

## 研究の概要

# 「南海トラフにおける海溝型巨大地震災害軽減のための 地震発生機構のモデル化・観測システムの高度化に関する総合研究」

(H11年～H12年、第II期)

研究代表者：平朝彦（東大海洋研）他10機関

## 研究の概要・目標

### 1 何を目指しているか

海溝型巨大地震が過去100～200年の間隔で繰り返し発生している南海トラフを対象として、震源域近傍での地殻活動を捉えるための観測・調査技術の開発及び海溝型巨大地震発生機構のモデル化を目指す。

#### （第II期の目標）

新しい地殻活動観測システムを開発すると同時に、三次元的に不均質な構造等に基づいたより現実に近い物理モデルを構築する。

### 2 何を研究しているか

#### ○震源域近傍での地殻活動を捉えるための観測・調査技術の開発

- ・海底地殻変動観測
- ・地殻応力モニタリング技術
- ・海底活断層高分解能調査

#### ○海溝型巨大地震発生機構のモデル化

- －モデル化のための調査  
(海底活断層・地殻活動履歴・過去の地震に関する調査)
- －地震活動のモデル化  
(摩擦構成則・三次元不均質構造のモデルへの組み込み)

### 3 何が新しいのか

地質学、地震学や地球物理学など様々な分野における観測・調査結果とモデルによる計算結果をリンクさせ、海溝型巨大地震の発生機構について総合的に検討する研究プロジェクトは初めての試みである

## 諸外国の現状等

### 1 現状

#### ○震源域近傍での観測・調査技術の現状

- ・海底地殻変動観測  
海溝域での地殻変動観測。観測システムの開発は今まで行われたことはない  
(アメリカのグループが海溝での音響測距を行っているが、海溝域での観測例はない)
- ・地殻応力モニタリング技術  
ポアホールを利用した地下深部原位位置応力測定はこの研究により世界で初めて実用化され、モニタリングについてはこれからの課題

- ・海底活断層高分解能調査  
深海底の活断層の活動度検出を目的とした観測システムは、この研究による開発が初めて  
(深海曳航調査システムは数グループにより開発されているが、活断層の活動度を検出できるほどの精度はない)

#### ○海溝型巨大地震に関するモデル化の現状

- 海溝域で発生する地震に関して、測地・地震・地質のデータを総合したモデルの構築は今まで試みられたことはなく、この研究が初めて  
(サンアンドレアス断層に関して、測地・地震・地質のデータを総合したモデルの構築が行われつつあるが、サンアンドレアス断層はトランスフォーム断層に分類される断層であり、南海トラフとはテクトニクス環境が異なる)

### 2 我が国の水準

- 南海トラフは、
- ・100～200年という短い間隔で地震が繰り返し発生
  - ・過去の活動に関する歴史資料が豊富
  - ・明治以来の観測データが揃っている
- 等の点で、海溝型巨大地震に関するモデルを構築する上で世界でも他にないほど条件が揃った地域であり、日本の研究レベルは非常に高い

## 研究進展・成果がもたらす利点

### 1 世界との水準の関係

#### ○震源域近傍での観測・調査技術

- ・海底地殻変動観測
  - ・地殻応力モニタリング技術
  - ・海底活断層高分解能調査
- 各研究とも、世界では初めての試みであり、世界で最先端の技術を持つことになる

#### ○海溝型巨大地震発生機構のモデル化

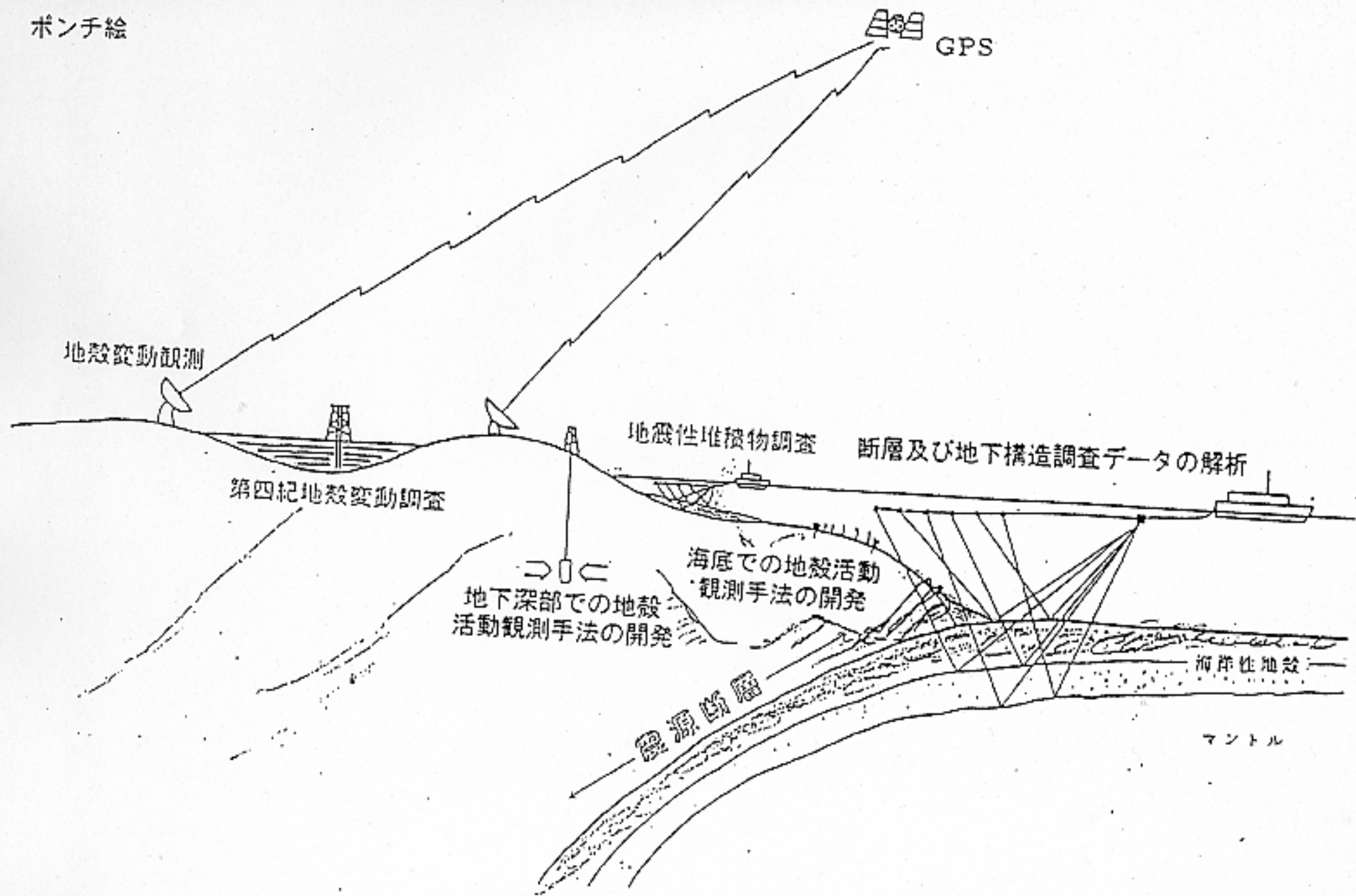
- 海溝域で発生する巨大地震を対象としている点で、世界で初めてのモデル化である

### 2 波及効果

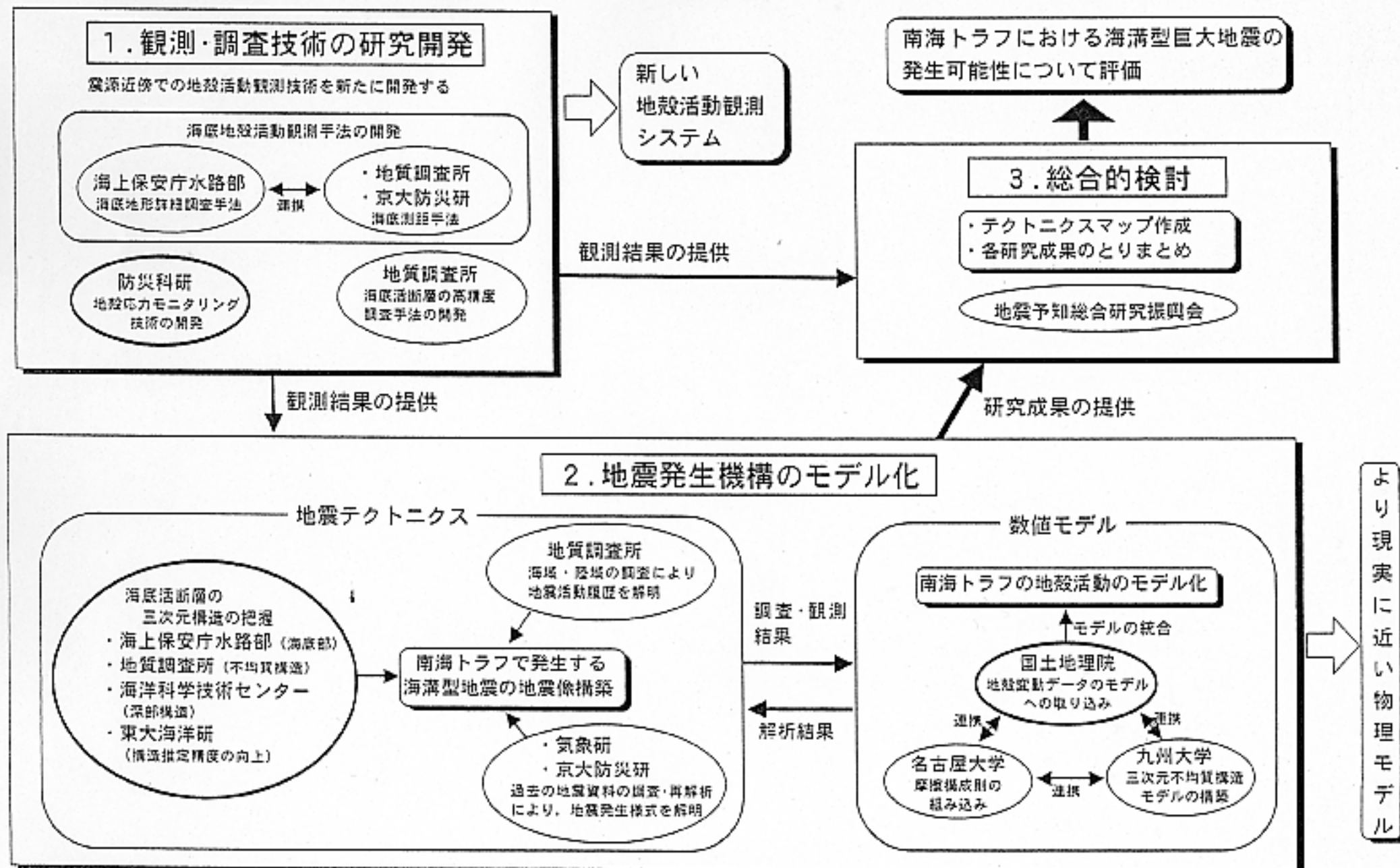
- 南海トラフにおける海溝型巨大地震の発生時期についての予測精度向上

#### ○他の海溝型巨大地震の評価へ応用可能

- 例えば、東南海や三陸沖など、ひとたび発生すれば非常に大きな被害を被る地震の発生可能性について評価ができれば、被害軽減に非常に貢献できる。



「南海トラフにおける海溝型巨大地震災害軽減のための地震発生機構のモデル化・観測システムの高度化に関する総合研究」の研究体制



# 所要経費一覧

研究項目	担当機関等	研究担当者	所要経費(千円)	
			(H11)	(H12)
1. 震源域近傍での観測・調査技術の研究開発				
(1) 海底における地殻活動観測手法の高度化	運輸省海上保安庁水路部企画課海洋研究室 通商産業省工業技術院地質調査所 京都大学防災研究所(委託)	矢吹 哲一朗(主任研究官) 岸本 清行(研究調査官) 片尾 浩(助手)	18,737 18,608	14,161 19,242
(2) ヒンジライン近傍での地殻活動モニタリング技術等の研究開発	科学技術庁防災科学技術研究所 地圏地球科学技術研究部地殻力学研究室	池田 隆司(室長)	16,798	11,782
(3) 深海曳航システムによる海底活断層の高分解能調査手法の開発	通商産業省工業技術院地質調査所海洋地質部	西村 清和(主任研究官)	8,947	10,362
2. 地震発生機構のモデル化に関する研究				
(1) 海底活断層の三次元構造の研究	運輸省海上保安庁水路部企画課海洋研究室 通商産業省工業技術院地質調査所海洋地質部 海洋科学技術センター海底下深部構造フロンティア(一部委託) 東京大学海洋研究所(一部委託)	矢吹 哲一朗(主任研究官) 倉本 真一(主任研究官) 金田 義行(チームリーダー) ○平 朝彦(教授)	4,284 95,290	3,135 40,287
(2) 地震活動履歴の解明に関する調査				
①陸域における第四紀地殻変動の調査	通商産業省工業技術院地質調査所地震地質部	佃 栄吉(室長)	3,912	3,542
②海底における地震性堆積物の調査	通商産業省工業技術院地質調査所海洋地質部	池原 研(主任研究官)	5,199	7,273
(3) 過去の地震発生様式の解明に関する調査	運輸省気象庁気象研究所地震火山研究部 京都大学防災研究所(一部委託)	石川 有三(室長) 渋谷 拓郎(助手)	4,891	8,082
(4) 数値モデルによるフィリピン海プレート西北端の地震活動のモデル化	建設省国土地理院地理地殻活動研究センター 名古屋大学理学部(一部委託) 九州大学理学部(一部委託)	村上 亮(室長) 平原 和朗(教授) 吉岡 祥一(助教授)	6,166	7,040
3. 総合的検討	科学技術庁研究開発局 財団法人 地震予知総合研究振興会(委託)	笹田 行(主任研究員)	7,481	14,524
4. 研究推進	科学技術庁研究開発局		375	563

(注：○は研究リーダー)



## 研究目標の概要・成果の概要

課題名(研究代表者) : 南海トラフにおける海溝型巨大地震災害軽減のための地震発生機構のモデル化・観測システムの高度化に関する総合研究  
(研究代表者 : 東京大学海洋研究所 平 朝彦教授)

### 【研究目標の概要】

紀伊半島～四国沖の南海トラフ沿いでは、過去において、100～200年間隔でマグニチュード8(M8)級の海溝型地震が繰り返し発生し、その沿岸地域から内陸にわたる広い範囲に甚大な被害をもたらしてきた。同地域では、約半世紀前の1944年(東南海地震、M7.9)と1946年(南海地震、M8.0)に、前回の巨大地震が発生しており、今後は地震発生の切迫性が次第に高まっていくものと考えられる。

一方、阪神・淡路大震災を契機に、長期的な観点から各地の地震発生可能性の評価を実施して、地震災害の軽減のために利用するなど、その成果を広く社会に還元することが、社会的、行政的に求められている。

さらに、研究的な側面から同地域の巨大地震をみると、例えば、日本海溝や千島海溝沿いでの海溝型地震に比べて震源域が陸域に近いことや震源域が明確に区切られていること、あるいは過去の活動に関する歴史資料をはじめ明治以降の各種機器観測データがかなり蓄積されていることなどから、同地域は海溝型巨大地震の発生の可能性を定量的に評価するフィールドとして最適の場所である。

第Ⅱ期(平成11～12年度)では、第Ⅰ期(平成8～10年度)の成果を踏まえ、南海トラフにおける海溝型巨大地震発生の定量的な評価を目標に、引き続き震源域近傍での観測・調査技術の研究開発、地震発生機構のモデル化に関する研究を行い、その高度化を図るとともに総合的な検討を行う。

### 【研究成果の概要】

本研究は、大きく3つのサブテーマからなる。それらは、

- (1) 観測・調査技術の研究開発
- (2) 地震発生機構のモデル化
- (3) 総合的検討

である。

#### 1. 観測・調査技術の研究開発

本サブテーマ研究においては、海底における地殻活動観測手法の高度化、地殻応力モニタリング技術の開発、海底活断層の高精度調査手法の開発が行われた。これらは、全体として、地殻の変形や応力場の観測を行い、プレート境界巨大地震の発生機構や発生ポテンシャルの評価に役立てることを目的とする。陸上におけるGPS観測は、数cm/年の高精度地殻変動データの取得を可能とし、ここ数年間における日本列島陸上域での地殻変動の全体像を初めて明らかにした。しかし、プレート沈み込み境界における巨大地震の発生領域は、ほとんどが海底にあり、海底での同様な地殻の観測が必要となる。地殻の変形は、さまざまな時間スケールで起こっているが、代表的な時間スケールとしては、GPS観測と同様な数～数10年間のスケール、活断層で代表される数100～数万年間の時間スケールがある。

今回、GPSによる船位決定と音響測距を組み合わせた海底基準局の測地観測を行った。この結果、3ヶ月の間隔を置いて海底局の位置を5cm程度の誤差で決定できるようになった。この精度での海底測地観測は、世界最高水準の一つであり、今後の長期海底測地観測に道を

開いた。また、マルチナロービーム音響測深機の開口合成手法を用いて地形変形を測定するシステムの開発にも成功した。本研究で開発した深海曳航式の地層探査システムは、海底下100m以浅の地層の形状を10cm程度の分解能で検出することを可能とした。巨大地震に伴う海底活断層は、一回の巨大地震時に少なくとも数10cmから数mの変位を起こすと考えられるので、以上の分解能は海底活断層の検出にとって十分な精度を持っている。さらに深海曳航式地層探査システムの曳航時での位置を正確に決定する音響測位システムの開発により、海底活断層の浅部における変位や地層の変形の様子を描出することができるようになった。

また、上盤プレートの応力・歪み状態を検出する方法としてポアホールを使った水圧破砕法による応力測定技術を開発した。この結果、最大深度520mまでの実験により、上記技術の実用化への確証が得られた。

以上、本サブテーマ研究では、海底測位、地形変形、応力・歪み測定の技術は、総合的に組み合わせることにより、地殻表層部の変形を数10年間に渡ってモニターし、さらにそのデータをより長い時間スケールでの変動に結びつけることを可能とした。

## 2. 地震発生機構のモデル化

本サブテーマ研究では、大きく地震テクトニクス の 解 明 を 目 的 と し た 海 底 活 断 層 構 造 の 三 次 元 構 造 の 把 握、地質学的な手法を用いた地震活動履歴の解明、過去の地震資料による地震発生様式の解明と、数値モデルによる南海トラフの地震発生機構モデル化の研究を行った。

南海トラフのプレート境界地震発生域は、海底から約5kmから20km程度の深さに存在すると考えられる。したがって、南海トラフで起こる海溝型巨大地震の発生場の特性と地震にともなう地殻変形像を描き出すためには、海底の変動地形、地殻内部の活断層構造や地層変形の様子、さらにプレート境界断層の形状や性質、沈み込むプレートの形状などを総合的に分析する必要がある。上記の「観測・調査技術の研究開発」によって、海底表面と地殻表層部の変形について長期に観測することが可能となった。この情報と、深部のプレート境界で地震発生機構を対応させることによって初めて、海溝型地震像の構築が可能となる。

本サブテーマ研究における海底活断層構造の三次元構造の把握では、海底表層の地形から海底下深くプレート境界周辺での地質構造まで、3次元反射法音波探査を用いて調査した。この研究では、研究船M. Ewingを用い、日米共同で室戸岬沖の10km×80kmの範囲について探査が行われた。このような広い範囲で海溝型地震発生域の3次元反射式音波探査を行ったのは世界で初めてのことである。その結果、地震発生域と推定されるプレート境界から派生する巨大逆断層集中帯の存在を発見した。同時に南海トラフ全域の地形のメッシュデータベースが作成された。その結果、この巨大逆断層帯は、地形の急変域と対応しており、さらに同様な地形急変域が南海トラフ全域で認められることが分かった。この逆断層帯は、海溝型地震の時にプレート境界の破壊と連動して動く断層群と推定でき、この発見によって海溝型地震の運動像を描き出すことができた。また、3次元反射式探査のデータから、プレート境界面（デコルマ面）からの反射を調べることにより、その物性についての情報も得られることが分かった。

南海トラフにおける海溝型巨大地震は、過去150年に一度程度起きていとされるが、それぞれの地震には個性があり、それぞれの個性を理解しないと、その実像に迫ることができない。したがって、過去の歴史地震資料や地震観測記録と、さらに有史以前の地震や津波の地質学的な記録の解読が必要となる。津波堆積物やタービダイト堆積物から過去数1000年間で巨大地震や津波が150年程度に一回起こっていることがわかった。これは、歴史地震から推定される発生間隔とほぼ同じであり、少なくとも数1000年間では同じような地震発生間隔が繰り返して起こってきたことを示している。また、内陸部の応力場の空間的変化と南海トラフにおける巨大地震発生と密接な関連にあることもわかった。

以上のようなデータを利用し、地下3次元不均質構造に基づき粘弾性効果を考慮した有限要素法による数値モデルが開発された。この手法を用いて東南海、南海地震後において余効すべりの空間分布が求められた。また、摩擦構成則を組み込んだ粘弾性不均質媒体中における地震発生サイクルのシミュレーション手法を開発した。

本サブテーマ研究では、全体として、地震発生場の構造、過去の地震の特性、それらのデータを組み入れた地震発生機構の数値モデルの開発が行われ、海溝型巨大地震発生機構についてより定量的理解が進んだ。

### 3. 総合的検討

本サブテーマ研究においては上記の課題をより効率良く推進するために各分野での連携・情報交換が行われた。同時に必要な文献・データの収集が行われた。

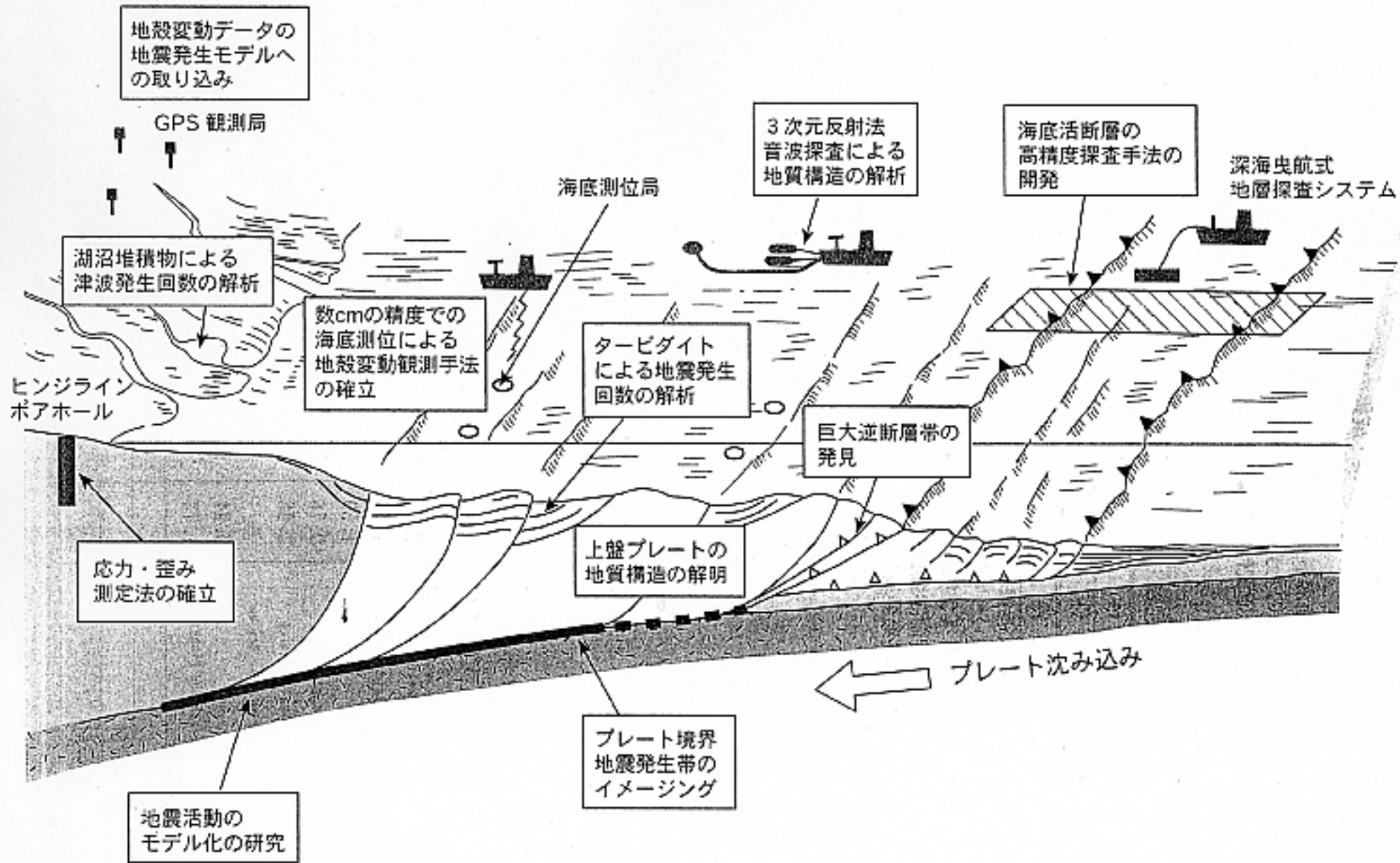
さらに本研究の成果をまとめ、南海トラフから内陸部にかけての地震テクトニクスの全体像を明らかにする目的で、テクトニクスマップの作成を行った。まず、地形図、地質図、重力異常、全磁力異常、活断層と段丘高度、地殻熱流量、地震震源を示す「素材マップ」を作成した。これらの素材マップと本研究の成果全体を加味して、「地震テクトニクスマップ」を作成した。このマップを作成することにより、

(1)沈み込む四国海盆の形状がプレート沈み込み境界断層のセグメンテーションや南海トラフ付加体の構造のバリエーションに大きな影響を与えていること。

(2)このようなセグメンテーションやバリエーションにもかかわらず、地震発生帯と付加体には共通した構造があり、南海トラフ海溝型巨大地震が長い時間で見ると共通した変形を上盤プレートに引き起こしていること。

が判明した。

## 本研究の成果





研究目標の概要・成果の概要

課題名(研究代表者)：南海トラフにおける海溝型巨大地震災害軽減のための地震発生機構のモデル化・観測システムの高度化に関する総合研究  
(研究代表者：東京大学海洋研究所 平 朝彦教授)

【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	48(2) 件	26 件	65 件	139(2) 件
国際	13(3) 件	2 件	29 件	44(3) 件
合計	61(5) 件	28 件	94 件	183(5) 件

(注：既発表論文について掲載し、投稿中の論文については括弧書きで記載)

【特許出願等】 1件(うち国内 1件、国外 0件)

【受賞等】 1件(うち国内 1件、国外 0件)

・海洋調査技術学会技術賞(平成11年11月4日) 西村清和ほか

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal名	Impact Factor	サブテーマ 1	サブテーマ 2	サブテーマ 3	合計
月刊地球		1	13	1	15
地学雑誌		3	4(1)		7(1)
超音波TECHNO		2			2
海洋調査技術		1	1		2
増資学研究			1		1
第2次研究			1		1
地震			1		1
地質と調査			1		1
Earth Planets Space	0.63	2	2		4
Proceedings of Japan Academy		2			2
Journal of Acoustical Society of Japan		1			1
国内誌小計		12	24(1)	1	37(1)
Geophysical Research Letters	2.72		2		2
Geophysical Journal International	1.54			2	2
Tectonophysics	1.39	1		(1)	1(1)
Pure and Applied Geophysics	0.76		1(1)		1(1)
Journal of Geophysical Research	2.68			1(1)	1(1)
International Hydrographic Review		1			1
The Island Arc	0.94	1			1
Physics of the Earth and Planetary Interiors	1.72		1		1
国際誌小計		3	4(1)	3(2)	10(3)
主要雑誌合計		15	28(2)	4(2)	47(4)
発表論文合計		38(1)	41(2)	10(2)	89(5)