

地震予知のための新たな観測研究計画の推進について

(建議)

平成10年8月

測地学審議会

目 次

地震予知のための新たな観測研究計画の推進について（建議）

I. これまでの地震予知計画の成果と今後の展望

1. 第1～7次計画の成果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2. これまでの地震予知計画の総括的評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
3. 今後の展望・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4

II. 計画策定の方針

1. 地震予知推進の基本的考え方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
2. 本計画の基本方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
 - (1) 地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究の推進・・・・・・・・・・7
 - (2) 地殻活動モニタリングシステム高度化のための観測研究の推進・・・・・・・・・・8
 - (3) 地殻活動シミュレーション手法と観測技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
 - (4) 本計画推進のための体制の整備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・10

III. 計画の内容

1. 地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究の推進・・・・・・・・・・11
 - (1) 定常的な広域地殻活動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
 - ア. プレート運動とプレート境界域の調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
 - イ. プレート間カップリングの空間分布の把握・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
 - ウ. プレート内部の不均質構造の解明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
 - エ. 長期的な地震発生確率の推定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
 - (2) 準備過程における地殻活動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
 - ア. プレート間カップリングの時間変化の検出・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
 - イ. 地震多発地域での応力蓄積過程とゆらぎの検出・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
 - ウ. 断層面の構造・物性及び活断層周辺の調査研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
 - エ. 構造の不均質及び地殻流体に関連する調査研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
 - (3) 直前過程における地殻活動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
 - ア. 前駆現象の発現機構に関する観測研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
 - イ. 前駆現象検出のための試験観測・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
 - ウ. 前駆現象の素過程に関する実験的・理論的研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
 - (4) 地震時及び地震直後の震源過程と強震動・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
 - ア. 断層面の不均質性に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
 - イ. 震源域における強震動の予測に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

2. 地殻活動モニタリングシステム高度化のための観測研究の推進	16
(1) 広域地殻活動モニタリングシステム	17
ア. 広域地殻変動観測	17
イ. 広域地震観測	17
ウ. 活断層調査・古地震調査	18
エ. 地球電磁気観測等	18
オ. 地殻構造調査	18
(2) 特定域地殻活動モニタリングシステム	18
ア. 東海及びその周辺地域	19
イ. その他特定の地域	20
3. 地殻活動シミュレーション手法と観測技術の開発	20
(1) 地殻活動シミュレーション手法	20
ア. シミュレーションモデルの開発	20
イ. データ基盤の整備とデータ解析・同化システムの開発	21
(2) 観測技術	21
ア. 宇宙技術利用の高度化	21
イ. 海底計測技術の開発と高度化	21
ウ. 地殻深部における計測技術の開発と高度化	22
4. 本計画推進のための体制の整備	22
(1) 地震に関する各種資料の広範な活用と保存	23
(2) 人材の養成と確保	23
(3) 火山噴火予知研究との連携	23
(4) 国際協力の推進	23

文 術 測 第 1 号
平成10年8月5日

内閣総理大臣殿
文部大臣殿
通商産業大臣殿
運輸大臣殿
郵政大臣殿
建設大臣殿

測地学審議会会長

古 在 由 秀

地震予知のための新たな観測研究計画の推進について（建議）

測地学審議会は、昭和39年以来、これまで7次にわたり地震予知の推進に関する計画を建議してまいりました。第7次地震予知計画（平成5～10年度）は本年度をもって終了することとなっております。この間、関係者の不断の努力により、これらの計画は順次実施に移され、我が国の地震予知研究は着実に進展するとともに、地震予知体制も整備されてきました。

その一方で、平成7年1月には兵庫県南部地震が発生し、多くの尊い人命が失われ、大きな被害もたらされました。本審議会は、このような事態を極めて重く受けとめ、平成7年4月には、第7次地震予知計画の見直しを行い、昨年6月には、これまでの計画の進捗状況について総括的な評価を行いました。

その評価を踏まえ、昨年9月以来、今後の地震予知の推進方策について審議を行った結果、引き続き地震予知のための観測研究を推進することが必要と認め、別紙のとおり、今後5年間（平成11～15年度）の計画を取りまとめました。本計画は、地震発生に至る地殻活動解明及び地殻活動モニタリングシステム高度化のための観測研究並びに地殻活動シミュレーション手法と観測技術の開発を推進しようとするものです。

については、本計画の趣旨を御理解の上、その実施に必要な最善の措置が講ぜられるよう文部省組織令（昭和59年政令第227号）第70条第1項の規定により建議します。

〔備考〕

（建議先）内閣総理大臣、文部大臣、通商産業大臣、運輸大臣、郵政大臣、建設大臣

（要望先）大蔵大臣

（連絡先）科学技術庁長官、国土庁長官

1. これまでの地震予知計画の成果と今後の展望

1. 第1～7次地震予知計画の成果

昭和40年に始まり第7次計画までの約30年に及ぶ日本の地震予知計画は、「地震予知の実用化」を目指してきた。具体的には、将来発生するであろう地震の場所と大きさを予測する「長期的予知」の手法を基盤とし、地震直前の現象を捉えて地震がいつ起こるかを短期的に予測しようとする「短期的予知」の手法の確立に重点を置いて、予知計画の推進を図ってきた。

第1次計画（昭和40～43年度）は、地震予知研究の基本となる測地、地震等のデータを全国的な規模で収集する体制づくりを目指して実施されたが、この間の相次ぐ被害地震の発生から、地震予知研究への社会的要請が高まり、予知の実用化を目標とした観測研究の強化を図る第2次計画（昭和44～48年度）に移行した。地震予知に関する情報の交換と総合判断を行うため地震予知連絡会が設置され、特定観測地域及び観測強化地域の指定を行うなど現在の地震予知体制の骨格は第2次計画で形成された。

第3次計画（昭和49～53年度）においては、観測強化地域を中心に地震予知体制の強化を図り、各種観測手法の導入、地震観測のテレメータ化など観測技術が著しく進歩した。この間、伊豆半島及びその周辺の地震活動の活発化などを契機として二度にわたる計画の見直しが行われ、地震予知の基礎研究の推進とともに、観測網の整備が一段と進み、東海地域における観測精度が著しく向上した。また、昭和52年の東海地域判定会の設置、昭和53年の大規模地震対策特別措置法の施行など、体制としては、東海地域の地震予知が実用化への一歩を踏み出すことになった。

第4次計画（昭和54～58年度）では、全国を対象とした日本列島の歪分布の調査の進展とともに、微小地震観測網間のデータ流通、データの自動処理、海域定常観測の開始等により、地震活動に関する研究が一段と進んだ。また、前兆現象の発現様式の多様性が明らかになるとともに、前兆現象を実験的に再現するなどの基礎研究が進展した。地震予知体制の整備も進み、観測強化地域の常時監視体制が強化された。

第5次計画（昭和59～63年度）では、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、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。地殻変動においては宇宙技術を利用した測地測量が導入され、地震においては観測網の整備、データの自動処理化の推進及び海域における定常観測の強化が行われ、前兆現象と考えられる地震に先行する異常現象の検知などにも成果が得られた。また、活断層の掘削調査により内陸地震の繰り返しの規則性に関する知見が得られた。破壊に伴う現象の実験的解明等の基礎研究も進展した。地震予知体制においては、データ収集・処理体制が整備され、「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強化が進んだ。

第6次計画（平成元～5年度）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推進を図るとともに、宇宙技術を利用した測地測量など新技術の開発に重点を置いた点にその特徴がある。地殻変動においては、測量の高度化と効率化が進み、

データ処理技術の進展によって、プレート境界地震の非地震性滑りを示唆する歪の異常変化が検出された。地震においては、観測網の整備・高精度化によって地震活動の検知能力が向上し、そのデータは広域の3次元地下不均質構造の解明にも大きく貢献した。古地震調査に考古学的手法が導入され、過去の地震活動に関する新しい知見が得られた。岩石破壊実験等の基礎研究では、地震の破壊過程や発生機構の理解が深まった。地震予知体制としては、テレメータ化の推進と即時処理システムの整備が進み、全国的な地殻活動を常時把握する能力が向上した。また、全国の地震観測業務の強化やGPS（汎地球測位システム）観測の高精度化のための施設整備も行われた。

第7次計画（平成6～10年度）は、地震予知の手法を確立し精度を高める観測研究において、「地震発生のポテンシャル評価」を項目として取り上げたことが特徴といえる。しかし、平成6年度には、日本は度重なる大地震に見舞われ、平成7年1月に発生した兵庫県南部地震では、阪神・淡路地域に甚大な被害が及んだ。この地震を契機として第7次地震予知計画の見直し建議が出され、地震発生のポテンシャル評価を目指す観測研究や活断層に関する調査研究を一層推進し、地震情報を社会に還元する機能の強化及びこれに対応する体制の整備を行うこととした。第7次計画の成果は以下のようにまとめられる。

（地震予知の基本となる観測研究）

地殻変動観測については、日本列島を数十km程度の観測点間隔で覆う全国的なGPS連続観測網の構築が進み、迅速かつ的確な情報が得られるようになった。地震観測については、兵庫県南部地震後に阪神地域の観測が強化された。また、データの気象庁への一元化が進められ、地震防災対策特別措置法の趣旨に沿って、その処理をするシステムの整備が行われると同時に、全国を高密度で覆う高感度及び広帯域地震観測網の整備が開始された。大学は、平成7年度より地震データ伝送を地上回線によるテレメータ方式から主として衛星通信を利用した方式に転換するとともに、平成8年度には海底ケーブル方式の地震津波観測を三陸沖で開始した。このような状況の下で、震源決定精度が向上し、2重深発地震面の幾何学的形状などが精密にわかるようになった。地磁気観測関連では、定期的な測量及び連続観測が継続して行われるとともに、下部地殻や断層破碎帯の電磁氣的構造が明らかになった。また活断層調査においては、全国にわたる主要活断層の活動履歴調査や沿岸域における活断層・活構造分布の調査が推進され、糸魚川－静岡構造線活断層系等については、長期的な地震発生可能性の評価が地震調査研究推進本部の地震調査委員会によって行われた。

観測強化地域においては、体積歪計の改良更新とともに、海底地震観測、地殻変動連続観測等も継続して実施された。東海地域については、地震観測、GPS観測等からプレート境界の幾何学的形状や地震活動の詳細が明らかになると同時に、それらを解釈する手法にも大きな進展が見られ、地殻変動についての予測研究が進められた。南関東地域では、VLBI（超長基線電波干渉計）とSLR（人工衛星レーザー測距）による首都圏広域地殻変動観測施設が完成し、数mmの精度で地殻変動を連日捉えることに成功した。また首都圏では、2000m級深層地震観測施設及び相模湾の海底地震観測施設の整備が進んだ。伊豆半島東部の群発地震については、各種観測の成果が総合的に利用され、地殻活動の推移

についての新しい知見が得られた。

(地震発生ポテンシャル評価のための観測研究)

海域の地震探査によって、海底微小地震活動及び地殻構造の詳細が明らかになった。またGPS観測によってフィリピン海プレート、ユーラシアプレート、北米プレートの相対運動とともにグローバルなプレート相対運動が求められた。地震予知研究機関による兵庫県南部地震の総合的調査では、断層面に沿った余震分布とその時間変化が求められた。さらに、震源域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、地下に潜在する断層構造が明らかになった。また、日光・足尾地域における高密度アレイ観測では、地殻内地震波反射体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。これらの観測研究は、地震発生の際の理解、特に地殻内不均質構造の理解に大きく貢献した。

(地震予知の基礎研究と新技術の開発)

岩石破壊実験の成果として、滑り速度・状態依存摩擦法則に関する理解が深まった。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・透水係数等が明らかになった。また、海底地殻変動の観測手法に関する開発が開始された。地下深部における観測手法の開発として、新方式の地殻活動総合観測装置が考案され、実用化しつつある。GPS解析手法の改良やSAR（合成開口レーダー）の有効性の確認など、宇宙技術利用の高度化にも進展があった。

(地震予知のための組織・体制の整備)

兵庫県南部地震を契機として地震予知に関する組織・体制の大幅な変更と拡充が行われた。国土地理院では、関東・東海地域に引き続き全国的なGPS連続観測施設の整備が進み、これらが統合されて全国GPS連続観測システムとなった。また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制が整った。また研究体制の整備として、地理地殻活動研究センターが設置された。気象庁では、本庁地震火山部に地震情報企画官、東京を除く各管区气象台に地震情報官及び地震火山課、沖縄气象台に地震火山課が設置され、「地震活動等総合監視システム」の改良・更新を行ったほか、「地震津波監視システム」の改良・更新に着手した。海上保安庁水路部では、地震調査官が設置されるとともに、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した。工業技術院地質調査所では、活断層・地震予知特別研究室及び地震地質部が設置され、京阪神を始めとする地域に地下水観測を中心とする総合観測施設が展開された。防災科学技術研究所は、南関東地域の微小地震観測網の充実を図り、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装置の整備を進めた。通信総合研究所では、首都圏広域地殻変動観測網が完成した。また、大学では、東京大学地震研究所及び京都大学防災研究所を全国共同利用の大学附置研究所に改組するとともに、衛星テレメータ方式による地震データ伝送装置を導入して観測能率の向上、非常時の観測及び機動観測の強化を図った。

2. これまでの地震予知計画の総括的評価

これまでの地震予知計画は調査観測を主体として進展し、観測体制が整備されてきた。地震の発生場所や規模については、地震活動の空白域や静穏化現象の概念が提唱され、来るべき地震の予測に成功した例もある。地震の発生時に関しては、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に関する調査が精力的に行われ、プレート境界地震と内陸地震の繰り返しの時間間隔について多くの知見が得られた。しかし、発生時を精度よく予測するために必須である前兆現象については、多くの報告があるものの、その発現様式は複雑多様であり、その多様性の中に系統性が見いだせるほどにはデータが蓄積していない。

一方、日本列島の温度場と応力場の3次元的不均質性、地震の発生を支配する地殻の強度・流動特性と応力・歪状態の不均質分布、地震破壊の発生と成長などに関する理解が進展するなど、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大きな成果が得られた。その結果、地震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という具体的目標への展望が開けてきた。さらに、日本列島において、地殻内部の不均質性と状態のゆらぎに着目することにより、地震発生の直前段階にある場所を検出し、地震発生までの地殻活動の推移を監視できる可能性もでてきた。例えば東海地域においては、種々の観測研究成果に基づいてプレート沈み込みに関するシミュレーションが行われ、その結果を、実際の観測データの異常の検出や解釈に役立てるなど、常時監視体制に組み込む努力が既に始められている。

本審議会が昨年6月に報告したレビューでも評価されているように、このような地震発生場の理解に基づく予測という視点からは、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、地震予知計画から得られた成果として高く評価できる。

3. 今後の展望

地震予知が難しいのは、地震が応力・歪状態の突然の変化を伴う突発的・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し、その予測は一般に極めて難しい。しかし、予測科学の分野では、突発的で偶然の発生ともみなされてきた現象を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す努力が始められている。このようなことから、今後の地震予知のための計画においては、予測科学的視点を重視していく必要がある。

地震に関わる様々な地殻活動の発生や推移は、地殻の力学的・熱的構造の不均質性と応力・歪状態のゆらぎに強く依存していると考えられるので、これらの把握が様々な地殻現象の予測のための手がかりとなるであろう。このようなアプローチは、地震予知の実現に向けて次のような新しい方向性を示している。すなわち、(1) 日本列島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（応力・歪など）のゆらぎを把握し、(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し、(3) その理解に基づいて地殻活動の推移を予測し、(4) その実績の積み上げ

により地震発生を予測する。このアプローチは、地殻全体にかかるテクトニックな力が地殻内にどのように配分・再配分されるかという視点から地殻活動を捉え、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しようとするものである。このようなアプローチにより、「いつ」、「どこで」、「どの程度の規模の」という3要素のそれぞれの予測誤差を小さくしつつ、防災と災害軽減に寄与することを目指すべきである。

したがって、これからの計画においては、地殻構造（特に強度）の不均質性を明らかにし、応力・歪状態のゆらぎを常時把握するための観測研究が必要となる。その結果、応力の高まっている場所を強度との兼ね合いにおいて特定することが可能となるであろう。このような観測研究を推進するには、大学及び関係機関がその機能に応じて適切に役割を分担し、密接な協力・連携を図ることが重要である。地震調査研究推進本部（地震防災対策特別措置法により平成7年発足）のもと、関係省庁が進めつつある基盤的調査観測に加えて、これまでの学術的・技術的成果を土台にした観測研究体制の整備を一層進めることにより、地震予知の実現に向けた新しいアプローチによる観測研究の推進を図るべきである。

Ⅱ. 計画策定の方針

1. 地震予知推進の基本的考え方

地震の発生を高精度に予測するためには、(1) プレート運動に起因する広域かつ長期にわたる地殻活動の理解に基づいて、地震発生直後から次の地震発生に至るまでの応力蓄積の過程（地震発生準備過程）の進行状況を把握し、(2) 応力が十分に蓄積していながら未だに地震が発生していない状態（準備過程の最終段階）にある場所を検出し、(3) 最終段階において顕著となる応力再配分の過程を追跡することが重要である。さらに、これら一連の過程を地震発生場の理解と地殻現象の観測に基づいてモデル化し、その推移を逐次予測し検証していくことによって、地震発生予測能力を高めていくことが必要である。

今後の計画では、これまでに行われてきた地震発生場の理解のための観測研究の方向性を更に発展させ、地震発生準備段階に関するさらなる理解と、充実した観測網からリアルタイムで得られる地殻の状態と活動に関する情報とに基づいて、地震の発生とそれに至る過程を定量的に予測することを目指す。そのため、各地域における地震の準備過程を日本列島全体の活断層活動の歴史や現在進行しつつある歪分布変化と関連づけることにより、地震発生準備の最終段階にある地域を特定する。さらに、その地域で集中的観測を実施し、地震発生に至る一連の過程を定量的に予測・検証する。このようなプロセスを総合化したものとして、「総合予測システム」を構築していく。この過程においても、段階的に予測の実績を積み上げ、予測精度を向上させることによって、地震災害軽減への積極的な貢献を目指す。そのためには、到達度の評価が可能な具体的目標を設定し、それに向かって段階的に計画を推進することが必要である。

今回策定する計画（平成11～15年度）は、第7次計画までの成果を引き継ぎさらに発展させる次期計画としての役割を果たすとともに、このような新たな考え方の導入を図るため、「地震予知のための新たな観測研究計画」として位置付けることが適切である。その具体的目標としては、長期的な地震発生確率の推定を行うことによって、プレート境界地震及び内陸地震のそれぞれについて、日本列島とその周辺の各場所での地震発生準備過程の段階の把握に努める。さらに、基盤的な観測網等によって明らかにされる地殻活動の様相とこの準備段階を関係づけることにより、地震発生の予測精度を向上させる。また、GPS等のデータを用いて地殻変動予測モデルを構築し、数年後の状態予測を試行するとともに、実際の観測データと比較することによって予測の精度を評価する。地震発生準備の最終段階にある場所での集中監視に関しては、観測体制の整備が進んでいる東海地域を中心とする広い地域において総合的な観測を行うことにより、直前現象の検出とそのメカニズムの解明並びに地震発生予測の定量化に努める。

これらの目標を達成するために、(1) 地震発生に至る地殻活動の全過程と、その過程に伴って現れる種々の地殻現象の発生メカニズムを解明するための総合的な観測研究、(2) 絶えず活動を続ける地殻の状態を常時把握し、地殻活動の現状を評価する「地殻活動モニタリングシステム」を高度化してその推移予測につなげるための観測研究、(3) 常時観

測網からのデータに基づいて地殻活動を定量的に予測するためのシミュレーション手法の開発及び地殻活動の一連の過程で発生する地殻現象を高精度で検出するための観測技術の開発、を推進する。さらに、これらの観測研究を効果的に推進して地震災害軽減に寄与するために、(4) 地震予知に関する観測データの流通体制の確立、研究観測プロジェクトを立案・実施するための広く開かれた仕組みの整備、災害軽減に関する社会の要請を本計画に積極的に取り入れる仕組みの構築及び本計画に関する総合評価体制の確立等を図る。

2. 本計画の基本方針

前記の基本的考え方に基づいて、次により本計画を推進するものとする。

(1) 地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究の推進

地震発生に至る地殻活動の全容を把握し理解するため、①プレート運動に起因する広域かつ長期にわたる応力場とその形成メカニズムを解明し、②地殻及び上部マントルの不均質構造によって地震発生領域に応力が集積していく地震発生準備過程の進展の程度を評価し、③地震発生準備の最終段階にある場所で生起する地殻現象を実測した上で地震発生に至る過程の進展を予測し、④地震発生に伴う地震動の解析によって地震と震源近傍での不均質構造との関係を解明する、という筋道にそって、各局面での研究の進展を図る。

(定常的な広域地殻活動)

プレートの定常的な運動による広域かつ長期にわたる応力変動を把握するため、VLBI、GPS、SLR等の観測により、プレート運動を精密に決定する。プレート間の結合の強さ(カップリング)を支配する要因である境界域の不均質構造を、海域での地形調査、地下構造探査や地震観測によって明らかにする。さらに、内陸部へ応力がどのように伝達するかを知る上で必須となる列島内部の不均質構造の解明に向け、電磁気構造探査、制御震源構造探査、高密度地震観測を実施する。活断層調査等によって地質時代にわたる大地震の繰り返し履歴に関するデータを収集・解析することにより、長期的な地震発生確率の定量的な推定を行う。

(準備過程における地殻活動)

地震発生領域での応力蓄積過程(地震発生準備過程)の段階を評価するための基礎として、活断層近傍での詳細な物性、温度、含水率等の分布の不均質性を調査する。活断層の滑り特性は、断層を構成する岩石、温度圧力状態、水分量によって変化し、これが地震発生域での応力集積に重要な役割を果たすと考えられるので、滑り特性を支配する岩石物性を室内実験等により明らかにし、観測から得られる情報との比較を試みる。太平洋側プレート境界地震と陸域の地震のそれぞれについて、適切な地域を選定し、高密度GPS観測、地震観測、地下水観測、電磁気観測等により、想定震源域周辺での変形過程や応力蓄積の

ゆらぎの検出を試みる。地殻内の応力の直接測定は今後の計画進展のために重要であり、高感度地震観測による微小地震の発震機構解調査に基づく応力推定と併せて、その推進を図る。

(直前過程における地殻活動)

地震発生準備過程の最終段階では、局所的な応力の解放と集中が起こり、それに伴って様々な物理・化学過程が活性化すると考えられている。これらの源は局在し、信号も微弱であることが予想される。そこで、地震に先行する断層面上の滑り、地殻流体の移動、微小クラック群の発生現象に着目し、さらに対象とする領域を断層の下端付近等に絞って、力学的及び電磁気学的変動の集中観測を実施することにより、直前過程のモデルを構築しその妥当性を検証する。地下構造の時間変化の高精度観測が必要なことから、精密制御震源（アクロス）を用いた連続または繰り返し観測を実施する。これまでに報告されている様々な地震前駆現象に関しては、その発現メカニズムと地震直前過程との関連を明らかにするための実験的及び理論的研究を推進する。

(地震時及び地震直後の震源過程と強震動)

地震波の解析によって地震時の滑りの進展過程（破壊過程）を把握し、さらに、GPS等の地殻変動観測データの解析により地震時・地震後の滑り分布を明らかにする。こうして、地震発生域の強度や応力の不均質分布など、地震発生前の震源域近傍の状態の再現を目指す。このような地震波の精密解析により、震源過程と媒質の不均質性による強震動発生メカニズムの解明が期待される。また、地震時の変動だけでなく、地震後のゆっくりとした変動や余震の観測による地震後の応力調整過程の研究も、地震サイクルの理解とモデル化のために重要である。特にシミュレーション的手法を取り入れ、このような研究の定量的な評価を行う。

(2) 地殻活動モニタリングシステム高度化のための観測研究の推進

地殻活動の全過程の理解を通して地震の発生を予測する「総合予測システム」の構築のためには、まず日本列島規模で地殻の状態と活動を常時把握し、各地域での地震発生準備段階の進行状況を評価する「広域地殻活動モニタリングシステム」を整備して、その高度化を図ることが不可欠である。このシステムはまた、地震発生準備過程の最終段階にあると考えられる場所を選び出すという役割をもつ。このようにして選び出された特定の地域では、密度の高い観測網を配置することによってそこでの地殻活動を常時監視し、地震発生に至る過程を逐次把握してその推移予測につなげるため、「特定域地殻活動モニタリングシステム」を充実し、その高度化を推進する。

(広域地殻活動モニタリングシステム)

地殻活動の推移を予測するためには、地殻の状態と活動を直接または間接的に反映する物理・化学量を、日本列島規模で均質かつ高密度に観測し、そのデータが「総合予測システム」に常時入力されることが不可欠である。このためには、現在、関係各機関により

運用されている既存の調査・観測及びデータ処理の機能を高度化し、有機的に連携させ、あるいは必要な機能を追加し、全体として、列島規模で地殻の活動状況を高度に把握診断することを可能とする「広域地殻活動モニタリングシステム」を構築する必要がある。具体的には、現在進められつつある基盤的調査観測を軸として、その実現を目指す。このシステムから提供されるべき具体的情報は、列島規模での①地殻活動の現状、②過去の地震発生とその繰り返しの履歴、③応力・歪蓄積過程、④強度・変形特性、に関する情報であり、これに必要な調査・観測研究を推進する。

(特定域地殻活動モニタリングシステム)

地震発生準備の最終段階にある場所で行っている直前過程を捕捉して、地震発生の予測に結びつけるためには、想定震源域とその周辺に高密度諸観測網を配置し、「特定域地殻活動モニタリングシステム」を導入することが必要である。特に観測強化地域に指定されている東海地域においては、想定震源域の周辺域に常時監視観測網を拡大するとともに、地殻活動の現状把握と評価の機能の一層の向上を図って、予知の確度を高めるための基盤を固める必要がある。そのためには、「(1)地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究」と密接な連携を図ることも重要である。

(3) 地殻活動シミュレーション手法と観測技術の開発

地震発生に至る地殻活動の全体を把握し、地震予知の精度を向上させるためには、観測から得られる膨大なデータを総合的に活用して地殻活動の現状を把握すると同時に、その推移を予測するための大規模シミュレーションの手法を開発することが必要である。また、現在不足している地殻深部や海域での精度の高い情報を得るためには、新しい観測技術の開発も不可欠である。

(地殻活動シミュレーション手法)

日本列島での地殻活動の諸過程は、空間的、時間的に互いに密接に関連しているので、本来は統一的に扱うべきものである。しかし、一つの枠組みの中でのモデル化は将来の課題とし、本計画では、中長期・広域の地殻活動を対象とする「広域モデル」及び地震発生準備過程の最終段階及び地震発生・波動伝播過程を対象とする短期・特定域の「特定域モデル」の構築を目標とする。広域モデルでは、主としてGPS全国観測データを用い、地殻変動シミュレーションモデルを構築する。さらに、このモデルにより数年後の予測を行い、その予測誤差の評価を行うとともに、観測、実験へのフィードバックを目指す。特定域モデルとしては東海地域に焦点を絞り、地殻活動のシミュレーションモデルを作り上げる。

(観測技術)

大地震発生の準備過程及び直前過程で起こる様々な現象を、物理的・化学的プロセスの理解を通して的確に把握するためには、計測技術の開発と高度化が欠かせない。GPSデータ解析における大気補正法の高度化を中心とし、SAR、VLBI、SLR等を含めた

宇宙技術の高精度化を図るとともに、GPSと音響測距を組み合わせた海底地殻変動観測を中心とする海底計測技術の開発、断層下部等の地殻深部で起こっている現象を高精度で検出するための計測技術の開発と高度化等を推進する。

(4) 本計画推進のための体制の整備

関係機関相互の密接な協力・連携のもとに計画を効果的に進展させるための実施体制や評価体制の確立等を図る。また、データ収集・処理体制の充実、人材の養成と確保、火山噴火予知研究との連携、国際協力等を推進するとともに、基盤的調査観測や特定の地域での集中観測により得られた資料など、地震予知に関する資料の流通体制の確立を図る。

Ⅲ. 計画の内容

計画の内容については、上記の基本方針に沿って、関係機関がそれぞれの役割に基づき、これまでの観測研究の蓄積や持てる能力を踏まえつつ、分担するとともに、各実施事業の目的や性格等に応じて連携・協力を図る。

1. 地震発生に至る地殻活動解明のための観測研究の推進

地震発生の原因であるプレート運動はかなり精確に実測されるようになってきた。しかし地震発生予測のためには、プレート運動に起因する応力がプレート境界や地殻内部にどのように再配分され、相互に作用するかといった視点が重要であり、広域と特定域、長期と短期とを合わせて理解する必要がある。このため、日本列島にわたって地質学的スケールからリアルタイムスケールまで様々な時間スケールで、応力、歪の蓄積と解放に関する情報を収集・分析し、それらの総合化・体系化を図る。また、応力の蓄積とともに地震発生準備がどのように進むのか（これを地震発生準備過程と位置づける）を解明するため、活断層や想定震源域にできる限り近づいて観測研究を実施する。これらを結びつけることにより、地震発生の最終段階にある場所を予測するための基礎を築く。

このような地震発生準備過程の最終段階では、何らかの前駆現象が進行し始めることが予想される（これを地震発生直前過程と位置づける）。その大きな拠り所は、地殻構造と応力分布における不均質性である。これらは地震発生の複雑さや多様性の根源であり、地震予知を困難にしている大きな要因である反面、こうした不均質性のゆえに、前震活動を含む地震活動の活性化や、それとは逆に静穏化といった現象が現れると考えられる。特に、断層面上の不均質性の解明は地震予知を実現する上で重要な課題となる。

このような一連のプロセスを理解し、各段階での具体的観測結果を「総合予測システム」に組み込むことにより、地震の短期予測への展望が開かれる。しかし、地震の発生間隔は一般に非常に長いことから、例えば、短期予測に直接かかわる直前過程を、地震発生準備過程の99%を過ぎた段階と仮定したとしても、その期間は1年あるいは場合によっては10年以上にもなることに留意しなければならない。

(1) 定常的な広域地殻活動

日本周辺のプレート境界の位置や性質については、日本海溝など理解が進んでいるものの他に、日本海側の境界など未だ解明に至っていない部分がある。このようなプレート境界部分に対しては、まずその位置を確定し、その性質や変形速度などを解明する必要がある。プレート境界での応力、歪蓄積過程については運動学的な理解ができており、プレート間の結合の強さ（カップリング）は境界上で空間的に一様でないことがわかっている。この空間分布を知ることは、境界で発生するプレート間地震のみならず、プレート内の応力、歪蓄積過程の理解のために必要である。さらに、プレート内部では、応力、歪蓄積過程が、その不均質構造に大きく支配されていると予想され、このような不均質構造を解明することが重要である。また、日本列島の変形は地質学的スケールで見れば定常的であ

り、その結果として地震が繰り返し発生する。長期的な観点から繰り返しの規則性と複雑性を解明することが重要である。

ア. プレート運動とプレート境界域の調査

国土地理院、通信総合研究所、海上保安庁水路部等は日本列島周辺でGPS、VLBI、SLR等の観測を適宜分担あるいは協力して実施し、プレート間の相互運動を決定する。

また、大学、防災科学技術研究所、気象庁は、広域かつ長期にわたる地震観測データを用いて、プレート境界の形状や物性を推定し、その不均質構造と地震活動の関係の解明を目指す。

海上保安庁水路部は、海洋におけるプレート境界域の微細な変動地形の解明のため、精密海底地形と音響画像の調査を行うとともに、地殻構造解明のために音波探査、磁気・重力探査を行う。

大学は、プレート境界、変動帯の構造及び歪速度の解明のため、地震観測、地殻変動観測を行う。

イ. プレート間カップリングの空間分布の把握

プレート境界面が固着していれば、そこでのプレート間相対運動の作用により、プレートの内部が変形する。

このことから、国土地理院、大学等は、プレート内部の変形をGPS等の地殻変動データを用いて捕捉することにより、プレート境界の固着部とずれを生じている部分とを推定し、プレート間のカップリングの空間分布の把握を目指す。

また、大学及び気象庁は地震観測と地殻変動観測によってプレート境界での急速なずれ（地震）とゆっくりしたずれとを推定する。さらに、人工震源を用いた探査により、プレート境界の状態の解明を目指す。

ウ. プレート内部の不均質構造の解明

大学は制御震源構造探査、高密度地震観測及び電磁気構造探査を総合して、島弧地殻の基本的な構造・物性を解明し、地震発生層下面の推定など、地殻内部不均質構造と地殻活動との関連性の解明を目指す。

気象庁は過去の地震観測資料と一元化された地震観測データを用いて、より詳細な地殻内地震帯の解明を行う。

また、大学及び各機関は広帯域MT観測によって各地域の電磁気構造を推定する。

エ. 長期的な地震発生確率の推定

日本列島の各地に対する長期的な地震発生確率の推定には、活断層調査・歴史的地震資料の収集・整理が不可欠である。

工業技術院地質調査所は活断層のトレンチ掘削調査等によって断層セグメントの連動破壊に関するデータの取得に努め、規模予測の高度化を目指す。

大学はトレンチ調査に加え、地層抜き取り装置や湖底及び海底のピストンコアリング

等の各種地層掘削調査、変動地形の解析及び史料地震学調査等によって、古地震の震源モデルを推定し、単に時期だけでなく変位量を考慮した地震繰り返し発生モデルの高度化及び1(4)の検討に資する断層破壊モデルの構築を目指す。

気象庁は、関係機関と協力して過去の地震記録紙の一括保管と電子媒体化、地震事例のデータベース化を進めて、長期間の地震資料を提供し、大学は地震活動のデータベース化によって活動度の評価手法を検討する。

大学及び各機関は協力して、これまでの観測結果と2(1)ウで述べる活断層調査結果とを併せ、全国各地の長期的な地震発生確率を定量的に推定し、1(4)の成果も活用して地震災害軽減に資する。

(2) 準備過程における地殻活動

プレート境界で発生する巨大地震はもちろん、内陸の大地震についても、その準備過程の解明には、プレート間カップリングの時間的変化を検出することが重要である。このため、プレート境界地震発生時のプレート間相対運動と変形、地震後のゆっくりとした変動、プレート間のゆっくりとした相対運動(スローイベント)を観測することにより、カップリングの時間的変化に関する研究を推進する。また、これが内陸の特定の活断層周辺における応力蓄積に及ぼす影響を解明する。さらに、地震発生後に断層面の強度が回復していく過程、次の破壊限界に達するまでの応力の蓄積過程を観測し、特に断層面及びその周辺の変形や物性がどのような時間的変化を示すかを明らかにする。また、活断層の周辺には流体が存在し、その流動が大規模な断層の運動つまり大地震の発生に関与しているとの理解に基づき、地殻深部における高温・高圧の流体の移動に伴う岩石の変成あるいは力学的性質の変化や間隙水圧の変化などが引き起こす塑性変形及び地震活動の変化の検出を目指す。

ア. プレート間カップリングの時間変化の検出

大学は稠密GPS観測、応力変化観測、絶対重力観測、地殻活動総合観測線の強化等によって、プレート境界の弾性及び非弾性変形や、構造及び地震活動の時間変化を検出する。また、深部ボーリング孔による精密地殻変動観測は特に重要であり、プレート間地震発生予測のためにも不可欠である。

大学はまた、三陸沖及び伊東沖におけるケーブル式海底地震観測とその近傍での海底地震臨時観測を組合せて、プレート間カップリングの時間的空間的変動を検出する。また、浮上式海底地震計による観測と地磁気観測に基づき、プレートの構造と運動との関連性を解明する。

イ. 地震多発地域での応力蓄積過程とゆらぎの検出

気象庁及び防災科学技術研究所は、東海地域等における地震や歪、傾斜などの地殻活動観測結果に基づいて、震源域における応力状態の変化を推定する。

大学等は地殻歪の局所的集中を検出するため伊豆・東海地域等での地球電磁気観測を行う。また地域的な異常変化を捉えるため、大学は関係機関と協力して地磁気永年変化異

常の観測を行う。

大学等は、地震多発地域において高密度地震観測、稠密GPS観測、応力測定等を実施し、地震発生場の特徴や、応力・歪の蓄積機構を明らかにする。また必要に応じて、大深度ボーリングによる地震、歪、水位等の観測を実施し、応力の蓄積過程を解明する。

ウ. 断層面の構造・物性及び活断層周辺の調査研究

工業技術院地質調査所は、近畿、長野県西部、岐阜県東部等の活断層周辺に設置した歪計、地震計等により、歪蓄積過程を把握する。気象庁は、琵琶湖北方の活断層周辺に設置した歪計、傾斜計等により、歪蓄積過程を把握する。

大学及び工業技術院地質調査所は、摩擦実験により断層運動の物理・化学過程の解明と摩擦構成則の定式化を目指す。

防災科学技術研究所は、根尾谷・阿寺・跡津川断層周辺及び長野県西部地域でボーリング孔を用いた地震観測や電気伝導度調査、コア解析などを行うほか、全国の主要活断層周辺で高密度の地震・地殻変動の移動観測を行い、断層構造や応力場を推定する。また、大深度ボーリングにより断層帯の特徴を推定する。

大学等は、ボーリング孔内での観測に加えて、地震・測地・電磁気等の各種手法による断層調査を実施し、応力集中、断層面上の固着域とクリープ域（固着せずにズルズル動いている部分）の分布と性質、深部クリープの有無、地下流体と地震活動の関係、プレート境界のカップリングと内陸の応力・歪の関係を調査する。また、ボーリング孔内諸観測、精密制御震源による観測、注水試験、地震観測などにより、野島断層の強度の回復過程を追跡する。

エ. 構造の不均質及び地殻流体に関連する調査研究

大学は、稠密地震観測に基づく地震波速度及び減衰構造調査に、重力観測、電磁気観測、熱構造調査、GPS観測などを組合せ、流体の関与を含む地殻不均質構造と地震発生準備過程との関連性を調べる。特に、断層末端部の構造的特徴を明らかにして、地震の規模予測の高度化を目指す。また、地震活動が活発な伊豆半島などの地域で、ボーリング孔の利用を含めた地震・電磁気集中観測、重力観測、SARデータ解析などを行い、地震波の反射特性や比抵抗の時間的変化などから、反射体を充填していると思われる地殻流体の挙動を把握するとともに、流体が地震発生準備過程に果たす役割を明らかにする。

(3) 直前過程における地殻活動

地震の前駆現象に関する研究は、その検出の試みも含めて現在は基礎研究の段階にあり、地下の現象ばかりでなく、大気・海洋圏や生物圏さらには電離圏での現象までもが地震に先立って発生したと報告されている。これらを以下のように分類する。(1) 応力の不均質な蓄積過程の直接的な結果として出現する力学現象（例：プレスリップとそれに付随する地殻変動や地震活動の変化）。(2) 応力蓄積の最終段階で活性化される物理・化学過程（例：地殻岩石のミクロな破壊・流動と地殻流体の移動及びそれらに付随する地球化学的・電磁気学的現象）。(3) 主として(2)によって引き起こされる地表及び

上空の現象（例：生物異常行動やFM電波の異常伝播）。これらは因果関係からすれば、概ね（1），（2），（3）の順に進行するが，（1）と（2）の間には相当な相互作用があると考えらるべきである。（3）に関する研究は未だ萌芽的な段階にあり，基礎研究としても事業の形で推進するほどに成熟していない。したがって，ここでは「前駆現象として発現しやすい現象を見極め，その発現機構をモデル化し，検出手段を高度化する」ことを目標とする。

ア．前駆現象の発現機構に関する観測研究

本項目では，上記分類（1），（2）のそれぞれに対応して，①断層下端の応力集中過程に注目した観測研究と，②地殻流体が関与する現象に注目した観測研究を実施する。

①断層の固着域とクリープ域との境界に生じる応力集中がプレスリップ等の前駆現象を活性化し，ついには固着域の破壊（地震）をもたらす可能性があることから，ボーリングによりこのような境界にできるだけ接近して，温度や応力などの時間的変化と，進行しつつある物理・化学過程との関連を，多項目観測により明らかにする必要がある。固着域とクリープ域との境界としては，海溝型地震断層の下端（リソスフェアとアセノスフェアとの境界）や，内陸型地震断層の下端（上部地殻と下部地殻との境界）が知られており，各機関は協力して，このような境界が浅くかつ地震が多発している場所を選び出し，効率的な観測研究を集中的に行うことが重要である。

②固相・液相・気相複合系における異相間の相互作用が競合して，マクロなスケールで地震の前駆現象を出現させる可能性の検証を目指し，伊豆半島などの群発地震域における地震学的・測地学的・電磁気学的・地球化学的観測研究を行う。本研究は，工業技術院地質調査所，防災科学技術研究所，大学が協力して実施し，特に人工ノイズを軽減するため，ボアホール観測あるいは稠密アレイ観測を重視する。

イ．前駆現象検出のための試験観測

ここでは，前駆現象の検出に有望で既にプロトタイプの装置が開発されており，今後5年間で相当な進歩が見込まれる海底地殻変動観測と精密制御震源の二つの技術について，大学等は改良のための試験観測を実施する。

①海溝型巨大地震の前駆現象検出のための海底観測では，内陸地震と比べてはるかに大規模であることが期待される前駆現象の検出を目的として，3（2）イと併せ，試験観測を行う。

②地下構造変化検出のための常時モニタリングにより，微弱な（力学的・電磁気学的）構造変化を検出し，地下で進行する物理・化学過程の実態解明を目指して，3（2）ウと併せ，試験観測を行う。実施にあたっては，上記アの観測研究と並行して，同一場所で行うことが効果的である。

ウ. 前駆現象の素過程に関する実験的・理論的研究

地震の破壊が動的に進行するためには、ある臨界サイズの震源核の存在が理論的に予測される。この震源核の性質と複数震源核同士の相互作用並びに震源核と流体との相互作用を明らかにするための実験的・理論的研究を進める。また弾性波照射による震源核検出の可能性について基礎的な実験を行う。これら実験的・理論的研究の結果を、鉦山における採鉦に伴う地震及び関連現象の観測研究を通して検証する。特に、震源核形成過程の観測可能性と地震規模依存性を重視する。これらは各大学が協力して実施する。

(4) 地震時及び地震直後の震源過程と強震動

大地震の複雑な破壊過程を詳しく調べることによって推定される断層面上の不均質な応力変化は、震源域及びその周辺の応力・強度の状態を評価することを可能にし、地震発生予測の基礎研究に貢献する。また、地震の破壊過程の複雑さについての予測や、震源域で生成される強震動の推定も可能にする。

ここでは、断層面の不均質性についての情報を蓄積し、その一般的性質と地域性とを抽出して、それらを総合することにより、震源域における強震動を予測するシミュレーション手法を開発する。

ア. 断層面の不均質性に関する研究

地震の記録を系統的に解析し、地震時の応力・歪の変化、断層面上の摩擦滑り特性の不均一分布を明らかにする。特に、滑り始めた所、大きく滑った所、滑らなかった所、地震後にゆっくりと滑った所、それぞれの分布と時間変化並びに各場所の摩擦滑り特性の特徴を明らかにする。データとしては従来の強震計や広帯域地震計の記録のほか、時間分解能を高めたGPS連続記録が有効である。解析の結果に基づいて、断層面の不均質性に関する情報を蓄積し、その一般的性質と地域性とを抽出する。本研究は気象庁、防災科学技術研究所、大学が協力して実施する。

イ. 震源域における強震動の予測に関する研究

上記の研究によって抽出された断層面の性質と滑り運動の性質とに基づいて、想定される震源域における強震動を予測するシミュレーター（プロトタイプ）を開発する。開発したシミュレーターを実際の地震の震源域における強震動予測に適用し学習させることによりその改良を重ねていく。予測シミュレーターの出力を社会に適切に提供し、また、工学の分野に活用できる仕組みを構築することにより、防災への貢献を図る。本研究は気象庁、防災科学技術研究所、大学が協力して実施する。

2. 地殻活動モニタリングシステム高度化のための観測研究の推進

「総合予測システム」により地殻活動の推移を予測するためには、地殻の状態と活動を直接または間接的に反映する項目について、日本列島規模で均質かつ高密度に観測を実施し、そのデータを常時入力することが不可欠である。これにより得られた予測結果を実

際の観測量と比較・評価することにより、システムの改良が図られる。「地殻活動モニタリングシステム」は、そのための観測データを提供する役割を担う。一方で、「総合予測システム」を高度化し予測精度を向上させるためには、地殻活動全体の理解を現在よりも格段に深める必要があり、それには、本モニタリングシステムにより提供される列島規模及び地域規模での応力や歪の時空間ゆらぎに関する情報等が不可欠となる。また、地殻活動の現状を常時把握・評価し、その結果を社会に即時的に提供することが防災対策の上で重要であるが、本システムはそれにも基本的な情報を与える。

(1) 広域地殻活動モニタリングシステム

現在、関係各機関により運用されている既存の調査観測システムを高度化し、有機的に連携させ、あるいは必要な機能を追加し、全体として、列島規模で地殻の活動状況を高度に把握診断することを可能とする「広域地殻活動モニタリングシステム」の整備が必要とされる。具体的には、現在進められつつある基盤的調査観測を軸にして実現していくことが考えられよう。そこから生み出されるデータは膨大な量となるが、重要なことは、これら基本となる情報が、地殻活動の常時監視を含め、様々な要請に対応する形で迅速に処理・解析され、広く有効活用されることである。そのためのデータ処理・流通体制の整備は急務である。

「広域地殻活動モニタリングシステム」から提供されるべき情報は、列島規模での①地殻活動の現状、②過去の地震発生とその繰り返しの履歴、③応力・歪蓄積過程、④強度・変形特性、であり、そのために有効な調査観測を列島規模で推進する必要がある。

ア. 広域地殻変動観測

日本列島の広域地殻歪の時空間変動は、地殻活動を予測する上で最も基本的な情報であり、詳細に把握する必要がある。

G P S連続観測は基盤的調査観測として位置づけられ、国土地理院により約25km間隔の電子基準点観測網が全国規模で整備されたが、今後とも観測網の整備充実を図ることが必要である。また、従来三角測量や光波測量が行われてきた一・二等三角点においてG P S測量を定期的に行う。これは山地等における観測空白を補うという点で特に有効である。

海上保安庁水路部は、海域の地殻変動の検出を目指して島嶼・岬等でG P S連続観測を実施するとともに、離島・岩礁等においても定期的なG P S観測を行う。

G P S観測では上下方向の測定精度が十分ではなく、従来から行われてきた水準測量や潮位差連続観測と同程度の成果を得ることは難しい。したがって、国土地理院は一等水準点において水準測量を定期的を実施する。また、各機関は協力しつつ全国の検潮所においてG P S連続観測と合わせて潮位の連続観測を行う。

イ. 広域地震観測

地殻活動の現状を評価する上で、地震観測から得られる地震活動の状況は最も基本的な情報の一つである。また、地殻の応力に関する情報を抽出する上でも、地震観測は重要

な役割を果たす。

陸域における高感度地震観測・強震観測・広帯域地震観測は基盤的調査観測として位置づけられ、防災科学技術研究所により、高感度地震観測及び強震観測は15～20km間隔、広帯域地震観測は約100km間隔での全国的な観測網整備が進められている。また、気象庁等の既存の観測網については、基盤的観測網の構築と整合を図りつつ、継続して観測網の維持及び整備に努める。特に大学は、特定域における微小地震観測の整備に重点を置きつつも、広域観測にも不可欠な観測点については、基盤的調査観測に協力する。

海域における定常的な地震観測は、現在その実施が一部海域に限られている。基盤的調査観測の一環として、ケーブル式海底地震観測施設の整備が海洋科学技術センターにより進められているが、海域での地震検知能力を上げるため、大学等の他機関と協力し、その推進を積極的に図る必要がある。

ウ. 活断層調査・古地震調査

過去の地震発生とその繰り返しの履歴は、長期的な地震発生の可能性を評価し、「総合予測システム」を実現していく上で不可欠な情報であり、個々の断層に関するより詳細なデータを抽出する努力が必要である。

陸域における全国の主要な活断層については、その調査が基盤的調査観測として位置づけられ、各機関及び地方自治体により実施されている。工業技術院地質調査所は、主要活断層についてトレンチ調査等による活断層調査に加え、液状化跡・津波堆積物調査等の古地震調査を実施する。国土地理院は、活断層の詳細な位置把握等のため地形解析による調査を行う。

海域における調査としては、日本周辺海域において海上保安庁水路部は海底地形調査等、工業技術院地質調査所は海底地質調査等を行い、海底における活構造の分布を把握する。さらに、両機関は沿岸海域において音波探査・堆積物調査等による活断層調査を実施する。また工業技術院地質調査所は、海域における古地震調査として地震性堆積物の調査を行う。

エ. 地球電磁気観測等

地殻内の応力変化、温度変化、流体移動などに伴う地磁気変化の検出や地殻比抵抗構造の調査には、基準となる観測点における長期的に安定した地磁気観測データの取得が不可欠である。このため、各機関は協力して基準観測点の整備と機器更新を図る。また、全国にわたる地磁気連続観測及び地磁気測量や重力測量を実施する。

オ. 地殻構造調査

地殻内部の強度や変形特性の時空間分布は、「総合予測システム」を高度化する上で欠かせない情報であるが、これらを直接測定することはできない。地震波速度構造、比抵抗構造、温度構造等は、それらを間接的に反映すると考えられ、各機関は協力して人工地震探査、MT探査、地殻熱流量測定等による深部地殻構造調査を広域に実施することが必要である。

(2) 特定域地殻活動モニタリングシステム

ア. 東海及びその周辺地域

観測強化地域にあたる東海・南関東とその周辺地域では、プレート間巨大地震の予知に向けて、観測体制やデータのリアルタイム処理・解析能力を更に強化する必要がある。特に、巨大地震の発生準備過程の最終段階にあると考えられる東海地域では、防災上の重要性に鑑み、予知の可能性や予知の確度を一層高めるため、常時監視機能の充実を図る。

東海地域は、プレート間カップリング域が陸地の下にまで及び、震源域とその周辺の状態変化を陸域の観測網でも捉えることができる特殊な条件下にある。これを生かして、大学と関係機関は協力して、地震発生域周辺の応力と強度の空間的・時間的变化、特に地震発生に向けてのプレート間固着域の変化と地震発生直前の前駆的变化の捕捉を目指す。このため、観測網の配置を再検討して、観測の効率化及び拡充を図るとともに、各種データから応力や強度に関する情報を抽出する手法の開発・高度化を進める。また、プレート沈み込み過程の各種シミュレーションを行って、観測量との比較から、地殻活動のよりの確な把握に努める。

気象庁は、国土地理院との協力により、GPSデータの常時監視への活用を図る等、関係機関と協力して、観測網の一層の強化に努める。

国土地理院は、地殻変動の即時的検出と解析精度の向上を図るため、GPS連続観測及びGPSと水準測量を組み合わせた高密度3次元地殻変動測量を推進する。また、短期的・局所的な地殻変動を捉えるためのクラスター観測を行う。さらに、御前崎周辺において伸縮計・傾斜計・歪計・重力計による地殻変動連続観測を実施する。

国土地理院、気象庁及び海上保安庁水路部は、潮位差連続観測を実施するとともに、気象・海象の影響に対する補正方法の改良に努める。さらに海上保安庁水路部は、地殻変動監視のため、潮位の観測と組み合わせてGPS連続観測を行う。

防災科学技術研究所は、関東・東海地域における地震及び地殻変動の連続観測を継続し、微小地震のメカニズムや地震卓越周波数の変化、固着域周辺での傾斜変動等に注目して、地震発生の準備段階及び直前における状態変化を推定する手法の確立を目指す。

工業技術院地質調査所は、地下水等の観測を実施するとともに、データの質的向上を目指してその改良・高度化に努める。

通信総合研究所は、宇宙測地技術等の統合による信頼性の高い精密地殻活動モニタリングを行う。

大学は、伸縮計・傾斜計、光波測距儀、GPS等による地殻変動連続観測やラドン濃度、地下水位・水温等の地球化学・地下水観測を実施する。さらに、地殻応力場の変化とそれに伴う地震発生様式の変化を追跡し、前駆的地殻変動を検出するために、多成分小型ボアホール歪計による高密度地殻変動連続観測、海底地震観測、海底地殻変動観測、電磁気観測、精密重力繰り返し測定等の多項目観測を東海とその周辺地域で実施する。

大学、理化学研究所、防災科学技術研究所、気象庁、海上保安庁水路部等は、地電位差観測や地磁気観測、様々な周波数帯域での電磁波観測を行う。

大学及び関係機関は、摩擦構成則や境界条件を様々な設定した種々のモデルによるプ

レート沈み込み過程のシミュレーションを行い、関東地震・東海地震・東南海地震・南海地震の準備過程及び直前過程に関する研究を進める。

気象庁は、関係機関の協力を得て上記の観測・研究等の成果を常時監視機能へ組み込むことにより、東海とその周辺地域の24時間監視体制を更に強化する。また、観測成果を的確に発表・伝達する等、成果の社会への還元とその防災情報への活用に努める。

イ. その他特定の地域

大学及び関係機関は協力して、特定観測地域、群発地震の発生地帯、地震活動に顕著な活発化や静穏化が現れて観測強化の必要性が認められる地域等において、地震、地殻変動、電磁気現象、地下水等に関する多点・多項目観測を実施し、地震発生の準備過程や直前過程をモニタする手法を開発するとともに、必要な「特定域地殻活動モニタリングシステム」の構築を図る。

また、異常地殻活動が発生した場合に、データを効果的に取得して活動状況を迅速に把握し、社会に即時的な情報を提供する上で、機動的な観測は重要な役割を果たすので、各機関は協力しつつ、海域での観測も含めて地震やGPS等の機動観測を適時実施する。

3. 地殻活動シミュレーション手法と観測技術の開発

(1) 地殻活動シミュレーション手法

ア. シミュレーションモデルの開発

観測を通じて地殻の現在の状態と活動をリアルタイムで把握し、その情報に基づいて大地震の発生とそれに至る一連の過程を定量的に予測するためには、各機関が協力して、これまでに蓄積されたデータと知識を総合し、常時観測網からのリアルタイムデータを解析・同化しつつ、シミュレーションモデルを開発する必要がある。このためには、地殻の不均質構造や地殻内の種々の物性の分布などに関するモデルを共有し、列島規模及び特定の地域での常時観測データと照らし合わせてこうしたモデルを検証していくことが重要である。

日本列島での地震活動、地震サイクルを規定する諸過程は、空間的、時間的に互いに密接に関連しているので統一的に扱わなければならないが、それらの時間的・空間的スケールの著しい違いにより、現在の段階では一つの枠組みの中でモデル化するのは難しい。そこで、まず最初の段階として、中長期・広域の地殻活動を対象とする日本列島規模の広域モデルと、短期・特定域における地震発生準備の最終段階及び地震発生・波動伝播過程を対象とする特定域モデルとに分けて、シミュレーションモデルの構築を目指す。

本計画の期間には、広域モデルとしては、大学、国土地理院、防災科学技術研究所が協力して、過去100年間の地殻変動を説明するモデルを出発点とし、基本データとしてGPS観測結果を用いた地殻変動シミュレーションモデルを構築する。このモデルによって数年後の地殻変形状況を実際に予測し、その精度の評価を行うとともに、観測や実験へのフィードバックを目指す。一方、特定域モデルとしては、常時的な観測網が整備された東海

地域に焦点を絞り、気象庁を中心としてモデルの構築を図る。実際に予測シミュレーターを構築するためには、日本列島規模及び各地域規模で地殻及び上部マントルの弾性的・粘弾性的構造と主要滑り面の3次元形状及びその特性をモデル化することが必要である。列島規模での応力蓄積過程のシミュレーションモデルは、数年程度の解像度で数百年間の変動を把握することを目標とし、3次元構造調査及び断層物性の実測等の観測・実験的な研究の進展と歩調を合わせて、開発を進める。

イ. データ基盤の整備とデータ解析・同化システムの開発

上記のシミュレーションモデルを確定するためには、地殻及び上部マントルの不均質構造、プレート境界及びプレート内主要活断層の3次元形状、地形、重力異常、地殻変動、地震活動等に関する情報を統一的形式で整理した総合データベースを列島規模で整備することが必要となる。さらに、常時観測網からのリアルタイム・データを解析・同化するシステムの開発も必要である。広域データに関しては、GPSによる地殻変動データと地震活動データについて、国土地理院及び防災科学技術研究所が中心となって開発にあたる。特定域データに関しては、各種観測網の整備が進んでいる東海地域を当面の対象とする。そこでの常時監視的観測に加えて、海底での地殻活動観測等を通して、他機関の協力を得つつ気象庁が中心となってデータ解析・同化システムの開発を行う。

(2) 観測技術

ア. 宇宙技術利用の高度化

宇宙技術利用の飛躍的進展により、日本列島全域をほぼ均等に覆う画期的なGPS観測網が構築され、広域地殻変動の常時モニタが可能になりつつある。しかし、その観測精度は、地殻活動の詳細な把握には必ずしも十分ではない。特に、上下変動の検出精度を向上させるには大気補正法の開発が緊急の課題であり、不均質水蒸気分布による観測誤差の低減を図るGPS気象学の進展が望まれる。各機関は協力しつつGPS観測・処理システムの高精度化を推進する。また、GPSを利用して、地震の周波数帯域にせまる時間分解能を有する地動観測システムの開発に努める。これに加えて、国土地理院は受信機・アンテナの改良によるGPSデータの質の向上を進める。国土地理院及び宇宙開発事業団は、SARを利用する面的地殻変動検出手法の向上を図る。

通信総合研究所は航空機SARによる機動的な地殻変動検出技術の研究開発を行うほか、VLBI、GPS、SLRのデータの相互比較による地殻変動計測精度の向上を図る。

イ. 海底計測技術の開発と高度化

海底における地殻変動観測は、陸域に比べると精度がまだまだ不十分であり、これまでに以上に技術の進展を図る必要がある。特に、GPSと音響測距を組み合わせた海底測位システムの開発は急務であり、大学及び海上保安庁水路部は、陸上の基準点と船舶との相対位置を数cmの精度で決定するための基礎研究を始めとして、観測システムの実用化に向け研究開発を推進する。また、音響方式以外の海底測距手法の開発も行う。

海上保安庁水路部は音響信号を利用した海底測距計の高度化を図るとともに、海底における電位差計測システムの開発を進め、低周波帯域の電磁気現象の検出を試みる。

大学は、ODP孔を利用して行う海底孔内計測用の歪、傾斜計測システムの高度化を推進する。

ウ. 地殻深部における計測技術の開発と高度化

地震発生の準備過程及び直前過程を的確に把握するためには、地殻深部における観測が有効である。特に、歪、傾斜などの地殻変動観測、応力変化の観測、流体移動に伴う現象を検出するための電磁気観測や地球化学観測などが期待される。

大学及び動力炉・核燃料開発事業団は、精密制御震源の高度化を図り、地殻構造精密マッピングを可能とする技術の実用化を目指す。さらに大学は、ボアホール歪計を埋め込んだオーバーコアリング法による地殻応力測定法を実用化し、異なる深度での応力測定を行う。また、ボアホールを利用した電場・磁場・比抵抗計測システムを高度化し、断層深部における流体挙動の解明のための基礎研究を行うとともに、地殻深部の物質移動を調べるための高感度ヘリウム-3連続測定装置の開発を図る。

4. 本計画推進のための体制の整備

本計画の課題を達成するためには、全国的規模で実施される基盤的調査観測も含めた定常的な調査観測と、それらのデータの相互利用を前提として、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。そのため、大学及び関係機関がその機能に応じて調査観測及び研究について役割を分担し、密接な協力・連携を図るとともに、学界等の意見を勘案しつつ、本審議会地震予知特別委員会の下に常置の組織を設けて総合プロジェクトとして本計画をより効果的に推進する必要がある。また、外部の研究者を含めた評価体制の確立を図る必要がある。特に大学における観測研究については、全国共同利用研究所と各大学の地域センター等で構成されるネットワークを強化し、関連研究者が広く参加することが重要である。さらに関係各機関は、地震予知連絡会において地震予知観測研究に関わる情報の交換を一層緊密にし、かつ、そこでの討議を通じて、それぞれの観測研究の質の向上に努めることが重要である。また、「総合予測システム」、「広域地殻活動モニタリングシステム」及び「特定域地殻活動モニタリングシステム」の構築に当たっては、関係機関が協力・調整していくことが重要である。

以下の(1)～(4)については、これまでの予知計画により整備されてきたところであるが、本計画においても引き続き整備に努める必要がある。

(1) 地震に関する各種資料の広範な活用と保存

地震予知に関する大量のデータや研究成果など各種資料は、総合的、多角的に広く活用できることが、地震予知研究の進展及び地殻活動の「総合予測システム」の構築に不可欠であるとともに、周辺諸科学の進展に資することが期待される。さらに、これらのデータ

の公開や共有化と相互利用を推進する体制の整備も必要である。このため、地震予知計画発足以前のものも含め、地震予知に関する各種の資料のデータベース化や流通ネットワークの構築等により、これらを広く効率的に活用できるよう長期的視野に立って保存する体制の整備に努める。

(2) 人材の養成と確保

地震予知研究の進展や観測・監視手法の高度化、多様化等に伴い、本計画に基づいて推進すべき研究分野や観測・監視業務はますます増大している。本計画を強力に推進するためには、このような研究分野の拡大に対応するとともに観測・監視体制をより充実するため、研究者を始め地震予知関連の観測研究に従事する人材の養成・確保に一層の努力を払う必要がある。

(3) 火山噴火予知研究との連携

地震活動と火山活動は地殻及びマンツルの活動を通じて密接に関連している。地震火山現象を総合的に把握し、地殻活動のより正確な予測を可能とするよう、地震予知研究と火山噴火予知研究との一層緊密な連携を図る。

(4) 国際協力の推進

複雑で多岐にわたる地震現象の多様さに対して、できる限り多くの地震にかかわる情報を収集して地球規模での理解を深めることは、地震予知研究の基盤を確立する上で基本的に重要である。さらに、総合的プロジェクトとしての地震予知研究を推進するためにも、国際協力による共同研究の実施は不可欠である。また、地震災害の多い開発途上国等から地震予知研究・研修協力の要望も多い。このため、地震に関する観測データなどの情報の交換、シンポジウム、研究交流、共同研究、人材養成への協力等、多面的な国際協力を一層推進する。

参 考 资 料

用語解説

用語 / 意味
<p><アクロス> : Accurately Controlled Routinely Operated Signal System 制御震源の一種。定常運用によって地殻の活動を監視する目的で開発されている。</p>
<p><アセノスフェア> 上部マントルの低速度層からそのやや下まで（数百 km の深さまで）を占める、力学的にやや弱く流動しやすい層。岩流圏とよばれることもある。</p>
<p><アレイ> 複数の地震計を展開し、それらの記録を組み合わせ微弱な地震波を検出する観測方式。</p>
<p><液状化> ゆるく堆積した沖積層の砂質地盤に地震動が加わると、間隙水圧の上昇により砂の粒子と粒子の噛み合わせがはずれ、一時的に液状になり支持力を失う現象。</p>
<p><応力> 外力の作用で弾性体に変形すると、その内部には外力に対応したつりあいの状態が生じる。このとき、内部に生じる力を応力という。</p>
<p><応力調整過程> 応力の調整の過程</p>
<p><応力・歪蓄積過程> プレート等の運動により、来るべき地震の発生領域に応力や歪が蓄積されていく過程。</p>
<p><応力分布> 応力の分布</p>
<p><音響画像> 音波を用いて、海底地形を画像化したもの</p>
<p><音響測距> 音波を用いた位置測定法。</p>
<p><活構造> 第四紀後期に繰り返し活動している構造</p>
<p><活断層> 最近の地質時代に活動した証拠があり、今後も活動を繰り返し大地震を発生させる可能性があるると判断される断層。</p>

用語 / 意味

<間隙水圧>

土や岩石中の間隙を占める水のもつ圧力のこと。

<基盤的調査観測>

地震調査研究推進本部が平成9年8月29日に決定した「地震に関する基盤的調査観測計画」に基づく観測のこと。

基盤観測調査観測として、以下の観測を推進。

(1) 地震観測

①陸域における高感度地震計による地震観測（微小地震観測）

②陸域における広帯域地震計による地震観測

(2) 地震動（強震）観測

(3) 地殻変動観測（GPS連続観測）

(4) 陸域及び沿岸域における活断層調査

<強震動発生メカニズム>

強震動の発生の機構。

<クラスター>

群列

<クラック>

割れ目。ここでは、地殻内に発生する割れ目

<傾斜計>

地面の傾斜変化を測定する装置。

<光波測距>

ある地点から発射された光（変調したレーザービームなどが用いられる）が反射して帰ってくるまでに要した時間から、反射点までの距離を測定すること。

<固着>

プレート境界域においてプレートが互いに固く、くっついている部分のこと

<三角測量>

三角形の一辺の長さ、その両側の内角がわかれば、三角形の形が定まり、頂点の相対的位置や各辺の距離が求められる。この原理を用いた測量を三角測量という。

<シミュレーション>

数値シミュレーションのこと。この場合は、地殻の物性パラメータを計算機に入力し、地殻の外部に加わる力（応力）を与えて、地殻変動を予測する。

用語 / 意味
<p><震源核></p> <p>地震破壊の核となる部分</p>
<p><震源過程></p> <p>地震の発生（破壊の進行）の過程</p>
<p><震源モデル></p> <p>地震の破壊の進行過程を記述する数理的モデル</p>
<p><伸縮計></p> <p>歪計のこと。岩盤などの微小な変形を検出する装置。</p>
<p><制御震源></p> <p>地下構造の探査などのために用いられる人工的な震源のうち、特に発震時間や振動波形などを制御したものを指す。</p> <p>人工震源とほぼ同義語。火薬や起震車など、人工的に地震波を発生させる。</p>
<p><素過程></p> <p>基本となる過程</p>
<p><塑性変形></p> <p>固体に弾性限界を超える力を加えると、力が去った後も変形（永久変形または永久歪）が残り元の形にもどらない。このような変形を塑性変形という。</p>
<p><大気補正法></p> <p>GPS 観測において大気の影響を補正する方法</p>
<p><卓越周波数></p> <p>振動の中に卓越して含まれている周波数。地震動や構造物の応答には地盤や構造物の固有周波数が卓越周波数として含まれている。卓越周波数から地盤や構造物の固有周波数を知ることができる。</p>
<p><地震規模依存性></p> <p>震源核形成過程が地震の規模にどのように依存するか、ということ</p>
<p><地震空白域></p> <p>地震発生の空白となっている地域のことであるが、大地震の震源域配列のすき間を指す場合と、常時地震活動の低い地域を指す場合がある。これらを区別し、前者を第 1 種の空白域、後者を第 2 種の空白域という。</p>

用語 / 意味

<地震サイクル>

地震が発生し、その後にテクトニックな力が働き、再び応力を蓄積して次の地震に至るまでの一連の過程。

<地震前駆現象>

地震発生の前に発生する様々な地殻活動

<地震発生準備過程>

地震の発生（破壊に至る）前の、応力の蓄積しつつある段階。

<地震発生 - 波動伝播過程>

地震が発生し、地震波が伝搬していく過程。

<人工震源>

地面を大きな力で叩いたり、地中で火薬を爆発させて、人工的に地震に似た現象を起こす。

<人工ノイズ>

人間の生活や生産活動により、人工的に作られる雑音。

<断層セグメント>

断層区間。

<注水試験>

深井戸等から地中に注水を行い、それに伴う地殻変動の変化を調べる実験。

<直前過程>

地震発生直前の過程。地震領域で応力蓄積が進んだ地震の準備の最終段階。

<電気伝導度>

物質の電気の伝導性の大小を表す指標。ここでは、地殻における電気の伝わりやすさのこと。

<電子基準点>

国土地理院が全国に展開している、GPS 衛星からの電波の受信基点のこと。基準点にはアンテナ、GPS 受信機、テレメータ装置などが配備されている。

<トレンチ>

「溝」のこと。活断層に対し溝を掘り、過去の断層活動の跡を調査することをトレンチ調査という。

用語 / 意味

<熱構造調査>

熱流量測定など、地下の熱的な構造（温度構造）を求める調査。

<発震機構解>

地震波データなどから推定された地震のメカニズム解（起震応力）

<ピストンコアリング>

海底等において、ピストン式の器具によって長い柱状の試料を採取する方法。

<不均質性>

物性等の不均質さ

<プレート>

地球表面は、厚さ 100km 程度の固い岩石の層（リソスフェア）で覆われ、そのリソスフェアはいくつかのブロックに分割されている。それぞれの板状（球殻状）のブロックをプレートという。

<プレスリップ>

地震の主破壊に先行する滑り。

<プロトタイプ>

原型

<ヘリウム - 3>

質量数 3 のヘリウム

<ボアホール>

地震観測の際のノイズの低減を図るため、直径 10 - 15cm 程度の縦穴を掘り、その底に地震計を設置し、観測を行う。この縦穴のことをボアホールと呼ぶ。

<摩擦構成則>

摩擦を記述する方法

<マントル>

地球表面の「地殻」と中心部の「核」の間の部分を「マントル」という。マントルは、薄い地殻の下から深さ約 2900km まで、体積にして地球の 83%を占めている。

<モニタリング>

地震活動や地殻変動等の地殻の活動を監視すること。

<ゆらぎ>

一般に統計的平均からのずれを指す。ここでは、一見不規則に見える、物理量の変動を指す。

用語 / 意味
<p><リアルタイム> 即時的に</p>
<p><リソスフェア> 地殻とマントル最上部を合わせた、数十 - 100km 程度の厚さの層で、いわゆるプレート構成する。岩石圏とよばれることもある。</p>
<p><臨界サイズ> 破壊直前状態にある、破壊核の意。臨界状態の大きさの破壊核。</p>
<p><GPS (Global Positioning System 汎地球測位システム) > ある時刻における位置が正確にわかる衛星から発射される電波を受信し、その所要時間を測定する。観測点間の時間差から相互の位置関係がわかる。また、複数(4個以上)の衛星を使えば観測点の地球上における三次元的位置が求められる。</p>
<p><MT> マグネットテルリック法。自然の電磁場を信号とする広域かつ深部の探査法。地上で地場と電場の両方を測定して地下電気伝導度を推定する方法。</p>
<p><ODP 孔> ODP (Ocean Drilling Project) で掘削された孔</p>
<p><SLR (Satellite Laser Ranging 人工衛星レーザー測距) > 地上のレーザー測距儀から発射したレーザー光線を測地衛星で反射させ、その往復時間を位置関係の測定に利用する。</p>
<p><SAR (Synthetic Aperture Radar 合成開口レーダー) > 人工衛星や航空機などに搭載し、移動させることによって大きなアンテナと同等の空間分解能を得ることを目指したレーダーのシステム。時間を置いて、この装置により観測されたデータを相互に干渉させることにより地表面の変位を面的に捉える手法を SAR インターフェロメトリといい、地殻変動測定の新しい手法として注目されている。</p>
<p><VLBI (Very Long Baseline Interferometer 超長基線電波干渉計) > クエーサー(準恒星状天体)から放射される宇宙電波を数千 km 離れた複数の観測点で同時に受信し、その到達時間差から観測点間の距離や位置関係を測定する。</p>