

前書き

我が国における地震予知計画は、この分野の指導的研究者の共同研究集団であった地震予知計画研究グループが昭和37年に立案した、「地震予知—現状とその推進計画—」（通称、「ブループリント」）を受けて、測地学審議会が審議し昭和39年(1964)に建議した「地震予知研究計画の実施について」（第1次計画）に始まる。その後、昭和43年(1968)に「地震予知の推進に関する計画の実施について」（第2次計画）が建議され、昭和48年(1973)に「地震予知の推進に関する第3次計画の実施について」、昭和53年(1978)に「地震予知の推進に関する第4次計画の実施について」、昭和58年(1983)に「第5次地震予知計画の推進について」、昭和63年(1988)に「第6次地震予知計画の推進について」、平成5年(1993)に「第7次地震予知計画の推進について」が、測地学審議会により建議されてきた。第7次の計画は、平成6年度から10年度までの5年間にわたって実施されており、現在進行中である。

第1次計画が開始されてから既に30有余年が経過したが、その間、日本列島及びその周辺では、少なからぬ数の被害地震が発生し、とりわけ、平成7年(1995)1月の兵庫県南部地震では、大正12年(1923)関東地震以来の甚大な災害を被るに至った。この地震を契機に、地震防災対策特別措置法が制定され、それに基づき総理府に地震調査研究推進本部が設置されるなど、地震予知計画に関わる状況も変化してきている。振り返って、これまでの地震予知計画により、研究を推進する上で基本となる観測網が順次整備され、地震現象の理解は格段に深まった。しかし、その一方で、地震の発生に至る過程の複雑さが次第に明らかになり、計画開始から30年以上経過した現時点で、当初目標とした「地震予知の実用化」は、いまだ達成されていない。

このような現在の状況を考えると、また次期計画の策定を検討するためにも、第1次計画以来進められてきた地震予知計画を総点検する必要があるとの認識のもとに、これまでの地震予知計画で何が明らかになったのか、計画の目標はどの程度達成されているのかについて、総括的な自己評価を行い、それに基づき地震予知計画の今後取るべき方向を探ることとした。なお、測地学審議会は、兵庫県南部地震発生後、事態を重く受け止め、実施に移されたばかりの第7次計画について総点検し、平成7年(1995)4月20日に「第7次地震予知計画の見直しについて」を建議したところである。本報告書では、兵庫県南部地震発生後の最初の自己評価であることから、上記の認識に基づいて、第1次計画以来の地震予知計画全体について、総点検することとした。

地震予知とは、「いつ（時期）」、「どこで（場所）」、「どの程度の大きさ（規模）」の地震が起こるかを、地震発生前に予測することである。現段階では、この3つの要素を同時に、業務として警報が出せるほどの確かさで予測することは、一般的に困難である。一方で、地震予知の基本となる地震発生場の理解は格段に進展し、上記3つの要素のそれぞれについての予測は、ある程度まで可能になってきた。こうした知見は、防災対応等の

社会の要請に応えうる実用的応用へ展望をもたらしていると考えられる。ここで評価するに当たっては、3つの要素のそれぞれについて、地震予知計画が予測の確かさをどの程度高めてきたのかを検証した。

まず、これまでの地震予知計画の実施状況及び成果を、第1次～第3次計画、第4次～第6次計画、第7次計画の3期に分けて取りまとめた(別紙A～C)。それに基づいて地震予知計画の推移・概要を、関連する社会の動きとともに概観した(I章)。

次に、これまでの地震予知計画により、どのような成果が得られ、また、観測研究成果は社会にどのように役立てられているかについて評価を試みた(II章)。「地震予知の実用化」が達成されていない現状では、これまでの観測研究により地震予知がどのような段階にあるのかについて社会の正しい認識を得ることが、今後の地震災害軽減のための対策を考える上で重要である。このために、地震予知がどこまで進展し、現時点でどの段階にあるのかを学術的に検証した(III章)。最後に、これまでの地震予知計画に対する総括的評価を行い、それに基づき、今後の地震予知計画はどうあるべきか、展望を拓くことを試みた(IV章)。

具体的には、今後の地震予知計画では、地震予知の実現に向けて、地殻全体の応力・歪状態を常時把握して地震の発生予測につなげる総合プロジェクトを発足させ、その過程で、「いつ」、「どこで」、「どの程度の規模」の3要素のそれぞれの予測誤差を小さくすることによって地震災害の軽減に寄与することを目指すとしている。

I 地震予知計画の推移・概要と社会の動き

昭和40年(1965)に始まり第7次計画まで約30年間に及ぶ日本の地震予知計画は、「業務として地震警報を出すという地震予知の実用化」を目指し、いわゆる「前兆現象」の検出・観測に重点を置き、前兆現象と地震発生との関係を経験的に結び付けようとする、「現象論的あるいは経験的地震予知研究」を主に行ってきた。

すなわち、地殻変動及び地震活動の観測により「地震の前に捉えられるであろう種々の前兆現象」から、将来起こるであろう地震の「場所」と「大きさ」を予測しようとする「長期的予知」のための全国的観測と、このような長期的予知に基づいて指定された「観測強化地域」において地震直前の前兆現象を捉えて地震が「いつ」起きるかを予測しようとする「短期的予知」のための観測を、基盤となる観測として位置づけて、その拡充に努めてきた。

地震予知計画は、これまでに整備された観測網によって、プレート収束境界に位置する日本列島の地震発生場としての大まかな力学的構造の理解において大きな成果を上げてきた。しかしながら、観測の密度や精度の向上につれて地震発生現象の複雑性が明確となり、地震予知計画が当初目指した、前兆現象の検出・観測に基づく「地震予知の実用化(すなわち業務として地震警報を出すこと)」への目途は、30余年間を経た現段階においても立っていない。

このような日本における地震予知計画の推移・概要を社会の動きとともに概観する。

1. 地震予知—現状とその推進計画—

地震予知計画は、測地学審議会が5年毎に建議してきた地震予知(研究)計画に基づいて推進されてきたが、その出発点は、昭和37年(1962)に立案された、「地震予知—現状とその推進計画」(以下、「ブループリント」という。)にある。まず最初に日本の地震予知計画のルーツとも言うべきこの研究計画について触れる。

ブループリントは、①地震を予知することは社会的に重要であり、②地震の発生前には前兆らしき現象が見つかっている、③しかしながら、観測体制の不備のため良く分からないので、観測を充実させたいが、そのような予知を目的とする観測・測定を行うとすれば相当に大規模なものになり、国家的規模で効果的な研究業務体制を要する、との認識のもとに、「地震予知を目的とする測定を行うとすれば、いかなる種類のものでありいかなる方法によるべきであるか」といった討議を経て、地震予知実現のための観測・測定並びに実施体制に関する研究計画と期待される効果を具体的に提言したものである。

ブループリントの基本的な考えは、①地殻内でどのようなプロセスを経て地震が発生するのかについての理論(モデルないしは作業仮説)は今のところ無いが、②まず第一に、地殻の変動が地震発生とどのように結び付くのか、また小さい地震と大きな地震の活動はどのような関係にあるのか、を観測を通して明らかにし、③地震の前にあるであ

ろう何らかの（前兆的）異常現象を観測できれば地震予知に結び付くはずである、というものである。また、期待される効果として、「規模等級6以上の地震を予知の対象とするならば、統計上日本の陸地または陸地に極く近い海中で、目標とする地震は毎年5回の割合で起こることになり、そのうち破壊地震は毎年約1回になる。従って、本計画による数年間の観測資料蓄積によっても、目標とする地震の発生と観測された現象との関係を明らかにできる公算は大へん大きいと言える」と考えて、「地震予知を事業としてスタートし提言するような観測体制の整備が10年程度で完成すれば、地震の予知がいつ実用化するか、すなわち、いつ業務として地震警報が出されるようになるかという問いに10年後には十分な信頼性を持って答えることができるであろう」と締め括っている。

2. ブループrint及びブループrintの10年後の見通しに対する今日的評価

ブループrintに提言された具体的な計画は、まず地震発生に至るプロセスに関する理論・モデルが無い時には、考えつく観測を行い地震予知の手法を探していこうとする、経験的・実験物理学的観測計画であり、プレートテクトニクス及び食い違い弾性論に基づく地震発生機構の理論が形成される以前の提言及び計画であることを考慮すれば、高く評価できる。この提言を受けて推進された地震予知計画により、極めて貧弱であった当時の観測体制が刷新され、今日の大規模な観測網を構築することを可能にし、それは日本列島全体の地殻変動や地震活動の把握に重要な基礎資料を提供し、地震に関する研究の進展に寄与した面で高く評価できる。

一方、ブループrintでは、地震予知がいつ実用化できるかという問いに、「10年後には十分な信頼性をもって答えることができるであろう」としていたが、30年後の今日なお予知の実用化の見通しが立っていない。このことについては、①ブループrintで提言された観測体制が10年では完成しなかったこと、②計画開始からの30年間は陸域下の地震活動が低い時期に当たり、目標とする地震が想定通りの頻度で発生しなかったことから、「十分な信頼性をもって答える」に必要なデータの蓄積が十分では無かったという事実はある。しかし、30余年間進められてきた地震予知計画の成果は、次の2つの点を明らかにしており、結果として、10年後に答えうるという想定が楽観的であったことを示したといえる。

第1に、M6程度の規模の地震を対象とするには、例えば、微小地震・地殻変動連続観測網の観測点密度は粗過ぎて、当初予想した大地震発生との関係について、系統的に調査できるような観測事例の蓄積には至らなかった。すなわち、前兆現象が発現するものとしても、その発現する範囲及び変化量は、予想よりはるかに狭い領域に限られ、変化量も小さいこと。第2に、その後、地震前の異常現象の報告が増えるにつれ、前兆現象が仮に発現するにしても、それは複雑多岐にわたり、蓄積された事例を総合化して発現機構を究明するとしたら、予想をはるかに上まわる長期間を必要とすること。

なお、地震予知計画の開始から12年を経過した昭和52年(1977)に「東海地域判定会」

が地震予知連絡会内に発足し、さらに、昭和53年(1978)に制定された大規模地震対策特別措置法(大震法)を受けて、昭和54年(1979)には、気象庁に「地震防災対策強化地域判定会」が設置された。これらの措置は、「いつ業務として警報が出されるようになるか」という間に、少なくとも体制面において現実の一つの姿として回答を与えたといえる。しかし、予知手法の科学的根拠と予知情報の社会への影響については、更に検討すべき課題が残されている。

3. 各計画次における地震予知計画の概要と社会の動き

(1) 第1次～第3次地震予知計画

グループプリントに基づき、昭和38年(1963)に日本学術会議から「地震予知研究の推進について」の勧告が政府に対して出された。さらに、測地学審議会は地震予知計画研究グループの成果について、それを推進することの重要性を認め、審議会に新たに地震予知部会を設置し検討を重ねた。その結果、昭和39年(1964)新潟地震(M7.5)直後の7月に、測地学審議会は10年を目途とする「地震予知研究計画の実施について」を建議した。後に第1次計画(昭和40～43年度:1965～1968)と呼ばれたこの研究計画は、グループプリントが掲げた研究計画を推進するため、地震予知研究の基盤となる測地測量と地震観測を中心とする基礎データを全国的な規模で収集する体制づくりを目指すものであった。まず、測地測量と地震観測を中心に、検潮、地殻変動連続観測、地球電磁氣的観測を開始し、その後、地震波速度変化の測定、活断層の調査の実施、次いで地震移動観測班、観測センターの整備と、計画は次々に実施された。この間、昭和40年(1965)に始まった松代群発地震は翌年春に最盛期を迎え、地震予知は大きな社会問題となった。さらに、昭和43年(1968)の十勝沖地震(M7.9)等被害地震が発生したこともあって社会の要請も高まり、測地学審議会は同年7月に地震予知の一層の推進を図る建議を行った。これにより第1次計画は4年で打ち切れ、昭和44年度(1969)からは「予知の実用化」を目標とした観測研究の強化を図る、第2次地震予知計画に移行した。この段階で「地震予知研究計画」から「研究」の2文字が取られ、「地震予知計画」となった。

第2次計画(昭和44～48年度:1969～1973)により、今日の地震予知体制の骨格が形成された。まず、昭和44年(1969)に各地震予知観測担当機関の情報交換や情報の総合的判断を行うために「地震予知連絡会」が設置された。さらに、各機関に観測センターが設置された。昭和45年(1970)には、観測研究の重点的実施のための「特定観測地域」及び「観測強化地域」が指定された。また、研究項目に新たに、活褶曲の調査、東京における深井戸観測、室内及び野外における岩石破壊実験も加えられた。この頃に地震空白域の考えにより、東海地方の地震や根室半島沖地震の可能性が指摘された。昭和48年(1973)6月根室半島沖地震が予測どおりの場所で発生すると、もう一つの注目地域であった東海地方での予知の可能性が社会的にも印象づけられ、予知の実用化に向けた計画を推進する社会的な要請が強くなってきた。

第3次計画（昭和49～53年度：1974～1978）では、このような社会情勢を踏まえ、また、 V_p/V_s 比の異常現象に関する報告に基づき、地震予知の実用化についてかなり明確な見通しを立てることができるようになったとし、地震の長期予知と短期予知の戦略が提唱された。観測強化地域を中心に地震予知体制の強化を図り、測地測量における光波測距儀の導入、地震観測等におけるテレメータの採用、深井戸観測施設の整備、ケーブル式海底地震計及び埋め込み式体積歪計の設置等新たな観測技術を導入した。この間、昭和50年（1975）に中国における「海城地震の予知の成功」が伝えられるなど、予知の実用化が近づいたとの印象を社会に与え、昭和49年（1974）からの伊豆半島及び周辺の地震活動の活発化や南関東の異常地殻活動の報告を契機として二度にわたる計画の見直しが行われた。

昭和50年（1975）7月の第3次計画の一部見直しの建議では、観測項目の多様化と基礎的分野の研究の必要性を強調し、実施の遅れている海底地震観測と地殻応力測定 of 推進を図るべきとされ、新しく推進すべき観測研究計画としては、ダイラタンシー理論に基づく地震波速度の時間的変化及び短周期地殻変動と地球潮汐の関係、地震発生過程、地下水、電気比抵抗変化、地殻構造探査、重力変化の観測研究等が上げられた。また、集中観測（テストフィールド）、全国的ネットワークの検討、データの総合処理、歴史資料の収集と解析が総合研究の課題とされるとともに、地震予知観測センター及び移動観測班の整備の推進が計画されたが、研究体制について、省庁を横断した研究プロジェクトチームの編成について重要な提言がなされている。すなわち、「研究的な要素の強い部分に対しては、研究内容に応じて研究チームを作り、弾力的な研究体制によって推進する方向が有効である。その際、研究目的及び内容は事前に精査するとともに、研究プロジェクトチームは、“開かれた”ものとして構成されることが望ましく、従来関係の薄かった学科目制の大学の研究者や、官庁・研究機関及び他分野の研究者をも、適材であればメンバーとして迎え入れていく必要がある。」と記されている。現在から見ても非常に優れた提言である。このような提言を実現していくことが是非必要とされよう。

この見直しの建議の翌年、昭和51年（1976）には、東海地域の想定震源域が駿河湾奥に入る可能性が高いとする「東海地震説」の発表がなされ、後に地震予知体制の上で重要な影響を与えることになる。昭和51年（1976）の再度見直しの建議では、観測網の強化と東海地域判定組織の必要性を指摘し、予知の実用化を目指して体制を一段と整備充実することとした。これによって、深井戸観測や観測のテレメータ化等、長期的及び短期的予知に有効な観測手法が導入され、観測精度は向上した。

昭和52年（1977）4月に地震予知連絡会の中に「東海地域判定会」が設置され、昭和53年（1978）には「大規模地震対策特別措置法」が施行されるなど、体制としては東海地域の地震予知は実用化へ一歩踏み出すこととなった。昭和53年（1978）1月の伊豆大島近海地震（ $M7.0$ ）はこのように強化された観測網内に発生し、顕著な前震が観測された他、いくつかの観測点で地殻歪、地下水中のラドン濃度、地下水位等に前兆的と思える異常が観

測された。また、テレメータの導入による震源決定の高精度化は、基礎研究にも大きな効果をもたらし、例えば、二重深発地震面が世界で初めて見いだされ、沈み込むプレート内の応力分布も明らかにされた。

（2）第4次～第6次地震予知計画

第4次計画（昭和54～58年度：1979～1983）では、地震の「場所」と「規模」を予測する「長期的予知の手法」を基盤として、地震発生の「時期」を探る「短期的予知の手法」の確立、すなわち前兆現象の的確な検知とその実態の把握に重点をおいた。前兆らしき現象の観測例は次第に増えてきたものの、その出現様式は複雑多岐にわたることが次第に明らかになり、地震予知達成のためには、多種目・多点での観測データの総合的な分析が不可欠であるとともに、地震発生の機構解明等の基礎研究が重要であるとの認識が一層強くなってきた。長期的予知の分野では、全国を対象とした測地測量による日本列島の歪分布の第1回調査が、第4次計画中にはほぼ完了した。観測強化地域の精密水準測量では年周変化も検出されるようになってきた。ケーブル式海底地震計の設置により海底で実用的な観測が可能になり始めた。また、地震観測の広域化や検知能力の増大、データ処理速度や精度が向上し、地震空白域の形成、地震発生様式の特徴など、前兆的な地震活動に関する報告があった。例えば、昭和58年(1983)の日本海中部地震(M7.7)では、特徴的な前震活動・地殻変動が検出された、と報告されている。そのほか、全国にわたる活断層分布図が作成され、いくつかの活断層ではトレンチ発掘調査が行われた。これらの観測・調査によって内陸地震についても、発生様式に関する手がかりが得られるようになった。この活断層調査の結果は日本列島内陸における地震発生の場所と規模の長期予測にとって重要な成果と評価される。観測強化地域では、多項目の観測を実施し、気象庁等関係機関及び大学の各データセンターへのデータ集中化が進み、観測体制の充実が図られた。昭和54年(1979)には、東海地域が「地震防災対策強化地域」に指定されるとともに、地震予知連絡会に置かれた東海地域判定会は発展的に解消され、気象庁に「地震防災対策強化地域判定会」が設置され、東海地域の常時監視体制が確立された。観測強化地域以外でも、微小地震観測網の自動処理、データ流通の整備及び地殻活動総合観測線の整備等が行われ総合的な観測研究の基礎が築かれつつあった。基礎的研究の分野においても、関東地方や東北地方における「移動性地殻変動」の発見、山崎断層テストフィールドにおける微小地震活動・地殻変動・地下水・自然電位の前兆的異常変化の検出、ポアホール σ 成分歪計の開発、岩石破壊実験における前兆現象再現の試み等に進展があった。

第5次計画（昭和59～63年度：1984～1988）では、第4次計画と同様に「長期的予知」及び「短期的予知」の手法の考え方を基本に、観測強化地域及び特定観測地域を中心として観測研究の充実を図るとともに、地震発生機構解明のための基礎研究を幅広く推進した。特に、多項目・高密度な観測と多角的・総合的な解析によって、多様かつ複雑な前兆現象の捕捉を目指した。明治以来100年間の全国にわたる地殻水平歪図が完成するとと

もに、宇宙技術を利用した測地測量の導入が図られた。地震観測網が引き続き整備され、データの自動処理化が進むとともに、海域における定常地震観測が強化される等、観測能力が質・量ともに高くなった。全国にわたる活構造図の完成とともに、活断層のトレンチ発掘調査により内陸地震の繰り返し発生に関する情報が増した。地震観測から、内陸における上部地殻に発生する微小地震の下限とその下の下部地殻に存在する地震波の反射層の存在から、脆性的な上部地殻と延性的な下部地殻といった、内陸地震発生場としての地殻のレオロジカルな性質に対する理解が深まった。また、地震発生に関連のある地殻活動の特徴の把握や、前兆と考えられる地震に先行する異常現象について報告があった。破壊に伴う現象の実験的解明や地震活動と地殻構造との関連性等の基礎研究も引き続き行われた。データ収集・処理体制の整備や、気象庁の「地震活動等総合監視システム」の整備による常時監視体制の充実等地震予知体制の一層の整備が進んだ。地震波速度変化の観測研究のための爆破探査は、伊豆半島、及び東海地域で行われてきた。計測技術は進歩し測定結果の信頼性は向上しているが、観測誤差を超える地震波速度変化は検出されていないと総括され、第1次計画から第5次計画まで行われてきたこの探査は、第6次計画以降は実施されなくなった。

第6次計画（平成元年～5年度：1990～1993）では、「長期的予知」に有効な観測研究の充実、「短期的予知」に有効な観測研究の充実、地震予知の基礎研究の推進と新技術の開発、地震予知体制の充実の4項目に沿って観測研究の推進を図った。これは、大枠においては第5次計画を踏襲するものであったが、以下の2点に重点をおいた。第1は、内陸地震の予知の実用化を将来の課題として基礎的観測研究の積極的な推進を図った。これは、全国的に展開された地震予知観測網に捕捉される前兆現象に基づいて、大地震の長期的予知（場所と規模の予測）の研究を行うという、従来の「待ち」の考え方から一步踏み出し、蓄積された資料と現在の知識に基づいて内陸地震研究の重点地域を選び、集中的に総合的観測研究を実施して現在の地震発生能力を積極的に診断しようとするものであり、地域的には地殻の不均質微細構造及びそれと微小地震発生分布との関係の解明が進んだ。第2は、VLBI、SLR、GPS等の宇宙技術を利用した測地測量等の新技術の開発に重点をおいた。その結果、宇宙技術による地殻変動観測が実験段階から実用段階に移行して広域地殻変動の連続的な高精度観測が可能になり、測地測量に新たな展開をもたらした。

（3）第7次地震予知計画

第7次地震予知計画（平成6～10年度：1994～1998）は本レビューの時点ではまだ実施途上であるが、第6次計画まで進めてきた「長期的予知・短期的予知」の方式を踏襲するとともに、地震予知の手法を確立し精度を高めるための観測研究について、特に推進すべき課題として、プレート境界地震と内陸地震という異なるタイプの地震を対象とし、プレート運動とそれに由来する広域応力場の把握に基づいて、地震発生の1サイクル

ルの中で現時点を位置づけ、地震発生のポテンシャルを評価することを取り上げている。また、これまでの計画の項目とは異なり、事業の項目が、①地震予知の基本となる観測研究の推進、②地震予知のポテンシャル評価のための特別観測研究の推進、③地震予知の基礎研究の推進と新技術の開発、④地震予知観測体制の充実、の4項目に整理されている。この第7次計画がスタートした平成6年度(1994)には、10月に北海道東方沖地震(M8.1)、12月に三陸はるか沖地震(M7.5)、平成7年(1995)1月に兵庫県南部地震(M7.2)が発生した。特に、兵庫県南部地震に際しては、多数の尊い人命が失われ、阪神・淡路地域に甚大な災害もたらされた。これを受けて、同年4月には、地震発生のポテンシャルの評価を目指す観測研究や活断層に関する調査研究等を一層推進するとともに、地震に関する情報を社会に適切に還元する機能を強化し、これに対応する体制を整備するとする、第7次地震予知計画の見直しが建議された。

また、同年6月には「地震防災対策特別措置法」が制定され、同年7月には同法に基づき「地震調査研究推進本部」が総理府に設置され、行政機構が整備された。地震調査研究推進本部は、全国を対象とした、微小地震観測による地震観測、GPS連続観測による地殻変動観測、活断層調査を基盤的調査観測として取りまとめた。

全国的に展開されたGPS観測網は、従前であれば測地測量によって10年程度はかかっていた全国の地殻変動速度分布をわずか1年の観測で描き出した他、数々の地震による地震時の地殻変動を短時間のうちに描いて見せ、地震後の余効変動を見事に捉えてきた。このように、これまでの測地測量と比べてはるかに高い時間分解能を持つGPS観測網は、プレートの収束境界域として世界的に見ても大きな変動速度を持つ日本列島における地震時、地震後、地震間及び地震前の地殻変動を捉えつつある。ブループリントに述べられている「日本全域の刻々の地殻の変動を捕え、地殻に関する情報を得る」という意味での測地観測が実現するものと言える。

また、ブループリントで目指した「全国的に微小地震の活動の消長を詳しく知る」ための高感度地震観測は、全国をカバーし長期間にわたり安定した観測を目的とする基盤的地震観測網として、関係機関により整備されようとしている。ブループリントに提言された微小地震観測網は日本列島が地殻に強い不均質性を持つという現在の知識をもってすれば粗すぎるので、この全国を網羅し業務的な役割を持つ高密度の基盤的地震観測網の完成によって、当初目指した地震観測網が構築されようとしていると言える。

II これまでの地震予知計画の成果

1. 地震予知計画の成果

いわゆる地震予知の3要素について地震予知計画のもとでどれだけ予測が可能になったかを検討することは本レビューの目的の1つであり、それについてはⅢ章で詳述する。もともと地震予知計画は調査観測を軸とした経験的手法を主体に進展してきたものであり、Ⅲ章で述べる地震予知計画の成果はそうしたアプローチがもたらしたものである。

一方、これまでの地震予知計画は地震予知の基礎となる地震発生場に関する研究においても成果を上げてきた。地震発生メカニズムを理解し、その理解に基づいて地震を予知するためには、①日本がプレート境界に位置し温度場と応力場が三次元的に著しく不均質であること、②その中での地震や火山などの活動によって地殻の応力・歪状態と流動・破壊特性が時間的にも空間的にも絶えず揺らいでいること、③そのような揺らぎの中である条件に達した時と場所に大地震に成り得る破壊が発生する、などについて広く深い理解が必要である。こうした認識は、地震予知計画の当初から鮮明だったわけではなく、学問の進展と地震予知計画の成果の積み重ねの結果として浮き彫りにされたものである。以下では、こうした視点から地震予知計画の成果を概観する。

（1）沈み込み帯の構造とテクトニクス

我が国は、太平洋プレートやフィリピン海プレートが沈み込む場所（沈み込み帯）に位置する。沈み込み帯は、冷たいプレートが沈み込む海溝とその背後の活発な火山とに象徴されるように、熱的にも力学的にも著しく不均質な場である。地震は、このような不均質な場の中で、ある特定の場所においてのみ発生する。沈み込み帯のどのような場所でもどのような地震が発生するかについては、この30余年間、大いに理解が進んだ。この分野の進展に対する日本の貢献は群を抜いており、「沈み込み帯の構造と地震テクトニクスの解明」は、地震予知計画における大きな学問的成果である。

全長2000kmに過ぎない本州弧、あるいは1000kmの東北日本弧が、最も解明の進んだ島弧系として固体地球科学関係のあらゆる分野の論文や教科書に登場する。ここでは、日本島弧系においてどのような地震がどのような場所で発生するかということの認識について、地震予知計画の果たした役割をまとめておく。

地震発生を規定する破壊・流動特性は温度に敏感である。地球内部の最も大規模な低温異常はプレートの沈み込みに伴っており、地震の発生が深さ700km近くにまで及ぶ。逆に最も大規模な高温異常はプレートが生成される中央海嶺沿いにあり、地震の発生はわずか10km程度までに限られる。一方、両者から遠く離れたプレート中央部では地震活動が低い。これらは、地震発生には低温領域の存在とある程度以上の差応力の作用が必須であることを物語る。こうした地震発生の温度依存性・応力依存性は、さらに沈み込み帯の中に限っても、その著しく不均質な温度場・応力場を反映して多様な地震活動を生み

出している。地震予知計画は、沈み込み帯がどのような温度場・応力場にあり、そこでどのような地震がどのように発生しているかについて、多くの成果をあげてきた。以下、その概略を述べる。

日本列島周辺域における反射法による海底地震探査は、陸側斜面の下に極低角度で傾斜する厚さ10km未満の海洋地殻を検出し、太平洋プレートやフィリピン海プレートが海溝から日本列島下に潜り込んでいることを実証した。我が国の海底地震観測技術を駆使した大規模な屈折法探査は、この潜り込んだ海洋地殻を島弧の下深さ30km付近まで追跡することを可能にした。更に、微小地震観測網による自然地震の記録解析からは、潜り込んだ海洋地殻と推定される薄い層が東北日本では深さ150kmまで、西南日本では深さ60kmまで確認されている。一方、微小地震観測網データのトモグラフィー解析は、沈み込む海洋プレートの本体部分を温度分布モデルに調和的な地震波の高速異常・低減衰異常域としてとらえ、またその表層部の海洋地殻を低速度異常領域として捉えるなど鮮明かつ詳細にイメージした。トモグラフィーはまた、沈み込むスラブの上側のマントルに島弧の火山地域につながる地震波の低速度異常・高減衰異常領域が存在することも明らかにした。こうした異常は、第一義的には島弧を横切る温度場の著しい不均質性を反映したものと考えられ、この考えを支持する地球電磁気学的観測や物性測定実験の結果も出されている。

沈み込み帯のどこに地震が発生しているかを明らかにするためには、精密な震源決定が必要であり、そのためにも、また地震発生場所の性質を明らかにするためにも、正確な地殻・マントル構造の知識が不可欠である。特に、海溝付近は海洋プレートが島弧地殻の下に沈み込むという構造的な複雑さに加え、震源が海域にあるために近地観測が困難という技術的問題もあって、海溝付近における活発な地震活動の理解はなかなか進まなかった。しかし地震予知計画に基づく海陸合同の大規模な構造探査は、海溝から島弧にかけての複雑な地殻・マントル構造をかなりの程度にまで明らかにした。また、それに基づく精密な震源決定によって、海溝付近の地震活動は、沈み込む海洋プレートの内部、海洋プレートに引きずられる島弧地殻の内部、及び両者の境界沿いの3か所に分けて理解することが可能となった。この3か所は、いずれも巨大地震ないし巨大津波を発生させる能力のある場所として重要である。

深さ60km以深に震源を持つ地震（深発地震）は、周囲のマントルと比べてより冷たい沈み込むプレート内部にのみ発生する。沈み込んだ太平洋プレート内部の地震は、プレート上面に近い平行な互いに30km程離れた2重の面（2重深発地震面）に沿って発生する。2重深発地震面の上の面と下の面とで起震応力は、あたかも薄い板を曲げたとき板の上面と下面に発生する引張応力と圧縮応力のように、互いに正反対となる。この発見は世界を驚かせ、また地震予知計画によってテレメータ化された微小地震観測網の威力を示すものともなった。この発見により、温度場と応力場がプレート上面を境として内側と外側とで急変すること、プレート内で厚さ方向にわずか30km離れただけで広域応力が逆転す

ることが実証され、地震発生に関わる温度場・応力場が空間的に急激に変化していることが浮き彫りにされた。

日本列島下の浅い地震の発生は上部地殻に限定され、下部地殻やその下のマントルで発生することはほとんどない。更に重要なことに、微小地震の精密な震源決定の結果、地震分布の下限は上部・下部地殻の境界に正確には一致せず地殻内で凸凹していること、その凸凹はキュリー点深度分布や地殻熱流量分布とよく相関することが明らかとなった。特に、火山地帯では地震分布の下限は著しく浅くなり、逆に、沈み込む冷たいプレートに接する場所では下限が深くなる。これらの事実は、地震発生が、岩石の違いよりも、地温変化により敏感であることを示している。地震予知計画に基づいて岩石のレオロジーに関する実験的研究が進められ、上記のような観測結果が岩石の破壊・流動特性の温度・圧力依存性の現れとして説明できることが示された。微小地震分布の下限は、直下型大地震の震源域の深さ方向の限界を示すものとして重要である。

浅い地震のメカニズムは、地殻の応力分布を反映している。数多く発生する微小地震の1つ1つのメカニズムは、個々の断層の方向と広域応力の方向との兼ね合いで決まるが、膨大なデータが得られるようになった現在、メカニズムのばらつき具合から広域応力の主軸方向が推定できるようになった。更に、精密な震源決定に基づいて、地表（自由表面）から深くなるにつれて広域応力の主軸方向がどのように変化するかまで明らかにすることができるようになった。また、東海地域の島弧地殻とその下に潜り込むフィリピン海プレートでは地震のメカニズムが全く異なり、プレート間地震の断層面を境としてその上下で応力場が急変することが明らかになった。同様なことは、テクトニクスがより複雑な関東地方においても見いだされている。

参考文献：

- Hasegawa, A., D. Zhao, S. Hori, A. Yamamoto and S. Horiuchi, 1991, Deep structure of the northeastern Japan arc and its relationship to seismic and volcanic activity, *Nature*, 352, 683-689.
- Hirahara, K., 1981, Three-dimensional seismic structure beneath southwest Japan: the subducting Philippine Sea plate, *Tectonophys.*, 79, 1-44.
- Hori, S., 1990, Seismic waves guided by untransformed oceanic crust subducting into the mantle: the case of the Kanto district, *Central Japan Tectonophys.*, 176, 355-376.
- Ishida, M., 1992, Geometry and relative motion of the Philippine Sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, *J. Geophys. Res.*, 97, 489-513.

- Ito, K., 1990, Regional variations of the cutoff depth of seismicity in the crust and their relation to heat flow and large inland-earthquakes, J.Phys. Earth, 38, 223-250.
- Matsuzawa, T., N. Umino, A. Hasegawa and A. Takagi, 1986, Upper mantle velocity structure estimated from PS-converted wave beneath the north eastern Japan Arc, Geophys. J. Royal astr. Soc., 86, 767-787.
- 野口伸一, 1996, 東海地域のフィリピン海スラブ形状と収束テクトニクス, 地震, 49, 295-325.
- Suyehiro, K. and A. Nishizawa, 1994, Crustal structure and seismicity beneath the forearc off northeastern Japan, J. Geophys. Res., 99, 2233 1-22347.

(2) 地震の発生過程及び発生サイクル

ある程度以上に大きな地震は、ほとんどの場合、既存の断層に沿って発生する。すなわち、大きな地震は既存の断層（活断層）に沿って繰り返し発生する。「地震サイクル」とはこの繰り返しを指す言葉である。地震サイクルはまず、地震破壊の開始・成長・停止に始まり、余効変動、断層強度の回復、応力の蓄積、先行現象、そして次の地震発生で完結する。平成7年(1995)兵庫県南部地震は、淡路島の既知の活断層である野島断層と神戸側に推定される地下の断層の活動による。野島断層の地震サイクルは約2000年と推定されるが、兵庫県南部地震の破壊の開始から停止まではわずか10秒であった。地震サイクルに関してよく分かってきたのは、このわずか10秒間程度の地震破壊の開始・成長・停止の過程（震源過程）だけであり、残りのプロセスについては今後の発展に待つべきところがほとんどである。それでもプレート境界地震に伴う地殻変動の時空間変動パターンに関しては比較的多くの観測結果があり、それを説明しようとした研究も多い。以下、地震予知計画によって地震の発生過程・地震サイクルについてどれだけのことが分かってきたかを概観する。

地震の繰り返しの歴史については、南海トラフ沿いの巨大地震のように、繰り返し間隔が100年のオーダーのものであれば古文書などの資料が利用できるが、内陸の直下型地震のように、繰り返し間隔が1000年のオーダーのものとなると活断層の調査がより有効となる。我が国では地震予知計画に沿って詳細な活断層調査が実施され、全国统一した基準のもとに作られた活断層分布図が刊行されてきた。活断層は広域応力場に置かれた上部地殻内部の傷であり、活断層調査によってこうした傷が上部地殻にどのように分布しているか、どのようなフラクタル的性質を持つかが明らかになってきた。また、内陸活断層のトレンチ調査や沿岸域活断層の音波探査等に基づいて、内陸地震の過去の発生時期が明らかにされ、その再来間隔が求められた。このようにして得られた再来間隔はプレート間巨大地震の場合も内陸地震の場合も相当にばらつくが、そのばらつき方は時間予測

モデルによってかなりよく説明できることが明らかとなった。これは、過去のデータに基づき将来の地震の発生時期を予測する場合の誤差を、単に平均再来間隔を用いる場合の数分の一にする可能性を示したもので、国際的に高く評価されている地震予知計画の成果である。

地震の破壊過程の詳細が急速に明らかになりつつある。この分野は、グローバル地震学、強震動地震学による研究成果と重なるが、地震予知計画による貢献も大きい。現在の高品質な地震記録と高度な解析手法は、複雑な破壊過程の実態を浮き彫りにしつつある。例えば、平成7年(1995)兵庫県南部地震は、破壊の開始から停止までが約10秒、断層の全長が40~50km程度のものであったが、その破壊過程が、時間的には1秒、空間的には5kmの分解能で追跡され、破壊の拡大、枝分かれ、ジャンプ等の様相が明らかになった。また、この地震では、国土地理院が行った各種測量やGPS(汎地球測位システム)観測網のデータからも断層変位分布の複雑さが示され、地球資源衛星”ふよう1号”によるSAR(合成開口レーダ)画像が面的な地殻変動分布を映し出すなど、新しい展開が始まりつつある。一方、地震の破壊過程の複雑さと、再来間隔のばらつき、地震規模のばらつき等の地震予知の困難さとを、例えばSOC(自己組織臨界現象)のような概念を用いて、同じ現象の異なる側面として理解しようとする考え方が顕著となってきた。

破壊過程の複雑さが解明されつつある現在、そもそも破壊はどのようにして始まるかが新たに大きな研究課題となりつつある。この研究課題での地震予知計画の大きな成果としては、例えば岩石実験に基づく、破壊開始時の断層変位とズリ応力との間に成り立つ構成則(摩擦法則)の確立を挙げることができる。この成果をきっかけに、実験ばかりでなく、理論や観測にも新しい動きが見られる。例えば、この構成則をクラック論に導入することにより地震破壊の開始を明らかにしようとする理論研究や、実際の震源に近づいて地震波の立上りを観測し破壊の始まりを解明しようとする、あるいは大・中・小地震に成立するスケール則の極微小地震への適用限界を明らかにしようとする観測研究が始まっている。

一方、地震後の震源域における余効的な運動についてはこれまであまり大きな進展がなかった。しかし、最近の急速なGPS観測網の整備により、例えば、平成6年(1994)三陸はるか沖地震の余効変動が検出され、地震直後からのゆっくりした断層滑りとして説明されるなど、この分野はにわかに活気づきつつある。断層強度の回復過程に関しては、未だほとんど何も分かっていないといっても過言ではない。最近、微小地震の精密な震源決定の結果、駿河トラフ沿いのプレート境界や余震活動の収まった活断層で、ごく近傍の活発な地震活動にも拘わらず、断層面に沿っては全く地震が起きていない現象が発見され、断層強度の回復過程との関連で注目されている。また、明瞭な地震動を伴わない「スローアースクエイク」の存在は、地震サイクルにおいて、常に同じような性質の地震が繰り返されるとは限らないことを示しており、その検知には最近のGPS連続観測を含めた地殻変動連続観測が重要な役割を果たしつつある。

地震の前兆現象の捕捉は、実用的な地震予知を目指すこれまでの地震予知計画の拠り所であった。従って、前兆的異常現象の観測事例は多数に上り、これに係る地震予知計画の成果については、I章、II章及び別紙（A～C）に記すところであるが、以下に重要な成果を列挙する（但し、*印は我が国における地震予知計画によるものではない）。

空白域の概念に基づく予知

根室沖地震：昭和47年(1972)予知，昭和48年(1973)発生(M7.4)

空白域・静穏化の概念に基づく予知（*）

メキシコ南部オアハカ地震：昭和52年(1977)予知，昭和53年(1978)発生(M7.8)

前震活動に基づく予知（*）

中国海城地震：昭和50年(1975)2月4日午前，前震活動ピーク，住民避難
夕刻，本震発生（M7.3）

前兆と判断される現象の検出

前震，ラドン濃度，地下水温，水位，地殻歪の異常：

昭和53年(1978)伊豆大島近海地震(M7.0)

空白域，内陸地震や火山の活発化，地殻変動，前震：

昭和58年(1983)日本海中部地震(M7.7)

最大余震前の余震活動静穏化：昭和59年(1984)長野県西部地震(M6.8)他多数
地下水塩化物イオン濃度の異常：平成7年(1995)兵庫県南部地震(M7.2)

上に見るように、地震に伴うと見られる現象は多種多様であるが、それらの間に系統性を見いだすには信頼できる観測例が少ない。前兆現象は未だ素過程のわからない学問的に魅力ある研究対象であり、素過程に立ち入った研究の今後が期待される。素過程は不明なもの前兆現象の多くに地殻流体(液体+気体)が関与していることは間違いなく、固体-流体複合系としての地殻の振る舞いを解明することは、今後の地震予知研究の大きな課題である。

参考文献：

- Hashimoto, M. and D. D. Jackson, 1993, Plate tectonics and crustal deformation around the Japanese Islands, J. Geophys. Res., 98, 16149-16166.
- Kasahara, M. and T. Sasatani, 1985, Source characteristics of the Kunashiri strait earthquake of December 6, 1978 as deduced from strain seismograms, Phys. Earth Planet. Inter., 37, 124-134.
- Kawasaki, I., Y. Asai, Y. Tamura, T. Sagiya, N. Mikami, Y. Okada,

- M. Sakata and M. Kasahara, 1995, The 1992 Sanriku-Oki, Japan, ultra-slow earthquake, J. Phys. Earth, 43, 105-116.
- Ohnaka, M., 1992, Earthquake source nucleation: a physical model for short-term precursors, Tectonophys., 211, 149-178.
 - Ohtake, M., T. Matumoto and G. V. Latham, 1977, Seismicity gap near Oaxaca, southern Mexico as a probable precursor to a large earthquake, Pure Appl. Geophys., 115, 375-385.
 - Sacks, I. S., S. Suyehiro, A. T. Linde and J.A. Snoke, 1978 Slow earthquakes and stress redistribution, Nature, 275, 599-602.
 - Shimazaki, K. and T. Nakata, 1980, Time-predictable recurrence model for large earthquakes, Geophys. Res. Lett., 7, 279-282.
 - Wakita, H., Y. Nakamura, K. Notsu, M. Noguchi and T. Asada, 1980, Radon anomaly: a possible precursor of the 1978 Izu-Oshima-kinkai earthquake, Science, 207, 882-883.
 - Tsunogai, U. and H. Wakita, 1995, Precursory chemical changes in ground water: Kobe earthquake, Japan, Science, 269, 61-63.

（3）地震活動・地殻変動のモニタリング

地震予知計画は、上に述べたような学術研究とそれを支える基本的観測体制整備とを一体として推進してきた。地震国日本において最も基盤的な事業の1つであるべき地震活動・地殻変動のモニタリング（実時間的な推移把握）は、これまで地震予知計画の下に推進され、観測網の整備とその先端性の確保に大きな努力が払われてきた。この結果、全国にわたる基本的な観測網が整備され、日本列島で進行しつつある地震活動・地殻変動を、ほぼリアルタイムでの確に把握できるようになった。特に、大地震の発生可能性が指摘された東海地方では、各種の観測網が重点的に整備されている。

また、地震予知計画は、新たな観測実験機器や処理システムの開発にも多大の貢献をしてきた。観測データには、必然的に雑音が含まれており、社会の発展は雑音増大方向へ進むため、より高品質低雑音の観測の実現にも地震予知計画は大きな力を注いできた。

ア．地震観測テレメータ網を全国規模で展開させた。これにより、オンライン・リアルタイム観測が可能となり、全国的にはM3以上、また、地域によってはM1.5以上の地震の活動を漏れなく捕捉できるようになった。さらに地震波自動観測処理システムが開発され、刻々と変化する地震活動の即時把握に貢献している。

イ．地殻変動観測は今のところ陸域に限定されるが、全国的規模の観測によって、地震予知計画開始当初の100年スケールから、現在ではGPS観測網の整備によって分・時間スケールの分解能で、地殻変動を把握できるようになった。今後は、更なる技術革新に

より、地殻歪の地表面における揺らぎをモニタリングできるようになること、また開発が進められている海底地殻変動観測システムの実用化が期待される。

ウ．首都圏のように雑音レベルが高く、しかも地震活動が高い地域に、新たに開発した高感度の深井戸孔内地震観測システムを設置し、ネットワークを構築することにより、関東地方の地震テクトニクス解明を大きく前進させた。

エ．高感度の孔内体積歪計のネットワークを展開した。これによって地震による歪ステップの検証、エピソード的な歪変化の検知、地震直前の地殻変動の捕捉などに期待が持たれている。また、3成分歪計等の孔内観測機器の開発も行われ、現在では、地震計・傾斜計等と組み合わせた複合型の孔内観測システムが開発され、実用化されている。

オ．観測データのS/N比をあげる手法の開発を進めた。例えば、地殻変動データから気圧変動及び潮汐変動の影響をリアルタイムで除去することが可能となった。ただし、雨・地下水による現象の影響の除去は依然困難である。

カ．ケーブル式海底地震観測システムが開発され、御前崎沖で10年以上の期間にわたる稼働実績をもつ。海底観測の重要性から、現在では房総沖、伊東沖、相模湾、三陸沖にも展開され、全国観測網の重要な一翼を担うようになった。

キ．機動型の海底地震観測システムが開発された。短期に多数の小型測器をアレイ展開し、高い回収率をもってデータを取得できるシステムは、世界の最先端測器としての地位を築いた。

ク．陸域及び海域において、人工地震による地殻構造探査、地磁気測定、重力測定等が大規模に実施され、日本島弧系の地下構造に関する知識が蓄積され活用された。さらに陸域の活断層調査や日本列島周辺の海底地形、地質構造の調査により活構造のテクトニクスに関するデータが蓄積され、また、地下水、潮位、地磁気等の連続観測により、地震予知研究に資するための基礎データが蓄積された。

ケ．地殻応力測定、VLBI(超長基線電波干渉計)、絶対重力計等の新たな観測手法・観測機器が開発された。また、国内及び国際VLBI観測によりプレート運動が実測された。さらに、首都圏ではVLBIとSLR(人工衛星レーザー測距)を用いた連日の地殻変動観測が始まりつつある。

2．地震予知の観測研究成果の社会への還元

地震予知の3要素を同時に予知して警報を出すという意味での社会への還元はなかった。しかし、長期的な地震発生の可能性や地殻活動の現状把握等による地震予知の観測研究成果は、地震予知連絡会による情報提供や出版物等を通じて社会に伝えられ、社会への還元という意味で一定の役割りを果たしてきた。

長期的予知の成果としては、例えば、全国活断層図は一般社会も容易に利用できる形で出版され、各地の地震被害想定や重要構造物の耐震安全評価等に広く利用されてきた。また、地震予知計画により進展してきた日本列島の地震テクトニクス研究の成果全体が、被害想定等に利用されてきた。

地下で進行しつつある地殻活動状況を的確に把握し、その情報を迅速に提供することは、とりわけ異常地殻活動時の地域住民の不安の軽減に重要である。地震予知連絡会や気象庁・大学等の観測研究機関を通して行われてきた地殻活動状況についての情報提供や啓蒙活動は、この点で一定の役割りを果たしてきた。例えば、昭和49年(1974)以来の伊豆半島における活発な地殻活動についての調査研究成果は、その都度公表され、地域住民の不安の軽減と防災に役立ってきた。昭和53年(1978)伊豆大島近海地震(M7.0)や平成元年(1989)伊東沖海底噴火発生前の「注意すべき状況にある」との判断や、昭和53年(1978)末より続発し始めた伊東沖の群発地震の発生原因についての評価と地震活動についての状況判断は、地震予知連絡会等を通してその都度地域社会に情報提供されてきた。

また、海底下で大地震が発生すると津波によっても被害が生ずる。地震予知計画で整備されてきた観測網は、発生した地震の断層運動に関する情報の即時的把握能力を向上させ、津波の予測精度を高めるとともに、津波警報などの情報発信のスピードアップにも貢献した。現在では、地震が発生すると、気象庁からテレビ等を通じて直ちに地震情報・津波情報が社会に提供されるようになった。情報発信の早さと正確さは、世界的にみても第1級のレベルにある。

一方で、地震予知連絡会により特定観測地域に指定(昭和45年)されていた阪神地域で、平成7年(1995)兵庫県南部地震が発生し、大正12年(1923)関東地震以来となった甚大な災害を蒙った。これは、特定観測地域の指定が、より一般的には観測研究成果が、地震災害の軽減に有効には活用されなかったことを示している。今後いかに観測研究成果を社会に還元すべきかの方策を早急に検討する必要がある。

3. 地震学分野の発展における地震予知計画の波及効果

プレートテクトニクスが地震予知研究に果たしてきた役割を持ち出すまでもなく、地震の予知は地球内部の活動の全体的理解なしに解決されるものではない。こうした認識のもと、地震予知計画は地震学の発展にも大きく寄与してきた。地震観測網のデータは、地球内部の構造や運動の研究などに広く生かされ、強震動データは地盤の強震動予測や耐震設計へ生かされた。最近では、全国の微小地震観測網をつないだネットワークが、マンツルの不連続層、中心核の構造などの研究に大きく貢献した。また、地震予知計画に基づく

観測がきっかけとなって、地震・マグマ貫入などに伴う重力場変化の理論等、独創的な理論研究も生まれた。

III 「地震予知」の現状認識と評価

地震予知とは、いつ、どこで、どの程度の規模の地震が起こるかを予め知ることである。この3要素が同時に分らなければ地震予知とは言えないと、一般には考えられている。そのように狭く「地震予知」を定義するならば、ここで記述できることは、僅かなものになるであろう。ここでは、研究進展の現状を正確に認識するために3要素同時でなく、いつ、どこで、どの程度の規模か、の各々に関して地震予知の現状がどこまで進んでいるかを記述する。

ここで記述することのほとんどは、第1次計画策定時には知られていなかった。また、以下に記述する地震の分類についてさえ、当時は思いもよらなかったことである。このことを考えるならば、この30余年間で地震発生について如何に多くの知識が得られたかが分るであろう。これらの進歩のすべてが地震予知計画によるものではないが、地震予知計画が大きな貢献をしたことは間違いない。分類された地震の種類によっては、3要素が同時に分る「地震予知」ではないものの、地震防災に役立つ情報が得られている。

一言で地震と言っても、その震源域の規模は様々である。一般的な期待としては、少しでも被害を伴う地震があれば、それを予知して欲しいということになる。一方、地震学では震源域の規模を考慮し、規模が大きいほど前兆現象も広い範囲で観測されることを期待することが多い。震源域の規模と被害の程度は必ずしも比例せず、一般に予知が期待されている地震と地震学で対象とされやすい地震とは必ずしも一致していない。ここでは、震源域の規模が小さく(M5程度)小被害となるような地震については、検討の対象から除くこととした。また被害範囲が狭いと考えられるM6程度の地震についても、大都市直下の場合を除き、検討の対象から除くことにした。

地震予知の現状では、「いつ」が最も難しい。このため、「どこで」と「どの程度の規模の」から始め、どのような断層運動をもつ地震かについても触れることにする。そして、「いつ」については最後に記述する。

日本及びその周辺で起こる地震には、様々な種類の地震がある。ここでは、それらを次のように分類し、その各々に対して地震予知の現状を整理する。「1. 陸域の地震(沿岸域を含む)」、「2. プレート境界で起こる海域の地震」、「3. 沈み込むプレート内部で起こる地震」、「4. 東海地震」、「5. 首都圏のやや深い地震」、「6. その他の地震」。さらに、最後に「7.」で外国で地震予知に成功した例とされている、中国の海城地震とギリシアのVAN法を取り上げる。

陸域の地震として、プレート境界、プレート内部に限らず「1.」としたのは、プレート境界が日本の陸域を通ること自体に議論があるためと、陸域でプレート境界と内部とを区別する利点がないためである。なお、ここで言う陸域の地震(沿岸域を含む)はすべて浅い地震で、地震発生層(深さ15~20kmまで)内部で起こる地震を指す。いわゆる日本海東縁部の地震がプレート境界の地震かどうかについて議論があるが、ここではその

北部を「**2.**」に南部を「**1.**」に含めるものとする。「**3.**」の沈み込むプレート内部の地震は、海域のプレート内部の地震と、やや深い地震とを含む。東海地震の断層面は陸域にまたがっているとされる。本来、「**2.**」に含まれるべきであろう。しかし、地震予知の現状を認識する上で必要なため、別項とした。また、首都圏直下のプレート境界は一般のプレート境界とは異なり、通常よりも深い場所でプレート境界の地震が起こっている。このため、「**5.**」を別項とした。なお、首都圏直下でも地震発生層内の地震については主に「**1.**」で、沈み込むプレート内の地震については主に「**3.**」で取り扱うものとする。また余震、群発地震等については「**6.**」で取り扱う。

1. 陸域の地震（沿岸域を含む）

（どこで）

ここでとりあげる陸域の地震は浅い地震である。日本海東縁部の南部の地震もここに含むこととする。これらの地震は地震発生層と呼ばれる深さ約15km程度までの層の中で起こる。場所によっては、その深さが20kmに及ぶところがある。日本のごく一部の地域では、その深さが詳しく分っているものの、全域については明らかにされていない。地震発生層が厚いほど、そこでは大規模な地震が発生し易いのではないかと思われるが、まだ十分には実証されていない。

活断層は、それが正しく認定されている限り、将来大地震が発生する場所と考えられる。この意味で「どこで」は既知と言える。しかし陸域の地震のすべてが、既知の活断層で起こるわけではない。既知の活断層で起こらない場合は、次のように二つの場合が考えられる。震源断層が地表に達しない場合と、活断層の平均ずれ速度が小さく活断層として認知されていない場合とである。

震源断層が地表に達しない限り活断層としては認められないので、「どこで」が分るには、震源域の規模がある程度以上大きくなければならない。明治以降陸域で起こった地震の調査から、**M6.8**～**M7.1**では震源断層が地表に達する場合と達しない場合とがあり、**M7.2**以上では地表に達することが分っている。よって**M6.8**未満の地震については、活断層から情報を得ることは困難であり、**M6.8**～**M7.1**の地震については、活断層から情報が得られないこともあると考えられる。なお、過去の**M6.5**以上の地震については、活断層の多い地域の方が起こり易いことが分っている。

活断層は、平均ずれ速度によって、活動度の高い順に**A**級、**B**級、**C**級に分類される。このうち**A**、**B**級まではほとんど認知されていると考えられるが、**C**級については、地震の規模と発生頻度の関係などから、まだ認知されていない活断層が数多く存在するはずであるとの考えがある。一方、明治以降の陸域の地震で、震源断層が地表に達したものは、**A**、**B**、**C**級とも数がほぼ等しい。**C**級の活断層のかなりの数が認知されていないとすると、震源断層が地表に現れるような地震でも、その三分の一近くは認知されていない**C**級活断層に起こると予想される。

なお首都圏や南関東の活断層は厚い堆積層に隠されているとの議論がしばしば見られる。しかし、これらの地域のかなりの部分は、数万年から十数万年前にできた台地の堆積物で覆われている。よって、地震の繰り返し間隔が数万年から十数万年程度以上の活動度の低い活断層でなければ、十分識別可能である。実際繰り返し間隔が五千年程度と推定される立川断層は、地形から明瞭に活断層であることが認められる。なお、利根川、荒川沿いの沖積平野の狭い範囲に限定される活断層は別である。

以上をまとめると、 $M7.2$ 以上の陸域の地震は、認知されている活断層で起こることが多いが、認知されていない M 級の活断層で起こることもある。また、 $M6.8$ 未満の地震はどこで起こるか分らず、 $M6.8\sim M7.1$ の地震でも活断層が認められない場所で起こる可能性がある。ただし $M6.5$ 以上の地震は、活断層の多い地域に起こり易いことが分っている。

なお、詳しい活断層の位置は、都市圏活断層図（二万五千分の一、国土地理院発行、45面）によって、三大都市圏及び政令指定都市等について公開されている。このほか微小地震が線状に分布する地域があり、これが地下の震源断層を表しているのではないかと考えられている。この考えが正しければ、 $M6.8$ 未満の地震でも「どこで」が分る可能性がある。

（どのような、どの程度の規模の）

陸域で起こる地震の断層運動には、顕著な地域性があることが、活断層や過去に起こった地震のメカニズムから分っている。東北地方では逆断層が、本州中央部から西南日本では横ずれ断層が、九州の島原—別府地溝帯では正断層が卓越する。また活断層の傾きやずれの向きが分っている場合には、どのような断層運動となるか予測することができる。

陸域で明治以降起きた最大の地震は明治24年(1891)の濃尾地震($M8.0$ 、断層長80km)であるが、地震史料や活断層のトレンチ調査の結果等を考慮すると、 $M7.8\pm 0.1$ とされる1586年天正の地震や $M7.5\pm 1/4$ とされる1596年慶長伏見の地震のほうが濃尾地震より大きかったかもしれない。なお、糸魚川—静岡構造線活断層系では、約1200年前に $M8\pm 1/4$ の地震（断層長120km）が発生した可能性が高いとされているが、異論もある。

断層で起こる地震の震源域の規模は、断層の長さや、一回の地震でずれる量から、経験式を用いて予測することができる。しかし、長大な活断層系の一部で地震が起こったり複数の活断層で同時に地震が起こったりするので、断層の長さの経験式を実際に適用する際には、困難を生じる。どこから、どこまでを長さとするべきなのか、必ずしも自明ではないからである。また一回の地震でずれた量は、横ずれ断層の場合、トレンチ調査から復元することが一般に難しい。震源域の規模として $M7$ 程度か $M8$ 程度かは、活断層から予測できる場合が多いが、正確な予測ができるとは限らない。

認知されていない活断層で起こる地震は規模の推定ができない。微小地震の線状分布からその長さを求め、断層長の経験式を用いて規模を推定することは可能である。ただし、

微小地震の線状分布が震源断層を表しているという確証はない。

（いつ）

活断層で起こる地震が「いつ」起こるかについては、過去の活動から平均繰り返し間隔と最後に地震が起こった時期とを求め、これらに基づいて将来の活動時期をおおまかに予測することができる。ただし平均繰り返し間隔自体が長く、短くとも千年程度であることと、繰り返し間隔のばらつきが大きいことにより、予測される時間幅は長い。例えば、糸魚川－静岡構造線活断層系では、「現在を含む今後数百年のうちに」最大M8程度の地震が起こる可能性が高いと評価されている。これまでの調査結果では、繰り返し間隔のばらつきは平均間隔の0.5～1.5倍程度（あるいは、一説に0.5～2倍程度）にほぼ収まっている。

なお、平成7年(1995)兵庫県南部地震の際にずれた野島断層が、1596年慶長伏見地震の際にもずれた可能性が指摘され、活断層で発生する地震が時間的にランダムに起こるとの主張がある。しかし、詳しいトレンチ調査の結果から、野島断層の前の地震は約2000年前に起こったと考えられている。ただし、淡路島で今回活動しなかった東浦断層は1596年に有馬－高槻構造線断層帯とともに活動した可能性が高いことが判明しており、どこまでの断層が同時に活動するのかを予測することは難しい。

活断層の数は多いが、過去の活動が判明している活断層はごく少数にすぎない。このため現在集中的に活断層のトレンチ調査が進められている。しかし、トレンチ調査を行えば必ず過去の活動が明らかになるとは限らない

トレンチ調査から平均繰り返し間隔が判明していない場合でも、一回の地震でずれる量が分れば、平均ずれ速度を用いて平均繰り返し間隔を求めることができる。一回の地震でずれる量の推定については、既に述べたような困難がある。一回の地震でずれる量を経験式から断層長によって推定することもできるが、この場合にはやはり断層長の推定が問題となる。平均繰り返し間隔とともに、最後の地震がいつ起こったかが分らなければ、将来の予測はできない。ただし、歴史の記録から地震が起こっていないことを情報として用いることによって、ある程度の予測が可能となる場合があり、要注意断層として知られている。

認知されていない活断層や活断層のない場所で起こる地震については、上記の手法を用いることはできず、「いつ」起こるかは分らない。

上記手法では、正確に「いつ」であるかは分らないが、前兆現象を捕らえられれば（異常現象が観測され、特定の地震の前兆であると判定されれば）、より正確な予測の可能性はある。ただし、これまで観測された異常現象から、事前に震源域の位置や規模の特定や地震発生時の予測ができた例はない。

参考文献

- 活断層研究会, 1991, 新編日本の活断層, 437pp.
- Matsuda, T., 1981, Active faults and damaging earthquakes in Japan
Macroseismic zoning and precaution fault zones, Maurice Ewing Ser.,
4, 279-289.

2. プレート境界で起こる海域の地震

ここでとりあげる地震は海域の浅い地震だが、プレートの相対運動によってプレートの境界面でずれを生ずる場合に限る。なお、いわゆる日本海東縁部の北部の地震はこの節で扱うこととする。しかし、日本海東縁の北部をプレート境界と認めない説もある。日本海東縁部の南部のプレート境界については、佐渡の東を通るか西を通るか確定していない等の問題があるので、むしろ幅広い変動帯と考慮して前節陸域での取扱いに含めた。なおプレート境界のやや深い部分で起こる首都圏直下の地震は「5.」で扱う。

(どこで)

プレート境界でのずれは地震を伴う場合が多く、基本的にプレート境界は地震が発生する場所と考えてよい。この意味で「どこで」については、日本付近のプレート境界が確定した時に、答えられたとすることができる。ただし震源域の規模や、繰り返し間隔には地域性があり、プレート境界のどこでも同じような規模の地震が起こる訳ではない。また歴史資料から、震源域の規模が時間的に変動することや、繰り返し間隔にばらつきがあること等が分っている。

例えば、千島海溝から日本海溝の福島県沖までの部分や南海トラフでは、巨大地震の震源域が互いに重なり合うことなく、プレート境界を覆っているように見える。これはプレートの相対運動が、これらの地震(=震源域でのずれ)によって受け持たれていることを示している。ただし、相対運動のすべてが地震によるとは限らない。

地震波から推定される震源域の規模に比べて津波の振幅が異常に大きい、いわゆる津波地震がプレート境界では発生する。さらに、地震を伴わないずれ、いわゆるサイレントアースクェイク等も存在する。プレート運動と地震活動とを比較することによって、千島～日本海溝ではプレート運動のほぼ半分程度が、また伊豆・小笠原海溝ではほとんどの部分が地震を起こさないずれで解消されていると推定される。一方、南海トラフではほとんどの部分が地震によって解消されていると考えられる。このように、地震によるずれがプレートの相対運動の何割を占めているかにも地域性がある。サイレントアースクェイクは被害がないのでそれ自体は問題ないが、地震活動のみから地震発生を予測することを難しくさせている可能性がある。

千島海溝から日本海溝の福島県沖までの部分や南海トラフでは、近年起こった大地震の震源域をプロットすると、空きを生ずる場合がある。これは(第一種の)空白域と呼ばれ、経験的に次の大地震が発生する場所と考えられたが、後にプレートテクトニクスに

基づき、ずれずに残っている場所と解釈されるようになった。プレート境界について「どこで」大地震が発生するかを知るための有力な手段となっている。実際、千島海溝から日本海溝との会合部までの大地震の震源域のプロットから、昭和44年(1969)北海道東方沖地震(M7.8)後、根室沖が空白域となったことが判明し、この地域での大地震発生が昭和47年(1972)に予知された。実際に、昭和48年(1973)には根室半島沖地震(M7.4)が発生し、規模はともかくとして発生場所の予知に成功したと言って良いであろう。

プレート境界地震は、海のプレートの沈み込みによって陸のプレートが引きずり込まれていき、ある限界に達したところで陸のプレートが反発して戻ることによって起こると考えられている。プレート境界地震が発生すると、それまで押し下げられていた岬などの先端部は地震時に隆起し、圧縮されていた陸が伸張するために海岸地域は、海溝寄りへと変位する。

繰り返し行われる三角・三辺測量の結果は、このような水平変動を捕らえている。陸側に押されるような変動が見られる地域は、将来反発運動を起こす地域であるから、測量の結果から「どこで」を知ることができる。また、水準測量や潮位の測定から海岸地域の沈下を捕らえることができる。地盤沈下等の影響のない地域では、将来反発運動によって地震時に隆起する地域と考えられるから、これによっても「どこで」を知ることができる。前述の根室沖地震の予知には、三角測量や水準測量、また潮位測定の結果が使われた。

震源域での地震活動の静穏化現象が、地震発生前に現れるという説がある。この静穏化現象(第二種の空白域)は「どこで」の推定に役立つことがある。前述の根室沖地震の予知でも静穏化現象が指摘された。事前に静穏化現象が認定されて、震源域や規模が予測され予知に成功した例として、日本の例ではないがメキシコ南部オアハカ地震(M7.8)がある。しかし、どの程度小さな規模の地震について静穏化が現れるのか、地震発生の何年前位から出現するかなど定量的な検討を行う必要がある。

(どのような、どの程度の規模の)

プレート境界地震は、陸側プレートの反発運動によって起こり、低角逆断層型の地震となる。ただし、プレートの相対運動の方向がプレート境界に沿う方向に近くなると、横ずれが卓越した逆断層型となる。

プレートの境界面のどの深さの範囲で地震が発生するかには、地域性がある。日本海東縁部では深さ20~25km程度まで、東北日本の太平洋側では深さ50km程度までである。一般に、沈み込む方向で見た境界面の幅が長いほど震源域が大きくなり、発生する地震の震源域の最大規模も大きくなると予想される。

境界に沿った方向の震源域の範囲については、西南日本の下へ沈み込むフィリピン海プレートの形状は複雑で、切れたりたわんだり、また一部は重なったりしている。このような形状とプレート境界で起こる大地震の震源域と何らかの関連があると考えられる。ただし、1707年宝永地震のように、駿河湾から四国西部沖までを震源域とする巨大地震の

発生も知られている。東北日本へ沈み込む太平洋プレートの形状はより簡単だが、プレート形成時の不均質性（断裂帯によって異なる場所と時代に形成されたプレートが接している）等が、やはり震源域の範囲と関連していると思われる。ただし歴史資料が豊富ではないので、長い年月にわたって実証されてはいない。

歴史資料から、震源域の規模が大きく変わる例も知られているが、あまり変化しないとするならば、過去の例から将来の地震の震源域の規模を推定することができる。

また「どの程度の規模の」地震かは、空白域や陸の地殻変動域の大きさからも推定することが可能である。ただし、根室沖の場合にはM8クラスの地震が予知されたが、発生した根室半島沖地震はM7.4であった。

茨城沖から房総沖では、プレート境界に大地震の震源域が並ぶようには見えない。最近100年程度の地震観測からは、最大地震の規模はM7クラスと考えられるが、1677年には津波の規模からM8相当と推定される地震が発生した。このような例外的な地震の発生をどのように考え、長期的な地震予知に組み込んでいくかは今後の課題である。

（いつ）

プレート境界面でのずれがすべて地震の発生によってまかなわれるなら、プレート境界での地震活動はプレートの相対速度に依存するはずである。しかし、例えば青森県東方沖（十勝沖地震）と南海地震とでは、プレートの相対運動の速度が倍程度異なるのに、繰り返し発生間隔にあまり差がない。既に記述したように、青森県東方沖では、サイレントアースクェイクの存在等により地震を発生させずにずれを生じることがあるためである。

青森県東方沖では歴史資料から、震源域の規模がほぼM8（主に津波による推定）の地震が、1677年、1763年、1856年、1968年とかなり規則的に繰り返し発生したと推定されている。また、南海トラフでも歴史資料より14世紀以降100年から150年程度の間隔で地震の発生が繰り返されたことが分っている。なお、これより時代を遡ると200年程度の間隔となるが、近年考古学資料から、その隙間を埋める地震の存在が推定されるようになり、100～150年程度の繰り返し間隔は更に長く続いたと考えられる。このような過去の発生間隔を統計モデルにあてはめることによって、今後の発生間隔、すなわち「いつ」の問題に大まかな解答を得ることができる。ただし、日本海東縁部の大地震については、歴史資料からその繰り返し間隔を求めることができない。間隔が長いのはプレートの相対運動が小さいためであろうと思われる。過去の地震発生時を知るには、海底堆積物や陸上の津波堆積物等の地質学的調査が必要であろう。

「いつ」の問題の解決には、統計処理の他に、断層の強度が一定であるとの仮定に基づく時間予測モデルを用いる方法もある。しかし、過去の地震のずれの量を知らなければならぬ。宮城県沖（昭和53年(1978)宮城県沖地震より沖合いの地域）では1793年と明治30年(1897)にほぼ同地域で同規模程度の地震が起こったと推定されている。時間予測モ

デルをあてはめれば2000年頃に次の地震の発生が予測されるが、モデルがどの程度現実
に適合するかはデータ不足のため評価できない。

南海道の地震については明治以来繰り返された測量によって、地震活動のほぼ1サイ
クルに当たる地殻変動のパターンがとらえられている。南海トラフの地震の発生時系列は
よく分っており、時間予測モデルを用いた発生時予測も行われている。17世紀以降の地震
の震源域（破壊域）は分かっているが、それ以前の震源域の正確な範囲となるとよく分
らない。また、同じ南海の地震でも1605年の慶長地震のように地震動による被害がほと
んどない津波地震や、1707年の宝永地震のように駿河湾から四国西部沖までが一気にず
れる地震等、多様である。なぜそのような変化を生ずるかは未解明であり、その意味で次
の地震の「いつ」についての予測はある程度可能でも、その性質までは予測できない。

震源域での静穏化現象が、「いつ」についてより正確な予測を可能にするのではないかと
の考えがある。前述のメキシコ南部オアハカ地震の例では、発生時は予知されなかった
が、静穏化域で地震活動が活発化すると大地震の発生が間近いのではないかと予想され
ていた。実際には1978年初頭から地震活動が活発化しはじめ11月に大地震が発生した。
静穏化現象の確認のためには、平常時の地震活動がある程度高い必要があり、一部の震
源域のように余震終了後の地震活動が低い場合には困難である。秋田・山形沖でも静穏化
現象の可能性が論じられているが、地震活動の低い地域なので、統計的に有意と認めら
れるには時間を要する。

前述の昭和48年(1973)根室半島沖地震では、1〜2か月前からえりも地殻変動観測所
で異常変化が見いだされた。このような観測例の蓄積や、異常発現のメカニズムの解明が
進めば、「いつ」の精度をあげることが可能となるかもしれない。

ここまでは、プレート境界地域での最大規模の地震について論じてきた。しかし、千島
海溝から日本海溝宮城県沖まででは、M8程度の地震の他にM7〜8の地震も発生し、
被害をおよぼす。例えば、平成6年(1994)三陸はるか沖地震(M7.5)がその例であり、そ
の震源域は昭和43年(1968)十勝沖地震（位置としては青森沖、M7.9）の震源域と重な
る。この地域では明治34年(1901)(M7.4)や昭和6年(1931)(M7.6)の地震でも八戸に被
害を生じている。これらのM7.5程度の地震については、これまで詳しく調査されておら
ず、一定程度の規則性をもって繰り返しているかどうかなど、今後の調査が必要とされ
る。

参考文献

- 宇佐美龍夫, 1996, 新編日本被害地震総覧, 493pp.
- Utsu, T., 1974, Space-time pattern of large earthquakes occurring off the Pacific coast of the Japanese Islands, J. Phys. Earth, 22, 325-342.
- Kumagai, H., 1996, Time sequence and the recurrence models for large earthquakes along the Nankai trough revisited, Geophys. Res. L., 23,

㉔ . 沈み込むプレート内部で起こる地震

海域のプレート内部で起こる地震と、沈み込むプレート内部のやや深い地震とについてここでは記述する。沈み込むプレートの存在は地震活動のみならず、地震波トモグラフィによっても解明されている。その意味で発生場所は分っているが、「どこで」の問題が解決されているとは思えない。沈み込むプレートのどの部分でも被害を生ずるような大地震を発生させるのか、特定の場所に限られるのか、限られるとしたらどの場所なのか等が不明だからである。

便宜的に海溝付近の正断層地震、海溝付近の逆断層地震、やや深い地震の三種に分けることができる。

海溝付近の正断層地震の有名な例が昭和8年(1933)三陸沖地震(M8.1)である。その他、昭和13年(1938)福島東方沖地震(M7.4及びM6.9)等が知られており、海のプレートが沈み込むための変形によって必然的に生じると考えられている。しかし、事例は比較的稀でどの程度の頻度で発生するか分っていない。「どの程度の規模」か「いつ」かも分らない。

海溝付近の逆断層地震については、平成6年(1994)北海道東方沖地震(M8.1)の発生によって被害地震として注意すべきことが分ったと言ってよいだろう。どのようなメカニズムで発生するのか、その頻度、最大規模等は不明である。「どこで」「どの程度の規模で」「いつ」起こるのか分らない。

やや深い地震については、フィリピン海プレート内で発生し千葉県中部に被害をもたらした昭和62年(1987)千葉県東方沖(M6.7、深さ58km)や太平洋プレート内で発生し小被害をもたらした昭和62年(1987)岩手県北部の地震(M6.6、深さ72km)等が知られていたが、平成5年(1993)釧路沖地震(M7.8、深さ101km)のように規模の大きい地震が発生することは予想されていなかった。首都圏ではフィリピン海プレート内の地震だけでなく、太平洋プレート内の地震も被害をもたらす。最近の例では小被害をもたらした平成4年(1992)東京湾南部の地震(M5.9、深さ92km)があるが、明治27年(1894)東京湾北部の地震(M7.0)も太平洋プレート内の地震ではないかとの説がある。このタイプの地震は例が多く、日本全体で頻度を推定することは可能である。しかし、沈み込むプレート内部のどの場所でも釧路沖地震のようにM8に近い規模の地震を発生させるのかどうかは分らない。頻度分布から平均的な危険度を推定することは可能であっても、「どこで」「どの程度の規模で」「いつ」起こるのかは分らない。

プレート内部の応力状態を推定するための基礎的な研究が必要であろう。

参考文献

- Kanamori, H., 1971, Seismological evidence for a lithospheric normal faulting - The Sanriku earthquake of 1933, Phys. Earth Planet. Inter., 4,

289-300.

・ Katsumata, K., M. Ichiyangi, M. Miwa and M. Kasahara and H. Miyamachi, 1995, Aftershock distribution of the October 4, 1994 Mw8.3 Kurile islands earthquake determined by a local seismic network in Hokkaido, Japan, Geophys. Res. Lett., 22, 1321-1324.

4. 東海地震

日本全域の繰り返し三角測量の成果により、東海地域では海溝側から陸側への変位が認められ、プレート境界地震（昭和19年(1944)東南海地震）によって歪みが解消されていないことが昭和45年(1970)に明らかとなった。水準測量の結果も掛川に対し御前崎付近が沈降を続けていることを示しており、海のプレートの沈み込みに伴う陸側の変形が進行中であることが確かめられた。これらのことから、東海沖に将来プレート境界地震が発生すると考えられるようになった。なお、同様の地殻変動は北海道東部でも起こっていることが昭和47年(1972)に指摘されて根室沖にM8級の地震発生が予測されたところ、昭和48年(1973)に根室半島沖地震(M7.4)が発生した。昭和51年(1976)には新たに注目された史料から1854年安政東海地震の震源域が駿河湾内に及んでいたことが明らかとなった。これまで漠然と東海沖と考えられていた「東海地震」が、駿河湾内を震源域とし静岡県等に多大な被害を与える地震であると考えられるようになった。また、安政東海地震の断層モデルと昭和19年(1944)東南海地震の断層モデルとの比較から東海地震の断層モデルが提出された。このようにして「東海地震」の震源域の位置と規模については、概ね一致した見解が得られている。しかし駿河湾南方の銭洲海嶺を震源域とする説もある。

一方、東海地震の発生時期に関しては一致した見解はない。いつ起こってもおかしくないとする説から、東海地域単独での発生事例はこれまでにないので次の東南海／南海道地震発生時まで起こらないとする説まで、様々な見解が出されている。他に、昭和49年(1974)以来活発となった伊豆半島の地震・地殻変動が広義の前兆であるとする説や、本来昭和19年(1944)東南海地震発生時に発生するはずが、明治24年(1891)濃尾地震発生の影響で遅延しているとする説等がある。

昭和51年(1976)12月測地学審議会の建議では、観測の強化、監視体制の充実、判定組織の整備が必要とされ、その推進が図られるとともに、昭和53年(1978)には大規模地震対策特別措置法が施行された。静岡県等が地震防災対策強化地域に指定され、内閣総理大臣による警戒宣言発令を前提とした各種の防災施策が実施された。内閣総理大臣の警戒宣言は、気象庁長官からの地震予知情報の報告に基づき、地震防災応急対策を実施する緊急の必要がある場合に発せられる。なお、報告は気象庁長官の私的諮問機関である地震防災対策強化地域判定会の科学的な検討を踏まえて行うこととなっている。これらの体制の基本となる観測事実が、昭和19年(1944)東南海地震の直前に水準測量によって捕らえられたと考えられる異常な地殻変動であろう。地震は12月7日13時35分に発生したが、そ

の前日の午後と当日の午前には掛川からその北西の三倉への水準路線の一部が往復で測定されており、往路と復路の差から700mで約4mmの海側が隆起する地殻変動を生じたことと推定されている。また、1970年代後半の時点では、大地震の直前に断層面の深部延長部等でゆっくりしたずれが生じることを示唆する観測結果等が海外でも出され、かなり普遍的現象であるとの印象もあった。しかしその後現在に至るまで、このような大地震に先行するゆっくりとしたずれが確実に捕らえられたという報告はない。

地殻変動以外の前兆現象として前震がある。しかし一般に、特定の地震活動を事前に前震であると判定する手法はない。また、過去の東海地震について顕著な前震活動は知られていない。駿河湾内では平成7年(1995)4月18日にM4.5の地震が発生した後も、M2程度の地震が比較的短期間に発生することがあり、また、平成8年(1996)10月5日には静岡県中部の、少なくとも過去十数年間地震が無かった場所(プレート境界付近)にM4.4の地震が発生した。これらの地震と「東海地震」との関連が注目されているが、今後の検討課題である。

室内岩石破壊実験や、実験を説明する断層面上の摩擦則の提唱、またそれに基づく破壊生成に関する理論的研究等が進められた結果、弾性波を発生させる高速のずれに先行して、ゆっくりしたずれを生ずることが明らかとなった。この結果を実際の地震の場合に適用して震源域の5~10%の面積でこのようなゆっくりしたずれが生ずるとの考えもある。このずれは、高速破壊が開始する地点(震源)の近傍で起こると考えられている。しかし、昭和19年(1944)東南海地震の震源は紀伊半島東方沖であり、先行的なずれを生じたこととされる掛川近傍とは200km程度離れている。

将来発生するとされる「東海地震」の直前にも、東南海地震直前に水準測量で捕らえられたと考えられる程度の地殻変動が起こり、またその時間的経過が東南海地震直前に起こったと考えられているのと同じであった場合は、地殻変動の大きさから考えて、現在の観測網でそれを捕らえることは可能である。また、迅速に判定会が招集されて前兆と判断されるならば、地震発生前に警戒宣言が発令されることになろう。その意味で、「東海地震」の予知は可能である。

しかし、前兆現象の複雑多岐性を考えると、同じ現象が「東海地震」で繰り返されるといふ保証は必ずしもない。地震に至る過程が上記と時間的経過が著しく異なる場合、或いは地殻変動の振幅が小さい場合、「東海地震」の予知は困難である。予知が可能となる割合はどの程度なのかとの疑問を生ずるが、残念ながら昭和19年(1944)東南海地震の事例のみからでは、予知が可能である場合の確率を推定することはできない。

参考文献

- Ishibashi, K., 1981, Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, central Japan, based upon seismotectonics, Maurice Ewing Ser., 4., 297-332.

- ・茂木清夫, 1982, 日本の地震予知, 251-292.

5. 首都圏のやや深い地震

首都圏の地震には浅い地震発生層内で起こる地震や、やや深いプレート内で起こる地震があるが、既にそれらの地震については、それぞれ「1.」及び「3.」で取り扱った。また、大正12年(1923)関東地震(M7.9)のようなプレート境界の浅い地震については「2.」で取り扱ったので、ここではプレート境界のやや深い地震をとりあげる。

首都圏直下ではやや深い地震の活動が活発である。特に茨城県南西部では北西-南東に伸びる二列の活動域が顕著である。この東側の活動域を茨城県南西部筑波側、西側の活動域を茨城県南西部鬼怒川側と呼ぶ。また、千葉市を中心とする地域にも活動域があり、千葉県中部と呼ばれている。首都圏直下には相模トラフからフィリピン海プレートが沈み込んでおり、既に「2.」で扱ったタイプのプレート境界地震が起こる。首都圏直下では、この境界面の更に深い部分でも地震を発生する場合がある。昭和43年(1968)埼玉県中部の地震(M6.1, 深さ50km)や茨城県南西部鬼怒川側で起こる地震(深さ40~60km程度)がこのタイプの地震と考えられている。しかし、この境界面のどこでも地震が発生するのかわかるとは分らない。この境界面上でM7の地震が発生するとして震度6以上となる地域を推定する場合、境界面上のどの部分でもM7の地震が発生しうると考えると、南関東のどこでも震度6以上となる可能性があることになる。このように重要な課題にもかかわらず、「どこに」についてこれ以上答えることは今のところできない。

江戸に甚大な被害をもたらした1855年安政江戸地震(M6.9)がこのタイプの地震であった可能性がある。しかし前述のように首都圏直下には様々なタイプの地震が発生しているので、歴史資料のみから推定するには限界がある。この地震の規模及びプレート境界面が湾曲しており広大な震源域が予想しにくいこと等から、「規模」については通常M7と想定されている。平成4年(1992)に中央防災会議は「ある程度の切迫性を有している」としたが、「いつ」に関する定量的な検討は困難である。なお、プレート境界地震であればその繰り返し間隔は千年オーダーではなく、百年オーダーであろうと思われる。

日本海溝からは太平洋プレートが沈み込んでおり、これより上にあるフィリピン海プレートとの境界でも地震が起こっている。茨城県南西部の筑波側と千葉県中部で起こる地震がこのタイプの地震である。両区域の間には地震の空白域があるが、本来地震を発生する能力のない地域なのか、将来地震を発生する地域なのか不明である。この地域を除けば、発生地域は限られており「どこで」を特定することができる。これまで発生した地震はM6~7程度で小被害にとどまっている。このため「規模」はその程度と考えられている。しかし、「いつ」については全く分らない。

参考文献

- ・岡田義光, 1990, 南関東地域のサイスモテクトニクス, 地震, 43, 153-175.

- Ishida, M., 1992, Geometry and relative motion of the Philippine Sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, J. Geophys. Res.,97, 489-513.

6. その他の地震

ここでは余震，群発地震や，陸域の地震とプレート境界の地震との関連等について取り扱う。

余震はほぼ統計則に従って発生しており，本震直後に過去の経験則を用いて，余震の発生確率を予測することができる。また，実際に発生する余震を観測してほぼリアルタイムに余震の統計則のパラメータを決定し，実状にあった予測を行うことも可能である。一般的に余震数は統計則に従って減少するが，予測以上に減少する静穏化現象が見られることがある。静穏化の後に余震数が回復し，その後に比較的規模の大きい余震が発生した例が報告されており，規模の大きな余震を「地震予知」できる可能性がある。この場合は「どこで」は余震域であり，特にその端の可能性が高い。これまでの報告例の多くは，本震との規模（マグニチュード）の差が1.2以内の大きな余震（場合によっては，余震の方が大きい双子地震）なので，「規模」についてもある程度の推定が可能である。また，上記のように静穏化現象後に回復が見られたらその後に発生すると考えられるので，「いつ」についても答えることができる。ただし，予測の幅は本震直後なら短い，一週間程度経過すると長くなる。一定数の余震が発生する時間間隔は，本震後の時間経過にほぼ比例するからである。なお，地震によっては，余震の発生が統計則にあてはまらない場合があることに留意しておく必要がある。

平成7年(1995)兵庫県南部地震(M7.2)の余震について，準リアルタイムでその活動予測が試みられたが，大きな余震は起こらなかった。静穏化とその回復現象は，余震域南西端で起こった最大余震M4.9では認められなかったが，北東端で起こった余震M4.7では認められた。このことは，実用的な予知に用いるにはまだ問題があることを示していると思われる。

群発地震活動は通常限られた地域で起こる。これまでの地震観測や歴史資料から発生が知られている地域及びその周辺に起こることが多い。その意味で「どこで」については，ある程度の予測ができています。また，過去の経験や群発地震発生域の大きさから，「規模」についてもある程度の目安を与えることができるが，正確な予測は難しい。特に困難なのは「いつ」活動が終了するかである。

伊豆東方沖では昭和53年(1978)末以降，繰り返し群発地震活動があり，平成8年(1996)10月にもあった。この地域では昭和5年(1930)にも同様な群発地震活動が報告されている。昭和5年(1930)には北伊豆地震(M7.3)，昭和55年(1980)には伊豆半島東方沖地震(M6.7)が発生したが，これらの地震の関連はよく分っていない。群発地震活動と伊豆東岸での地殻変動は空間的にも時間的にもよい一致を示し，マグマあるいは熱水が地

殻浅部にほぼ鉛直の板状に注入されて発生するものと考えられている。地殻変動観測から活動経過の現状を把握して活動の見通しを立てるなど、これまで発生した現象の範囲内であれば、ある程度の子測をすることは可能である。ただし、個別の地震については、活動の最盛期後に最大地震が起こることが多いという経験しかない。ほぼ同じ場所で繰り返し発生しているので、「どこで」についてはよく分っている。「規模」については、昭和53年(1978)以降の現象の範囲内であれば、最大地震M5程度と思われる。

西南日本の陸域の地震については、プレート境界地震の数十年前から十年後が活動期と言われている。実際、これまでの活動経過を見るとそのような傾向が認められる。しかし、西南日本全体を考えるとプレート境界地震の前の大地震の活動は統計的にあまり有意ではない。一方、プレート境界地震後の活動は統計的に有意である。しかし、地域性があり、プレート境界地震の前だけ活動が活発となる地域もある。これらが偶然によるのか物理的に意味をもつのか、プレート境界地震による応力解放過程や、地震前の応力蓄積過程の研究からの物理的な検討が必要である。東北日本にも活動期があると言われるが、西南日本に比べてデータが少ないという問題がある。

参考文献

- Matsu'ura, R.S., 1986, Precursory quiescence and recovery of aftershock activities before some large aftershocks, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 61, 1-65.
- Tada, T. and M.Hashimoto, 1991, Anomalous crustal deformation in the northeastern Izu peninsula and its tectonic significance -tension crack model-, J. Phys. Earth, 39, 197-218.
- Okada, Y. and E.Yamamoto, 1991, Dyke intrusion model for the 1989 seismic volcanic activity off Ito, central Japan, J.Geophys.Res., 96, 10361-10376.

7. 海城地震とVAN法

日本での地震予知の現状は、地震がいつ、どこで、どの程度の震源域の規模で発生するかを的確に予知し、警戒宣言を発令する「地震予知の実用化」にはほど遠い。一方、ニュース等では海外での地震予知成功例が報道されている。ここでは予知に成功したと言われる中国の昭和50年(1975)海城地震と、予知に成功していると言われるギリシアのVAN法について記述する。

海城地震(M7.3)は地震活動の低い、中国東北部遼東半島の北で昭和50年(1975)2月に発生した。震源域から約200km離れた観測点で昭和49年(1974)から傾斜変化が始まり震源域を中心とする100~200kmの範囲で井戸水や動物行動の異常が前年12月から報告されはじめ地震発生まで続いた。この他、地電流や傾斜変化の報告がある。地震発生は2

月4日19時であったが、前日午後から微小地震活動が活発化し有感地震も発生するようになった。当日午前には微小地震が一時間あたり60回を超えてM4.7、M4.2の地震も発生し、一般の人々も異常状態であると感じたのではないかと思われる。昭和45年(1970)にこの地域に地震観測所が建設されて以来5年間では、観測された微小地震数は9個で最大M1.8であったとのことであるから、著しく異常な活動である。屋外への避難の後に大地震が発生し、死傷者を大幅に軽減できたと言われている。

この地震の翌年7月28日、南西に約400km離れた唐山市で発生した唐山地震の際には、避難勧告を出すことができず、約24万人の死亡者を出したと言われている。この地震の際も、井戸水や動物行動の異常、地殻変動、地電流、比抵抗等の異常が観測されていた。しかし前震活動はなく、この違いが二つの地震の明暗を分けたものと考えられている。地震予知は困難であるというのが、現在中国の地震学者の多数の意見である。

一方、VAN法についてはその主唱者でかつ実践者である、ギリシアのVarotsos教授が有効であることを主張している。しかし反対意見も強く、これまでシンポジウムや雑誌の特集等での討論が繰り返されているが、主唱者も反対者もともに譲らず論争が続いている。震央距離100km以内、Mの差0.5以内、地震前兆と判定される地電位異常が現れてから10日程度以内に発生した場合を予知の成功とすると、60%程度の成功率であるとの推定がある。しかし、用いる地震カタログや余震の取扱い等の違いによりこの数値は異なり、予知の成功は統計的に有意ではないとの見解もある。

主張の当否は別としても、現在ギリシアのVarotsos教授が行っている方法をそのまま日本で実施することは困難である。観測される電場異常と、地震予知の3要素(発生時、場所、規模)とが経験則によって結びつけられているからである。また、実用的な予知のレベルで考えると、予知率60%とされるレベルでさえ、地震予知の3要素についての誤差が大きすぎるとと思われる。

日本でもNTTの通信施設を利用した地電位観測が行われており、伊豆大島で観測された地電位差異異常が伊豆半島東方沖群発地震の前兆である可能性が指摘されたことがある。しかしその後の詳細な解析の結果によれば、人工擾乱による異常であった可能性が高い。平成5年(1993)2月能登半島沖地震(M6.6)後に、能登半島で前兆と思われる地電位差異異常が観測されたとの報告がある。その後も異常があると報告されたが、対応する地震は付近では発生しなかった。同年7月北海道南西沖地震(M7.8)発生後に、この地震の前兆であると主張されたが、その当否は分らない。

参考文献

- ・朱鳳鳴, 1976, 海城に発生したM7.3の地震に関する予知・予報と防災の概況, 中国地震考察団講演論文集, 15-26.
- ・Debate on "VAN", Geophys. Res. Lett., 23, Number 11, 1996.

IV これまでの地震予知計画の総括的評価

1. 成果のまとめ

これまで地震予知計画は、調査観測を軸とした経験的研究手法を主体に進展してきた。「地震予知」の現状とそれに対する評価は、前章に述べたとおりであり、得られた成果は防災に役立つ情報ともなっている。この点に関し、第7次計画の見直し建議は、「内陸地震の繰り返しの規則性に関する知見など地震の場所及び規模に関する情報は、地震に強い地域づくりなど防災対策に生かすことができると考えられる」と指摘している。地震の発生場所や規模については、多くの観測データを基に地震活動の空白域や静穏化現象の概念が提唱され、実際そうした概念に基づいて来るべき地震の予測に成功した例もある。一方、発生時に関しては、地震サイクルや固有地震の概念に基づいて大地震の繰り返しの歴史を明らかにする調査が精力的になされ、日本海溝沿いや南海トラフ沿いのプレート境界地震の繰り返し間隔が100年から150年であるのに対し、陸域地震の場合は1000年以上とはるかに長いことが明らかとなった。活断層調査が広範に進められ全国の活断層の分布が明らかになった。また地震の繰り返しに関する研究の中から、実際の地震発生予測にも有用な“時間予測モデル”のような概念が生まれた。また、発生時を精度良く予測するのに必須である様々な前兆現象については、前震活動、異常地殻変動、地下水の水位異常や元素・イオン濃度異常、広域地殻活動の活発化等が大地震の発生に先行して検出されている。しかし、前兆とされるこうした現象は多くの場合S/N比が低く、複雑多様性の中に何らかの系統性が見いだせるほどには信頼できるデータが蓄積していない。

一方、これまでの地震予知計画は地震予知の基礎となる地震発生場に関する研究についても成果を上げてきた。これらの研究の成果は、地震の発生場の理解に基づいて地震に関わる地殻活動の予測を行うことが今や現実的な目標となりうることを示唆している。II章ではこうした観点から多岐にわたる地震予知計画の成果をまとめたものである。これを要約すると、①日本はプレート境界に位置し温度場と応力場の三次元的不均質性が著しい。この点に関して地震予知計画は、島弧の温度場・応力場理解の基礎となる島弧の地下深部構造とそのテクトニックな環境を明らかにし、地震発生が温度場・応力場に如何に敏感であるかを明らかにした。②地震の発生は地殻の強度・流動特性と応力・歪状態の不均質分布に大きく依存する。この点に関して地震予知計画は、地震活動、地震サイクル、活断層などの研究から地震発生の時間的・空間的な規則性と不規則性を明らかにするとともに、地表歪や地震による地殻応力の揺らぎを全国規模でモニタリングできる第1歩となる地震・地殻変動観測網を建設した。③絶えず揺らぐ応力場の中で強度的にある限界に達した時と場所に大地震になりうる破壊は発生する。この点に関して地震予知計画は、地震発生条件の理論的・実験的研究と併せて、地震発生の初期過程や微小地震と大地震とのスケールリング則などの観測研究を進め、地震破壊の発生と成長の条件に関する理解

を深めた。

これら地震の発生場に関する地震予知計画の成果は高く評価される。特に①は「沈み込み帯の構造と地震テクトニクスの解明」として世界をリードし、地震予知研究のみならず固体地球科学全体に大きな影響を与えた。①②③の成果は、日本列島付近の沈み込み帯全体を1つのシステムとしてその内部の構造の不均質性と状態の揺らぎに着目することにより、地震の準備段階にある場所の検出ができる可能性を示唆している。

2. 改善を要する点

1で述べたように、地震予知計画を地震発生場の理解に基づく予測という視点から評価するならば、その根幹をなす地震発生場の研究と基本的観測体制の整備は大いに進展し、得られた成果は高く評価できる。一方で、30年以上にわたって実施されてきた地震予知計画によっても、「地震予知の実用化」という当初目標への目途が立っていない事実は厳粛に受け止めるべきである。今後地震予知研究の一層効果的な推進を図るためには、これまでの地震予知計画について厳しく自己点検し、それを改善していく努力が必要とされる。

<目標>

昭和39年(1964)に建議された第1次計画以来、地震予知計画が目標としてきたのは「地震予知の実用化」であり、それは「業務として地震警報をだすこと」であった。「10年後には十分な信頼性をもって答えることができる」としたブループリント(昭和37年(1962))に対して、昭和51年(1976)に出された第3次計画の見直し建議は、「地震予知研究は急速に進められつつあるが、客観的、定量的に予知の判断ができる段階には至っていないのが現状である」と述べている。この状況はその後20年を経過した現在も同様であり、第7次計画の見直し建議は「30年にわたる地震予知計画に基づく観測研究は着実に成果を上げてきているものの(中略)なお多くの重要な課題が残されており実用的な予知の一般的な手法は未だ完成していない」と述べている。これは「地震予知の実用化」が、極めて困難な課題であることを示しており、そのためこの目標に対して各次の地震予知計画の到達度を評価することは難しい。今後の地震予知計画においては「地震予知の実用化」を将来の課題として掲げつつ、到達度の評価が可能な目標を設定し、それに向かって逐次的に計画を推進することが必要である。

<計画の方針>

「地震予知の実用化」という目標に向けて、第3次計画までは、異常現象発見のための全国的な調査観測を実施し、異常現象が発見された場合その地域において高密度集中観測を行い地震予知の実用化を試みるという方針を取った。第4次から第6次までの計画では、こうした「場所」と「規模」の予測から「時期」の予測へという地震予知の実践的試みと

併せて、予知精度を高め予知手法の科学的基礎を明らかにするための基礎研究を実施するという方針を取った。第7次計画は基本的にはこの方針を踏襲するが、地震予知の実践的試みを直接の目的とはしない特別観測研究として、地震サイクルの概念に基づいて現在の地震発生ポテンシャルを評価する研究が新たに付け加えられた。このようにこれまでの地震予知計画は、地震予知の実践的試みと予知のための基礎研究という2つの柱を基本方針としてきたと言ってよい。前者の困難さが認識されるに従って、少しずつ基礎研究に相対的な比重が置かれるようになったが、「地震予知の実用化」という目標の達成にどのようにつながるのかは明示されなかった。今後の地震予知計画の方針は、設定した目標へ向かう道筋をできるだけ具体的に示すものである必要がある。

<計画の立案・評価>

これまでの地震予知計画が「地震予知の実用化」を目標とし、地震予知の実践的試みに重点を置いた方針を取ったため、計画の立案や評価にあたっては地殻の異常現象を如何にして発見するかという視点が重視された。しかし、こうした視点では、Ⅱ章に述べたような地震発生場に関する研究成果を評価することは難しく、また、それを計画の立案に生かすことも難しい。実際、これまでの地震予知計画においては、観測網の整備、発展とともに地震の発生場に関して多くの成果を上げたが、それらを「地震予知の実用化」という目標への到達度として評価することは行なわれなかった。今後は評価結果が立案過程に反映される仕組みを作り、地震予知研究の成果と関連学問の成果を十分活かした計画立案を行なうことが必要である。これと関連して立案・評価の過程の公開は重要であり検討する必要がある。

<社会への還元>

警報発令という意味での「地震予知の実用化」はなかったものの、大学、気象庁等関係機関は役割分担を行い、日常的に地震の震源情報を国民あるいは地域住民に提供し、あるいは突発的な地震発生に際し余震観測を通じて事態推移の状況判断を示すなど様々な形で社会に貢献してきた。しかし第6次計画のレビュー*も指摘している通り、地震予知に対する社会の認識と実際の研究レベルの間には大きなギャップがある。地震予知計画が目標とした「地震予知の実用化」に対する社会の期待の背景に、相次ぐ地震災害の発生があることは論を待たない。しかし、地震予知情報に基づく警報発令を前提とした大規模地震対策特別措置法により東海地域が観測強化地域に指定されたことや「地震予知の実用化について明るい見通しが得られた」という第6次計画までの建議の表現、あるいは「東海地域判定会が設置されたことにより地震予知は実用化への第1歩を踏み出した」という第4次計画の状況判断が社会に「実用化」近しの印象を与えた面も否定できない。第7次計画の見直し建議**も指摘していることであるが、「地震予知の実用化」が困難な現状を広く社会に伝えるとともに、その現状を前提とした総合的な地震災害の軽減策を検討する

ことが望まれる。なお、社会的にも関心の高く観測体制も整備されている東海地震の予知については特にⅢ章で1節を設けて詳述した。

*第6次計画のレビュー「地震予知に対する社会的要請は高いが、それと地震予知の現実には、なお相当のギャップがあることも否定できない」

**第7次計画の見直し建議「現状においては地震の発生時期を予測する短期的予知は一般的には極めて困難であるが（中略）地震予知観測研究の成果としてこれまでに得られた様々な情報を防災対策に役立つよう社会に適切に提供する機能を強化する（中略）が必要である」

<計画実施体制>

地震予知計画の発足の経緯から考えて、観測体制の整備強化が計画の多くの部分を占めてきたことは、ある意味で当然と言える。これにより世界でもトップレベルの観測網を構築しつつあること、地震発生場の研究の飛躍的な進展を促したことは、地震予知計画の成果である。一方で、大学の観測網、特に微小地震観測網が国の中核的な観測網として固定化され、初期の研究開発的な性格が薄くなった後も、観測網の維持に多くの人員と予算が費やされ、計画の立案と評価の力点もそこに置かれた。このため、研究者の自由な発想と多様なアイデアを十分に生かすことができなかった。また、予知研究を推進するうえで、この観測研究体制の問題は、大学と関係機関との連携による効果的な計画の推進を損なう側面ともなった。もちろん、これまで、大学や関係機関が高精度の機器の開発や手法の開発で大きな貢献をし、それが高品質で安定的な観測手段を提供するという形で業務機関における新しい観測網の展開を支えるという、本来の姿も存在したことは付記しなくてはならない。今後、予知計画を効果的に推進するためには、業務的な調査観測と研究的な調査観測について、大学及び関係機関が緊密な連携の基にそれぞれの機能に応じて適切に役割分担する必要がある。特に、大学は、国の基盤的調査観測体制が整備されつつある現在、より斬新な研究観測へとシフトすることが期待される。なお、これまで、省庁を横断した研究プロジェクトチームの編成に関する20年前の提言（第3次計画の一部見直し建議：1章参照）が十分に生かされなかった。こうした提言を生かすためにも、計画の実施状況の評価は十分になされねばならない。

3. 今後の展望

Ⅲ章において、例えば内陸地震の場合、その平均繰り返し間隔は断層毎に異なるが少なくとも千年程度で、ばらつきは0.5-1.5倍の範囲（研究者によって範囲が異なる）に収まることを述べた。また、平均繰り返し間隔が100-150年程度のプレート境界地震の場合は過去の発生間隔を統計モデルにあてはめることによって大まかな「いつ」の予測ができることを示した。例えば南海道地震の場合、予測誤差は数十年である。しかし、こうした地

震サイクル的な概念に基づく「いつ」の予測と、地震予知計画が目標とした「実用化」との時間的なギャップは余りに大きい。また一方で、前兆現象に基づく直前予測については、現象が複雑多岐でノイズが大きく信頼性のあるデータが十分蓄積していない。地震予知の実現にとって前兆現象の検出とその実体の解明が重要なことはⅡ章でも指摘した。しかし、もし今後とも前兆現象に依拠して経験的な「地震予知の実用化」を目指すならば、前述の改善を要する点で述べた問題は更に拡大し、地震予知の健全な発展と成果の社会への適切な還元は望めない。今後の地震予知計画においては「地震予知の実用化」を将来の課題として掲げつつ、到達度の評価が可能な目標を設定して、それに向かって逐次的に計画を推進し、各時点での研究成果を社会に適切に還元していくことが必要である。

<目標と方針について>

地震予知が困難なのは、地震が（応力・歪）状態の突然の変化に伴う突発的・瞬間的な現象だからである。このような状態変化に伴う突発現象は地震以外にも自然界に数多く存在するが、そうした現象の予測は一般にきわめて難しい。しかし、予測科学の分野ではあまりにも突発的であるが故に従来は偶然の発生ともみなされてきた現象を確率現象としてでなく物理的に必然の結果として理解し、予測問題に新しい切り口を見出そうとする努力が始まっている。今後の地震予知研究の体系化にあたって予測科学的視点は欠かせない。

地震予知はもちろん、地震に関わる様々な地殻活動（例えば、広域的な地殻変動や地表歪変化、群発地震活動や余震活動及びそれらに伴う異常地殻現象など）の予測が一般に難しいのは、現象の発生や推移が、地殻の力学的・熱的構造の不均質性と歪・応力状態の揺らぎに強く依存し、一方、そうした不均質性や揺らぎに関する現在の知識が乏しいためである。しかし、これは逆に、地殻の不均質性や揺らぎが把握できれば、それらが様々な地殻現象の予測のための共通の手掛かりとなることを示している。この共通性は、地震予知の実現に向けて新しいアプローチの可能性を示唆している。即ち、①日本列島域全体にわたって地殻の構造（弾性・強度・降伏応力など）の不均質性と状態（歪・応力など）の揺らぎを把握、②この把握に基づいて多様な地殻の活動と異常現象を地下の物理過程として理解、③その理解に基づいて構造不均質性と状態揺らぎの把握から地殻活動の推移を予測、④その実績を逐次生かして地震発生の予測につなげる。

以上を考慮すると、今後の地震予知計画は、予測科学的な視点を重視し、地殻の構造の不均質性と状態の揺らぎに着目して、地震に関わる様々な活動に関し予測の難易度に応じ段階的に予測の実績を積み重ねていくものとなろう。群発地震の推移予測などについては既にある程度の実績があり社会にも貢献しているが（Ⅱ章2節）、それらを経験の積み重ねに終わらせることなく、上記①～④の一環として捉えることが重要である。

今後の地震予知計画は、地震予知の実現に向けたこうした積み重ねの中で、「いつ」、「どこで」、「どの程度の規模」の3要素のそれぞれの予測誤差を小さくし、予測誤差の限

界内で地震を予知して現実に防災と災害軽減に寄与することを目指すものとなろう。得られた予測情報を現実に社会に役立てるための情報伝達の在り方などを幅広い観点から、今後十分に検討する必要がある。

<研究手法について>

上のような目標と方針を掲げたこれからの地震予知計画においては、時間的には地震サイクルの全期間及びその地質学的期間にわたる繰り返し、空間的には日本列島とその周辺における地殻・上部マントル全体を一つのシステムとしてとらえるアプローチが重視される。

地殻・上部マントルシステムは、弾性や強度など内部の構造が不均質で、応力・歪状態も絶えず揺らいでいる。この揺らぎと不均質性の中で、全体として応力が一定レベルにまで達している場所では、短波長の応力揺らぎによって局所的に破壊や塑性変形が起こり、場合によってはそれらが大地震や大規模地殻変動にまで成長する。破壊と塑性変形の割合や成長の仕方によって、地殻の破壊・変形現象は様々な形を取る。

この多様な地殻活動を予測するには、従来の個別異常現象の発見追及に重点を置いた観測研究や大地震の繰り返し間隔を明らかにする調査研究にとどまらず、今後は、①地殻内部の強度（あるいは、その指標となる物理量）構造の不均質性を明らかにし、②応力・歪状態の揺らぎを常時把握するための観測研究が必要となる。地殻内部の強度不均質性がわかり、一方で応力・歪の変化を時間的に追跡できるならば、応力の高まっている場所を強度とのかねあいにおいて特定することが可能になろう。これは、地殻の異常現象を応力の解放ないし集中過程と結びつけて理解することを可能にし、地震サイクルにおける切迫度を応力の蓄積の程度として理解することを可能にするものである。これはまた地震予知において特定の地震の発生に至る時間的経過にだけ着目するのではなく、地殻全体にかかるテクトニックな力を考え、それが地殻内にいかに配分・再配分されるかに着目する視点を持ち込むものである。

こうした理解ができれば、逆に応力・歪揺らぎの常時把握から地殻活動の予測もある程度できるようになると考えられる。地殻内の強度も応力も直接観測できる量ではないがⅡ章の成果は、調査観測のデータと理論・実験の結果とを結び付けることによって地殻の応力揺らぎや強度の不均質分布を推定し、地殻活動の予測につなげるモデリングが可能になりつつあることを示唆している。もちろん、モデリングを現実に意味あるものとするためにも、S/N比や分解能のより高い、あるいはより大容量・高次元の情報をもたらす、あるいは全く新しい観測量を測る地球観測システムの開発研究は欠かすことができない。

上記①②に述べたような観測研究を発足させるには、海域を含めた日本列島規模で、地殻の力学的・熱的な構造不均質性を調査し、また応力・歪状態の時間揺らぎを観測とモデリングによって把握する体制が必要である。こうした体制は、これまでの地震予知計

画の進展と動き出した国の基盤的調査観測事業によって、整備されつつある。また、大規模なモデリングには、適切なコンピュータ環境の整備も必要であろう。これまでの学術的・技術的成果の蓄積と整備のされつつある基盤的調査観測体制とによって、地震予知の実現に向けて新しいアプローチに基づく研究を推進する機は熟している。

<望まれる計画実施体制>

この地震予知計画の課題を達成するためには、国の基盤的調査観測網も含めた業務的な調査観測と、それらのデータの利用を前提として、より焦点を絞った研究的な調査観測、及び得られたデータを地震発生予測につなげるためのモデリング研究の緊密な協力体制が不可欠となる。それぞれの性格を理解した上で、大学及び関係機関がその機能に応じてそれらを役割分担し、密接な協力・連携を図ることが総合プロジェクトとして地震予知計画を推進するための要点となる。現在、地震調査研究推進本部が進めつつある基盤的調査観測事業は、上に述べた地震予知研究の新しいアプローチにも大きく貢献することが期待される。そのため基盤的調査観測が地震予知計画の中で果たすべき役割を明確にして、最適な連携システムを作り上げることが重要である。

地震予知計画を着実に推進させるためには、検証可能な作業仮説または目的を設定したうえで、計画期間内に結果及び評価が明らかになる計画を策定することが必要とされる。計画をより効果的に推進するためには、第三者評価等を適宜実施するシステムの導入も検討すべきである。研究的な調査観測の積み重ねにより、地震発生予測に有効な調査観測手法が確立された場合、それを基盤的調査観測など業務的な調査観測に逐次導入する必要がある。また、調査観測により得られた成果を社会に還元するために、関係機関の連携の強化を図ることが望まれる。

別紙 A 第1次～第3次計画の進展と成果

1. 計画の概要

我が国の地震予知計画の出発点は昭和37年(1962)に提言された「地震予知—現状とその推進計画—」(通称、「ブループリント」)にある。このブループリントは学界有志数十名からなる「地震予知計画研究グループ」が「地震予知を目的とする測定を行うとすれば、それはいかなる種類のものであり、いかなる方法によるべきか」について討議を重ね具体的に検討し実際の計画を立案したものである。

具体的には以下の観測項目を提案している。①測地測量による地殻変動調査：日本全域の刻々の地殻の変動を捉えるため、できる限り広い範囲にわたって頻繁に測量を繰り返すこととし、国土地理院の事業として行い、全国的測量の反復周期として、水準測量が5年、三角測量が10年を計画している。②験潮場の整備：日本の沿岸における地殻変動の推移を常に監視するため、2年程度で26か所新設して92の験潮所を整備する。③地殻変動の連続観測：①の測地的方法によりある地域全体にわたる地殻変動を捉え、地殻変動観測所はその地域内の1点において、時間的推移を連続的に捉える。このため、100km四方に1観測所、として70の地殻変動連続観測所を建設する。その他に、特定の地域には50km四方に1観測所の割合で、30の観測所を設ける、すなわち計100の地殻変動連続観測所を設ける。これは早ければ11年後に完成すると思われる。業務観測としては研究的色彩が強いので、大学や関係官庁の附属研究所で行う。④地震活動の調査：あらゆる大きさの地震の活動状況を調べるための観測を行う。Mが3以上の全国の大・中・小地震の観測については、気象庁が観測網を整備して行う。微小地震(3 > M ≥ 1)については、全国に20の支所を置き、180点の微小地震観測所を設ける。これは10年計画で設置する。極微小地震(1 > M)については、全国に6か所の特殊地域を選び、そこに固定した5観測所を設けるが、これを6年計画で行う。また、他の地域については随時移動して観測を行う。⑤爆破地震動による地震波速度変化の観測：大地震の前に地震波の伝播速度の変化が認められたという報告があるが、自然地震の観測によるもので観測精度が高くない。したがって、爆破地震による調査により高精度の観測を行い、地震波速度の変化の検出を目指す。6年計画で6か所の爆破観測を行う。⑥活断層の調査：明治以来地震断層の多い、東経133.5°～139.5°、北緯34.5°～36.5°の範囲内の地質学的断層のうち大きいものについて地震断層との比較調査を進め、地質学的断層から地震断層を抽出し、地形学的調査を行い、いつごろ活動したかを知る。これを2年程度で行う。⑦地磁気、地電流の調査：地震の前駆現象としての地磁気・地電流の変化の研究の数は多いが、地震発生との関係については統計的検定に問題があり、その測定法に信頼性が欠けていた。これらを明らかにするため、まず特殊地域を選んでモデル観測網を設け、3年間で固定観測所を設置する。

昭和39年(1964)7月に建議された「地震予知研究計画の実施について」の内容はこのブ

ループプリントの具体化への第一歩であった。そこでは、1. 測地的方法による地殻変動の調査、2. 地殻変動検出のための験潮場の整備、3. 地殻変動の連続観測、4. 地震活動の調査、5. 爆破地震動による地震波速度の変化(の観測)、6. 活断層(の調査)、7. 地磁気、地電流の調査、及び8. 大学の講座、部門の増設等、が提案され、これをほぼ10年を目途として年次的に実現すべきとされた。

昭和40年(1965)8月に松代地震が発生したため、これを極めて重要な研究課題ととらえて、1. 測地学的方法による地殻変動調査に日本近海の地震多発地域の調査を加えること、2. 気象庁の地震活動調査の目標をM3以上の地震の震源を決定しうるよう観測精度を高めること、3. 電子計算機による微小地震等のデータ処理システムを確立すること、4. 極微小地震、測地、地殻の傾斜・伸縮、地磁気の移動観測体制を整えること、が昭和41年(1966)に追加建議された。

昭和43年(1968)の「地震予知の推進に関する計画の実施について」(のちに第2次計画と呼ばれることになった)では、「地震予知研究計画」の実施を早め、地震予知の基盤となる観測種目の範囲をすみやかに確立させ、また、すでに基盤となることが認められた種目についてはその観測を順次充実させることが目標とされた。活褶曲の調査、東京における深井戸観測、室内及び屋外における岩石破壊実験も新たに研究項目に含められた。また、観測強化地域、観測集中地域における観測が提唱され、情報交換と総合判断を行うための地震予知に関する連絡会の設置、各機関における観測センターなどの設置が計画された。

昭和48年(1973)には、第3次地震予知計画が建議された。ここでは、 V_p/V_s 比の異常減少に関する報告に基づいて地震の長期予報と短期予報の戦略が提唱され、また情報交換・総合判断のための体制強化及び基礎研究の推進が必要とされた。各種観測を強化することが第3次建議の骨子であったが、とくに観測のテレメータ化、自動処理化、資料保存と普及は新しい計画内容であった。ほかに、特別の地域における観測として東京及びその周辺地域における深井戸観測が計画された。

「第3次地震予知計画」は昭和50年(1975)に見直され、実施が遅れている海底地震観測と地殻応力測定 of 推進を特に図るべきとされ、新しく推進すべき観測研究計画としては、地震発生過程、ダイラタンシーモデルから予想される地震波速度の時間的变化、短周期地殻変動と地球潮汐の関係、地下水、電気比抵抗変化、地殻構造探査、重力変化等が挙げられた。また、集中観測(テスト・フィールド)、全国的ネットワークの検討、データの総合整理、歴史資料の収集と解析が総合研究の課題とされた。研究プロジェクトチームの編成、地震予知観測センター及び移動観測班の整備は基礎研究の推進の中心的役割を果たすものとしてその措置が要請された。首都圏におけるM6クラスの地震の前兆現象の観測と、特定観測地域・観測強化地域9か所並びに危険度の高い活断層周辺について地震の前兆現象を詳細に把握することの必要性が述べられた。特定観測地域における観測強化としては、首都圏での精密測量網の整備、特定地域での水準測量等の反復観測の強化、

深井戸観測の強化が挙げられている。

昭和51年(1976)には「第3次地震予知計画」が再度一部見直しされた。目標とする地震予知の実用化達成のため、観測・研究の一層の強化と体制の積極的整備が急務であるとされた。予知の判断を可能にするために、各種データの集中的収集が図れるよう、観測の強化及びそのための体制の整備充実が提案されている。長期的予知を推進するために、海底を含めた地殻活構造の調査研究、東海地域における観測の拡充強化等が、また、短期的予知を推進するための臨時措置としては常時監視体制の整備が、新しく提案されている。最後に、臨時的措置として東海地域における連続観測データの集中と常時監視に対応し判定を行う組織の整備が必要とされている。

以上に概略を紹介した建議に基づいて、関係各機関及び大学は次のような計画を立てて事業を推進することを図った。

ア．測地

(a) 全国域の繰り返し測量

国土地理院は、全国にわたって地殻の変動を見いだす目的で精密な測地測量を周期的に繰り返す。また、地磁気、重力の変化を見いだすため、全国の地磁気及び重力の測量を行う。なお、当初の計画では一等三角点等は10年周期で、一等水準点は5年周期で繰り返し測量を行うこととし、第3次計画では一次基準点(一等、二等三角点)を5年周期で、二次基準点(三等三角点)を10年周期で、一等水準点を5年周期で繰り返し測量を行うとされていた。

(b) 特定の地域の短周期測量

国土地理院は、特定地域の観測を強化し地殻変動特性を明らかにするとともに、異常な現象が発見された地域は観測強化地域として、さらに観測を強化する。このために、二・三等三角点、二等水準点及びその他必要な測地測量を2.5年周期で行う。

海上保安庁水路部は地殻の変動を調べるため鉛直線偏差観測、渡海水準測量を実施する。

国土地理院及び大学は、重力測定を実施して重力変化から地殻内の密度分布の時間的变化を検出し、地震発生との関係を調べる。

イ．地殻変動連続観測

大学は従来行ってきた地殻変動連続観測を充実整備するとともに、地域を分担して新たに10余か所に地殻変動観測所を設置し、歪計、傾斜計によって地殻変動を連続的に観測する。これにより測地測量の反復周期の間における地殻の変動を連続的に観測して、その特性を把握し、地震発生との関係を究明する。

気象庁は東海地方においてボアホール型の地殻変動観測の業務化を開始する。

国立防災科学技術センター(現防災科学技術研究所)は浅井戸による傾斜連続観測手法

の開発を行う。

国土地理院及び気象庁は地殻変動検出のため全国の験潮施設を更新充実し、統一的なデータ処理を図る。

ウ．地震観測

気象庁及び緯度観測所(現国立天文台)は、地震活動の消長を把握することを目的の一つとして、大・中・小地震観測を行う。

気象庁は、大・中・小地震観測を行い、データを自動処理する。M3以上の地震の震源を決定することを目的として地震計の近代化を図り、全国20か所に観測所を設ける。さらに、67か所に磁気テープ式地震計を整備し、ワイヘルト式地震計を電磁式に更新する。松代においてはM1～3の微小地震の観測を行う。また地震観測資料を迅速に解析し地震予知に必要な情報をとりまとめるため、観測部に地震活動検出センターを設ける。テレメータ化された海底地震計を開発する。旧式の観測点26か所において中感度・広帯域の地震計を更新する。大・中・小地震を対象とした移動観測班を設ける。

国立防災科学技術センターは、首都圏等人工的雑音の高い地域における観測手法の確立のため、深井戸を用いた微小地震観測手法の開発を行う。

大学は微小地震観測技術を開発し、連続観測網を構築し、微小地震の活動状況、発生機構を把握するとともに、それと大地震発生との関係を調査する。大学はまた、極微小地震機動観測の手法を構築し、異常地殻活動発生時等の活動状況を詳細に把握するとともに、より大きな地震の発生との関係を調査する。

エ．活断層・地質調査

工業技術院地質調査所、大学及び国立防災科学技術センターは活断層、活褶曲地域の調査研究を行い、活断層を主な対象として第四紀における地質構造の形成過程を解明した。また、活断層の活動度を判定する手法の開発を進めた。

オ．地下構造・物性変化

国立防災科学技術センターは、人工地震による地殻構造調査及び地震波速度変化の観測を行う。

工業技術院地質調査所は南関東をモデル地域とし、爆破地震の観測により地震波速度変化の観測研究を行う。また、浅海における地殻活構造を調査する。

カ．地球電磁気

気象庁は松代において地磁気永年変化と地殻・マントルの電気伝導度変化を観測する。また、特定地域における地磁気・地電流の観測から地震発生との関連を調査する。

大学は、自然電磁気現象の観測及び人工電流法を含めた地球電磁気学的手法を用いて、

活断層の規模や構造の電磁気学的特徴を明確にする。また、地震と磁場変化との関係の理論的な研究と基礎的な観測を行う。どのような観測方法が地震予知に最も適当で有意義であるかをできるだけ早い時期に検討し、その成果を活断層に一般的に適用できる形にまとめる。

キ・地下水

工業技術院地質調査所は短期予知のための地下水観測を行う。

工業技術院地質調査所及び大学は地下水に関する調査研究手法の基礎を確立する。

国立防災科学技術センターは地下水観測手法の開発を行う。

ク・地震予知に資する調査観測手法の開発

国立防災科学技術センター及び大学は地殻応力の実用的測定手法の開発を行う。

ケ・地震予知の基礎研究

岩石破壊の研究は各種観測結果の解釈に理論的根拠を与えるものであり、地震予知の理論的背景を豊かにし、実用化を促進するものとして、急速に進める必要がある。このため大学は実験室において岩石破壊実験を行う。これにより、地震の発生機構・前兆現象の発現機構の究明に資する。

工業技術院地質調査所は地震発生機構解明のための岩石破壊実験を行う。

コ・体制の整備

各機関及び大学は、基礎研究、各種観測の推進、情報交換と総合判断、常時監視、研究者の育成等のため、体制の整備を行う。

2. 計画の実施状況と成果

前節で述べた計画をもとに地震予知計画が進められたが、第1次～第3次計画の期間中における実施状況と得られた成果の概略は以下のとおりである。

(1) 地震予知に向けた観測体制の整備

全国で多くの項目にわたる総合的な観測が開始された。

ア・測地

国土地理院による全国一等三角点の改測は、昭和42年(1967)に終了し、その後第2回目の改測に入ったが、昭和49年(1974)には、光波測距儀の進歩を取り込んで、辺長測量

主体の精密測地網一次基準点測量に引き継がれた。また，一等水準点については，5年から10年という周期で実施された。

この結果，全国の地殻の水平及び上下方向の変動の様相が明らかになった。とくに，大きな地殻変動が北海道東部及び東海地域に見いだされ，北海道東部については幾人かの研究者が地震の発生を予測し，この問題は国会でも取り上げられた。果たして昭和48年(1973)に根室半島沖地震(M7.4)が発生したが，このことが，同じように地殻変動が大きかった東海地域の地震発生説の素地をつくることとなったといえる。

他方，多摩川下流域でも地盤の隆起が認められたが，これは結局地下水の影響と判断された。また，房総半島で見いだされた地殻変動は次回の測量結果ではそのパターンが反転した。

以上のように，全国測量の繰り返しによって日本列島の地殻変動の様相が明らかになるなど，一定の成果は挙げたものの，他方においては，繰り返し測量が本格的に実施されるようになったため測量そのものの精度の問題や地殻変動を起こす要因の複雑さも認識されるようになった。

海上保安庁水路部は地震多発地帯にある伊豆諸島において地殻の上下変動を調べるため，各島相互及び本土との間で，渡海水準測量を実施した。新島，神津島，三宅島，伊豆大島伊豆白浜の各地点間で精密経緯儀，光波測距儀(昭和46年度(1971)から導入)を使用して測量を行った。これらの測量における各地点間の平均的な高低差の測定精度は0.20m程度であった。このほか水路部は伊豆大島等6か所，三宅島等6か所，神津島等5か所で，地球内部構造及び地下の物質分布を解明するため光電式定高度儀を使用して観測を行い，各島の鉛直線偏差を求めた。

大学は日本各地の光波測量網において光波測量を反復し，数kmから10km規模の地殻変動を検出した。また，多色法測距儀の開発のための基礎実験を行った。

海上保安庁水路部は，佐世保ほか15港の験潮所の設備の充実と良質データの取得に努めた。観測した各験潮所の験潮結果から平均水面を求め地殻変動の監視を行った。全国の験潮施設のデータは，第1次の地震予知計画の建議に基づいて海面に対する土地の昇降を検出する目的で国土地理院に設置された海岸昇降検知センターにおいて統一した方法で処理されて，その成果が研究者に提供されることになった。

大学は重力基準点の増設及び既設点の改測，東海地域の重力精密測定を実施した。

イ．地殻変動連続観測

大学は地殻変動観測所及び観測点を設置するとともに，従来からの観測点を整備して歪計，傾斜計等による連続観測を行った。これにより地殻変動の詳細な姿が明らかにされた。各種の観測機器が開発され，感度，安定性，記録の時間分解能の向上が図られ，地殻変動観測手法を確立するための努力が払われた。データ処理システムの開発も行われた。擾乱に関する定量的解釈の研究が，地球潮汐変形，気象擾乱，Cavity効果，地形影響に

ついて進められた。ストレイン・ステップ（断層運動による残留歪場）の解析が進められ昭和44年(1969)岐阜県中部地震に際しては、全国のストレイン・ステップの分布調査が初めて行われた。初期の観測の主目標とされた前兆的異常変動現象の検出が、地震後の解析によって報告された。

北海道大学理学部えりも地殻変動観測所では、周辺に光波測距観測網を展開するとともに国土地理院の水準路線を測定することにより、30m長の観測坑道の地殻変動とより広域の地殻変動との比較を行った。この期間には昭和43年(1968)十勝沖地震から昭和48年(1973)根室半島沖地震まで北海道太平洋沿岸に大地震が続いて発生し、大地震に関連する貴重な資料が蓄積された。歪計の時間分解能を上げた結果として、昭和46年(1971)8月2日えりも岬沖地震を含む多くの地震でストレイン・ステップが記録された。そのデータは理論的予想と一致するものであり、歪計による地震観測の有効性が示されたと同時に計器の動的応答の確かさが確認された。降雨による影響を除去して地殻変動観測データを検討した結果、根室半島沖地震の1〜2カ月前から異常変化があったことが見いだされた。

この結果を検証するために、根室半島周辺で繰り返されてきた広域的な測地網の観測と、えりも観測所坑道内で観測された長期変動が比較され、両者は量的にも一致することが確認された。観測坑道に注意深く設置された地殻変動観測計器は広域的に進行する地殻変動によく追従し、その連続記録から地震前の短期的変動を検出することができることを示した。

関東地方での鋸山と油壺における傾斜の比較から移動性地殻変動が検出されたのに引き続き、東北地方でも、海溝側から背弧側に向かって20km/年程度の速度で伝播する移動性地殻変動の存在が見出された。近畿中央部においても広域地殻変動と地震活動の関係が示され、また、南から北へ移動する地殻変動の存在が示唆された。

国立防災科学技術センターは、力平衡型ボアホール傾斜計の開発及び信頼性管理手法を完成させ、平野部における地殻変動連続観測の実用化への道を開いた。

気象庁ではコサイスミックな変化を安定して観測できる新型歪計の開発・研究が行われ、昭和50年度(1975)から東海地方において体積歪計観測網の整備が始まった。昭和50年度(1975)に伊良湖〜石廊崎の5地点、昭和51年度(1976)に網代〜銚子の5地点、及び、御前崎周辺の歪観測を強化する目的で浜岡及び榛原の2地点に体積歪計が設置され、東海及び南関東地域で合計12地点の観測網が整備された。

緯度観測所はVerbaandert-Melchior型水平振子傾斜計やTEM型傾斜計を導入した。北上山地の赤金鉾山の廃坑では水平振子型傾斜計による地盤傾斜変動観測が実施されたが、この傾斜計は短いスパンに立脚するため長期安定性に問題があり、信頼できる経年的傾斜変動データを得ることは困難であった。

ウ．地震観測

気象庁は昭和34年(1959)から固有周期5秒の100倍電磁式変位地震計の展開を開始していたが、建議に則して順次ウイヘルト型地震計の更新を行うとともに、昭和42年度(1967)から磁気テープ式による3000倍の速度型地震計の展開を開始した。昭和49年度(1974)からは本庁及び管区气象台において、津波予報のための震源推定精度向上を目的としてオンラインによる地震データの交換が始められた。昭和52年度(1977)には埋設型の10000倍の速度型地震計による小地震観測網を全国的に展開し、昭和53年度(1978)には東海地域において、地震観測データのテレメータ化及び集中解析処理を含む常時監視体制を整備した。M3以上の地震を確実に検知するために観測網の整備を推進し、さらにケーブル式海底地震計の開発に着手した。これにより、全国的に均質な震源の決定とそれに基づく空白域の検出等も行えるようになった。これらの地震観測網の整備によって、大地震やそれに伴う津波予報の情報が迅速に発表できるようになり、地震活動状況について、迅速に総合判断するための情報提供が可能になった。このほか、地震観測におけるS/N比を改善して気象庁の現業観測網の検知能力を高めるために有効な方法を確立する研究が行われ、広く活用された。地震予知計画の推進と津波予報の迅速化のため、業務用高性能地震観測処理装置の研究開発が行なわれ、この開発成果に基づく業務用装置が昭和49年度(1974)に気象庁に設置され、業務化された。

緯度観測所は3成分の長周期地震計を導入した。気象庁観測網の整備と緯度観測所の職務内容の見直しにより、気象庁への地震データの即時提供は昭和44年(1969)に中止されたが、地震観測は継続され、そのデータは国際・国内機関に報告・提供された。

大学は微小地震観測所を新設し観測網を構築して微小地震の観測を実施した。それぞれの微小地震観測所は特有の背景・経緯・目的をもって設置された。大学による微小地震観測網の構築によって観測能力は飛躍的に向上し、M3以下の微小地震の震源も定常的に決定できるようになった。地殻活動やプレート運動等に関する多くの新しい知見がえられ地震前の異常地震活動も検出された。無線テレメータの導入、トリガー方式による収録、多チャンネルスペクトル記録による観測、自動処理システムの開発、長期間可視記録レコーダの開発等が手がけられた。テレメータ化が進み、集中記録され、自動処理装置が導入されてオンライン・リアルタイム処理が実用化された。また、移動観測班の整備も進み定常観測を補完する観測が可能になったが、主に余震活動が観測の対象とされた。

北海道では、地震データのテレメータ化に際して、時分割多重化が容易なデジタルシステムを導入し、地殻変動データも伝送することを可能にした。この結果、歪地震動データの活用が可能になり、昭和53年(1978)国後水道地震の解析に威力を発揮した。

東北地方においては、北部及び南部の一部の地域を除き、陸域下ではM2.5程度以上の地震の震源決定が可能になった。それらのデータを解析することにより、陸域下に沈み込む太平洋プレートの位置が推定され、また、その中で発生する稍深発地震が二重深発地震面を形成していること、上面の地震と下面の地震で起震応力場に特徴的な違いがあること、内陸下の浅発地震は上部地殻内でのみ発生していること等、沈み込み帯の地震テ

クトニクスを理解を深める上で重要な貢献がなされた。昭和45年(1970)秋田県南東部地震の際には、極微小地震観測班が出動し、余震の精密な震源分布を求め、遠地で得られた地震波形記録解析と総合して、この地震の発生機構が推定された。

和歌山地域は、10年以上の期間にわたり一定の基準を保った微小地震観測を継続することにより、地震活動の時間的・空間的变化の詳細な様相をとらえられた初めての例である。いわゆる 6 km/s 層が地表に露出している場所では、震源の深さが $1\sim 2\text{ km}$ というきわめて浅い地震が発生しうることがわかった。また、紀伊半島直下におけるフィリピン海プレートの形状が微小地震の震源分布から捉えられた。

中国東部地域では地殻内地震に伴う応力集中と破壊過程が微小地震観測から追跡された。また微小地震の震源分布から沈み込むフィリピン海プレートの形態が捉えられた。

四国中央部では微小地震が地殻上部の浅いグループと北に傾斜した面に沿う 30 km より深いグループに分かれて発生しており、前者のP軸は東西方向、後者は南北方向であることなど、地震現象に関する新しい知見が得られた。

国立防災科学技術センターは埼玉県岩槻市に $3,510\text{ m}$ の観測井を完成させ、首都圏において高感度微小地震観測が可能であることを実証した。また、千葉県沼南町において第2の深層観測施設(下総)の整備を行なった。これらを通じてボアホール観測の基礎が築かれた。また観測点のテレメータ化も順次進められた。

エ．活断層・地質調査

工業技術院地質調査所は主として関東地方の第四紀層の分布と構造を明らかにし、活構造図として取りまとめた。調査は関東地方等に限られたが、今日の活構造に関する基本的考え方がほぼ固められたといえる。

大学、地質調査所、国立防災科学技術センターは協力して、地殻活構造調査の一環として「日本の活断層(1980)」を編纂した。この「日本の活断層」の出版に向けて、全国の変動地形学者・地質学者が組織化され、日本の活断層についての基礎データが着実に集積された。この研究グループが組織されたことは大きな前進であり、この成果はその後の活断層調査や内陸地震調査の基礎となっている。

長期間にわたる地震活動の記録は地震予知研究において非常に重要である。このため、大学は新しい地質時代に活動した断層(活断層)について、主として変動地形学的な調査を行い、その分布・平均変位速度・変位のセンス等を検討し、日本列島全域について統一された基準で評価した。また、活断層以外でも第四紀地殻変動について、活褶曲の分布・隆起・沈降量等を均質な基準で評価し、日本列島全域についてまとめた。

オ．地下構造・地震波速度の変化

国立防災科学技術センターは、人工地震による南関東地域の地殻構造調査を実施し、首都圏の基盤構造を明らかにした。また、大学等に協力して、人工地震を用いた地殻・上

部マントル構造の調査を行なった。これらの成果は、地震発生場を考察する貴重な資料となっている。

海上保安庁水路部は、三陸沖北部、釧路沖、日向灘、遠州灘、房総沖、鹿島灘南部、常磐沖南部、常磐沖北部において、音響測深機による海底地形測量、エアガンによる地質構造調査、プロトン磁力計による地磁気全磁力測定等を実施し、これらの海域の海底地形、地質構造を明らかにした。

工業技術院地質調査所は、国立防災科学技術センターや大学等と協力して、定点発破を用いた地震波速度変化の観測を実施した。有意な変化は検出できないという否定的な結果となったが、地下構造の調査及び地震観測技術の向上に貢献した。

カ．地球電磁気

大学は、当時実用的な装置となって間もないプロトン磁力計による連続観測や地域別の繰り返し磁気測量を実施した。昭和45年(1970)にはプロトン磁力計や地磁気 γ 成分変化計・地磁気絶対測定装置をそなえた八ヶ岳地磁気観測所が開設された。八ヶ岳においては地電流(地電位差)の測定も行われた。松代においては γ ヶ所にプロトン磁力計が設置された。昭和45年(1970)以降は、房総半島や東海地域において携帯型のプロトン磁力計による繰り返し磁気測量が実施された。磁気測量の精度が飛躍的に向上し、測定結果の信頼性が高くなるにつれて、非局所磁場変化の補正精度の向上が必要とされ、これは日本列島下の電気伝導度異常(CA)に深く関連することが明らかにされた。松代では群発地震発生に関連があると見られる地磁気変化が観測された。油壺地殻変動観測所で行われた大地比抵抗の連続観測では、地震にともなった変化が多数例観測され、一部には数時間先行した前兆的な変動も捕えられた。このことから、比抵抗観測が直前予知に有効である可能性が論じられた。中国、四国、近畿地方の繰り返し磁気測量からは、しゅう曲運動による地殻歪みに関連したと考えられる永年変化異常が見出された。

大学や関連機関は合同で山崎断層の電磁気構造調査を昭和51年(1976)から開始し、活断層に顕著な低比抵抗帯が存在することを見出した。これはテストフィールド計画を推進する上で大きな原動力となった。昭和52年(1977)9月の地震の際には、震源から \geq km以内の区域で地震後4日目、 \geq 週間後に地磁気の異常減少が見られた。またこの地震では、明確ではないが安富町における地電流日変化パターンに異常な変化らしきものが見られた。昭和54年(1979)12月に地電流観測点の西方15kmに発生したM4.9の地震では断層を横切る南北測線において、地震前に顕著な異常変化が見られた。この異常変化は、壕内の電極ではより大きく現われた。

気象庁は、地震と地磁気の関係を見いだすための基礎的データを取得する目的で、プロトン磁力計を柿岡、女満別、鹿屋の γ 箇所に整備した。また、地殻・マントルの電気伝導度を観測するため、大地電気伝導度異常観測装置を福島県浪江に整備し解析を進めた。人工雑音の多い地域での電磁気による地殻構造調査の手法の開発を目指して、古利根流

域及び櫛挽断層で大地比抵抗観測を実施し、観測点及び観測時間帯の選定が重要であり、またデータの重ね合わせによる解析等の手法が有効であることを示した。

海上保安庁水路部は八丈島において地磁気調査を行い地震との関連を調査した。地磁気永年変化及び地殻・マントルの電気伝導度の変化を観測するため、下里水路観測所（和歌山県）において、全磁力及び地磁気3成分の精密観測を実施した。八丈島に八丈水路観測所を新設し、昭和52年度(1977)から観測を開始した。

国土地理院は、鹿野山及び水沢で全磁力及び地磁気3成分の連続観測を行うとともに、全国の磁気測量を繰り返し、10年ごとに磁気図を作製している。

キ．地下水・地球化学

大学は地下水観測、地下水・地下ガスのラドン観測の手法を開発し連続観測に着手した。昭和49年(1974)伊豆半島沖地震(M6.9)の際にコサイスマックな地下水位変動を捕捉その地域的分布が発震機構と対応することを見出した。また、昭和50年(1975)に多摩川下流域で検出された異常地盤隆起の原因解明を行った。昭和53年(1978)には東京大学理学部附属地殻化学実験施設が新設された。

工業技術院地質調査所は伊豆半島を中心とする地域で地下水の化学成分の変化を測定した。同時に地下水観測手法を開発した。

国立防災科学技術センターは既存の井戸を用いた水位連続観測の可能性を検討するとともに、地下水位と地震発生との関連性についての研究を開始した。

ク．地殻応力

国立防災科学技術センターは水圧破壊法による地殻応力測定技術を地震予知研究に導入し、野外における数100m深度での測定手法を確立した。

大学は応力開放法で応力測定を実施し、またAE法による応力推定法を提案した。

このように応力の直接測定が可能となったことで、地震発生場の物理的理解への重要な一歩が築かれた。

（2）特定観測地域における集中的観測

観測強化地域については、各種の測量が強化実施された結果、詳細な地殻変動の時空間的な様相が明らかになった。特に、伊豆半島では、昭和49年(1974)の伊豆半島沖地震以降に、伊豆半島東部に異常な地殻変動が発見され、その後一連の地震活動及び地殻変動が観測されるなど、この地域の地殻活動の実態の解明に大きな前進をもたらした。

国土地理院による特定地域の短周期測量は、主として菱形基線や放射基線の繰り返しが行われたのみであったが、南関東及び東海の観測強化地域においては、ほぼ計画に沿って測量が実施された。

海上保安庁水路部は特定観測及び観測強化地域の周辺海域において基礎調査を実施した。浅海域における弾性波探査による手法の研究、東海地方東部等の海底地形・地質に関する調査、マルチチャンネル反射法による地殻深部構造の調査等を実施して、活断層の探査手法の開発や相模湾、駿河湾等の過去の地殻活動状況や海底地形変動の有無等に関する研究を進めた。成果は大陸棚の海の基本図として刊行された。

ア．南関東地域

大学は相模湾をはさむ観測網の整備を進めた。南関東地域の直下に沈み込むフィリピン海プレート及び太平洋プレートの内部で微小地震活動が発生していること、そのうち、太平洋プレートの内部で発生する微小地震が二重の面的構造をもっていることが突き止められた。南関東地域にはプレートの相互作用による微小地震の多発地域がいくつかありそこではM6クラスの地震が繰り返し発生することがわかった。このような微小地震発生場の様子を明らかにしたことは大きな成果である。これらの成果はその後の各地域における微小地震観測の指針の一つとなった。

イ．伊豆半島

昭和49年(1974)伊豆半島沖地震(M6.9)以降、伊豆半島東部に異常な地殻変動が発見され、その後一連の地震活動及び地殻変動が観測された。昭和53年(1978)伊豆大島近海地震(M7.0)では多項目にわたる前兆的異常変化が観測され、短期予知の可能性を示唆した。大学は伊豆半島東部の群発地震活動及び昭和53年(1978)伊豆大島近海地震による重力変化を検出した。また、伊豆半島の異常隆起を水準測量に先だっていち早く重力変化として捉えることに成功した。この重力変化を説明するために球対称圧力源がひきおこす重力変化の理論がはじめて提出された。重力変化の測定が地殻変動のモニターに有効であることを観測と理論の両面から明らかにした。

ウ．東海地域

東海地震の可能性が指摘され、気象庁はケーブル式海底地震計の開発を完了し、ボア

ホール型地殻変動観測を業務化した。大学は重力の精密測定を繰り返した。

エ．甲信越地域

昭和40年(1965)に始まった松代群発地震は多項目集中観測によって一連の活動経過が追跡された最初の例である。微小地震は基本的な観測項目として重視され、地殻変動、重力の時間的变化、地下水その他の観測結果は微小地震活動と対比させて解釈が与えられた。これによって内陸の地殻内地震の発生過程の解明に大きな足跡が残された。また、地域地震防災への研究機関の関わりとその重要性が示された例でもあった。昭和39年(1964)の新潟地震との関連性が指摘され、当該地域における広域地震活動の一つとして理解されている。

(3) 地震予知の基礎的研究

工業技術院地質調査所では、封圧下における岩石の変形破壊条件を解明するために、高封圧下での岩石変形破壊実験が始められた。多くの岩石の破壊強度の測定を行うとともに、間隙水圧が及ぼす破壊強度への影響が明らかになった。これとともに岩石物性測定の技術が確立された。

この時期の岩石破壊関連の分野では、ダイラタンシーモデルに代表される巨視的欠陥のない岩石の破壊に先行する非弾性歪変化、その過程で励起される微小破壊振動(AE)に関する研究が主流であった。

大学は岩石試料の破壊実験によりダイラタンシー現象に伴うAEを測定し、AEに伴う応力降下量が印加応力の増加とともに大きくなること等を見出した。このような室内実験の結果を自然の地震の場に結びつけるには至らなかったが、地震予知計画によってこの種の基礎的実験研究が芽生えた意義は大きい。また、相変化による地震発生を研究目的の一つとして昭和48年度(1973)に六方押しプレスが設置された。これにより、従来行われていなかった高い封圧下の岩石の力学的性質の解明の研究が行われはじめた。維持費及び周辺計測計器が不足しており、それらの充実を待たなければ十分な成果を上げることは困難な状況にあったが、従来行われていなかった高い封圧(3.8GPa)下での岩石の変形破壊実験が可能となり、実験が開始された。

なお、大規模野外実験は実施されなかった。

(4) 地震予知のための組織・体制の整備

第2次地震予知計画の建議に基づき、各分担機関の情報交換及びそれらの情報の総合的判断を行う機関として、国土地理院に昭和44年(1969)4月に地震予知連絡会が設置された。各機関の専門家30人で構成され、年4回の本会議が開催されるほか、適宜、部会が

開催されている。また、第3次地震予知計画の再度一部見直し建議に基づき、昭和52年(1977)には地震予知連絡会に東海地域判定会が設置され、同時に東海地域の連続観測データを気象庁へ集中する常時監視体制が取られるようになった。この体制は、大規模地震対策特別措置法の制定及び東海地域の地震防災対策強化地域への指定によって、地震防災対策強化地域判定会として引き継がれ、更なる体制強化が図られた。

気象庁では観測強化に伴う観測員の増員、地震観測資料の迅速な解析・予知に必要な情報を取りまとめる「地震活動験測センター」の整備とそれに伴う増員が行われた。また「東海地域判定会」が発足して、各機関のデータが気象庁に集中するようになった。第1次～第3次計画の期間中、地震観測業務は着実な進展を示し、業務的な地震予知支援体制が形成され始めた。地震観測データのテレメータ化及び集中処理解析を含む常時監視体制の整備によって、地震情報、津波情報が迅速に発表できるようになった。このような動きは、グループプリントに述べられた「いつ業務として地震警報が出されるようになるか」に対して、少なくとも体制面においては現実の姿として回答を与えたといえる。大規模地震対策特別措置法が昭和53年(1978)12月に施行され、翌年8月7日気象庁に「地震防災対策強化地域判定会」が発足し、東海地域判定会の機能を引き継いだ。

国立防災科学技術センターでは地震予知に関連する部門として4研究室18人の組織が整備され、地震予知研究体制の基礎が築かれた。

工業技術院地質調査所では昭和51年度(1976)に地震地質課、昭和53年度(1978)に地震物性課、地震化学課が新設された。

大学には講座・部門が増設され、地震予知観測地域センター、微小地震観測所、地殻変動観測所、地磁気観測所が新設された。第3次計画では観測網のテレメータ化が実施された。

別紙 B 第4次～第6次計画の進展と成果

1. 計画の概要

(1) 第4次～第6次地震予知計画(建議)の概要

第4次の建議が昭和53年(1978)7月に出された当時は、駿河湾を予想震源とするM8級の海溝型巨大地震(東海地震)を想定した予知体制の整備が推進され、かなりの確度で前兆現象を捉えられるという観測実績と技術的確信に基づく考えが基調であった。そのため、昭和50年(1975)の「第3次地震予知計画の見直し」と昭和51年(1976)の「再度一部見直し」で強調された、長期的予知を推進するための海底を含めた地殻活構造の調査研究や東海地域における観測の拡充強化など、また、短期的予知を推進するための臨時措置としては常時監視体制の整備などが第4次の建議に大きく取り上げられることとなった。

すなわち、地震予知計画では、全国を対象とした定期的調査及び観測を基礎として、地震の長期的予知に努め、その成果を踏まえて短期的前兆現象を捉えるための諸観測を集中させる方式を基本として推進してきた。同時に、地震発生に先行する諸現象を解明するための基礎研究を重視し、その拡充・強化を図ってきた。

その基本的な考え方は次のとおりである。

ア．全国を対象とした調査・観測は地震の長期的予知の手法の主体であり、異常地殻活動域の検出による地震の「場所」と「規模」の予測を目的として実施する。

イ．異常が検出された地域においては、調査・観測の一層の充実を図り、異常の実態把握に当たると同時に、短期的前兆を捕捉し地震発生「時期」を予測するための手法を投入し、観測研究の強化を図る。

ウ．前兆現象の発生特性や地震発生機構については未知の部分が多く、これを解明することは予知の精度を向上させ、予知の手法の科学的基礎を明らかにするものとして重要な課題である。このため、地震の場所・規模・時期を予測するための観測研究と連携を保ちながら、地震発生機構の解明等の幅広い基礎研究を行う。

そして、第4次から第6次までの予知計画の建議は、長期的予知に有効な観測研究、短期的予知に有効な観測研究、地震予知に科学的基礎を与える研究、地震予知体制の整備、という4項目の大きな枠組が変化なく実施されることとなった。

また、第4次から5カ年計画の半ばで、いわば中間報告と次の年次計画をにらんだ進捗状況がまとめられるようになった。この進捗状況が回を重ねるうちに、建議で推進を図

ることとされた項目のうち，主な地震の観測成果のまとめと次の年次計画につなげられる内容が強調されるようになり，次第に「基本に立ち戻って新たに計画を立案する」という要素が少なくなったともいえる。それは，調べれば調べるほど地震の前兆現象が「複雑多岐にわたっていること」が判明してきたことと，地震予知計画の基本的な目標であった「実用的な予知の実現」の達成が困難であるという認識が深まったことに起因している。以下には，第4～6次のそれぞれの建議についての概要をまとめる。

（2）第4次地震予知計画（建議）の概要

第3次の建議の再度一部見直しにおいて導入された「長期的予知」と「短期的予知」について，前者は地殻変動や地震活動に現われる種々の前兆現象から将来起こるであろう地震の「場所」と「大きさ」を長期的に予測しようとする手法，後者は地震直前の現象を捉えて地震が「いつ」起きるかを短期的に予測する手法，と明確に定義された。

第3次までの成果は，測地測量の進展（光波測量等の手法を取り入れた精密測地網の設定），地震観測網の整備（大，中，小，微小地震を対象とする観測網の整備と空白域の発見や直下型地震のための深井戸観測等），地殻変動連続観測の強化（埋め込み式体積歪計の設置による短期的予知への有効性），その他の観測研究の進展（地震波速度変化の測定，地球電磁氣的観測，地殻構造や活断層調査，地殻応力測定法の開発，地下水変動観測，岩石破壊実験等），常時監視体制の強化と東海地域判定会の設置，の5点にまとめられた。

そして，建議の概要として各機関の役割を表にまとめて，これまでの建議のスタイルを一新させた。その内容は以下のものであった。

ア．全国における長期的予知に有効な観測研究

日本全域にわたって測地測量，大・中・小地震観測等の長期的予知に有効な観測研究を拡充するとともに，特定観測地域について微小地震等の観測研究を拡充し，全国的に長期の前兆現象をとらえるための監視を進めることを中心とした。これによって，ある地域に長期前兆現象が発見された場合にも，多くの観測研究手法をその地域に集中的に投入することができる。また，観測強化地域や地震防災対策強化地域を指定する場合にも，これらの観測研究がそのための基礎的情報を与えることとなる。

イ．観測強化地域等を中心とした短期的予知に有効な観測研究の集中的実施

観測強化地域等で前兆現象の的確な把握と地震予知に関する情報の正確化と迅速化を目指し，「地震防災対策強化地域」に係る大規模な地震の予知については，大規模地震対策特別措置法の主旨に沿い高密度な観測の集中と観測データの常時監視体制への連携を図った。

ウ．地震発生機構解明のための研究の推進

地震現象の解明のための基本的研究課題が多く残されており，地震予知の科学的基礎を確立するためにも，基礎研究の進展が極めて重要であるという認識の下に，それを積極的に推進することが目的であった。

エ．地震予知体制の整備

より総合的より効率的に地震予知を推進するために，データの収集・処理体制の整備，常時監視体制の充実，判定組織等の強化を図ることが必要とされた。また，地震学及び地震予知に関する人材の養成・確保に努めるとともに，地震予知に関する国際協力に積極的に取り組むべきであるとされた。

(3) 第5次地震予知計画（建議）の概要

第5次計画においても，第4次における基本的な考え方を踏襲し，観測強化地域及び特定観測地域を中心に観測研究の充実を図りつつ，予知の精度の向上を目指して幅広い基礎研究を実施することとした。特に，前兆現象を的確に把握するためには，予知に有効な観測を長期にわたって多種目・高密度で実施し，平常時の挙動を十分把握しつつ，多角的な判断に基づいて異常現象を見いだすことが必要であり，総合的な研究を重視した。

ア．長期的予知に有効な観測研究

第4次と同様に，日本全域の地殻活動の長期的変化や地震発生に関する地域特性を把握することが，短期的予知手法の集中的投入を行うために必要であるとの方針の下に，測地測量の実施と地震観測網の整備の推進に重点を置いた。観測強化地域等の特に観測の必要な地域では，頻繁な測地測量と移動観測班等による総合的観測を行うとともに，必要な海域においては海底諸観測を実施することとした。

イ．短期的予知に有効な観測研究の拡充強化

特定観測地域等の重要な地域において短期前兆現象のデータ収集と予知手法の向上を目指した。東海等の観測強化地域においては，短期的予知に有効と考えられる観測研究の充実を図った。なお，首都圏については，前兆現象の検知能力の向上を目的とした手法の開発研究を行うこととした。

ウ．地震発生機構解明のための研究の推進

前兆現象の発生機構とその出現様式の解明のための方策として，長期的及び短期的予知に有効な観測研究と密接に関連を保ちつつ，地震発生の際や地震発生の準備段階から主破壊に至る震源過程の研究等，基礎研究を幅広く実施することとした。

エ．地震予知体制の整備

地震予知の実用化を推進するため、各機関の協力の下に気象庁を中心にして常時監視体制の充実を目指した。データの収集・処理については、観測のテレメータ化を促進するとともに、総合処理システムの整備等、処理機能の改善とデータの効率的な活用を図ることとした。また、重要な成果を上げつつある分野について、人材の育成と確保に努めるとともに、国際的な研究協力を積極的に進めることとした。

(4) 第6次地震予知計画(建議)の概要

第6次計画では、長期的予知、短期的予知、基礎研究の推進と新技術の開発及び地震予知体制の充実の4項目をたてた。これは大枠において第5次計画を踏襲しているものの次の2点が従来とは異なっている。その第一は、内陸におけるM7クラスの地震の予知の実用化を将来の課題として設定し、その目的遂行にふさわしい実験観測地域を絞るための基礎的観測研究を推進することとした点である。これは、全国的に展開された地震予知観測網によって捕捉される前兆現象に基づいて、大地震の長期的予知(場所と規模の予測)の研究を行うという、従来「待ち」の考え方から一歩踏み出し、蓄積された資料と現在の知識に基づいて内陸地震予知研究の重点地域を選び、集中的に総合観測研究を実施してその地域の現在の地震発生能力を積極的に診断しようというものである。第二は、より高精度のデータを得るため、宇宙技術を利用した計測等の新技術の開発に重点を置いた点である。

ア．長期的予知に有効な観測研究

第5次計画を踏襲した測地測量の繰り返しと固定観測網による地震観測を主要な柱とするとともに、宇宙技術等を導入して観測の高精度化と効率化を図ることとした。また、地震発生の特性や再来期間についての基本的資料を得るため、活構造調査の充実と、史料地震学的調査を継続することとした。内陸はもとより周辺海域のテクトニクスについての理解を深めるために、海と陸での機動的な観測の実施の必要性が指摘された。

イ．短期的予知に有効な観測研究の拡充強化

特定観測地域等必要な地域において短期的前兆現象を把握するため、多項目かつ高密度の観測と各種データの総合的解析を実施し、短期的予知手法の確立を目指す。東海地域においては、各種観測の精度を更に高めつつ、常時監視体制の強化に資することとした。首都圏については、新技術の活用を含め各種の観測を充実し、前兆現象の検知能力向上のための開発研究とデータの蓄積を図ることとした。

ウ．地震予知の基礎研究の推進と新技術の開発

地震予知の実用化とその精度向上を図るために、地震とその前兆現象の発生機構に関する研究及び地震発生の場合としての地殻の構造やテクトニクスに関する研究等、基礎研究の推進を図った。特に、内陸の地震については、重点的に観測研究を行うべき地域を絞り込むための調査・研究を実施するとともに、いくつかの地域においては総合的な観測研究を試みることにした。さらに、より高精度のデータを得るため、宇宙技術を利用した計測や海底における地球物理計測等、新技術の開発研究を推進することにした。

東海地域の大規模地震を予知するため、関係機関の協力の下に気象庁を中心とする常時監視体制と地震防災対策強化地域判定会の判定に必要な情報を迅速に提供する体制の充実を図り、また、地震予知連絡会を中心として地震予知に関する情報の交換と総合的判断を行う体制も充実を図ることとした。このため、関係機関は、データの収集・処理システムの一層の改善や、異常現象の検出と前兆現象の識別を総合的・客観的に行う手法の開発を進めることとした。また、観測データ等の地震予知に関する各種資料を長期的展望に立って保存し、データベース化等により、広く効率的に活用する体制の整備に努めることとした。さらに、地震予知研究の分野の拡大等に対応するため、必要な人材の養成・確保に努めるとともに、国際協力を積極的に推進することとした。

2. 計画の実施状況と成果

第4～6次の地震予知計画では、全国を対象とした定期的調査及び観測を基礎とした地震の「長期的予知」、その成果を踏まえて「短期的予知」に有効な前兆現象を捉えることを基本として諸観測の実施を推進した。同時に、地震発生に先行する諸現象を解明するための「基礎研究」と「地震予知体制の充実」の4項目に沿って実施した。本章においてはまず第4～6次期間中に発生した地震に関する観測研究実施状況と主な事項とを各年次毎に出された進捗状況をもとに概観し、その後、各項目別に機関毎の実施状況及び主な研究成果を記述する。

第3次計画の実施期間(昭和49～53年度)には昭和53年(1978)伊豆大島近海地震(M7.0)と昭和53年(1978)宮城県沖地震(M7.4)が、そして、第4次計画(昭和54～58年度)には昭和57年(1982)浦河沖地震(M7.1)と、昭和58年(1983)日本海中部地震(M7.7)が発生した。ところが、第5次計画が始まった1984年に発生した長野県西部地震(M6.8)以来、大きな被害を伴う大地震は発生しなかった。第6次計画の期間(平成元～5年度)はこのような地震活動の静穏期にあったが、平成元年(1989)の伊豆半島東方沖の群発地震・海底火山活動が発生した。この事件は、地震予知と火山噴火予知の両計画の対象とするところであり、このような問題に対する両者の連携の仕方について大きな試金石となった。そして、第7次計画の建議を取りまとめていた第6次の最終年の平成5年(1993)に1月15日の平成5年釧路沖地震(M7.8)と7月12日の北海道南西沖地震(M7.8)が発生した。これらの地震はプレート境界に発生する「典型的なプレート間地震」とは多くの点で異なっていた。

伊豆半島東部では，昭和50年(1975)頃から水準測量により異常隆起が発見されて以来，地震活動は急激に活発になった。そして，第3次計画の最終年である昭和53年(1978)の伊豆大島近海地震(M7.0)の発生に際して体積歪計や中伊豆自噴泉のラドン濃度に前兆的異常が認められ，昭和55年(1980)の伊豆半島東方沖地震(M6.7)に際しては群発的地震活動が早期に発見された。また，平成元年(1989)の伊豆半島東方沖の群発地震・海底火山活動等，伊豆半島では群発地震の活動が繰り返し発生し，これらは一連のマグマ活動と密接に関連していることが明らかになった。このように，十分高密度の高精度観測が実施されれば異常現象の詳細な情報が即時的かつ総合的に得られ，正確な地殻活動予測につながるものと期待されている。

M6.8の長野県西部地震は第5次計画中に発生した最大のイベントであった。この地震の前兆的現象として，約1ヵ月前からの水素放出量の急増，複数点での土壌ガス中のラドン濃度の変化，震源域における定常的群発地震活動の不安定化と地震波の散乱強度増大等が検出された。そして，昭和61年度(1986)には各機関の協力による大規模な合同総合観測実験が震源域で実施された。精密な余震分布や重力異常の分布等から，本震と最大余震とは互いに共役な断層の活動であることなど，地表に現れていない複雑な断層系が明らかになった。また，ごく近傍の御嶽火山や群発地震活動との関連を示唆するS波反射面が地殻深部に見いだされるなど，その後の内陸地震予知観測研究の在り方を示した。

前兆らしき現象の観測例は次第に増えてきたものの，その出現様式は複雑多岐にわたっていることが次第に明らかになり，地震発生の機構解明等の基礎研究が重要であるとの認識が一層強くなってきた。

長期的予知の分野では，全国を対象とした一次基準点の測地測量(約6000点)による日本列島の歪分布の第1回調査が第4次計画中にほぼ完了した。観測強化地域の精密水準測量では年周変化も追えるようになってきた。そして，第2回の一次基準点測量が始められた。全国的測量網としてのGPS観測は，平成2年度(1990)から導入され連続観測へと踏み出した。

海底ケーブル地震観測システムを御前崎沖で10年以上稼働させ，それは全国ネットワークの重要な一翼を担っている。海溝側の海底下の地震が精度良く求められるようになり東海地域ではM2以上の地震をもらさず検知出来るようになった。

そのほか，全国にわたる活断層分布図が第4次の間に作成され，いくつかの活断層では発掘調査が行われた。これらの観測・調査によって内陸地震についても，発生様式に関する手がかりが得られるようになった。この活断層調査は日本列島内陸における地震発生の場所と規模についての長期予測にとって重要な成果と評価される。

また，地震観測の広域化や検知能力の増大，データ処理速度や精度が向上し，地震空白域の形成，地震発生様式の特徴等，前兆的な地震活動に関する報告があった。人工爆破による地震波速度変化の観測は，ダイラタンシー水拡散モデルの検証を目的として第3次計画から年1回の割合で始められていたが，昭和56年度(1981)までに伊豆大

島で16回，東海で2回実施された。P波到達時間の誤差10ミリ秒以下で観測されたが，変化は認められなかった。計測技術は進歩し測定結果の信頼性は向上しているが，観測誤差を超える地震波速度変化は検出されていないと総括され，6次以降では実施されなくなった。

基礎的研究の分野においても，関東地方や東北地方において「移動性地殻変動」が発見され，伊豆半島において震源分布と地殻構造の関係が指摘され，また第4次からの10年計画で始まった山崎断層や茨城県南西部のテストフィールドにおける地震活動の研究，総合的な観測手法の開発，前兆現象再現のための岩石破壊実験などが行われた。その主な成果は，山崎断層ではM4程度の小地震の発生に際して，微小地震の空白域の出現，地下水中の塩素イオン濃度変化，地電位差変化等の前兆的变化を観測し，M5.6の地震では地電位差や電気抵抗等多数の前兆的現象が観測された。また，茨城県南西部の観測実験では，平野部における観測手法の開発が進展した。

昭和54年(1979)には，東海地域が「地震防災対策強化地域」に指定されるとともに，地震予知連絡会内の東海地域判定会は発展的に解消され，気象庁内に「地震防災対策強化地域判定会」が設置され，東海地域の常時監視体制が確立された。また，定期的に判定会委員打合会が開かれ，東海地域の活動状況の検討が行われている。観測強化地域以外でも，微小地震観測網データの自動処理，データ流通の整備及び地殻活動総合観測線の整備等が実施され，総合的な観測研究の基礎が築かれつつあった。地震予知連絡会は，年に4回の割合で定例会が開かれ，必要に応じて観測強化地域部会等を開く等の活動を続けている。

(1) 長期的予知に有効な観測研究

ア．測地測量(全国を対象・定期的観測)

国土地理院は，精密測地測量による日本列島の歪分布の第1回調査を第4次計画中の昭和59年度(1984)にはほぼ終了した。昭和60年度(1985)から第2回目の繰り返し測量が開始された。その結果，明治との比較によって約100年間の全国水平歪み図が作成された。一等水準測量については，観測強化地域及び特定観測地域を含めて，年間約4000kmの測量を実施し，従来の一等路線については約6年で繰り返し測量が可能になった。昭和61年度(1986)に第7回目の繰り返し測量を終了し，昭和62年度(1987)から新たな繰り返し測量が開始された。上下変動の時系列データの蓄積と明治以来の測量成果との比較によって，全国規模あるいは地域の地殻変動の様相が明らかされてきた。そして，全国の重力・地磁気測量が順調に進められ，その結果が重力異常図及び地磁気異常図としてまとめられた。

国土地理院海岸昇降検知センターでは，第6次までに海上保安庁水路部(27カ所)と気象庁(17カ所)等を含めて，全国115カ所の験潮場の潮位観測データを収集し，関係機関に月報及び年報として提供を行った。

海上保安庁水路部は、第4次に新島ほか伊豆諸島の4島において渡海水準重力測量を行った。

また、国土地理院と海上保安庁水路部は、第4次の開発研究として人工衛星レーザー測距(SLR)等により、離島の位置決定を行った。そして、国土地理院と通信総合研究所は、超長基線電波干渉計(VLBI)の実験を国内と国際共同で行い、1000km程度の長基線がcmの高精度で観測できた。さらに、国土地理院・通信総合研究所・海上保安庁水路部は第5次以降に、VLBI、SLR、GPS等の観測手法による国内外の基線測定を繰り返し行うことにより、プレートの移動をはじめて検証した。国際協力によるVLBI及び国内VLBIによってプレートの運動が実測された。観測強化地域を中心にGPS連続観測が行われてきたが、平成5年度(1993)には110点のGPSの連続観測固定局が設置された。

イ．地震観測(全国対象・連続観測)

気象庁では、第4次に直視式電磁地震計の改良更新が25カ所で行われ、地震観測所において群列地震観測システムが整備され、第5次には強震計の改良更新が行われ(71観測点)87型強震計として整備された。第6次には、島嶼を含む全国的観測網の各種地震計についてデジタル化等の改良・更新、観測環境悪化対策を行い、地震検知能力、震源要素の決定精度等の一層の向上を図り、小地震観測装置(3000倍)が15カ所で引き続き改良更新された。その結果、我が国及びその周辺の大・中・小地震の震源を、漏れなく決定するための全国的観測網が整備された。震源決定精度が向上するとともに、多量の観測データの迅速な解析処理も可能となり、ほぼ建議に沿った観測体制になっている。

また、地震活動等総合監視システムが整備(平成5、6年度に改良更新)され、さらに、地方中枢においては新たな地震データ処理装置(ETOS)が順次導入され、津波予報の迅速化・波形処理の質的向上・地震活動の監視強化を行った。また、平成5年に全国150カ所に津波地震観測装置(強震計及び高感度地震計)を設置し、そのうち20カ所に広帯域地震計を設置した。

防災科学技術研究所は、第4次で関東、東海の両地域にまたがる高密度の微小地震観測網を整備してテレメータによる集中観測を開始し、第5次では「地震前兆解析システム」の導入・開発を行った。第6次ではこのシステムのソフトウェアの改良を進め、3次元地震波速度構造・震源分布・発震機構等の解析から、関東・東海地域のテクトニクスをユーラシア・太平洋・フィリピン海の3つのプレート間の固着域(や相互作用)で説明するモデルを提唱した。

ウ．重力・地磁気測量(全国対象の連続/繰り返し観測)

国土地理院は、第4次で全国約100点の地磁気観測点について、繰り返し測量を行った。解析結果は、地球磁気観測報告として公表した。第6次には可搬性能にすぐれ高精度の絶

対重力計が導入され、全国7カ所で絶対重力測量を実施した。また、観測強化地域等で一二等重力測量を行った。

また、国土地理院は鹿野山、水沢、江刺及びつくばにおいて地磁気連続観測を行うほか全国を対象に地磁気測量を行い、一等磁気測量の成果を用いて全国の地磁気異常図が作成された。

地磁気全磁力連続観測は、第2次計画以来全国の固定観測点で行われ、地球外部磁場の擾乱の少ない夜間値が、気象庁に送られている。気象庁は、固定点7点（柿岡、女満別鹿屋、阿蘇山麓、御前崎、松崎、北浦）において、海上保安庁水路部は八丈島において、国土地理院は固定点4点（鹿野山、水沢、江刺、つくば）において全磁力精密連続観測を第2次以来引き続き実施し、標準磁気儀の測定を高精度・高分解能とするよう機器更新をも行った。

エ．高密度短周期反復測地測量（特定地域）

第4次には短期的予知の項に分類されていた「高密度短周期反復測地測量」は第5次から長期的予知の特定地域に必要な観測として整理された。国土地理院は、第4次に一次基準点測量、水準重力測量のほか、放射基線、菱形基線による4年周期の水平歪み観測を行った。また、重要活断層について毎年1地区の割合で継続して地形調査及び観測を行っている。南関東及び東海地域において、精密変歪・基盤傾動測量及び距離測量と水準測量を組み合わせた短周期変動クラスター観測を2年ないしそれ以内の周期で実施している。また、首都圏において、精密変歪測量及び精密基盤傾動測量を2年周期で反復実施した。その結果、短周期の反復測地測量によって、御前崎付近等半島部の年周的な上下変動が明らかにされた。

伊豆半島東部地域においては、昭和49年の伊豆半島沖地震以来、頻繁に各種の継続的な短周期の反復測量が行われてきた。この結果、極めて顕著な地殻変動や重力変化が検出されてきたが、平成元年には群発地震及び海底火山噴火の一連の活動に伴った顕著な地殻変動が観測された。また、東海地域では、頻繁な測量の繰り返しによって、御前崎の沈下や駿河湾を跨ぐ東西水平距離の縮みが一定の速度で進行していることが明らかになった。

オ．移動観測班による精密観測（特定地域・陸上総合観測）

異常地殻活動が検知された地域等の特定地域において、地震・地殻変動・重力・地球電磁気観測を行う一環として、第4次計画までに、各大学に総合移動観測班が整備された。そして、大学・気象庁は長野県西部地震の余震域で大規模な合同地震観測を実施し、地殻構造と地震発生機構の関連、余震域直下の反射面の構造を明らかにするなど多くの成果を上げた。

国土地理院・大学は、第6次には雲仙、伊豆半島東部等地殻活動の異常な地域におい

て、GPS連続観測を機動的に実施した。平成元年(1989)の伊豆半島東方沖の群発地震、噴火活動に関しては、高精度の光波測距儀による詳細な地殻変動の観測及び重力等の機動的観測を実施した。

大学・気象庁及び関係機関は、第6次には平成元年(1989)の伊豆東方沖群発地震、平成2年(1990)の新潟県南部、平成3年(1991)の西表群発地震、新潟焼山、平成4年(1992)の新島近海、神津島近海、西表の群発地震、平成5年(1993)の伊豆半島東方沖の群発地震、釧路沖地震、北海道南西沖地震等の地震に関して総合移動観測を行った。また気象庁は機動的観測システムの処理機能を充実させて、静岡県中部で地震観測網を展開するとともに、地震波形データの解析処理の研究を行い、微小地震活動の震源分布、マグニチュード、Q値、発震機構等の解析が行われた。

カ．海底諸観測（特定地域）

気象庁では、第4次の昭和54年度(1979)から東海沖でケーブル式海底地震計による常時監視体制の整備を行い、昭和56年度(1981)から房総沖のケーブル式海底地震計の整備に着手し、昭和61年(1986)に常時監視を開始した。

大学・防災科学技術研究所は、自己浮上式海底地震計の実用化に成功し、沖縄沖から北海道沖までの海域で地震活動観測と地下構造探査を行った。この実用化の成功により、短期に多数の地震計を機動的に展開し、高い回収率でデータを取得できる安定した観測システムが構築された。また、大学は臨時観測のための自己浮上式海底磁力計や海底電位差計の開発と試験観測を行った。防災科学技術研究所では海底傾斜計の開発と試験観測が実施された。

キ．地殻活構造調査（基礎調査）

工業技術院地質調査所・大学は、第4次計画の後半から、丹那断層、根尾谷断層等代表的な活断層のトレンチ調査を行い、大地震の繰り返し性（固有地震の意義）の履歴を調べている。海溝沿いの巨大地震のサイクルに比べて繰り返しの頻度が少ない事が明らかになった。また、関係機関と協力して全国の活断層分布図を作成した。

海上保安庁水路部と工業技術院地質調査所は、第4次にフィリピン海プレート北端部境界域の海底地形・地質構造を精査して、海底地形図、水深図、海底地質構造図等を公表した。さらに水路部では、第4次計画中に与那国島周辺、石垣島周辺、奄美大島付近、第5次計画中には須美寿島周辺、八丈島南方、鳥島周辺、相模トラフ、相模・駿河トラフ、伊豆半島付近、富山湾等、第6次計画中に宮城・福島県沖、相模・南海トラフ北端、房総沖、糸魚川沖、伊予・日向灘及び伊豆小笠原海溝北部、西七島海嶺西方等の地域を順次調査した。

また、海上保安庁水路部は、平成元年(1989)6月30日から始まった伊豆半島東方沖群発地震に際し地震観測、海底地形調査等を行い、7月13日には測量船「拓洋」が25mの海

丘を発見した。同海丘の噴火直後に調査し、ビデオ及び写真に記録した。相模湾において1987年度より屈折法探査、ナローマルチビーム測深機による海底地形調査、サイドスキャンソナーによる海底微地形調査、ROVによる海底観察調査といった新しい手法を使って、M7級内陸地震と関係があるとされている西相模湾断層を発見した。

ク．史料地震学（基礎調査）

大学・防災科学技術研究所は、首都圏、東海地方等の被害地震及び全国に散在する日記史料中の有感地震の記録を中心に史料の蒐集を行い、データベース化を図った。これにより、元禄地震のメカニズムや繰り返し発生した小田原地震の被害分布等が明らかになった。

大学は、各地域の地震発生の特性や再来期間等を推定するために、第4～6次の期間において古文書等の史料を収集し、「新収日本地震史料」全5巻（補遺別巻を含む）や「整理済地震古文書目録」（1～10）を発行した。

（2）短期的予知に有効な観測研究

ア．地殻変動連続観測

国土地理院では、御前崎地殻変動観測場における傾斜、伸縮観測及び長距離水管傾斜観測が、第4次計画では業務観測に入り、第5次ではテレメータ伝送され、即時処理され現在に至っている。第4次には館山地殻変動観測場、初島に新設された潮位観測場のデータ、及びこれを含む白カ所の験潮場の観測データがテレメータ伝送されるようになり、即時処理が行われるようになった。また、第5次ではいくつかの験潮場は水準測量で結合され、とくに、伊豆半島東部地域については水準測量の繰り返しの間を埋める観測として異常な地盤隆起の監視に役立った。そして、第6次には、観測強化地域の海上保安庁水路部の験潮場も含めた潮位差連続観測ネットによって水準測量を補完して同地域の地殻上下変動を監視する体制が確立した。

緯度観測所（国立天文台）は、第4次の昭和54年（1979）に江刺地球潮汐観測施設を完成させ、長期安定性と高信頼度を目標に独自に設計し開発した水管傾斜計、水晶管伸縮計を設置し観測を開始した。

気象庁では、第4次までに東海地域と南関東地域にあわせて31カ所の体積歪観測網が整備された。また、15カ所（東海地域）に精密気圧計を設置し、本庁の処理システムで毎分のリアルタイムの気圧補正を行い、駿河湾の西岸の地域等で一定レベル以上の異常変化の自動検出・監視を可能にした。体積歪計設置地点の周辺媒質と気圧・潮汐及び地震に対する応答解析の結果を用い、第5次にはEPOSにおいて毎分リアルタイム補正を実現し、東海地震予知のための常時監視にも、予知連絡会等への発表にも用いられるようになった。また、第5次では、入山断層（静岡県由比）近傍をモデルフィールドとし、2台の体

積歪計を設置して、気温、気圧、雨量等の環境要素の影響、歪計観測に見られる経年変化等の要因について、室内実験も併用し検討を行った。

一方、アメダスデータでは体積歪計の降雨応答を解明できないことがわかり、降水の影響を取り除く有効な補正方法が確立されず、監視の妨げとして残った。第6次には、新たに地下水・地中温度・振動及び降水のデータをリアルタイムで収集できるようにした。静岡の歪計の降水の影響は主として移設とセンサ埋設深度を深くしたことにより、また、三ヶ日の歪計はセンサ埋設深度を深くしたことにより、歪データの質(S/N比)は格段に改善された。

また、伊豆半島東部においては、特に群発地震活動と地殻変動の関連性を調査するため、頻繁に測量が繰り返されてきたが、第6次計画の初年である平成元年(1989)におこった群発地震及び海底火山噴火の一連の活動に伴った顕著な地殻変動が観測された。

防災科学技術研究所は、第4次においては関東南部及び東海地域でボアホール型傾斜計による観測の強化を図るとともに、第5次では3成分歪計、傾斜計等による複合観測点を必要な地域に整備したほか、昭和62年度(1987)には10点からなる世界初のGPS固定点連続観測網を構築した。傾斜計の観測から、気圧変化に伴う傾斜変動の原因を解明し降雨の影響はクラック膨張がその原因であるとの推測を行なった。また、昭和61年(1986)11月の伊豆大島噴火に先立って、極めて顕著な傾斜変動を捉え、深部から浅部へ貫入するマグマの動きによるモデルを提出した。さらに、平成元年(1989)7月の伊東沖群発地震・火山活動以来、伊豆半島東方沖で頻発する群発地震活動に際しては、常に顕著な傾斜変動が捉えられ、これらの一連の活動についてはダイク貫入による定量的なモデル化を行った。

大学は、地下深部において歪み、傾斜、地震動、温度等地殻活動を総合的に観測する手始めとして小型3成分歪計を開発し複数の点で観測を実施した。また、水管傾斜計、伸縮計、小型傾斜計についても新しいタイプの機器の開発を行った。

イ．重力変化

国土地理院は、第4次に全国及び観測強化地域の水準点(二等重力点)及び一等重力点において重力測量を行い、特に伊豆半島地域については、頻繁に重力変化の測量を実施している。第5次には、重力絶対測定を全国10カ所で実施し、精密な重力値が得られるようになった。そして、第6次では、伊豆半島及び伊豆大島等地殻活動の顕著な地域で高精度の相対重力観測を行った。

緯度観測所(国立天文台)は大学と共同で、東北地方の太平洋岸及び日本海岸沿いに精密重力測定網を設定し、第4次期間中の昭和58年(1983)日本海中部地震の後に震源域に近い地域で重力変化があったことを明かにした。

大学は、東海地方の精密重力測定を昭和56年(1981)以来実施しているが、緯度観測所も昭和60年(1985)から参加して共同観測のデータ解析を担当している。そして、第6次

には、例えば相良町の掛川に対する重力の経年変化がほぼブーゲ勾配であることを見出した。

気象庁では、第6次の期間に伊豆大島及び伊豆半島東方沿岸において重力サーベイを行い、昭和61年(1986)の伊豆大島噴火活動に際しては、重力潮汐常数の連続観測を行った。

ウ．地震観測

気象庁は本庁・各地方中枢において、第4次の期間に地震データのテレメータ化を行い、地震・地殻変動データを高速で処理・解析を行う装置・ソフトウェアを開発した。そして、第5次の期間には関東・中部地方の地震活動の監視や津波予報、東海地震の直前予知、及び、全国の地震関連データの処理を行い地震活動・地殻活動を総合的に監視するためのシステム「地震活動等総合監視システム」(EPOS)の整備が進められた。とくに、ARモデルを用いた地震波到着時刻の自動読み取り技術の開発により、震源決定精度の向上及び処理の迅速化に大きく貢献した。即時性が向上し、直前予知に関する基礎観測データが形成されつつある。

防災科学技術研究所は、第4次に、東京都府中市に深層地震観測施設を完成させ、深井戸3点を用いた首都圏の地震活動の研究を開始し、第5次には、3成分歪計・傾斜計・地震計を複合したIBOS観測装置を開発して神奈川県玄倉で観測を開始した。

エ．地球電磁気観測

全国各地で全磁力の繰り返し観測や連続観測が実施され、また、地電位、地磁気3成分変化の観測や、地殻内電気抵抗変化の調査が行われてきた。また、通信施設や電話回線を利用した、長基線地電位連続観測、深井戸による地中垂直電界変動連続観測等が第6次から実施された。

気象庁は、第4次には固定点6点(柿岡、女満別、鹿屋、阿蘇山麓、御前崎、松崎)において全磁力精密連続観測を実施し、引き続き第5次に北浦観測点を加えるなど、地磁気の基準値を高精度・高分解能で安定的に供給している。また、東海地域(御前崎、松崎)に地磁気観測装置(フラックスゲート磁力計、プロトン磁力計)・地電流観測装置を整備し観測を第4次から開始した。

大学・気象庁等の関係各機関は共同で、山崎断層、丹那断層、浮橋断層、千屋断層等で比抵抗観測、地磁気・地電流観測等を実施した。地電流観測装置の性能の向上とデータ処理の効率化により、MT法等の地下構造探査手法の研究が促進された。

気象庁・大学は、NTT回線を利用した長基線地電位差観測を行い、地殻活動に関連した地電位変化検出のための解析手法の開発を行った。また、電気抵抗変化の観測を強化し、データ収集・解析の効率化を図りながら、異常検出や異常電磁波放射の観測研究を行った。そして、都市近郊の人工ノイズの大きい地域においては、ポアホールを利用した

観測手法などノイズ除去手法の開発が必要である事が分かった。

オ．地下水・地下ガスの観測

地殻中に存在する流体の変化や移動は、地震発生に大きな影響を与えるため、観測強化地域をはじめ全国各地で地球化学・地下水の定常的観測が実施されている。工業技術院地質調査所・防災科学技術研究所・大学は、地震前兆現象としての地下水（水位、水温、水質、水中ガス濃度等）や地下ガスの変動の重要性から、第3次から観測を順次始めた。

工業技術院地質調査所は、第4～6次の期間において、伊豆・東海地域、松代等における地下水・地下ガスの連続（テレメータ）及び繰り返し観測を実施し、第6次には地下ガス連続観測装置を開発し、静岡及び松代で観測実験を行った。

気象庁は、観測強化地域・特定観測地域等において、引き続き地下水及び地下ガスに関する地球化学的・地球物理的観測を実施し、浜名湖周辺で地下水位の研究観測結果から、地下水位と海洋潮汐に関連があることがわかった。

大学は、観測強化地域やテストフィールド及びその他の地域で、種々の地下水・地下ガス観測を継続して行ってきた。その結果、幾つかの地震や群発地震の際に、特徴的な前兆的現象やコサイスマックな変動を捉えるなどの事例が次第に蓄積されてきた。

カ．首都圏における地震予知のための観測研究

防災科学技術研究所は、首都圏における微小地震活動を検知するため地震観測用深井戸を第4次で東京都府中に整備し、深井戸3点による直下型地震の観測を開始した。

第5次では、関東・東海地域のボアホール型傾斜計の改良、伊東観測点に傾斜計の併設を行なった。また、3成分歪計・傾斜計・地震計を複合したIBOS観測装置を開発して神奈川県玄倉に設置し、観測を開始した。そして、第6次では、同様の観測点を神奈川県平塚と真鶴にも整備した。この際、ひずみ観測の信頼性を増すため、ボアホール式軸ひずみ計を開発し、観測項目に加えた。また、関東地域を中心とする約10点で地下水関連のテレメータ観測を継続維持した。

また第6次では、江東に3000m級深層観測施設を整備したほか、2000m級地震観測装置の開発を行なって横浜・厚木・千葉・養老・江戸崎の5ヶ所で観測を始めた。その結果、第4次では関東・東海地域のM1.5以上の浅い地震は、もれなく誤差 ± 2 kmの高精度で震源決定できるようになり、とくに東京直下に深さ25～30kmの浅い微小地震活動が存在することを初めて明らかにしたほか、第6次までに、首都圏直下に発生する地震を5つの型に分類するなど、複雑な地震の発生様式に関する理解が進んだ。

また、海上保安庁水路部では、相模湾西部において海底変動地形調査を実施し、国府津・松田断層の海域への延長部が現在でも活動的であること、西相模湾断層の存在が予想されている真鶴海丘付近で地層の傾斜が変化していることを確認した。

一方、第6次で国土地理院は、GPSを使用して首都圏精密変歪測量を行い、平成5

年度(1993)には、GPS連続観測網が構築された。そして、首都圏の都市部でも、GPS測量の有効性が証明され、広域の観測ネットワークに組み入れられ、一体的に観測が行われるようになった。

(3) 地震予知に科学的基礎を与える研究

ア．岩石破壊

室内での岩石変形・破壊実験では、地震とその前兆現象の発生機構の解明を目指して、岩石試料の変形・破壊過程をシミュレートすることによって現象の構成則を確立するために、様々な研究が行われた。ダイラタンシー現象に伴う弾性波速度変化の存在、最終破壊の前兆としての微小破壊の発生やラドン等のガス放出量の急変を見出すとともに、人工断層におけるすべりの発生から高速伝播への発達過程、滑り破壊核の形成等に関して、スケーリング則や構成則のモデルが提案された。

大学・工業技術院地質調査所・防災科学技術研究所では、最終破壊に至るまでの応力緩和・集中過程やその封圧依存性、前兆現象としての水素・ラドン放出、破壊に伴う電磁放射等、また、人工断層での低速伝播すべりの発生条件、すべり破壊核生成・成長過程等の研究が行われた。そして、実験的成果に基づき、大地震の震源核形成過程や破壊の成長過程をすべり摩擦の構成則等によってモデル化する試みがなされた。

気象庁は、大型試料岩石破壊実験により破壊に至る前兆現象の物理的性質の研究のために、第6次には野外破壊実験を実施し、地震活動・歪・水位・地電位差等の変化に注目し、簡易型の歪計を開発した。

イ．地殻応力

昭和50年(1975)の「第3次計画の見直し」により新たに取り上げられた地殻応力の測定は、主として防災科学技術研究所等により測定法の改良や測定データの蓄積が進み、その結果、水圧破壊法や応力解放法が地殻応力の測定に適していることが確認された。また大学・工業技術院地質調査所では、ボーリングコア試料を用いて、AE法や変形率変化法等が応力推定のために新たに考案された。

防災科学技術研究所は、第4次では関東・東海地域の約10ヶ所で500m級の測定井を掘削し、水圧破壊法による地殻応力の測定を行なった。第5次では、10～15km離れた近接点間での地殻応力測定結果を較べた結果、両者はほぼ一致することを確認した。このように、地殻応力測定の信頼性を確認すると同時に、測定された主応力軸が地震のメカニズムや測量による水平歪蓄積の結果と比較して確かめられるようになった。そして、各地の地殻応力測定で得られた最大水平圧縮方位のデータに、地質や地震の発震機構解から得られるデータを加えて、関東・東海地域の応力区図を提出し、これが3つのプレートの相互運動により良く説明できることを示した。また第6次では、栃木県足尾で2000mの深度に及ぶ地殻応力の垂直分布を調査し、破碎帯の近傍では差応力が著しく小さくな

っていることを明らかにした。

ウ．人工地震による地殻構造探査ノ（地殻構造・物性の調査研究：第6次）

人工地震による地殻構造探査は，第4次計画から大学や関係機関の協力の下に実施され，北海道から中部日本，紀伊半島等を対象として精度の良い情報が蓄積されてきた。また，海底地震計を用いて北海道から沖縄に至る海溝付近の海底地殻の不均質構造も得られた。

工業技術院地質調査所・大学・防災科学技術研究所は，人工爆破による地震波速度変化の観測を，関東南部及び東海地域で第3次計画から年1回の割合で継続的に行ってきた。昭和56年度(1981)までに伊豆大島で16回，東海で2回実施されたが，P波到達時間約20秒に対して観測誤差10ミリ秒以下で観測されたが，変化は認められなかった。地震波速度変化の観測は，グループプリントでもその必要性が提言され，またダイラタンシー水拡散モデルの検証を目的とした観測で，計測技術は進歩し測定結果の信頼性は向上しているが，観測誤差を超える地震波速度変化は検出されていないと総括され，6次以降では実施されなくなった。

大学・気象庁・防災科学技術研究所は，全国各地において地球電磁気集中観測を実施し，低比抵抗帯が活断層や地殻下部に存在することを実証してきた。

エ．テストフィールドノ（内陸地震に関する基礎的研究：第6次）

第3次計画の見直しの中で総合研究の集中観測として建議されたテストフィールドは，「中規模地震の発生の可能性の高い地域に，各種観測を高密度で行い，地震が発生するまで続ける。これにより地震発生前後に生ずる現象を総合的に把握する。また，できれば実験的に短期予報を試みる。」という目的で，第4次計画から10カ年計画として①山崎断層テストフィールド総合計画と②茨城県南西部テストフィールド計画が始まった。

①山崎断層テストフィールド総合計画

昭和40年(1965)に京都大学防災研究所鳥取観測所が常時地震観測網を開設し，活断層である山崎断層に沿って微小地震活動が分布することが指摘され，地震学者と地質学者の共同研究が始まった。そして，昭和52年(1977)9月に小地震の発生の可能性が前もって指摘され，地震後の解析から前兆的異常現象が認められたことから，内陸地震の予知も不可能ではないとの期待が持たれた。これらを踏まえて大学は，兵庫県宍粟郡安富町の観測坑道の山崎断層観測室を中心として，それまでに実施されていた諸観測を拡張して関係各大学の共同利用的総合観測・解析を開始した。そして，断層の電磁氣的構造を調べるため，比抵抗，地電流，セシウム磁力計，フラックスゲート磁力計等により連続観測を行うとともに，断層周辺20カ所に磁気点を設けて精密磁気測量を繰り返した。

また，内陸地震予知研究の一環として，塩田温泉で水質・水温・湧水量等の連続観測

を行った。主な目的は、地震前後の異常現象を捉えることであり、いくつかのM4程度の小地震に際して、微小地震の空白域の出現、地下水中の塩素イオン濃度変化、地電位差変化等の前兆的变化を検知した。昭和59年(1984)5月30日に観測期間中で最大の地震(M5.6)が山崎断層で発生し、残念ながら事前の予知は出来なかったが、地震後の詳細な解析からいくつかの項目で前兆的異常現象が観測されていたことが認められた。すなわち、イ)地震の約半年前から出現した断層周辺の地震活動の静穏化、ロ)同じ時期の歪計による断層破碎帯の幅方向の変動、ハ)地震の2~3カ月前からの地磁気変化、ニ)同じ時期の地電流変化、ホ)同じ時期の比抵抗変化、ヘ)地震発生の日前からの地電流変化、等が認められた。また、コサイスマック、ポストサイスマックな特異な変動も観測され、断層破碎帯での観測が内陸地震に関して有効であることが指摘された。

②茨城県南西部テストフィールド

気象庁・防災科学技術研究所・大学は、平野部直下型の地震の予知手法を確立する事を目的に、茨城県南西部の小地震多発地域において地殻活動を観測するため、観測機器の開発の他、地殻歪、地下水、地中ガス、地殻物性変化等集中的な観測網を作った。

気象庁は、第5次に5点の地震観測点からなる機動的観測システムを展開した。さらにシステムの安定性の調査及びデータの収録・処理システムの構築のため、静岡県由比地区にシステムを移設した。そして、震源要素、b値、Q値を解析するプログラムを開発した。

防災科学技術研究所は、第4次にはボアホール式3成分歪計の開発、及び八郷・つくばでの試験観測、烏山-菅生沼断層周辺の深部電気探査、つくばでの2重管を用いた地下水の深度別同時観測、岩井・つくばでの地下水位、地下水溶存ガス、土壤ガス成分の連続測定を行った。また、第5次では、新たに前兆現象の発生機構に焦点を当てた水圧破壊実験装置を設計・試作した。

また、第6次からは、内陸地震予知の研究の基礎として、重点的に観測研究を実施すべき地域を絞るための調査・研究が西南日本活断層地域と東北日本広域応力場で実施された。そして、大学をはじめとする関係各機関の協力の下に、琵琶湖周辺では、自然地震の高密度観測を中心として、人工地震、重力、ガス、地球電磁気等による活断層、潜在断層の総合調査がおこなわれた。また、東北日本(日光白根周辺)では、人工地震、自然地震、重力等による集中観測実験がおこなわれた。特に、自然地震の稠密地震計アレー観測手法には、無線トリガー方式と低消費電力の小型記録システムが新たに導入され、微小地震移動観測手法に質的な飛躍をもたらし、反射面の構造や地殻内不均質構造の研究に新展開がもたらされた。

オ・新技術の開発研究(第6次計画で新項目として加わった)

国土地理院は、国内4カ所のGPS衛星軌道追跡局による精密軌道要素の解析システムを開発し、第6次から運用を開始した。また、精密軌道要素のデータが研究者に提供できるようになった。南関東・東海地域に110点の固定GPS連続観測ネットを構築した。そして、GPSの精密軌道要素の決定によって、0.1ppm以上の高精度で観測ができるようになった。また、GPSによる全国をカバーする大規模な地殻歪監視システムが開発された。

国土地理院は、アンテナ口径が2.4mの小型VLBI装置の開発研究を行った。小型VLBI装置は、従来の5mアンテナに遜色のない精度の観測ができることが証明された。

第6次に導入された絶対重力計により、0.001ppmの高分解能の観測が可能になった。可搬型絶対重力計の開発は、地下の物質移動を推定する決め手として、地殻変動観測とともに地震予知の基礎的観測項目として注目されてきたが、大学や緯度観測所（国立天文台）は第4次からその効率化と精度向上を図り、10数 μ Galから第6次では3 μ Gal以下まで機器の差を小さくできるようになった。

（予知手法）

気象庁は、予知情報の公表を目標として、過去に発生した沿岸及び内陸地震に先立つ前震活動、地震空白域、地殻変動等の前兆的異常現象の収集とそれに対する統計的な評価を行い、第5次には約1,000の事例からなる前兆的異常現象のデータベース化を行った。また、津波計を用いた海底地殻変動の観測を行い、海洋潮汐・津波の影響を取り除いて、水圧変動から地殻変動の変化を検出する試みを行ったが、津波計単独で検出できるのは、約10cm以上の上下変動があった場合に限ることがわかった。

また気象庁は、第5次において気象研究所で作成された前兆現象データベースを充実させ、地震、歪、その他の観測データと地震発生との関係を整理・解析し、知識ベースとしてまとめた。そして、前震一本震型、本震余震型等の地震活動の発生時系列に関する特性を利用し、統計的手法により地震活動の推移予測を試みる研究が進められた。地震の続発性には地域的特性があり、三陸沖が最も顕著である。この性質を利用すると三陸沖付近における地震活動（M6以上）については、かなり高い割合で地震の発生確率を算出することができる。一方、伊豆地域では前震を伴う地震が多いため、ある地震を前震と見なして、引き続いて起きる本震の発生確率の算出が試みられた。そして、知識ベースを移植した地震活動予測支援システムは、比較的大きな地震の発生直後などに今後の地震活動の推移を評価する上で実際に使われる一方、地震予知連絡会等に提出する資料の作成に役立てられており、少なからぬ成果があったと考えられる。地殻変動関連の知識ベースについては、地震活動に関連する異常変化のとりまとめや降雨補正などで未解決の部分があり、今後の問題として残された。

（4）地震予知のための組織・体制の整備

昭和51年(1976)の第3次計画の再度見直しの建議以来、観測網の強化と東海地域判定組織の必要性が指摘され、予知の実用化を目指して一段とその体制の整備充実が図られた。これによって、深井戸観測や観測のテレメータ化等、長期的及び短期的予知に有効な観測手法が導入され、観測精度は著しく向上した。昭和52年(1977)4月に東海地域判定会が設置され、翌53年(1978)には大規模地震対策特別措置法が施行されるなど、東海地域の地震予知は体制面でいよいよ実用の段階にはいることになった。しかし、基礎研究の推進のために「第3次地震予知計画の見直し」で大学にかかる整備方策として建議された、地震予知観測センター、測地等移動観測班、研究プロジェクトチーム、常置の審査機構のうち、プロジェクト計画については予算・人員に適切な処置が必要で、その後の具体的整備が進展しなかった。また、地震予知特別委員会がその任に当たるとされた、常置の審査機構については、第4次計画から「進捗状況について」というレビューが5カ年計画の最終年度の7月までに提出されるようになり、その中で今後の問題点や展望が指摘されるようになった。そして、この審査機構によって第6次ではじめて外部評価を実施した

ア．データの収集・処理体制

第4～6次の期間では、テレメータによる観測データが各機関に集中されるようになり、地震予知観測データの交換が充実してきた。それにともなって、交換されるデータの質やフォーマットの問題が新たに生じてきている。

気象庁では、地震のリアルタイム的なデータ処理・地震津波情報の即時伝達が行われ、東海地域とその周辺地域における地震地殻活動の各種データの集中強化と「地震活動等総合監視システム」が機能するようになった。地震活動は、EPOS及びETOSの整備により、気象庁内のデータ流通のネットワークが整備され、データ処理の迅速化が進むとともに、処理されたデータは地震月報等により、研究者等に利用されている。また、各機関が全国で実施している地磁気永年変化精密観測の観測値は、地磁気観測所に定期的に集約され、東京大学地震研究所のデータベースに公開されている。

防災科学技術研究所では、東海地域及び南関東地域の常時監視に協力するため、22観測点の地震データ及び19観測点の傾斜データの気象庁への集中を進めた。首都圏の深層観測施設を含め、関東・東海地域の観測網のデータは、ネットワーク時刻同期を採用した高精度テレメータによる収集を行ない、即時処理のシステムを確立し、さらにデータ収集・解析システムの能力を強化し、データベースを充実させてきた。そして、電子メールを利用した自動震源計算結果の送信システムを構築すると同時に、パソコン通信による検測済の震源データの公開を行った。しかし後者については、運用開始から3年を経た時点でユーザ登録の申し込みは27名にすぎず、予期していたほど利用されていない。

海上保安庁水路部では、観測データのデジタル化が進み、データの相互利用がより効率的に可能となった。成果は、地震予知連絡会に報告するとともに、水路部観測報告、研究報告書、地形図等の刊行物として、研究者、関係機関をはじめ広く一般に提供してい

る。(測地測量：水路部観測報告天文測地編で公表，地磁気，地電流の固定観測点における連続観測データ：毎月速報ノ1年分を水路部観測報告，人工衛星レーザー測距データ：研究者間で既に公表)。また，地形，地質構造，地磁気，重力等のデータは，これまで日本海洋データセンター(JODC)に送付しており，他の機関から提供されたデータとともに国内外の研究者等の利用に供されている。

イ．常時監視体制

気象庁では，東海地震の短期的な前兆を捉えて地震予知情報を報告するために，関係機関が観測している東海地域とその周辺の観測データをテレメータで気象庁に集中し，迅速に整理できるシステムを整備してきた。昭和61年(1986)に完成した「地震活動等総合監視システム」のソフトウェアの改良により，地震防災対策強化地域判定会等を含む気象庁の地震予知情報業務に必要な資料を迅速に提供する機能が向上した。さらに，第6次では各地で地震津波監視システムの整備が進み，また，デジタル強震計を全国展開し，大地震の破壊過程を捕らえることの出来るシステムが導入された。

国土地理院，防災科学技術研究所，工業技術院地質調査所，海上保安庁水路部，大学は常時監視のため観測データの一部を気象庁に転送している。

防災科学技術研究所では，東海・関東地域のおよそ90カ所の地震・地殻変動観測点と16カ所のGPS連続観測点からのデータをテレメータにより集中し，地震前兆解析システムによって総合的なデータ処理を実施している。

国土地理院は，GPS，光波測距等の連続観測を実施し，全国4カ所のGPS衛星軌道追跡局の設置により精密歴が得られるようになった。

大学では，地震予知観測情報ネットワークシステムの拡充が図られ，学術情報ネットワークの活用や各分野のデータの有機的結合による統合解析システムの開発研究が進められた。

ウ．判定組織ノ予知関連組織

昭和53年(1978)に施行された「大規模地震対策特別措置法」に基づき，昭和54年(1979)には，東海地域が「地震防災対策強化地域」に指定されるとともに，地震予知連絡会内の東海地域判定会は発展的に解消され，気象庁長官の諮問機関として「地震防災対策強化地域判定会」が設置され，東海地域の常時監視体制が確立された。判定会は定例的に判定会委員打合せ会を開きデータの推移を分析する等の活動を行っている。判定基準の設定についての検討等を行っているが，現時点までには明確な基準の公表には至っていない。地震予知連絡会は，十分な議論をする時間的余裕が少なすぎるものの年に4回の割合で定例会が開かれ，必要に応じて観測強化地域部会等を開く等の活動を続けてきている。

気象庁では，第4次の期間に地震予知情報室が地震予知情報課に昇格，第5次には地震火山部が設置され，また，第6次には管区气象台等に地震津波火山監視センターが設

置される等、順次全国の地震観測体制が強化されてきた。

防災科学技術研究所は、地震予知の実用化を目指して異常現象の検出、地震前兆現象の識別を行なう自動診断システムの研究開発を推進するとともに、平成5年に地圏地球科学技術研究部から分離する形で地震予知研究センターが発足した。

国土地理院では、第5次で海岸昇降検知センターに関連する組織が強化された。

エ．人材の育成・確保

大学において、地震予知関係の施設等の整備、教官の増員が第4～6次の期間に順次なされた。また、第4次には地震学関係の講座も増設された。

気象庁では、東海・南関東に体積歪計観測網や海底地震常時監視体制が整備されるにともない、地震火山部が創設され、全国的には地震防災業務の整備・増員が行われた。そして、第6次の期間に地方気象台での地震専門官の新設等の増員がなされた。

また、地震予知に関する実験的・理論的研究等で増員が行われた。

また、関係各機関においても、人員の整備が行われてきた。

オ．国際協力

第1回及び第2回日中地震予知シンポジウム（第5次計画中）、IJNR（天然資源の開発利用に関する日米会議）地震予知技術合同部会第4、5回部会（第5次計画中）、同第6、7、8回部会（第6次計画中）等が開催された。また、中国、ルーマニアとの共同研究が第5次から実施され第6次にも引き継がれた。気象庁・大学では、ISC（国際地震センター）及びUSGS（米国地質調査所）に地震観測データを集めて、全世界的な総合処理へ協力を引続き行っている。

別紙C 第7次計画の進展と成果

1. 計画の概要

第7次地震予知計画は、第6次までの予知計画が予知の実用化に向けて着実に成果が上がっているとしたうえで、まだ多くの課題が残されているとの認識に立ち、各種の観測研究を更に強力にかつ継続的に推進すべきである、と結論づけている。

測地学審議会はこの基本認識に基づいて5年間(平成6～10年度(1994～1998))の地震予知計画を策定した。特に第6次までの観測・研究の進捗状況をふまえて、新しく「地震発生のポテンシャル」という概念を取り込む必要性が認識され、その評価のための特別な観測研究を大きな研究目標として掲げることとなった。このため、既存の観測研究項目を以下の考え方に従って組み替えることとなった；(1)長期的予知・短期的予知の方式によって地震予知の基本となる観測研究を精度の向上を図りつつ実施すること、(2)前兆現象の的確な把握に努めるとともに、新たに地震発生のポテンシャル評価のための特別観測研究を実施すること、さらに(3)地震予知のための幅広い基礎研究と新しい観測手法の開発を推進すること。

このようにして、第7次予知計画ではそれまでと異なり、事業の項目が大きな課題として以下の4項目に整理し直された。

- (1)地震予知の基本となる観測研究の推進
- (2)地震発生のポテンシャル評価のための特別観測研究の実施
- (3)地震予知の基礎研究の推進と新技術の開発
- (4)地震予知観測研究体制の充実

この計画は平成10年度(1998)までの5カ年計画であるから、本レビューの実施時点においてはまだ実施途上である。

この第7次地震予知計画がスタートした平成6年度が終わろうとしていた平成7年(1995)1月17日に阪神・淡路地域において発生した内陸直下型地震は神戸を中心とする大都市に大きな災害をもたらした。この地震を契機として測地学審議会はその計画の見直しを行い、同年4月20日に見直しの建議を提出した。ここでは特に、年次計画当初に新たに策定された地震発生のポテンシャル評価のための観測研究や内陸直下型地震の原因となる活断層に関する調査研究を一層推進すること、地震に関する情報を社会に適切に提供する機能を強化して、これに対応する体制を整備すること、などが特に必要であるとの考えにもとづき、計画の中でも当面緊急に推進することが必要な事項及び計画につけ加えて推進すべき事項をとりまとめた。

2. 計画の実施状況と成果

各項目について、以下に実施状況と成果を概観する。第7次地震予知計画の期間中における大きなできごとと言えば、兵庫県南部地震の発生である。この地震をきっかけとして地震防災対策特別措置法が作られ、それに基づく地震調査研究推進本部及び関連する各機構が整備されつつある。これによって本地震予知計画そのものがその意義の変質を迫られていると言えよう。

さて、本章においてはまず、第7次期間中に続発した地震に関する観測研究実施状況を述べ、その後各項目別に機関毎の実施状況及び主な研究成果を述べる。

平成6年(1994)10月4日には北海道東方沖地震(M8.1)が発生した。この地震直前に開始された国土地理院の全国GPS連続観測システムが北海道全体にわたる変位を数日以内に明らかにし、GPSの有用性を示した。また、震源過程の研究によってこの地震は沈み込む太平洋プレートを断ち切るような高角逆断層型であることが示された。平成5年(1993)1月の釧路沖地震以来、この地震も含め従来のプレート境界地震とは異なるタイプの地震が相次いで発生し、プレート境界における大地震発生の機構に関して議論がなされている。

同年12月28日には三陸はるか沖地震(M7.5)が発生した。この地震は通常のプレート境界型地震と考えられたが、歪計の解析によって大きな余効変動が地震直後に発生していたことが明らかにされ、この地震がいわゆるスローアースクウェークであったことが示された。さらに、その後もGPSにより余効変動が続いていることが観測されており、プレートのカップリングや地震発生の繰り返し周期の考え方に一石を投じている。

引き続き翌平成7年(1995)1月17日には兵庫県南部地震(M7.2)が発生した。この地震では地震予知に係る機関は総力を結集して調査・観測・研究を実施したとあってよい。まず、地震波の解析によりこの地震がほぼ鉛直の断層面で若干の縦ずれ成分を含む右横ずれ型であることが明らかにされた。活断層調査によって野島断層が地表で2mに達する変位を引き起こしていることが発見され、さらにトレンチ調査によって過去の履歴が詳しく明らかにされた。また、プレート運動と地震発生の関連について、この地震がプレート運動の結果生じる東西圧縮の場において発生したことが明らかにされた。さらに、神戸から西宮にかけて地震災害が特に大きい帯状の地域のあることが明らかになって「震災の帯」と名付けられた。この「震災の帯」については強震動調査、被害調査、及び構造調査等の総合的な調査が行われ、六甲山地南部から大阪湾にかけて厚く堆積している大阪層群で地震波エネルギーが増幅した結果であると推定された。また、地震波や地殻変動調査結果が詳しく解析され、断層面上でのスリップベクトルの分布やその時間経過が明らかにされた。また、国土地理院、宇宙開発事業団等により、干渉合成開口レーダ(INSAR)手法により、詳細な地殻変動が面的にとらえられた。地震後継続して実施された地殻変動観測では微弱ながら余効変動が観測されている。地震後、六甲周辺から淡路島にかけての断層系の実態の解明のため様々な調査計画が立案され実施された。人工地震調査によって断層近傍の構造が詳しく明らかにされたほか、より長期的なプロジェクトとして「野

島断層解剖計画」がスタートした。

(1) 地震予知の基本となる観測研究

地震予知研究の基本は長期的予知と短期的予知のための観測研究にある、との認識に立ち、長期的予知のためには広域の地殻活動の推移を長期にわたって収集蓄積すること、また短期的予知のためには当該地域において多種・多様な前兆現象の捕捉を確実にするために有効な観測研究を充実する、という方針が立てられている。この方針にもとづき、長期予知のためには日本列島及びその周辺における広域地殻活動の推移を常時把握し評価するための観測研究を推進し(下記①)、また短期予知のためには観測強化地域や特定観測地域における地殻活動の変化をその地域的特性に基づいて詳細に把握し評価するための観測研究を推進する(下記②)という方策がとられている。

以下、各項目につき、各機関がどのように観測研究を実施し成果を上げてきたかを概観する。

①広域地殻活動に関する観測研究の推進

ア．地殻変動観測

(実施状況)

国土地理院は平成6年(1994)9月末に関東東海地方の110点からなるGPS地殻歪連続観測施設(COSMOS-GII)をスタートさせた。また、100点からなる最初の全国GPS連続観測システム(GRAPES)も完成した。平成7年度(1995)にはこれらの観測網は増強・統一され610点からなる全国GPS連続観測システムとなった。また、平成6年度には奥尻、飛島に験潮場を新設した。

気象庁は平成6年度(1994)に6カ所、7年度(1995)に3カ所の験潮所の遠隔自記験潮装置を整備した。

海上保安庁水路部は全国27箇所の験潮所において海面水位の観測・解析を行い、成果を海岸昇降検知センターへ送付した。また、下里及び離島において人工衛星レーザ測距(SLR)を実施した。

(成果)

平成6年度(1994)までに従来の測地測量網の改測が完了し、統一的な歪みの解析を行って日本列島の歪場が明らかになった。

また、GPS連続観測網は完成直後から平成6年(1994)北海道東方沖地震に伴う地殻変動を即時的に検出するなど、これまでの測地測量とは比較にならないほどの迅速かつ精確な情報が得られることとなった。兵庫県南部地震が発生したこともあり、この観測網は平成8年(1996)までに610点に拡大増強され日本列島が数十km程度の観測網で稠密に

おおわれることとなった。それまでの210点の約1年間の資料を解析して日本列島の変位場のおおまかな姿がはやくも明らかになりつつある。特に糸魚川—静岡構造線や中央構造線を境界とする変位の不連続などが顕著な地殻変動の姿として得られている。また、平成6年(1994)三陸はるか沖地震に伴う余効変動が捕らえられている。この観測網によって「刻々の地殻変動を捕らえる」としたブループリントの主旨に沿った日本列島地殻変動監視ネットが完成したと言えよう。

一方、プレート運動についてはいずれも第6次の頃から成果が出始めている。これらの成果を簡単にまとめれば、第一次近似として日本をとりまくプレートの運動が地質学的なデータに基づくグローバルプレートモデルとよく一致していることがまず示され、さらに日本国内の鹿嶋VLBI、下里SLRなどの基準点においては、これらの地質学的剛体プレートモデルからの“ゆらぎ”が観測されている。この“ゆらぎ”は日本列島のプレート圧縮による非剛体的変形のためと説明されている。とくにフィリピン海プレートの変位場は地理院のVLBI、GPS、大学、国土地理院、海上保安庁水路部などの共同調査による沖の鳥島GPS観測などで明らかにされつつある。このようにして、宇宙測地技術は日本列島の地殻歪場をグローバルな視点から捕らえるという、地震予知研究にとっても新しい展開をもたらす成果を得たと言えよう。

イ．地震観測

（実施状況）

気象庁は兵庫県南部地震後、阪神地域の観測強化を行い、地震計20カ所、計測震度計20カ所及び臨時震度観測点4カ所を設置した。また、平成8年度(1996)には地震及び地殻変動データの一元化処理システムの整備が行われた。また、上下動成分も考慮された震度7まで表示される計測震度計を新たに140カ所設置したほか、既存観測点313カ所が改良され、これにより強震データが蓄積されることになった。

大学は平成6年度(1995)に奥尻と積丹に500mの観測井を、平成7年度(1995)に根室と厚岸に300mの観測井を設置した。また、中部・東海地域の6観測点で坑井型広帯域地震計の帯域をそれまでの30秒から300秒まで大幅に拡張し、テレメータ装置のダイナミックレンジを向上させる、インテリジェント化を図るなど観測精度及び効率の向上を図った。

波形データ統合処理装置も平成6年度(1994)に導入された。建設の遅れていた九州地区でも微小地震の観測網がほぼ完成した。中でも特筆すべきは、平成7年度(1995)から大学グループはそれまでの地上回線によるテレメータを衛星通信利用のテレメータに転換することを決定したことである。これにより観測能率や非常時の観測体制が強化されると期待される。

（成果）

前述のように第7次期間には大きな地震が続発し、地震の発生機構の解析が進んだ。例えば平成6年(1994)三陸はるか沖地震に際しては広帯域地震計の波形記録を用いて余震のモーメントテンソル解が求められ、この地震の余震域の末端部に応力降下量の大きい地震が発生していたことがわかった。

また、震源決定精度が大幅に向上し、太平洋プレートの影響による系統的な震源位置のずれを補正することで、2重深発地震面の幾何学的形状が精密にわかるようになった。

兵庫県南部地震については、各種の臨時観測や地震予知に有効と思われる資料の収集が図られた。例えば、近畿地方中・北部の広い範囲で微小及び極微小地震がおおよそ7年間の長期間にわたって減少を続け、本震の1年前から急増に転じたこと、同時に中規模地震や浅い群発地震が頻発したことなどがわかった。これら一連のプロセスは地殻応力の蓄積、それに伴う地殻の強度の低下、本震の発生などの時間的過程を示唆するものといえよう。また、本震発生後に余震活動とは別に、事前に静穏化を続けた地域の地震活動が本震前の数倍にも跳ね上がったことは、本震発生に関与した地域の広がりを示すものとして注目される。余震観測にあたっては、波形データ統合処理システムが効果を発揮し、即時的に余震情報を抽出し、各方面に提供することができた。

九州では観測網の構築と共に、九州弧における深発地震面の形状が詳細にわかるようになりつつある。こうしたなか、九州南部での微小地震活動の静穏化と群発活動の西方への移動に引き続き、この浅発地震活動の線状配列上に平成6年(1994)2月14日鹿児島県北西部地震(M5.7)が発生した。

ウ・地磁気観測

(実施状況)

関係機関は第6次に引き続き全国にわたって地磁気測量及び地磁気連続観測を継続した。

エ・基礎調査

(実施状況)

国土地理院では都市部の大縮尺の活構造図の作成を行っている。

大学グループは、平成6年度(1994)に九州東部で南北方向に約200kmの長さをもつ測線で地殻構造調査を行った。平成7年度(1995)には阪神・淡路地区において、また平成8年度(1996)には九州地区において再調査が行われる予定である。全国の関連機関は共同して東北、北海道東部、中部日本、中国四国の各地域で広帯域MT法による大規模な構造調査を行った。

海上保安庁水路部は平成6年度(1994)に「北海道南西沖地震震源域調査海底地形図」を刊行したのに続き多数の海底地形図や海底地質構造図を刊行した。また、海域における地震の発生の際には測量船等による機動的観測を行った。

工業技術院地質調査所は全国活構造図をCD-ROM化した。

東京大学地震研究所は「新収日本地震史料」のデータベース化をすすめており、第1巻から第5巻までの約20000件の入力を終えている。

活断層調査グループは野島断層においてトレンチ調査を実施し過去二回のイベントが復元された。

（成果）

全国の関連機関による電磁気構造調査では、地震発生のない下部地殻は電気抵抗が低く、含水率の高い状態にあることがわかった。また、活断層を対象にした精密な構造調査の結果からは、地震発生時の変位が集中すると考えられる活断層の破碎帯は、一般に低比抵抗であることが明らかになった。また、兵庫県南部地震の震源域を中心とした大阪湾内の音波探査が実施され、大阪湾断層をはじめ多数の活断層が確認された。

②観測強化地域等における観測研究の推進

ア．東海地方

（実施状況）

気象庁は体積歪計の改良更新を4点で実施し、観測を継続している。また、検潮所を10カ所新設し、既存の66カ所の強化を行った。

国土地理院は110点のGPS連続観測点による地殻歪観測網によって、地殻変動の良質かつ大量の観測データの蓄積が行えるようになり、同地域の刻々の地殻変動を監視できるようになった。御前崎地区では引き続き水準測量による地殻の上下変動の観測が行われているほか、東海機動観測基地が完成した。また、御前崎周辺で伸縮計・傾斜計・重力計による観測を継続している他、ボアホール地殻活動総合観測装置を設置する予定である。

防災科学技術研究所は微小地震観測と傾斜計・GPSによる観測を引き続き実施した。

国土地理院、気象庁、海上保安庁水路部は潮位差観測を引き続き実施した。

工業技術院地質調査所は地下水変動の観測を継続している他、データ処理・解析の高度化を図っている。

大学は相良においてボアホール地殻活動総合観測装置（歪3成分、傾斜2成分、加速度3成分、温度、ジャイロ）を設置し、観測を実施した。また、富士川周辺で光波測距を実施した。また、静岡、御前崎、土肥、南伊豆でGPS観測を実施した。また、御前崎周辺では重力観測も実施した。

（成果）

東海地域に発生する微小地震の震源や発震機構解が詳しく分析され、プレート境界の幾何学的形状や地震活動の特徴の詳細が明らかになった。また、駿河トラフからのフィリピン海プレートの沈み込みの進行に伴って、発震機構解が横ずれ型から逆断層型へと時

間的に変化する可能性があることやスラブ内の地震の応力軸が15年間で12～13°反時計回りに回転していることなどが明らかにされた。GPS観測や水準測量などで地殻変動の進行状況が詳しく把握されるようになった。また、伊豆諸島や銭洲におけるGPS観測などからこの地域のプレート間カップリングとその時間変化の実態が明らかになる糸口が得られた。

イ．南関東地域

（実施状況）

気象庁は体積歪計の4地点の改良更新を行った。また、海底地震観測も継続して実施している。国土地理院は、110点のGPS連続観測点による地殻歪観測網によって、地殻変動の良質かつ大量の観測データの蓄積が行えるようになり、同地域の刻々の地殻変動を監視できるようになった。

海上保安庁水路部はGPSによる地殻変動連続観測を実施している。

上記3機関は潮位差観測を実施した。

防災科学技術研究所は第6次に引き続き首都圏周辺の7カ所に2000m級深層地震観測施設を整備し、また、相模トラフ沿いに6台の地震計からなるケーブル式海底地震観測システムを敷設した。これらを含めた微小地震観測のほか、傾斜計、3成分歪計、GPSによる観測を実施し、さらにパイロサイス法等による地下構造調査を推進した。

通信総合研究所はVLBI、SLRシステムを用いた首都圏広域地殻変動観測網を構築して観測を開始し、当地域の地殻変動を数mm精度で連日監視し、準リアルタイムで結果を公開するシステムを世界ではじめて開発した。

工業技術院地質調査所は伊豆においても東海地域と同様、地下水位観測を中心とする総合観測網を展開した。

大学は、相模湾西部においてケーブル式海底地震観測点を新設して観測を開始した他、伊豆半島においてGPS、光波の観測などが行われた。また、全磁力連続観測(20点)、比抵抗連続観測及び相対重力精密測量を実施した。さらに、伊豆の隆起域にポアホール地殻活動総合観測装置を設置し観測を開始した。

（成果）

東京周辺の浅発地震活動の調査から、発生する地震の最大規模が最近徐々に大きくなってきていることが明らかになり、関東地域下の応力が増大しつつある可能性が示唆された。また、荒川河川敷において実施されたパイロサイス反射法による地下構造調査により、秩父層が三波川層の下位に位置している可能性を見出し、関東平野の基盤の成り立ちを考える上で一石を投じた。

VLBIとSLRによる首都圏広域地殻変動観測施設が完成し、数mm精度の地殻変動を連日とらえることに成功した。このシステムによる地殻変動観測結果はインターネット

を通じて広く一般に公開されている。

伊豆半島東部地域では、平成5年(1993)9月から6年(1994)5月頃までに進行した伊東市の内陸部における急激な隆起の進行状況が、地殻変動観測によりとらえられた。これと密接に関連すると見られるやや広範囲の微小地震活動、重力及び全磁力の変化も観測された。平成7年(1995)の群発地震活動に関しても、地震活動の詳細な推移や特異な長周期地震波形が、またこの地震活動に伴った地殻変動、及び重力と地磁気の変化が観測された。これらと水準測量、クラスタ観測、GPS連続観測及び潮位差連続観測の成果が総合的に利用され、地殻活動の推移や地震活動の消長に関する貴重な情報を得ると共に、地震活動の終息宣言に効果的に用いられた。

伊豆半島東部の地殻活動の原因については、様々な作業仮説が提案されているが、基本的には開口割れ目モデルによって地殻変動はよく説明されている。開口割れ目の原因については平成元年(1989)手石海丘噴火によって、マグマ原因説で決着がついたかに見えた。しかし、マグマの他に地下流体(地下水、地熱流体、ガス等)が重要な役割を果たしているとの仮説も提唱されている。

ウ．特定観測地域等

(実施状況)

国土地理院はGPS連続観測網で地殻変動の連続観測を実施している。また、雲仙、阪神、新潟北部、奄美及び喜界島においてGPS連続観測を、雲仙、西表島、天売において潮位連続観測を機動的観測として実施している。気象庁は平成6年度に機動観測班を増員し、自己浮上式地震計を整備した。平成6年度には北海道東方沖地震、三陸はるか沖地震、平成7年度(1995)には伊豆半島東方沖、伊豆半島南方沖の群発地震、奄美大島近海の地震、トカラ列島付近の地震に際し自己浮上式海底地震計による観測を行った。また、平成6年度(1994)には兵庫県南部地震、平成7年度(1995)には新潟県北部地震の余震の機動観測を行った。

海上保安庁水路部は伊豆半島東方沖の群発活動の際に、測量船及び遠隔操縦のできる自航式ブイ「マンボウ」によって調査を行った。奄美大島近海地震の際には、震源域の海底地形及び地殻構造を解明することを目的として海底地形、地磁気、重力の調査及び大学との共同による海底地震観測を行った。

大学は、それまでの地上回線テレメータ方式から衛星回線を用いたテレメータ方式への転換を行った。これによって地震観測の効率化が図られると共に異常現象の突発に対応できるものと期待される。

(2) 地震発生ポテンシャル評価のための観測研究

本研究項目では、プレート境界地震と内陸地震という異なるタイプの地震を対象として、プレート運動とそれに由来する広域応力場の把握に基づいて、地震発生の1サイクル

ルの中で現時点を位置づけ、そのポテンシャルを評価することを目的としている。さらに細項目として①海・陸プレート境界域のダイナミクスに関する観測研究の推進、②内陸の地震テクトニクスに関する観測研究の推進、が設けられた。以下に現在までの各機関による実施状況と成果を示す。

①海・陸プレート境界域のダイナミクスに関する観測研究の推進

ここでは、海のプレートの沈み込み運動の実態を把握して、日本列島全域にわたる広域応力場の長期的変動を予測し、プレート境界地震の発生のポテンシャルを定量的に評価する手法の開発をめざしている。この項目はさらに、ア．プレート構造とプレート内応力分布の解明、及びイ．プレート境界のすべり運動の把握と広域応力場の長期的変動の予測、の二つに分けられているが、ここではこれらは分けずにおく。

（実施状況）

国土地理院は全国GPS連続観測システムによる観測でプレート運動に伴う日本列島の地殻変動の特徴について調査研究を行うと共に沈み込みテクトニクスの地域を考慮しつつ観測網の高密度化を進めている。

気象庁は東海・関東地方において体積歪計による連続観測を実施している。

海上保安庁水路部はプレート沈み込みによる変動地形を明らかにするために、精密海底地形調査や音波探査を実施し、各種の海底地形図や海底地質構造図として成果を公表している。

防災科学技術研究所は日本列島全域に広帯域広ダイナミックレンジ地震観測網を整備し、地震発生様式及び地球内部構造を解明するプロジェクトを開始した。

大学と防災科学技術研究所は共同して地殻・上部マントルの不均質微細構造と変形・流動特性を解明するための大規模地震合同観測を実施し、地殻構造調査を実施した。

大学は三陸沖にケーブル式海底地震観測システムを設置した。大学はまた、以下の各調査研究を実施した。(1)平成6年度(1994)には紀伊半島沖、平成7年度(1995)には紀伊水道沖、平成8年度(1996)には三陸沖の各地域において人工震源による構造調査を行った、(2)南西諸島や西太平洋の広い地域にGPS連続観測網を構築しプレート運動を明らかにした、(3)プレート衝突における変形モデルを提案し定量的検討を実施している、(4)平成6年(1994)三陸はるか沖地震や平成7年(1995)喜界島地震の余震観測や震源過程調査を実施しプレートの沈み込み過程と地震発生様式の関連性を調査した。

（成果）

海域における地震探査では多くのことが明らかになった。例えば海底地震観測では、いままで陸上からの地震観測ではほとんど分かっていなかった海底の微小地震活動が明らかになりつつある。また制御震源地震学実験を行った海域では、これもいままで分かって

いなかった海底下の地下構造を明らかにした。例えば、紀伊半島沖の潮岬海谷では走時トモグラフィを行った結果、潮岬を境にして東西方向に地殻構造の違いがあり、ここで破壊伝搬がくい止められるようなバリアーになっている可能性が高いことがわかった。

広帯域地震計記録やsP波などを用いた大地震の震源過程が調査され震源過程の詳細な姿が明らかにされつつある。例えば平成6年(1994)三陸はるか沖地震が性質の異なる3つの主要なサブイベントからなる破壊であったことが明らかとなった。

また、地震活動を詳細に調査した結果、秋田・山形県沖が第二種地震空白域となっている可能性があることが判明した。

GPS観測によって、フィリピン海プレートの北米プレートに対するプレート相対運動が明らかになった他、グローバルなプレート相対運動が明らかになった。

②内陸の地震テクトニクスに関する観測研究の推進

地震や前兆現象の発生過程が一般に複雑多岐であり、地域特性が強いことが知られるようになった。これは地殻の応力・歪分布や強度摩擦分布などの不均質性に由来するものと考えられる。このような複雑さをもつ内陸地震発生現在のポテンシャルを評価する手法の開発をめざして、ア・活断層の活動特性の解明、イ・大規模観測実験による地震テクトニクスの解明、を推進した。兵庫県南部地震のために当初の年次計画を入れ替えた部分もある。

(実施状況)

国土地理院は跡津川、阿寺、根尾谷、養老、山崎の各断層において2.5年周期でメコメーターによって精密距離観測を実施した。また、GPS連続観測点の活断層周辺への設置を進めている。

気象庁は小田原で地殻変動観測を、湯河原で地下水位観測を実施した。

防災科学技術研究所は根尾谷において深度2000mのボーリングを実施し、断層の微細構造や地殻応力及び断層の力学的挙動に対する水の役割などの研究を進めた。また、兵庫県南部地震に際して余震観測、地殻応力測定、ドリリングによる応力、間隙水圧、熱流量の調査などを行った。

工業技術院地質調査所は、活断層の活動履歴の解明を行ってきたが、兵庫県南部地震の発生を契機として、淡路島を初めとする京阪神地域の活断層及び糸魚川—静岡構造線などの要注意断層とされている断層のトレンチ発掘調査を行った。

また、工業技術院地質調査所は、兵庫県南部地震の震源域周辺において、地殻応力の測定を行った。さらに、兵庫県南部地震の震源域周辺の深部地殻構造を明らかにするために、反射法弾性波探査等を実施した。

大学及び関係機関は日光・足尾地域及び飛騨周辺地域で全国合同集中観測を、また紀伊水道沖の海底地震観測と共同して紀伊半島で陸上地震観測を、それぞれ実施した。伊東

周辺においてGPS稠密アレイ観測を実施した。また、兵庫県南部地震に際しては全国の大学が共同して地震計とGPSの高密度アレイによる余効的地殻活動調査を行った。この地震についてはその後も活断層深部構造を解明する観測研究（淡路横断地震探査）を実施した他、様々な地球物理的観測を行い総合的に調査が進められた。

（成果）

地震予知関連機関による兵庫県南部地震の総合的な調査で多くのことが明らかになりつつある。

余震調査では、断層面に沿った余震分布とその時間変化が詳細に明らかにされたばかりでなく、その応力降下分布の調査から本震断層付近では歪エネルギーがほぼ解放されたものの、周辺部においては十分な解放がなされなかった可能性が指摘された。また、地震後震源域周辺の地震活動度が高まったことが明らかにされた。野島断層周辺のアレイ観測や人工地震探査の結果、断層破碎帯の不均質性や地震波反射体の存在が明らかになりつつある。GPSによる調査では地震後の余効変動が検出され断層面上の余効的スリップである可能性が指摘された。兵庫県南部地震前には多数の地下水異常が検出されたが、それらを地殻歪変化で説明するには、非常に局所的な地殻歪変化を考える必要性が指摘された。

また、日光・足尾地域における高密度アレイによる観測では地殻内地震波反射面の存在や日光白根山体下のマグマ溜まりの存在などが詳しく明らかにされた。飛騨周辺地域総合観測研究による稠密テレメータ地震観測によって、地震の下限が、飛騨山脈地域で浅く5km程度であるのに比して、他の地域では10～25kmの深さで変化すること、また、飛騨山脈直下に低速度層が存在することなどが明らかにされた。

この他、伊東市周辺のGPS稠密観測において、平成7年(1995)10月の群発活動に伴う地殻変動の面的な分布を検出した、電磁気観測では広帯域MT法によって、地殻内の比抵抗断面が得られ、地殻内の高比抵抗層と地震発生層の対応が示唆される、などの成果が得られた。

活断層のトレンチ発掘調査では、兵庫県南部地震の震源域周辺の野島断層・有馬－高槻構造線など活断層及び糸魚川－静岡構造線等の要注意活断層の活動履歴が明らかにされた。

兵庫県南部地震の震源域周辺の深部地殻構造によって、地下深部にいたる構造が明らかにされるとともに、大阪湾及び神戸市の平野下に潜在する断層構造が明らかにされた。

（3）地震予知の基礎研究と新技術の開発

地震予知のバックグラウンドとなる基礎研究と新技術の開発を、独創的な発想に基づく萌芽的研究を取り入れつつ、幅広く推進している。これらのうち、基礎研究ではア・ブ

プレート収束域のテクトニクス解明，イ．地殻・マントルの物性の解明，ウ．地震発生のサイクルのモデル化と前兆現象の発現機構の解明，の3つの課題を，また新技術の開発ではア．海底観測手法の高度化と多項目化，イ．地下深部における観測手法の開発，ウ．宇宙技術利用の高度化，の3つの課題を取り上げている。

①基礎研究の推進

（実施状況）

国土地理院はGPS連続観測の測地データ等を総合的に分析し，日本列島の地震テクトニクスの研究をインバージョン解析などの手法によって進めている。

気象庁は関東地方下のプレートについてワイヤフレーム法などによる3次元的な形状表現を得るとともに，プレート変形に伴う応力を知るため有限要素法を用いた変形，応力分布の解析を行っている。

工業技術院地質調査所は岩石資料による模擬断層実験と高温・高圧下での摩擦実験を開始した。また，断層破碎帯の物性を明らかにするために，野島断層を貫くボーリング調査を行った。

防災科学技術研究所はマルチチャンネル反射法による海底地殻構造調査，MT法による電気伝導度調査，ポアホール式複合観測装置の開発及びGPSデータの解析手法の改良などを実施した。また，震源核形成から急激な破壊に至る過程についての理論及び解析的研究が進められた。

大学は，岩石の応力記憶機構を解明するための室内実験や地殻応力の室内実験，高温高圧下での破壊の室内実験など各種の岩石破壊実験を実施した。岩石実験によって得られる摩擦構成則をプレート境界面に適用して地震の発生過程を明らかにする研究を実施した。人工地震による地下構造調査を九州東部，阪神・淡路地域・飛騨において行った。また，外国で成功例があると指摘されている地電流を用いたいわゆるVAN法の適否を検証するために，北海道内に地電流の観測点を設置した。

（成果）

岩石破壊実験の成果として，すべり速度／状態依存摩擦法則が次第に明らかになりつつある。この摩擦法則のパラメータである特徴的すべり量が増加する場合，あるいは摩擦パラメータに空間的不均一が存在する場合，非地震性すべりが顕著になることが明らかになった。この結果を実際の地震発生場に適用する試みも行われ，地震発生サイクルの中でプレート境界に発生する非地震性すべりの特徴と地震の前兆的変動の検出の可能性が指摘された。

野島断層を貫くボーリング調査では，地下深部における断層破碎帯の弾性波速度・密度・透水係数等が明らかになった。

②新技術の開発

各項目について実施状況と成果をまとめておく。新技術の開発は長年の地道な研究の積み重ねが必要であり、年次計画途上の現在ではまだ際だった成果は挙がっていないといっている。

ア．海底観測手法の高度化と多項目化

防災科学技術研究所は海底IBOSの観測を実施するために必要な海底掘削及び設置技術について検討を行なった。

海上保安庁水路部や大学は海底地殻変動観測の手法に関する開発について検討を行い海域実験をはじめた。音波を用いた測距やGPS-音響システムによる高精度測位に関する基礎的な実験を実施しつつある。

イ．地下深部における観測手法の開発

大学では歪計（3成分）、傾斜計（2成分）、速度型地震計（3成分）に加速度計（3成分）及び温度計を加えたボアホール型の「地殻活動総合観測装置」を開発し、実用化しつつあるほか、光ファイバーリンクの干渉計センサーを利用した新しいボアホール設置型の傾斜計を開発しつつある。

ウ．宇宙技術利用の高度化

防災科学技術研究所は、GPS解析手法の改良を行った。

国土地理院は平成6年度(1994)から国内4カ所のGPS衛星軌道追跡局に、さらにグローバル観測局のデータを含めて解析することにより精密軌道要素の精度向上が図られるようになった。国際及び国内VLBI網とGPSを結合した観測網が構築されつつある

また、建議には述べられていなかったが、人工衛星を用いた干渉型合成開口レーダ（InSAR）が面的な地殻変動検出に有効に利用できることが明らかとなった。兵庫県南部地震はじめ様々な地震・火山に関してInSARによる面的な地殻変動が捕らえられるようになり今後の成果が期待されている。

（4）地震予知のための組織・体制の整備

本節まえがきにも述べたように、第7次計画の最大のハイライトは地震調査研究に関する組織・体制の整備が兵庫県南部地震を契機としてそれまで全く夢想だにしていなかったほど大幅な変更と拡充をとげたことであるといっておく。ここで、建議に書かれた内容に照らし合わせて実施状況を述べるのはあまり適切でないように思われるが、各機関から提出された自己点検資料に基づき、組織・体制の整備状況について整理しておく。

（国土地理院）

平成6年(1994)に関東・東海地域のGPS地殻歪連続観測施設（COSMOS-G II）及び全国GPS連続観測システム（GRAPES）を構築した。これは、平成7年度(1995)に統合され、さらに観測点を増強して、全国合計で610カ所の連続観測システムとなった。平成8年度(1996)中にさらに観測点を280点程度増強する予定である。また、平成8年度(1996)に「測地観測センター」が設置され、GPS、験潮、地殻変動連続観測を総合的、一括的に遂行する体勢が整った。

（気象庁）

各管区気象台に地震火山課が設置され、全国に150カ所のリアルタイム強震高感度地震観測網及び20カ所の広帯域地震観測網が展開されるなど津波・地震観測網の大幅な強化が図られた。また、「地震活動等総合観測システム」の更新、「地震津波監視システム」のソフトウェアの改良など、データ流通機能を強化した。

（海上保安庁水路部）

平成9年度(1997)にマルチチャンネル音波探査機、深海用サイドスキャンソナーを搭載した新測量船が就航予定である。

なお、上記3機関共通して、験潮（験潮）データのテレメータ化を推進した。

（工業技術院地質調査所）

兵庫県南部地震の発生を契機に、京阪神を中心とする地域14カ所に地下水観測を中心とする総合観測施設を展開した。また、平成7年度(1995)に活断層・地震予知特別研究室を新設した。

（防災科学技術研究所）

相模湾を含む南関東地域の微小地震観測網を充実させた。また、広帯域地震観測網の展開に対応してテレメータ及びデータ収録システムの整備を進めた。さらに、全国1000点からなる強震計観測網「K-ネット」を完成させた。データの流通・公開に対する考え方を大きく進展させ全データを完全にオープンにする方向である。なお、地震防災対策特別措置法の制定に伴い、「地震予知研究センター」を「地震調査研究センター」に改組した。

（通信総合研究所）

首都圏広域地殻変動観測網（VLBI、SLR）を平成7年度(1995)に完成し、結果を逐次インターネット上で公開している。

（国立天文台）

シントレクス重力計やGPS受信機を導入した。

（北海道大学理学部）

北海道周辺に相次いで発生した地震に対応してボアホール観測井、GPS、地震計等の観測点を増強した。

（弘前大学理学部）

助教授1名の純増があり、予知研究の体制は格段に向上した。

（東北大学理学部）

以下の設備を導入した。

3成分歪計・傾斜計・高感度地震計による300mポアホール観測点を6点設置した。また、GPS観測システム、デジタル式海底地震計を導入した。

（東京大学地震研究所）

平成6年度(1994)に全国共同利用研究所に改組し、「地震予知研究推進センター」「地震地殻変動観測センター」「地震予知情報センター」の3センターによる研究体制をつくった。全国の大学の共同研究により三陸沖に光ケーブルによる海底観測施設を設置した他、通信衛星を用いた新たなテレメータ方式を導入しつつある。また、大量の観測データの処理とデータ公開のためのシステム整備を進めている。さらに、各センターでは以下のことを実施している；①「地震予知研究推進センター」では、地震・電磁気・GPSに関する大規模集中観測や大型設備を用いた岩石破壊実験に関する共同研究の中心的役割を果たすなど地震予知研究推進体制の全国の大学の中心的役割を果たしている。また海底地震部門では24ビットデジタル海底地震計の開発及び二宮〜グアム間の海底ケーブルを利用した海底地震システムの明神礁近傍への設置を行った。②「地震地殻変動観測センター」では、相模湾西岸にケーブル式海底地震観測網を新設した他、地震観測網の広帯域化とデータ伝送システムの刷新を行った。また、伊東の自動光波測距を拡充しポアホール地殻活動総合観測装置を伊東に新設する、東海地域においてGPS観測網を強化する、御前崎で絶対重力測定を実施するなど、各種観測体制を強化した。③「情報センター」は改組による共同利用推進のため64Kbps以上の高速デジタル回線とインターネット・プロトコルによる全国的なデータ流通ネットワークを導入した。

（名古屋大学理学部）

地震及び測地移動班が整備され、小型地震記録装置とGPSが導入された。平成6年度(1994)よりACROSSの開発が開始された。現在試験的実験が進み、平成7年度(1995)には淡路島の断層解剖計画に参加した。

（京都大学）

平成8年度(1996)に防災研究所が全国共同利用研究所に改組された。大阪管区気象台と地震波形データ交換のためのソフト・ハードシステムを構築した。微小地震観測網の震源情報を準リアルタイムに地方自治体へ伝送するシステムを開発した。

（高知大学理学部）

京都大学防災研究所との協力により大阪管区気象台へのデータの一元化が図られた。また、地上回線テレメータがインテリジェント化され、衛星通信用アンテナ装置が設置された。

（九州大学理学部）

平成7年度(1995)から、東京大学地震研究所、高知大学、鹿児島大学との準リアルタイム波形データ交換を開始。微小地震検測結果が地震研究所にオンラインで伝送されるよ

うになった。平成8年度(1996)からは気象庁とも波形データ交換を開始する。また、東京大学地震研究所と共同でデータ公開のためのシステム整備を進めている。

〔鹿児島大学理学部〕

微小地震観測点をほぼ60km間隔で配置する当初の計画をほぼ完成し、オンラインで九州大学とのデータ交換を実現した。