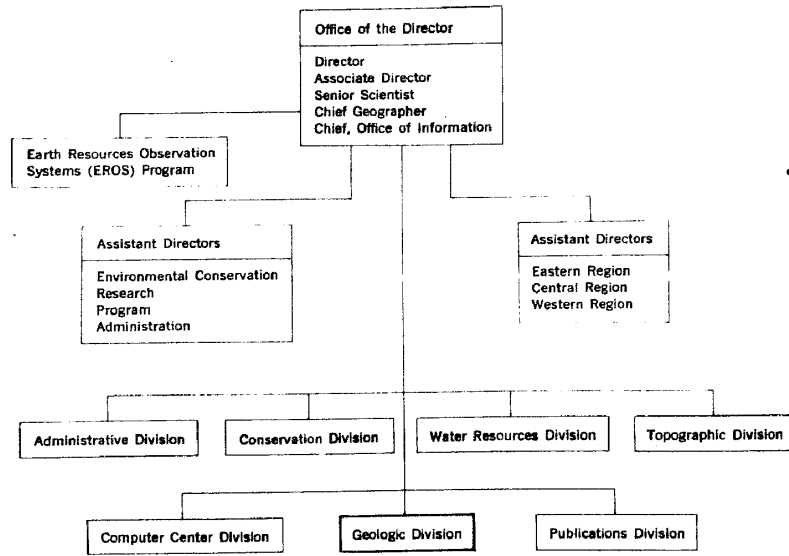
著者は1974年度末に科学技術庁の旅費によってアメリカの地震予知研究の現状を視察する機会にめぐまれた。記して関係者にお礼を申し上げると共に日本の地震予知研究に参考になる事がらを報告させて頂く。

**1. アメリカの地震予知研究計画の概要**

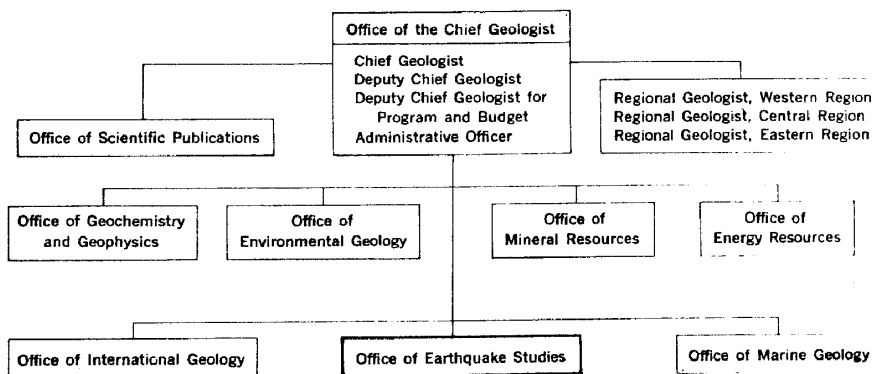
Wallace (1974)によれば計画の概要は次の様になる。1973年9月にNational Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) と U. S. Geological Survey (USGS) の地震研究プログラムは行政上USGSの下に統合された。統合された新しいプログラムはアメリカ合衆国の地震災害軽減計画 (Earthquake Hazard Reduction Program: EHRP) の単一の大きな研究とデータ収集から構成されており、地震学・地質学・地球物理学・土質工学の各分野における合衆国政府の努力がこれに含まれている。この新しいUSGSの計画は地震工学の研究に国が責任を持つNational Science Foundation (NSF) の地震工学の研究とそのデータ収集も含んでいる。更に又この計画は多くの国・州・地方機関にもサービス・援助を行ない、学術研究の機関やいくつかの州・地方の機関に対して財政的援助も行なっている。この計画の作成・修正・改良・拡張の仕事には、USGSの地震研究の顧問団も含めて数十人の科学者・技術者が貢献している。第1図はUSGSの機構図である。このようにUSGSに統合されたいきさつについては、過去に分割されていた時には情報交換や研究において、なわばりに関係があるのか、弊害が生じ議会でも取り上げられて問題になったからだとか聞いている。

地震予知研究は上のEHRPの一部として1974年から発足している。EHRPの構成は

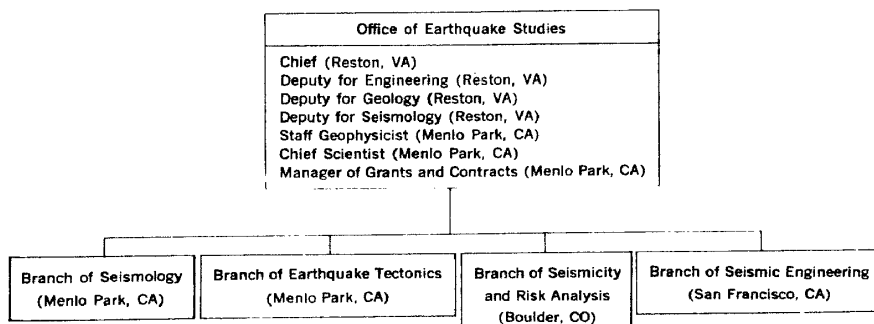
ORGANIZATION OF THE GEOLOGICAL SURVEY



ORGANIZATION OF THE GEOLOGIC DIVISION



ORGANIZATION OF THE OFFICE OF EARTHQUAKE STUDIES



第1図：米国地質調査所の機構図 (Wallace, 1974)

次の7項目である。

1. 地震災害予想図の作成と危険評価
2. 地震予知の研究と実施
3. 地震の制御
4. 地震工学
5. 地震情報サービス
6. 大地震等の特定な地震の調査研究
7. 応用・実用化に必要な行政上・経済学上・社会学上の技術開発

金額(万ドル)	テ ー マ	機 関
200	基礎研究も含む幅広い分野	USGS 以外の大学その他の研究機関
300	地 震 関 係	U S G S
300	傾斜計・地磁気・地電流等	U S G S
200	地 質 調 査 等	U S G S

第1表 1975年地震予知関係の予算

1975年の地震予知関係の予算は総額は1,000万ドルで第1表の様になっている。USGSに対するテーマの申請は約200にも及びそのうち54が採用されているので相当の競争率である。採用か否かの判断はUSGS以外の外の科学者の援助を得てUSGSが行なうものであるが、1. テーマの申請者である研究者の研究能力、2. 計画を実行するに当たっての使用施設・設備の能力、3. どのようにUSGSの計画を補強し発展させるかといったテーマの有効性・適合性、4. USGSの内と外を含めた予算上のバランス、等を判断の基準にしている。採用された研究計画のリストを見ると殆んどは日本の場合と変わらないのであるが、著名な学者がずらりと名をつらねており、研究者の数・層の厚さは日本よりもはるかにまさっている。テーマはカリフォルニアのサンアンドレアス断層帯での研究が多く、金額で大口のものはカリフォルニアでの地震観測に関係するものが目立つ。特にめずらしいものをひろい出して見ると第2表のようになる。これは何かはっきりした基準で著者が取り出したものではなく、日本ではちょっとめずらしいと言った程度の意味であり、又類似の研究は他にもある事をつけ加えておく。この他に、スタートしたばかりの計画であるがEHRPの予算とは別に第3表のような社会科学者の行なうものもある。日本においても本当地震予知の実現をめざすならばこの種の研究はどうしても必要である。特に大都市固有の問題も含んでいる首都圏では、日本の方がアメリカよりもより切実な問題であろう。

1972, 1973年においては地震関係でUSGSの予算はそれぞれ170, 470万ドルであるから(力武, 1974), アメリカの予知計画は現在予算的には飛躍的に強化されている。しかし日本の地震予知の予算は1974年が15億円, 1975年が20億円であるから日本との比較では特に大きな計画とはいえない。日本の場合は人件費を殆んど含ん

主な研究者	機関	テーマ
Witherspoon	カリフォルニア大学 (バークレイ)	水の注入・撤退の伴なう断層帯の歪力の挙動
Craig	カリフォルニア大学 (サンディエゴ)	地震の前兆と関係のありそうなラドン・ヘリウムの研究
Shapiro	マサチューセッツ工科大学	5～5,000 Km以上の範囲にわたる歪著積をはかり、星の運動を監視する電波干渉計の開発
Kovach/Nur	スタンフォード大学	空隙のある岩石中の水の流れとテクトニックな過程でのその役割及びサンアンドレアス断層系への応用
Knopoff	カリフォルニア大学 (ロスアンゼルス)	パターン認識法による大地震の位置の予知
Press	マサチューセッツ工科大学	地震災害へのパターン認識法の応用
Pratt	Terra-Tek	フィールドでの岩石のその場の歪力測定
Murphy	Computer Science Corporation	ロスアンゼルス市の地震災害の見積り
Morrison	カリフォルニア大学 (バークレイ)	サンアンドレアス断層帯をよこぎる深部の電気抵抗測定
Sykes	コロンビア大学 ラモンドドハティ 地質学研究所	地震の前兆監視の研究、水の注入による地震の引金及び東部アメリカの地震災害

第2表 予知研究一覧表より抜粋

主な研究者	機 関	テ ー マ
D. L. Anderson (地球物理学)	カリフォルニア 工科大学	避難の技術的可能性と社会・ 経済学的評価
Roger G. Noll (経済学)		
J. Engene Hans (行動科学)	コロラド 大 学	地震予知の社会・経済的 政治的結果
Dennis S. Mileti (社会学)		

第3表 社会科学の分野の研究

んでいないがアメリカの大学では半分位人件費を含んでいるのではないかと思う。但し USGS 内のプロジェクトにはごく少額の人件費しか含まれていないそうである。ともかく USGS に集中した大型プロジェクトと主に大学によるブロードな研究から成り立っている。所でアメリカの研究者は現在の予算規模をどう見ているであろうか？ アメリカ地球物理学会連合の会長マサチューセッツ工科大学の Press 教授(1975)によれば、「この20年のうちに予知を実現させるためには、アメリカの地震予知研究に対する財政上の援助は不充分である」「更に年間3,000万ドル追加されればこの10年のうち予知は現実のものになるだろう」と述べている。「現在病気をわずらっている政府当局に対して、未来の病気の予防薬をどうやったら売れる事が出来るだろうか」と問いかけて、「それには地球科学者がその意義と必要性を広く訴えなければならぬ」と述べている。

予知研究の現状についてはいくつかの批判も聞いている。「USGS が多くの金を使っているわりには能率が悪い」とか、大学関係の科学者は「地震予知の方法がまだ決まっていないのだから、基礎研究も含めて広巾く研究を強化しなければならないのにUSGS は当面する問題にテーマをしぼろうとするので困る」と云う意見があり、逆にUSGS の科学者の方では「現在でも組織的にきちんとした研究をすれば相当の事が出来るのに、大学の研究者は組織的にやらない、彼等は自由なので困る」等と云う事も聞いている。

## 2. ごく最近の主な研究

こゝではかなり専門的な事になるが、コロラド大学の環境科学研究所(Cooperative Institute of Research in Environmental Sciences)の所長Kisslinger 教

授と同所の研究員Wyss (1975)がまとめたレポートから、ごく最近の予知研究の内容を紹介しよう。

アメリカ合衆国で地震予知研究に精力的な努力が払われたのはこの4年間の事である。この間の主な結果から、大陸の周辺も含めて大陸の浅い地震のうち少なくともいくつかは予知出来る確信が深まりつつある。アメリカや他の国の研究者によるいくつかの成功例があるが、予知の技術は初期の研究開発の段階である。この4年間は純粹の研究からの移項期であって、予知研究は震源の物理学に関するより一般的問題の一部である。

現在地震予知といえば「時・場所・大きさ」の予知を意味している事は関係者の間では一致した見解であるが、予知が成功かどうかと言う事はこれ等3つの要素の精度で判断される。

事からの性質上、地震活動の統計的研究は、上の意味での予知には役立たない。しかしこの種の研究は地震災害の軽減には重要な情報をもたらすし、予知の努力を集中すべき場所の選定に役立つ。

「Seismic gap」の概念は、知られている地震帯の中で将来起こりそうな地震の位置を選ぶにはうまい方法である (Kelleher, 1972; Keller et al., 1973; Sykes, 1971; Northrop, 1973)。これと関連して、活発な地震帯にそって地震が順序よく移動するという考えがあるが、これはまだ確立されていない。しかし1つの作業仮説としては役立つであろう。大きな地震があらかじめGapと見做されていて発生した所は最近ではアラスカのシトカ、日本の北海道、とカムチャッカ半島沖である。時間がわからなくとも、事前に場所と近似的なマグニチュードの見つもりが出来れば大地震予知の有力なアプローチになる。

1962~70年の間に指摘された前兆現象は予知技術の開発にとって非常に希望のものである。この4年間の主な努力は更にこれら前兆現象のテストであり、その物理的基礎の解明であった。

主にP波と見られている地震の実体波の速度変化は非常に多くの人々によって研究されている。(Aggarwal & Sykes, 1973; Bakun et al., 1973; Kisslinger & Engdahl, 1974; Mc Evilly & Johnson, 1973, 1974; Kanamori & Chung, 1974; Wyss & Holcomb, 1973; Wyss & Johnston, 1974, Wyss, 1974; Stewart, 1973; Cramer & Kovach, 1974)。2, 3の場合には特徴的時間変化は確かめられたり又は強いデータの支持がある。速度変化の現われるテクトニックな条件や震源の深さは重要な研究である。

サンアンドレアス断層はアメリカの少なからぬ人口にとって非常な脅威であるから、そこにかかる確かな前兆を研究する事には特別な注意が向けられている。Robinson et al. (1974)だけが前駆する速度変化をとらえた。しかし他の研究者達は断層の他の部分では速度は安定している事を見出している。他の活発な地域で示された地震の前兆が果してサ

ンアンドレアス断層でも起こるのかどうか、これは大きな疑問であり解明さるべきである。

大きな歪の生じた物質では速度の異方性が発達する事が理論上期待され又実験室でも観測されている (Gupta, 1973a)。異方性とは伝播方向による速度の差と同じ道でもSVとSH波の速度差である。後者はGupta (1973b, c)によってネバダの地震に対して観測されている。

他の前兆としては地震の数とマグニチュードの関係を示す「b値」が変化することより大きな地震が接近する時のメカニズムのreorientationの問題がある。Wyss & Lee (1973)は中央カリフォルニアで前者を研究した。又速報によると後者は、ニューヨーク州のブルーマウンティンといくつかのネバダの地震に対してつかまえられたと聞いている。

精密な水準測量、三辺測量、重力測定による地震前の地殻変動は、日本で強調されているようにアメリカでは強調されていない。1971年のサンフェルナンド地震の前の隆起はCastle et al. (1974)によって報告されている。Prescotte & Savage (1974)の結果によると、中央カリフォルニアの中規模地震では約10 Kmの三辺測量網では長さの変化には影響がないと言われている。

異常な地殻変動をとらえるには傾斜計と歪計がかわりの魅力的な道具である。これ等の装置によって信頼出来る測定をする事は、設置方法の影響が大きいために、容易な事ではないが、その困難を解決するうまい方法が考えられている。Wood & Allen (1971)の傾斜計の測定結果とJohnston et al. (1974)の予備測定の結果では充分希望の持てるものであり、現在広範囲にわたって傾斜計による観測計画が進められている。

Mazzela & Morrison (1974)はサンアンドレアスの小さい地震に伴なり明りような電気抵抗の前兆変化をとらえた。地震に前行する磁気異常の研究はまだ充分には進歩していないが現在進行しつつある (Talwani & Kovach, 1972; Johnston et al., 1973; Johnston, 1974)。

色々な場合のテクトニックな条件の下で前兆現象を記述する事は進行する過程の物理的モデルを作る上で有効な基礎になるものである。強度の限界近くでずれ応力のために微小な破壊が生じそのために非弾性的に体積が膨張するといういわゆる「ダイラタンシー」は現在では種々の前兆の原因となる基礎的過程と見られている。膨張により作られた空隙の中の水の引続く行動はこの過程で必須の部分である事が何人かによって討論されている (Nur, 1972; Anderson & Whitcomb, 1973; Scholz et al., 1973)。Brady (1974)のモデルでは水の存在を必要とせず、観測される種々のパラメーターの変化は応力の下で膨張した部分のわれ目が、破壊が直前にせまるときに、閉じる事によって元に回復するというものである。ダイラタンシー仮説の一層の進歩、地殻岩石中でダイラタンシーの発生を直接確認する事、ダイラタンシーの予想される結果を充分説明する事、これ等は今

やアメリカの予知研究の中心を占めている。更にもっとくわしくいくつかのパラメーターの前兆変化を個々の地震に対して同時観測する事が必要である。それによって変化の起っている部分の体積を決める事が出来る。又時間と空間の中で前兆現象の進行や回復を理解する事が出来る。質の高いほう大な数のデータのみが地震のメカニズムの理論を選択したり又は更にくわしいものにする事が出来る。

多くの岩石破壊の実験的研究もこの4年間に進歩した。断層の説明に向けられて来たこれ等の研究は予知研究にはもちろん適したものであるが、この問題はより一般的な震源の問題に所属する。Brace と彼の同僚の仕事等 (Brace, 1972; Hadley, 1973; Martin, 1974) は多くの実験の計画・評価の基礎を与えてくれる。

制御された条件の下で異なった前兆現象の間の相互関係を理解する事は将来の野外観測には必須であろう。この種の実験は同じサンプルの違う断面を通るP波速度の測定とホログラフィーによるダイラタンシーの同時観測である (Spetzler & Martin, 1974)。

最後に Kisslinger & Wyss のレポートは、アメリカの予知研究は日本及びソ連の学者との公式な協力及び交換の機会によって大きな利益を受けた事 (Kisslinger & Rikitake 1974) と予知研究のため合衆国の初めてのナショナルプログラムが設立された事は重要な事であったと述べている。

このセクションの最後に再び地震波速度の変化について述べたい。たて波 (p) と横波 (s) の速度比  $V_p/V_s$  が 10% 以上も、時には 20% も地震の前に変化するという報告があるが、或る研究者達はこの種の変化の大きなデータには疑問をいだいている。位置と時刻のわかっている精密な人工地震のデータではいまだにそんな大きな時間変化を見た事がないというのが理由の1つである。又震源のミスロケーションが見かけ上速度変化を大きくしてしまうという研究もある。そのために震源のあいまいさを無くするために遠震の相対時間差を用いたり、精度の良いデータのみを厳撰する事又可能ならば人工地震を併用する事等種々の工夫がなされている。10% 以上の速度変化を信じる人も信じない人も居るが、いずれにしても高い精度の多くのデータによって充分注意深く取扱い点においては異論はない。但しここでことわっておきたいが、日本で地震波速度の議論をしているといつもその精度のために中々結論が得られない。しかし次のセクションで紹介するがアメリカのカリフォルニアの地震計網はたいへん細かく、しかもテレメタリングによる集中記録方式で刻時精度も良い。従って自然地震のデータといえども日本よりはるかに精度の良いものである。

### 3. 地震観測網の現状

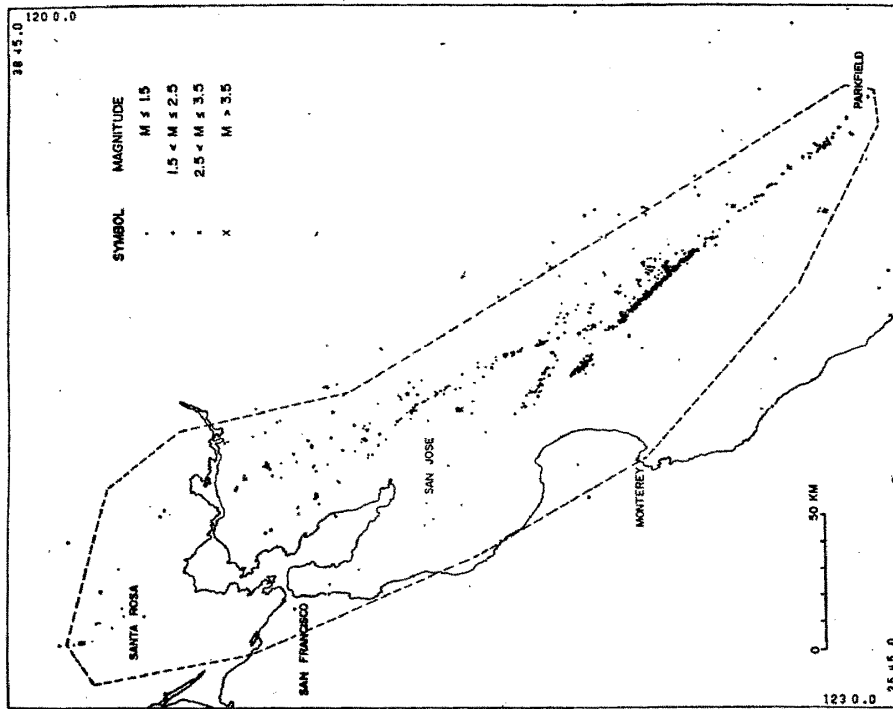
日本では、地震予知研究のうちで多額の費用と人手のかゝるのは地震観測網の整備・維持とそのデータ処理である。アメリカでもそらく事情は同じだろうと思っていたが幾つかの点で大きな違いがあった。アメリカの地震観測網は当然の事ながらサンアンドレアス



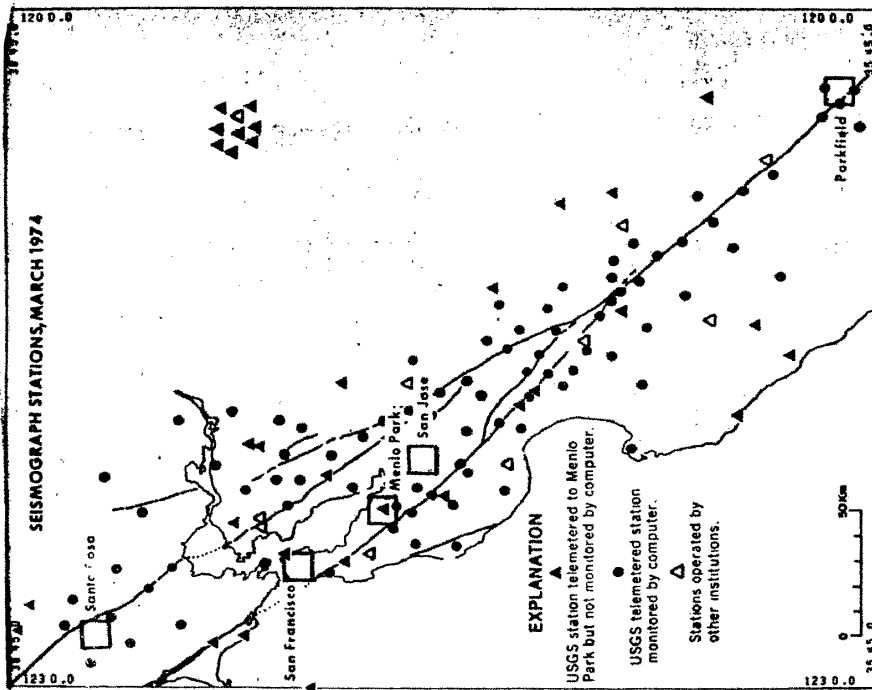
断層のあるカリフォルニアに集中している。というのも、1906年のサンフランシスコ地震（マグニチュード8.3）はサンアンドレアス断層にそって発生した。この時市の大半が壊失し死者600人を出した。所が1857年に同じ断層の南の部分のロスアンゼルス近くで北のサンフランシスコ地震に相当するマグニチュード8の地震が発先している。多くの地質学者や地震学者はサンフランシスコが再びおそわれる前に1857年の地震の再来があるのではないかと心配しているのである。おまけにカリフォルニアの人口はますます増加し1970年でサンフランシスコとロスアンゼルス市だけで1,000万人を超えているからである。カリフォルニア以外の主な地震計網はネバダ・アラスカ・ハワイ・イエローストーン・アリュシャン列島と東部ニューヨーク州にある。例えばアリュシャン列島のネットワークのような遠隔地では現地の1根拠地に無線又は有線でテレメタリングをしそこで集中記録されて、そのデータは時々研究所へ郵送されている。近い所では直接テレメタリングによって研究所へ送られ集中記録されている。現在P波S波の読取りを電子計算機を使用してリアルタイムで行なり高い水準のデータ処理が計画され、一部では既に行なわれている段階である。日本の第3次地震予知計画（1974～1978）の柱の1つである観測網のテレメーター化はアメリカでは既に出来上っている。

次にカリフォルニアのネットワークを見よう。中部カリフォルニアには約130の地震観測ステーションがあり、その内約100はサンフランシスコ郊外のメンロパークにあるUSGSの地震研究のブランチ（National Center of Earthquake Research）にテレメーターで送られ集中記録されている。他のステーションはUSGS以外の大学（主にカリフォルニア大学）等の研究機関に属する（第2図）。このUSGSの観測システムについてのべると、各ステーションは1 Hz 上下動地震計（通常Mark Products, Model L-4C）と前置増巾器とVCO（Voltage-Controlled Oscillator, 通常Develco, Model 6202）のパッケージと電池を持っている。各ステーションでFM変調されたキャリアは有線（所によっては無線）で或るターミナルまで送られる。そこでは7ステーションまで重ね合わされる。重ね合わされた信号は音声用電話線でメンロパークの研究所まで送られる。そこでは各ステーション各に分離され復調器（通常Develco, Model 6203）で復調され16mmのマикроフィルム（Develocorder, Teledyne, Geotech, Model RF-400）と磁気テープに記録される。マクロフィルムには16のステーションと2つの時刻信号（WWVB, Chronometer）とが同時に記録され24時間分が1巻となっている。

こゝではおよそマグニチュード1.5以上の地震は震源が決められていて日に約10個だそうである。第3図は或る期間の震央分布を示している。こゝではデジタル化した信号を用いて高いレベルのデータ処理を研究しているが、既にリアルタイム処理は電子計算機CDC-1700を用いてルーチン化されており、初動方向・着震時・最大振巾・震動継続時間を



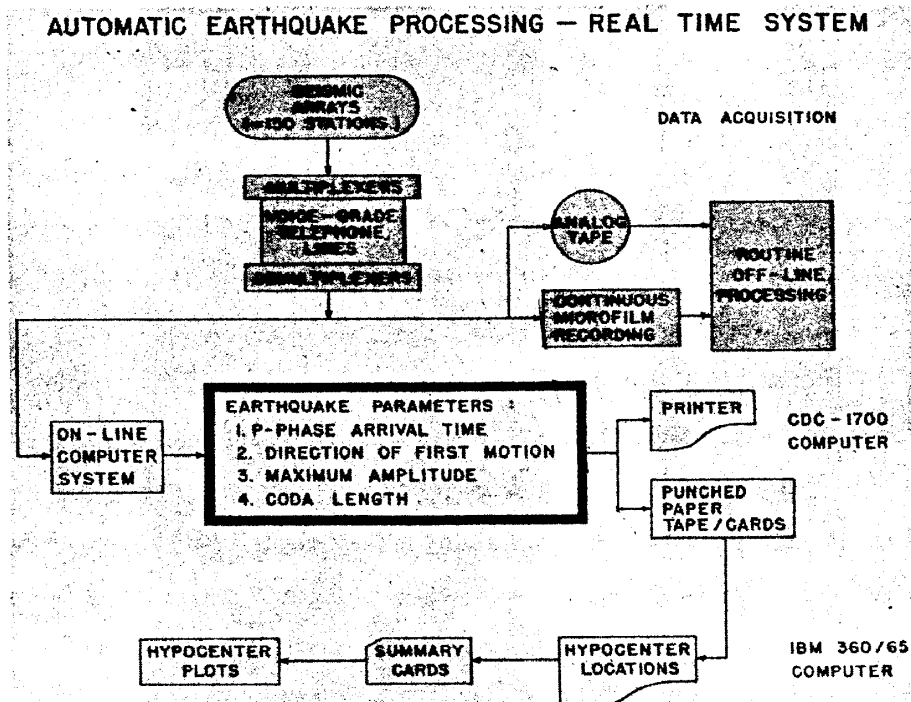
第3図：1972年10～12月の震央分布図。点線は震源決定精度の良い範囲を示す (Wesson et al., 1974)



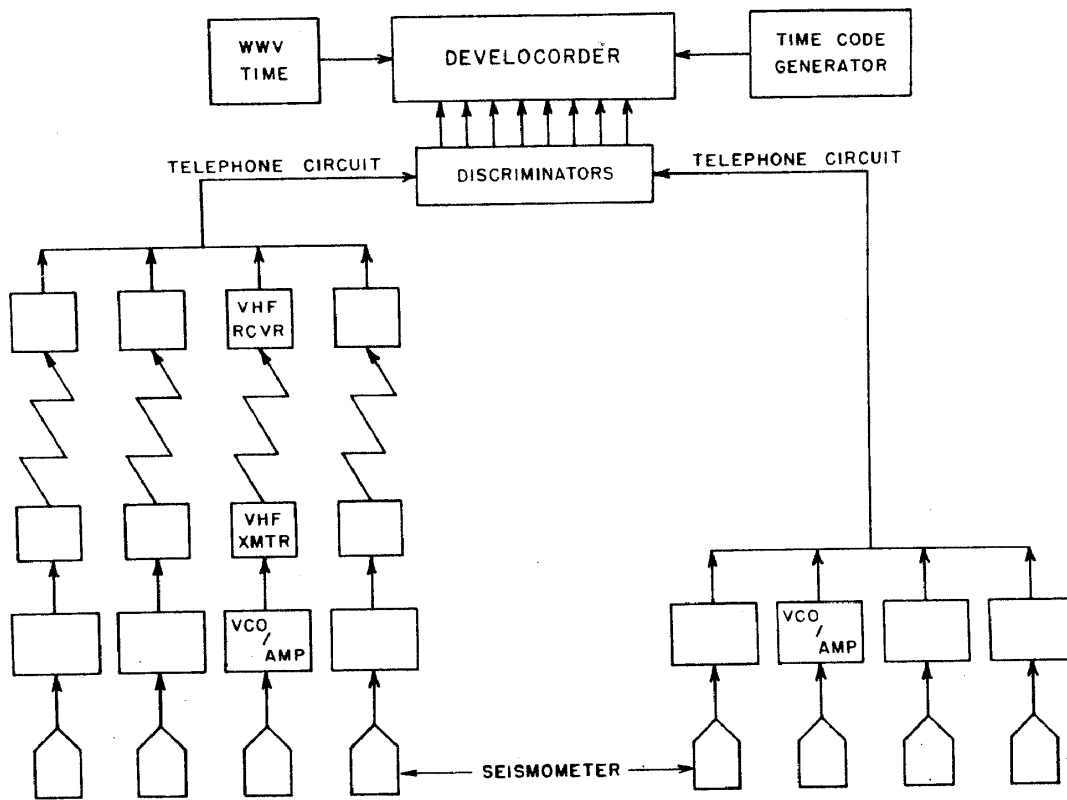
第2図：中部カリフォルニアの主な地震計群 (Stewart, 1974)

自動的に決めている(第4図)。第2図からわかるように観測網は非常に細かくステーション間の距離が10 Km以下の所さえたくさんある。従って当然ながら震源の精度も良い。第3図の震央分布も実にきれいに断層に沿って地震が発生している事を示している。N C E R (National Center of Earthquake Research)の報告(Wesson et al., 1974)によると、深さの精度が5 Km以内と見つめられた地震の数は約90%で、このとき震央位置の精度は2.5 Km以内と見られている。この様な精密観測網がすでに1972年にほぼ出来上っているのには驚かされる。第5図はテレメタリングによる集中記録方式のブロックダイアグラムを、第6図はシステムの総合特性を表わしている。

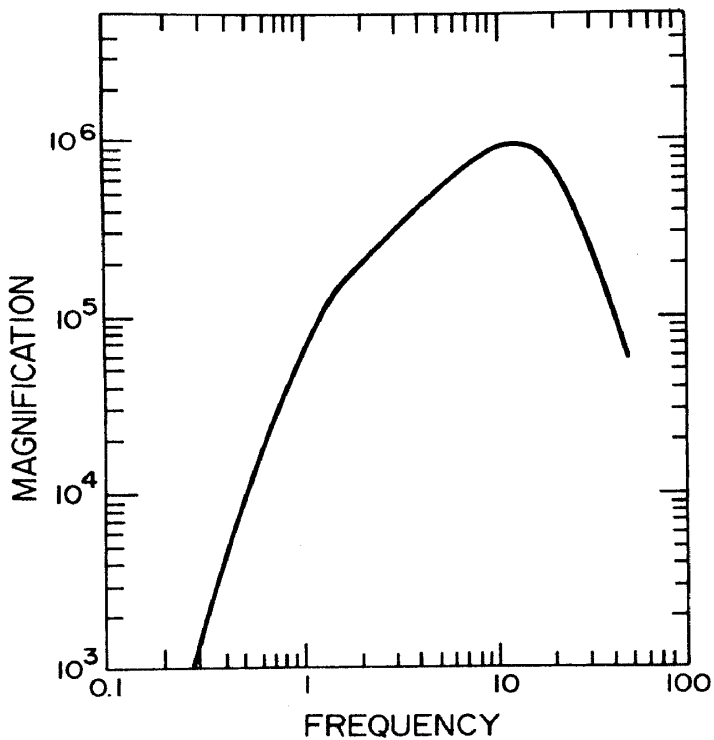
南部カリフォルニアの地震計ネットワークは殆んどパサデナに存るカリフォルニア工科大学の地震研究所とUSGSとの共同によるものである。第7図は南部カリフォルニアの約120のステーションを示している。殆んどこれ等のステーションでは、データは電話線又は無線によるFM方式で伝送されパサデナのカリフォルニア工科大学で集中記録されている。水平動地震計はわずか20~30のステーションにのみ設置されている。集められた信号は16mmのマイクロフィルムに連続記録として刻時マークと共に取られている。各ステーションでは無線受信器を持っていて自動的に一定頻度で標準時報を受信し刻時のキャリブレーションに用いている。こゝでもリアルタイムのデータ処理を計画しているがまだ実施はされていない。第7図からもわかるようにこゝは世界でも最も大きな精密な地震計群の1つである。当然、南部カリフォルニアネットワークの震源決定精度はこの前に示した中部カリフォルニアと同様に大変良い。



第4図：USGSによる自動地震データ処理システムのブロックダイアグラム (Stewart, 1974)

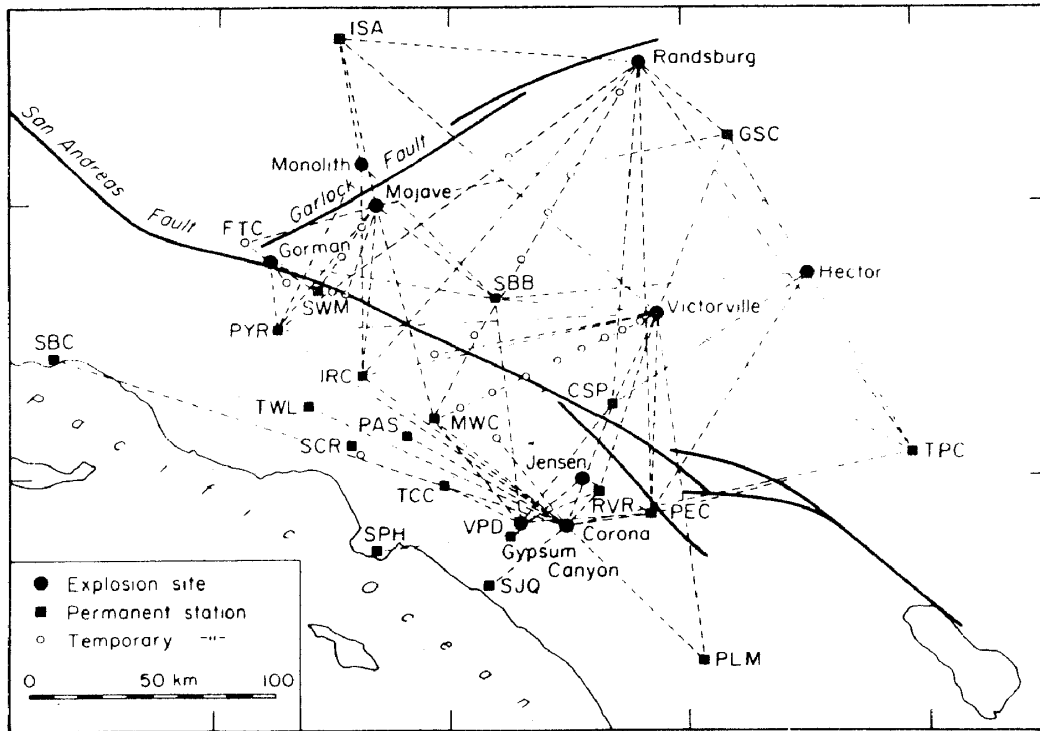


第 5 図：USGS による中部カリフォルニアのテレメタリングの集中記録システム (Wesson et al., 1974)



第 6 図：第 5 図のシステムの総合周波数特性 (Wesson et al., 1974)





第8図：爆破地震による地震波速度変化の研究のためのカリフォルニア工科大学のネットワーク (Kanamori, 1974a)

るためのネットワーク。第9図ではテレメーターで送られマイクロフィルムに取られた地震の記録をテクニシャンが読取っている。第10図はコマの北の或るステーションの写真。

カリフォルニア工科大学地震研究所の迅速な機動力とデータ処理能力は大学の研究所でありながら大変大きい。これは伝統的なものであるらしいが、1971年のサンフェルナンド地震の時は発生時刻が午前6時1分であったにもかかわらず約30分後に正確な位置を示した。又同じような大きさの1968年のボレゴマウンテンの地震は午後6時30分に発生したが、ポータブルな測定器をパサデナから約200マイルはなれた震源域に設置するために直ちに震源を決め又野外の断層の追跡は真夜中になされている。昔の東大地震研究所でもこの様な事があったらしいが、今の日本の大学ではとてもこんな迅速な行動はとれないのではなからうか。

カリフォルニア工科大学地震研究所のAllen教授の言葉を借りよう(Allen, 1974)。「300ものステーションからなるネットワークを要求するための正当な理由は何であろうか？ 非常に進んだ高精度の震源位置をうる事が出来るというのは十分な論拠にはなるまい。もちろん、これは確実に自然の性質をきわめ、活断層の正確な位置を知り又より一様な統計が地震工学にとって有効な事はまちがいない。しかし我々の真の目標は地震とその物理的パラメーターを連続的に監視する事によって、地震に先行する異常な変化を探知しそれによって地震予知の能力を発展させる事である。既に我々の地震研究所のスタッフは2つのローカ

ルな地震波速度の変化を観測しそれが理論上のモデルと一致する事を見出した。しかしこのモデルを一般的に応用するためには我々が今持っているものよりも更にもっと精密な地震観測網が必要である。おそらく地震研究所が地震後の地震を報告するだけではなく、信頼出来る進歩した予知のシステムを開発し、地震の前に何か意味のある警告を出す日はそう遠い先の事ではないであろう。この分野の仕事は非常に多くのきびしい問題を科学と社会の両方に対して持っている。しかしそれは又同時にかけて南部カリフォルニアのネットワークが持った事の無いすばらしい研究のための努力目標でもある。」

今持っている100以上のステーションでは足りなくて更に300まで拡張したいという真の意図を言葉通り素直に受取りたいものである。

最後に著者はUSGSとカリフォルニア工科大学がそれぞれ中部と南部のカリフォルニアのネットワークを何人のスタッフで維持しているかをぜひここで紹介したい。両機関とも100にあまるステーションからのデータ処理と維持を含めてそれぞれ10人で維持・修理・記録読取り・整理の作業をしている。うち半分の5人は主に電気関係の技術者で残り5人は記録読取りと整理のテクニシャンである。震源の決められる地震の数はおよそ日に10個だそうである。ステーションの数に比べてそれに直接従事している人の数があまりにも少ないので日本の地震観測者はおどろくに違いない。日本の気象庁のステーションは全国で約110ヶ所、地震の数は日に約10個、大学関係の全国の微小地震観測所は百数十ヶ所である。

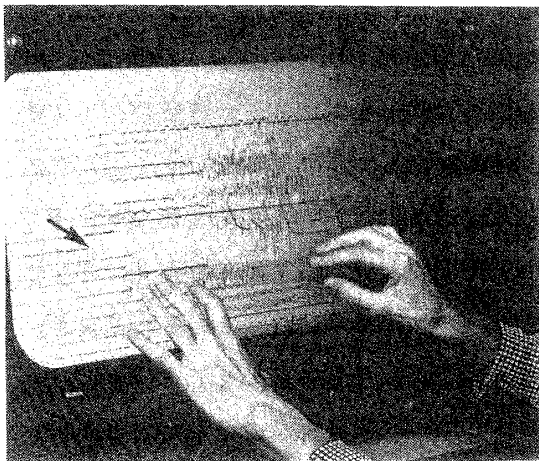
USGSやカリフォルニア工科大学は主に上下動地震計だけなのでその分を割り引いたとしても大変能率よく仕事をしている事になる。カリフォルニア工科大学地震研究所長

Anderson 教授に「日本では地震予知研究計画の実施に伴って新しく施設・設備が増加した。しかし同時に若い研究者がそれに伴う多くの雑用に追われて困るという問題が出て来た。こういった問題はアメリカではどうなのか」と質問したら、「カリフォルニア工科大学ではそんな事はない。研究者が雑用にわずさわされる事はない」という答えであった。またマサチューセッツ工科大学のPress教授に「地震予知研究計画の中のフィールドワークを消化するには、少なくとも日本では、大学は不向きであって、何か別の強力なフィールドワークをする能力を持った組織がいるのではないかと思う」といったら言下に「アメリカではそんな事はない。大学でもちゃんとやれる、現にカリフォルニア工科大学はやっている」といわれてしまった。まことにぐらやましい限りである。どうしてアメリカと日本とでこんな違いが出て来るのであろうか？ テレメタリングによるデータの集中記録方式が大変能率の良いものだという見本を示しているのかも知れない。技術に対する評価はアメリカでは高いと聞いているが、確かに観測に従事している技術者を大事にしている。それは待遇に表われていて、例えばカリフォルニア工科大学の50才位のある技術者は教授と同等の年収である。当然の結果として技術者には能力のある良い人が日本の大学よりは多くいる。またデータ通信の発達・普及の違いかも知れないが、アメリカのテレメタリングの費用は日本の約1/10

ですむ。はじめは半信半疑でいたが、最近著者の手元に送られて来たアメリカの或る会社のカタログと価格表を見るとテレメタリングの各ユニットは規格品でうられており価格は確かに日本の1/10である。最後に重要な違いと思われる事は、大学の研究所等を構成する研究者・補助者・事務関係者の構成比率にもあるようで、日本では研究補助者が相対的に少ない。更に管理運営上にも大きい違いがあるようで、日本の方が事務が煩雑なのではなからうか。

アメリカの地震予知研究についての報告はこれで終りである。この他に、著者の訪問先であったコロライド大学・テキサス大学・コロンビア大学・マサチューセツ工科大学においてもたいへん興味のある重要な研究を見て来た。しかし紙面の都合で省略し別の機会に報告したい。

話は飛んで申し訳ないが中国の地震予知研究の発展は最近目ざましいものがある。この国はアメリカとは全く違うやり方。「大衆に依拠したやり方」でもっと同じゴール「予知」を目ざしている。個人の物の考え方・生活態度・社会全体の違い等のために日本はアメリカのまねも中国のまねも出来ないであろう。又対象とする「自然」自体も日本には日本個有の問題を持っているから日本には日本に適した予知研究のあり方がある。ここに紹介したアメリカの例から何か学ぶものがあれば幸いである。



第9図：16mmのマイクロフィルムから地震の読取りをするテクニシャン(Allen, 1974)



第10図：ユマの北、カリフォルニアとアリゾナの境近のステーションGLAMIS(Allen, 1974)



参 考 文 献

- 1) Aggarwal, Y.P., L.R. Sykes, J. Armbruster and M.L. Sbar (1973): Premonitory changes in seismic velocities and prediction of earthquakes. *Nature*, **241**, 101–104.
- 2) Allen, C.R. (1974): The Southern California seismographic network. *Spec. Issue Geophys. planet. Sci. Caltech*, Calif. Inst. Technol., 14–17.
- 3) Anderson, D.L. and J.H. Whitcomb (1973): The dilatancy-diffusion model of earthquake prediction. *Proc. Conf. tectonic Probl. San Andreas Fault Zone, Stanford Univ. Publ., Geol. Sci.*, **13**, 417–426.
- 4) Bakun, W.H., R.M. Stewart and D. Tocher (1973): Variations in  $V_p/V_s$  in Bear Valley in 1972. *Proc. Conf. tectonic Probl. San Andreas Fault Zone, Stanford Univ. Publ., Geol. Sci.*, **13**, 453–462.
- 5) Brace, W.F. (1972): Laboratory studies of stick-slip and their application to earthquakes. *Tectonophysics*, **14**, 189–200.
- 6) Brady, B.T. (1974): Seismic precursors prior to rock failures in underground mines. Submitted to *Nature*.
- 7) Castle, R.L., J.N. Alt, J.C. Savage and G.I. Balazs (1973): Elevation changes preceding the San Fernando earthquake of February 9, 1971. *Geology* **2**, 61–66.
- 8) Cramer, C.H. and R.L. Kovach (1974): A search for teleseismic traveltime anomalies along the San Andreas fault zone, *Geophys. Res. Lett.*, **1**, 90–92.
- 9) Gupta, I.N. (1973a): Seismic velocities in rock subjected to axial loading up to shear fracture. *J. geophys. Res.*, **78**, 6936–6942.
- 10) Gupta, I.N. (1973b): Dilatancy and premonitory variations of  $P$ ,  $S$  travel times. *Bull. Seismol. Seismol. Soc. Am.*, **63**, 1157–1161.
- 11) Gupta, I.N. (1973c): Premonitory changes in shear velocity anisotropy in Nevada, *Proc. Conf. tectonic Probl. San Andreas Fault Zone, Stanford Univ. Publ., Geol. Sci.*, **13**, 479–488.
- 12) Hadley, K. (1973): Laboratory investigation of dilatancy and motion on fault surfaces at low confining pressures. *Proc. Conf. tectonic Probl. San Andreas Fault Zone, Stanford Univ. Publ., Geol. Sci.*, **13**, 427–435.
- 13) Johnson, M.J.S. (1974): Preliminary results from a search for regional tectonomagnetic effects in California and western Nevada. *Tectonophysics*, **23**, 257–266.
- 14) Johnston, M.J.S., C. Mortensen, B.E. Smith, R.V. Allen, A. Jones, S. Allen and D. Myren (1974): Tiltmeter, magnetometer and strainmeter arrays in California—Installation and some preliminary results (abstract only). *Trans. Am. geophys. Union*, **55**, 427.
- 15) Johnston, M.J.S., B.E. Smith, J.R. Johnston and F.J. Williams (1973): A search for tectonomagnetic effects in California and Western Nevada. *Proc. Conf. tectonic Probl. San Andreas Fault Zone, Stanford Univ. Publ., Geol. Sci.*, **13**, 225–238.
- 16) Kanamori, H. (1974a): Earthquake prediction. *Spec. Issue Geophys. planet, Sci. Caltech, Calif. Inst. Technol.*, **21**.
- 17) Kanamori, H. and W.-Y. Chung (1974b): Temporal changes in  $P$ -wave velocities in Southern California. *Tectonophysics*, **23**, 67–78.

- 18) Kelleher, J. (1972): Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions. *J. geophys. Res.*, 77, 2087-2103.
- 19) Kelleher, J., L. Sykes and J. Oliver (1973): Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and the Caribbean. *J. geophys. Res.*, 78, 2547-2585.
- 20) Kisslinger, C. and E.R. Engdahl (1974): A test of the Semyenov prediction technique in the central Aleutian Islands. *Tectonophysics*, 23, 237-246.
- 21) Kisslinger, C. and M. Wyss (1975): Earthquake prediction. *U.S. Natl. Rep., IUGG, 1975*.
- 22) Kisslinger, C. and T. Rikitake (1974): U.S.-Japan Seminar on Earthquake Prediction and Control. *Trans. Am. geophys. Union*, 55, 9-15.
- 23) Martin, R.J. (1972): Time-dependent crack growth in quartz and its application to the creep of rocks. *J. geophys. Res.*, 77, 1406-1419.
- 24) Mazzella, A. and H.F. Morrison (1974): Electrical resistivity variations associated with earthquakes on the San Andreas fault. *Science*, 185, 855-857.
- 25) McEvilly, T.V. and L.R. Johnson (1973): Evidence on the question of dilatancy in central California earthquakes of strike-slip type. *Science*, 182, 581-584.
- 26) McEvilly, T.V. and L.R. Johnson (1974): Stability of  $P$  and  $S$  velocities from central California quarry blasts. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 64, 343-353.
- 27) Northrop, J. (1973): Seismicity gaps in the Pacific-Antarctic ridge and East Pacific rise. *Oceanogr. South Pac. 1972, New Zealand Natl. Comm. UNESCO*, 285-290.
- 28) Nur, A. (1972): Dilatancy, pore fluids, and premonitory variations of  $t_s/t_p$  travel times. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 62, 1217-1222.
- 29) Prescott, W.H. and J.C. Savage (1974): Effects of the Bear Valley and San Juan Bautista earthquakes of 1972 on geodimeter line lengths. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 64, 65-72.
- 30) Press, F. (1975): Earthquake prediction. *Trans. Am. geophys. Union*, 56, 275.
- 31) Robinson, R., R.L. Wesson and W.L. Ellsworth (1974): Variation of  $P$ -wave velocity before the Bear Valley, California, earthquake of 24 February 1972. *Science*, 184, 1281-1283.
- 32) Scholz, C.H., L.R. Sykes and Y.P. Aggarwal (1973): Earthquake prediction: a physical basis. *Science*, 181, 803-810.
- 33) Spetzler, H. and R.J. Martin III (1974): Correlation of strain and velocity during dilatancy. Submitted to *Nature*.
- 34) Stewart, G.S. (1973): Prediction of the Pt. Mugu Earthquake by two methods. *Proc. Conf. tectonic Probl. San Andreas Fault Zone, Stanford Univ. Publ., Geol. Sci.*, 13, 473-478.
- 35) Stewart, S.W. (1974): Computer systems for automatic earthquake detection. *Earthquake Inf. Bull., U.S.G.S.*, 6, 17-21.
- 36) Sykes, L.R. (1971): Aftershock zones of great earthquakes, seismicity gaps, and earthquake prediction for Alaska and the Aleutians. *J. geophys. Res.*, 76, 8021-8041.
- 37) Talwani, P. and R.L. Kovach (1972): Geomagnetic observations and fault creep in California. *Tectonophysics*, 14, 245-256.

- 38) Wallace, R.E. (1974): Goals, strategies, and tasks of the Earthquake Hazard Reduction Program. *U.S. Geol. Surv. Circ. No. 701.*
- 39) Wesson, R.L., F.W. Lester and K.L. Meager (1974): Catalog of earthquakes along the San Andreas fault system in Central California. *Natl. Cent. Earthquakes Res., Open-file Rep.*
- 40) Whitcomb, J.H., J.D. Garmany and D.L. Anderson (1973): Earthquake prediction: variation of seismic velocities before the San Fernando Earthquake. *Science*, 180, 632–635.
- 41) Wood, M.D. and R.V. Allen (1971): Anomalous microtilt preceding a local earthquake. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 61, 1801–1809.
- 42) Wyss, M. and W.H.K. Lee (1973): Time variations of the average earthquake magnitude in Central California. *Proc. Conf. tectonic Probl. San Andreas Fault Zone, Stanford Univ. Publ., Geol. Sci.*, 13, 24–42.
- 43) Wyss, M. and D. Holcomb (1973): Earthquake prediction based on station residual. *Nature*, 245, 139–140.
- 44) Wyss, M. and A.C. Johnston (1974): A search for teleseismic P residual changes before large earthquakes in New Zealand. *J. geophys. Res.*, 79, 3283–3290.
- 45) Wyss, M. (1974): Will there be a large earthquake in Central California during the next two decades? *Nature*, 251, 126–128.
- 46) 力武常次 (1974): アメリカの地震予知研究. *科学*, 44, 571 (1975年7月2日原稿受理)