

地球深部探査船「ちきゅう」による
南海トラフ地震発生帯掘削計画の進め方
に関する提言(案)

平成 26 年 8 月

科学技術・学術審議会
海洋開発分科会

目次

第1章	背景	3
第2章	南海トラフ地震発生帯掘削計画の必要性	3
第3章	南海トラフ地震発生帯掘削計画によって得られる成果	4
(1)	付加体内部の地質構造の解明	4
(2)	巨大地震・津波発生断層の直接調査	4
(3)	深部での地殻変動の観測	5
第4章	南海トラフ地震発生帯掘削計画の経緯	5
(1)	ステージ構成	6
(2)	ステージ1及び2掘削の経緯と成果	6
(3)	ステージ3掘削の途中経過	7
第5章	南海トラフ地震発生帯掘削計画の今後の進め方	7
(1)	技術諮問チーム(TAT: Technical Advisory Team)による評価	8
(2)	科学掘削安全検討委員会掘削専門部会による指摘	8
(3)	今後の掘削計画案	8
第6章	まとめ	9
(参考資料)		
参考資料1-1	科学技術・学術審議会海洋開発分科会	10
参考資料1-2	海洋開発分科会深海掘削委員会名簿	11
参考資料1-3	南海トラフ地震発生帯掘削計画の進め方に関する審議について	12
参考資料1-4	委員会開催経緯	13
参考資料2-1	「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の必要性について	14
参考資料2-2	「南海トラフ地震発生帯掘削計画」によって期待される成果	18
参考資料2-3	「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の全体計画とこれまでの経緯	35
参考資料2-4	「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の第348次研究航海の結果	54
参考資料2-5	「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の今後の掘削計画案	61

第1章 背景

地球深部探査船「ちきゅう」は統合国際深海掘削計画(IODP)(平成15年～平成25年)の枠組みにおける最先端の科学掘削を達成するために建造され、米国の JR 号、欧州の特定任務掘削船とともに国際共同プロジェクトの研究プラットフォームに供されてきた。平成17年7月に就航後、約2年間の慣熟航海を行い、平成19年9月から本格的にIODP航海を開始し、途中、アジマススラストギアの不具合や、平成23年東北地方太平洋沖地震による津波被災のため、2回の長期離脱を挟んで、現在までに4海域で6シーズン、13回のIODP航海を実施してきている。

IODPの研究航海実施は、日本と米国が基本合意した枠組みにより、国際的な英知を集めた科学審査・技術審査及び出資者による政策的な判断を経て決定されてきた。日本は意思決定の各段階において米国と同等の決定権を有し、国際的な研究者・技術者の支援を受けながら日本としても重要と判断される科学的な課題に取り組むよう努めてきた。

平成25年10月より新たな枠組みである国際深海科学掘削計画(新IODP)へと移行したことにより、科学審査プロセスについてはそのまま引き継がれたものの、掘削箇所決定にかかる技術審査や政策的な判断はそれぞれのプラットフォームを保有する組織で実施することとなった。

現在、「ちきゅう」が実施中である南海トラフ地震発生帯掘削計画は、前IODPでの合意のほか、独立行政法人評価委員会においても承認されているところであるが、第3ステージである超深度掘削において、4航海で海底下5,200mの巨大分岐断層/プレート境界断層接合部に到達する予定であったものが、3航海を終えた段階で海底下約3,000mまでの到達にとどまっている。さらに孔壁崩壊でドリル先端部が抜けなくなり迂回掘削を強いられたことなどにより今後の掘削計画の選択肢が制限されてきている状況にある。事業実施主体である独立行政法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)ではこれらの状況を受け、国内外の技術者による詳細な検討を行い、これまで得られた知見を生かしつつ、今後の掘削計画案を複数策定し比較検討を行っている。

今般、科学技術・学術審議会海洋分科会深海掘削委員会では、上記検討の方向性が妥当であるか、さらには事業継続の判断をどのように行うかという観点に立って、掘削計画案についての調査・審議を行った。

第2章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の必要性

南海トラフ地震発生帯掘削計画では、海洋プレートが沈み込んでいる場所を直接、科学的な分析を行うことにより、巨大地震や巨大津波の発生メカニズムを解明することが期待されている。

海底下深部にある地層の物理的・化学的特徴やその変化を現場での観測や採取した試料を詳細に分析することにより、プレート沈み込み帯でのダイナミックな挙動を理解していくことによって、地震、火山等の発生メカニズムに関する新たな研究の窓を開いていくことになる。地球深部の研究は、地球深部探査船「ちきゅう」でなければ到達できない場所での研究であり、現在も掘削の度に次々と新しい事実が発見されている。また、プレートテクトニクスを基盤とした地殻変動の歴史が詳細に解明され、日本列島がどのような変遷を経て形成されたのかについても新たな見解が明らか

になるなど、地球科学の進歩に大きく貢献している。

一方、防災の観点でも「ちきゅう」の成果が期待されている。南海トラフを震源とする M8～9 クラスの地震は約 100 年から 150 年周期で発生しており、日本近辺の他の海溝型地震と比べても想定被害が大きく、発生確率も 30 年以内に 70% と高く見積もられている。平成 25 年 3 月に内閣府が発表した「南海トラフ巨大地震の被害の想定について(第二次報告)」では、津波によるものだけでも死者数 10～20 万人にのぼると試算されているが、平成 26 年 3 月に定められた「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」では南海トラフ地震による想定死者数を今後 10 年間で 8 割削減することを目指して掲げており、津波等による人的被害削減を重要な課題として位置付けている。そのため、今後とも実施可能なあらゆる防災・減災に向けた努力が尽くされるべきであり、「ちきゅう」による巨大地震発生域の直接掘削調査もその重要な研究課題の一つとして数えられる。これまで「ちきゅう」による津波発生メカニズムの解明が防災計画策定に反映されているほか、「ちきゅう」により設置される海底観測装置が地震観測網につながられる予定である(1 箇所は接続済み)。特に南海トラフを震源とする地震では地震発生から津波到達までの時間が短いため、できるだけ早期に地震情報を伝える必要のあることから、震源に近い海底の地震計が重要な役割を果たすと期待されている。

また、「ちきゅう」による南海トラフ地震発生帯掘削は通常海底油田掘削とは全く異なる地質環境での掘削であり、非常に変化の大きい気象・海象条件下での掘削となっている。水深 2,000m 以上の大水深、複雑な地質構造をもつ付加体、台風・低気圧の頻発といった日本近海特有の海象条件は掘削遂行の大きな障害となっているが、そこで得られる知見や高温・高圧といった極限状態での観測装置設置など数多くの技術革新は、今後、日本 EEZ 内で海洋資源開発を目指す上で貴重な知見となるほか、民生用の先端技術の開発など他分野への応用も期待される。

第3章 南海トラフ地震発生帯掘削計画によって得られる成果

「ちきゅう」による震源地域の直接掘削によって、大きくわけて①付加体内部の地質構造の解明、②巨大地震・津波発生断層の直接調査、③深部での地殻変動の観測、の 3 つの成果が期待されている。

(1) 付加体内部の地質構造の解明

南海トラフでは、ユーラシアプレートの下にフィリピン海プレートが比較的緩やかな角度で沈み込んでおり、その際に海洋プレート上の堆積物が陸側に押しつけられ、付加体と呼ばれる日本列島の骨格をなす地質構造が形成されているという基本理解がなされている。しかしながら、これまでの掘削によって付加体及び沈み込む前の海洋地殻の構造の新たなデータが加わり、さらには調査精度の高度化により、これまでの仮説では説明できない地質構造進化の過程が明らかになりつつある。この結果、日本列島形成史が大幅に見直される可能性も示唆されている。

(2) 巨大地震・津波発生断層の直接調査

フィリピン海プレートは年間 4～5 センチメートル程度の速さで北西方向に移動しており、西南日

本弧の地下に沈み込んでいる。南海トラフ沈み込み帯では、このプレート収束エネルギーが繰り返し発生する巨大地震として発散されていると考えられているが、逆に地震を起こさない間はひずみを蓄積し続けるともいえる。プレート境界及び付加体内には莫大なひずみエネルギーが蓄積されているものと考えられている。付加体内に蓄積されたひずみエネルギーは、岩石破壊の限界に達すると破壊を起こし、それがプレート境界断層面で起こっていると考えられ、このプレート境界断層面は、不均質な物性を示していると考えられている。このプレート境界断層では、繰り返し巨大地震を発生させていると考えられ、このプレート境界断層を掘り抜いて地質試料を採取し、断層の物理・化学的性質を明らかにすることを、南海トラフ地震発生帯掘削計画(ステージ 3)では目指している。海溝型巨大地震発生領域からのサンプルリターンは世界で初めての試みであり、断層資料の採取に成功すれば、室内実験などにより、断層の摩擦特性の把握や破壊強度の推定、応力の推定等、巨大地震のメカニズム解明に決定的な情報をもたらすと期待されている。

(3) 深部での地殻変動の観測

南海トラフ地震発生帯掘削計画では、超深度掘削孔に地震断層やその周辺の地殻の微少な変動を捉える長期孔内観測装置を設置する予定である。これらは将来的に DONET (Dense Oceanfloor Network system for Earthquake and Tsunamis:地震・津波観測監視システム) につながられ、地震動観測網の一環として組み入れられる予定である。震源地により近い場所に地震計が設置されれば、単純計算でも秒単位で地震速報を早く出すことが可能となる。南海トラフにおける地震では地震発生から津波到達までの時間は非常に短く、少しでも早く避難関連の情報を出すことが重要である。また掘削孔でのモニタリングを行うことによって、巨大地震の準備過程から破壊に至るまで、そして地震の最中から終了後まで、全ての巨大地震プロセスを観測することが可能になると期待される。

震源地近くの海底深部において地震波やひずみ測定を行うことは、これまでの陸上観測や海底面観測では探知できなかった地殻内の微少な動きを感知可能とするものであり、最近では、低周波地震と潮汐力の関係などのように地震発生のメカニズムを解明する上で画期的な成果に結びつくことが期待されている。

第4章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の経緯

地球の表面は何枚かのプレートと呼ばれる剛体(厚さ 100km 程度)から構成されており、それがマントルの対流によって移動しており、発散、収束、すれ違いなどの生じるプレートの境界部では様々な地殻変動が発生すると説明されている。いわゆる 1960 年代後半に提案されたプレートテクトニクス理論である。特に海洋地殻が大陸地殻の下に潜り込む「沈み込み帯」は、地震や火山に代表される大規模な地殻変動が表れている場所であり、その場所を掘削することによって様々な地殻変動やプレートテクトニクスそのものの解明が進むと期待されている。沈み込み帯の科学、特に巨大地震の発生メカニズムを議論するために平成 9 年(1997 年)に開催された国際科学ワークショップ「MARGINS SEIZE」では、今後の海溝型巨大地震の掘削調査の対象候補として、南海トラ

フとコスタリカーニカラグア境界の 2 カ所が選ばれた。南海トラフが選ばれた理由は、過去 1000 年以上にわたる地震発生の歴史が知られている事、地殻構造探査の結果、プレート境界断層の固着領域と考えられる部分が浅いところまで延びている、つまり掘削によって届く範囲であることが理由とされた。ワークショップの後、国際的な研究者が協働し、南海トラフに関する 4 つの掘削プロポーザルが作成されるなど、科学者コミュニティ内では他に例を見ない盛り上がりがあり、平成 15 年には4つを複合するプロジェクトとして IODP 科学審査委員会で掘削プロポーザルが承認された。その後、相当の準備期間を経て平成 19 年に「ちきゅう」による掘削調査が開始され、以降、南海トラフ地震発生帯掘削計画として 5 シーズン 10 回にわたる IODP 航海が実施されている。

(1) ステージ構成

南海トラフ地震発生帯掘削計画は 4 つのステージから構成されており、概要は以下の通りとなっている。

ステージ	実施時期	掘削地点	実施概要
1	平成 19 年度	C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C8	巨大分岐断層浅部やプレート境界断層浅部(海溝軸付近)を掘削し、地質学的特徴や過去の変動の歴史、現在の応力状態などを把握する。
2	平成 21 ~22 年度	C2、C9、C10、C11、C12	巨大地震を繰り返し起こしていると考えられる断層(巨大地震発生帯)の直上浅部の地層を掘削し、その地質学的特徴を把握するとともに、掘削孔内に観測装置を設置して巨大地震発生に起因する地殻変動などを観測する。また、プレート沈み込みにより将来巨大地震発生帯に持ち込まれる海底堆積物を掘削し、その地質学的特徴を把握する。
3	平成 22・24 ~26 年度 +	C2	超深度掘削(水深 1,939m、海底下 5,200m 付近の巨大分岐断層及プレート境界断層の接合部)を行い、巨大地震発生帯の地質学的特徴を把握する。
4	平成 27 年度	C2、C10、C6	超深度掘削孔に地震断層やその周辺の地層の微小な変動を捉える長期観測装置を設置する。将来的に地震・津波観測監視システム(DONET)と接続し、地震発生現場からリアルタイムでデータを取得する観測網の構築を行う。

(2) ステージ1及び2掘削の経緯と成果

ステージ 1 は平成 19 年 9 月から平成 20 年 2 月にかけて実施され、合計 6 地点(12 孔)で掘削を行い、このうち 5 地点において科学掘削では初めて掘削同時検層(LWD:Logging While Drilling)を実施し、掘削孔内の各種物理データ取得に成功した。このデータから、掘削直後に発生する微少な崩壊情報(ボアホールブレイクアウト)を読み取り地層内応力の方向を推定することに成功し、付加体内部の大半でプレートの収束方向に平行な水平圧縮応力が働いていることを明らかにした。また、地質試料採取を 6 地点(19 孔)において行い、巨大分岐断層浅部及びプレート境界断層前縁部の断層を解析したところ、この断層がこれまでに地震性の高速すべりを経験していた事等が明らかになった。これはこれまでの教科書を書き換える新たな発見である。

ステージ 2 は平成 21 年 5 月から行われ、科学掘削史上初めてライザー掘削を行い、カッティングス及びコア試料の採取、孔内応力の現場測定、2 船式地下構造探査に成功した。泥水検層や

カッティングスを用いた分析等の手法の開発を行い、船上での分析を初めて行った。また、巨大地震発生帯に運び込まれる物質の初期状態を把握する事を目的として、フィリピン海プレート上の四国海盆において掘削同時検層及び地層温度の測定を行うと共に、基盤岩を含む地質試料の採取に成功した。これらの試料の分析から、1600 万年前以降の本海域周辺の火成活動の変遷の解明をはじめ、沈み込み帯における流体の挙動とその特性の把握、将来の巨大地震発生断層面になる可能性が考えられているプレート境界試料の採取及びその変成に影響を与える熱流量の見積もりが行われた。平成 22 年には、初の長期孔内観測装置の設置に成功した。この観測装置はひずみ計、傾斜計、温度計、間隙水圧計、広帯域地震計、短周期地震計、強震計など複数のセンサーから構成され、その後 DONET に接続し、陸上でリアルタイムデータの取得が可能となっている。

一方、航海開始当初から解決すべきいくつかの技術的困難に直面し、それらを克服してきた。特に、速い海流によって生じるライザーパイプの渦励振(VIV:Vortex Induced Vibration)を克服するために、ライザーフェアリング(整流装置)や、リアルタイムでのライザー挙動解析システムの開発を行うと共に、高速海流下での掘削作業手順の確立等、技術的な知見の蓄積が進められた。

(3) ステージ3掘削の途中経過

ステージ3は巨大地震発生メカニズム解明のため、海底下 5,200m 前後に存在する巨大分岐断層とプレート境界断層の接合部まで掘り抜く予定であるが、これまで 3 航海約 9 ヶ月間の掘削によって 2,922m まで到達するにとどまっている。

平成 20 年度に約 1 ヶ月間かけて土台となる孔口設置作業を行い、海底下 860m までケーシングを設置した。その後、他海域での掘削や津波被災等による中断の後、平成 24 年度にライザー掘削を開始した。掘削そのものは順調に進められ約 2 ヶ月程度で海底下 2,005m まで掘削を行ったものの、速い海流下で寒冷前線の直撃を受け、強風の急激な方位変化によって船体の位置保持が困難になり、緊急離脱時にライザー上部を損傷した。航海中の修理及び代替品の入手は不可能であったため、この年度の掘削を中断した。この段階ではケーシングが設置されていなかったため、次年度に 860m から再度掘り直しとなった。

平成 25 年度は掘削開始直後から 6 つの台風が発生し 1 ヶ月半の待機を余儀なくされた。その後、海底下 2,010m でケーシングが停滞し、その直後にドリル先端部が抜けなくなりドリルパイプを切断して脱出するという事態となった。さらに、残されたドリル先端部を迂回するため、特殊な装置でケーシング側面に穴を開けるなどし、海底下 3,058m まで掘削を進めたところ、再度孔内状況が悪化し、最終的には 2,922m までケーシングを設置して掘削を終えた。

途中、掘削同時検層によって、付加体内部及び断層そのものの物性を明らかにすると共に、6 回のコア採取を実施している。

第5章 南海トラフ地震発生帯掘削計画の今後の進め方

海洋研究開発機構(JAMSTEC)では、ステージ 3 のこれまでの掘削作業結果を踏まえ、国際

的な技術者グループや国内の掘削専門家による評価や外部コンサルタントによる調査を行い、問題点の洗い出しを行うと共に、対応策の検討を行い、今後深部を掘削するための候補となる方策についてそれぞれ実行可能性を検討した。

(1) 技術諮問チーム(TAT:Technical Advisory Team)¹による評価

Technical Advisory Team (TAT)は国際的な海洋掘削技術者から構成され、石油掘削業界における最新技術情報などを基にこれまでの作業結果を評価した。外部コンサルタントによる追加的な調査を含め、通常は使われることのない揚管作業中のLWDデータなどを用いて詳細に孔内状況を再現し、主な現象として以下の事項を指摘している。

- ・ 掘削後、時間経過とともに急速に孔壁崩壊が進んでいる
- ・ 地層の傾斜が急であり、泥水の浸潤とともに孔壁がはがれ落ちるように崩壊していると想像される
- ・ 泥水による圧力、泥水による循環が弱まると、はがれ落ちた石片がドリルビットの上にとまり、致命的な抑留状態に陥る

(2) 科学掘削安全検討委員会掘削専門部会²による指摘

科学掘削安全検討委員会掘削専門部会は国内の有識者から構成され、TATの評価に基づき今後の掘削の進め方について以下のような具体的な指摘を行っている。

- ・ エクスパンダブルケーシングなどを活用し、ケーシング数に余裕を持たせ、短いスパンでケーシングできるようにする
- ・ 孔壁に浸潤しにくい泥水の採用
- ・ 泥水の圧力が最適となるよう詳細な泥水管理、孔内管理計画の策定
- ・ 泥水の循環を止めずにドリル管の継ぎ足しが出来るシステムの導入
- ・ リアルタイムにロギングデータが把握できるシステムや最新の掘削シミュレータソフトの導入
- ・ リスクアセスメントを含めポリシーを持ったマネジメント体制の構築

(3) 今後の掘削計画案

上記の検討結果を受けてJAMSTECでは15通り以上の掘削案を作成・検討し、現段階で以下に示す3通りの掘削計画案に絞り込んでいる。

(ア)これまで到達した最深地点から掘削を継続

エクスパンダブルケーシングを用いても、ケーシングの残りは4枚のみであり、限られた選択肢の中での掘削となる

¹ Technical Advisory Team (TAT) : JAMSTECの外部諮問委員会(CIB: Chikyu IODP Board, ちきゅう運用委員会)に作られている技術検討委員会

² 科学掘削安全検討委員会掘削専門部会: JAMSTECの外部諮問委員会の1つで、主に科学掘削に関する技術的アドバイスを受けるため、国内の有識者により構成されている

(イ) 海底下 2,010m 地点まで戻り、掘削を再開

ケーシングの残り枚数が 1 枚増えるほか、ケーシングの径が大きくなることにより掘削作業の選択肢が増える

(ウ) 新たに海底面から掘削

これまでの地層等の情報により掘削時間を節約でき、掘削作業の選択肢が大幅に増え、相当の余裕を持って掘削できる

目標である巨大分岐断層に到達する孔の大きさは、(ア)案と(イ)案では 6 インチとなるが、(ウ)案では 8.5 インチとなり、断層帯での研究活動内容の選択肢が大幅に増える。一方、掘削作業にかかる時間及び資金は(ア)案から(ウ)案にかけて増加し、(ウ)案では 3 年程度の作業期間になることが想定される。

第6章 まとめ

南海トラフ地震発生帯掘削計画は、世界の科学者が認める科学的意義の高い研究活動であり、これまでの国際共同研究活動によって画期的な成果が生み出されてきている。また、我が国の地震防災の観点からも重要な位置付けにあり、とくに超深度掘削(第 3 ステージ)において巨大分岐断層／プレート境界断層接合部を掘り抜くことで、世界初の海溝型巨大地震発生メカニズムの解明につながる重要な成果が上げられることが期待される。

一方、前人未踏の領域での掘削作業は多くの技術的困難に直面し、その度に最先端の技術を駆使して克服してきている。これらは新たなイノベーションにつながる重要な挑戦であるが、今後さらに困難性が増すと想定される中でそれらを克服して超深度掘削を完遂するには相当の技術、時間及び費用が必要である。JAMSTEC では、現在いくつかの掘削計画案を策定し検討しているが、本委員会としては、期待される科学的成果や社会的貢献、更には「ちきゅう」という貴重なプラットフォームを占有する時間等を鑑み、次の考え方にに基づき計画案を選定し実施すべきと考える。

1. 早期に巨大分岐断層／プレート境界断層接合部を掘り抜くことを目指す。
2. ただし、超深度掘削(ステージ 3)としては、あと連続する 2 会計年度内での実施を限度とし、様々な理由によりそれ以上かかると見込まれる場合には一旦休止して技術の進歩や社会情勢等を鑑みて決定する。
3. 掘削方法の選択に当たっては、計画案それぞれのリスクを徹底的に検証し、できるだけ成功率の高い手段が選択されるよう技術合理性に基づいた判断を行う。

また、地震防災の重要性から、現在浅部に設置されているものを含め、海底下の長期孔内計測装置については可能な限り DONET につなぎ、できるだけ速やかにリアルタイムモニタリングシステムを構築し、データの公開に努める。

参考資料1-1 科学技術・学術審議会海洋開発分科会

平成26年8月現在

正委員	小池 勲 夫	東京大学名誉教授
	平田 直	東京大学地震研究所教授
	山脇 康	日本郵船(株)顧問
臨時委員	浦 環	九州工業大学社会ロボット具現化センター長
	浦辺 徹 郎	(一財)国際資源開発研修センター顧問
	大谷 栄 治	東北大学大学院理学研究科教授
	金田 義 行	名古屋大学減災連携研究センター特任教授
	白山 義 久	(独)海洋研究開発機構理事
	高橋 重 雄	(独)港湾空港技術研究所理事長
	瀧澤 美奈子	科学ジャーナリスト
	竹山 春 子	早稲田大学理工学術院先進理工学部 生命医科学科教授
	寺島 紘 士	海洋政策研究財団常務理事
	中田 薫	(独)水産総合研究センター研究推進部研究主幹
	新野 宏	東京大学大気海洋研究所長
	西村 弓	東京大学大学院総合文化研究科准教授
	花輪 公 雄	東北大学理事
	増田 信 行	秋田大学教授 兼 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源 機構研究上席研究員
	茂里 一 紘	(独)海上技術安全研究所理事長
鷺尾 圭 司	(独)水産大学校理事長	

参考資料1-2 海洋開発分科会深海掘削委員会名簿

平成 26 年 6 月現在

主査	齋藤 靖二	神奈川県立 生命の星・地球博物館名誉館長
	井上 一	(独)宇宙航空研究開発機構名誉教授
	平田 直	東京大学地震研究所教授
	佃 栄吉	(独)産業技術総合研究所理事
	益田 晴恵	大阪市立大学大学院理学研究科教授
	竹山 春子	早稲田大学理工学術院先進理工学部 生命医科学科教授
	鎌形 洋一	(独)産業技術総合研究所北海道センター所長 研究部門長
	増田 信行	秋田大学教授 兼 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源 機構上席研究員
	石渡 明	東北大学東北アジア研究センター教授
	川幡 穂高	東京大学大気海洋研究所教授
	森田 信男	早稲田大学理工学術院教授
	松本 俊之	(一財)日本海事協会技術研究所長
	横山 広美	東京大学大学院理学系研究科准教授

参考資料1-3 南海トラフ地震発生帯掘削計画の進め方に関する審議について

平成 26 年 6 月 17 日

科学技術・学術審議会海洋開発分科会
深海掘削委員会

1. 審議の対象

統合国際科学掘削計画(前 IODP)の下、平成 19 年度から実施されている南海トラフ地震発生帯掘削計画を対象とする。南海トラフ地震発生帯掘削計画は 4 つのステージから構成されており、第 3 ステージである超深度掘削の今後の進め方について審議を行う。

2. 審議の実施者

科学技術・学術審議会海洋開発分科会が審議を行い、提言を取り纏める。審議に当たっては、深海掘削委員会が提言案を作成し、海洋開発分科会に報告する。

3. 審議の観点

これまでの南海トラフ地震発生帯掘削計画の概要、技術的課題、今後の南海トラフ地震発生帯掘削計画に必要な技術、期間、期待される科学的成果や社会への貢献等を基に、今後も南海トラフ地震発生帯掘削計画を進めるべきかを審議の観点とする。

4. 実施スケジュール(予定)

6 月～7 月で提言案を作成し、海洋開発分科会に報告する。

- ・ 6 月(第 14 回深海掘削委員会)

審議ポイントに沿って議論し、提言案の骨子を確認

- ・ 7 月(第 15 回深海掘削委員会)

提言案を議論し、海洋開発分科会に上げる提言案を作成

- ・ 未定(海洋開発分科会)

提言案を承認

5. 審議結果の扱い

審議結果を提言として公表する。

6. 事務局

深海掘削委員会の事務局は文部科学省研究開発局海洋地球課が行う。

参考資料1-4 委員会開催経緯

第14回深海掘削委員会(H26. 6. 17)

- ・ 取組実績について文部科学省、海洋研究開発機構から説明し、審議の観点に沿って議論
- ・ 提言案の骨子について確認

第15回深海掘削委員会(H26. 7. 8)

- ・ 提言案の審議

第42回海洋開発分科会(H26. 8. 7)

- ・ 提言の決定

参考資料2-1 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の必要性について

1. 南海トラフ地震発生帯掘削計画

南海トラフは地球上で唯一 4 つのプレートがひしめき合う場所であり、南海トラフ地震発生帯掘削計画によってプレートテクトニクスの大命題の一つである「沈み込み帯の解明」に資する。また「科学」に加えて「防災」への貢献及び極めて高度な掘削技術、極限状態に耐えうる測定装置の開発は民生用などへの応用が期待される。

2. 国際的な科学テーマの議論

地震発生帯の掘削は、以下の国際的な議論を経て実施に至った。

- ・ MARGINS Program Science Plan

1995年、1997年に MARGINS-SEIZE (Seismogenic Zone Experiment) 国際ワークショップが開催され、地震発生帯の掘削対象候補として南海トラフとコスタリカ-ニカラグア境界の2カ所を選定した。

- ・ CONCORD

1997年7月に東京で開催された CONCORD (Conference on Cooperative Ocean Riser Drilling: ライザー掘削国際科学者会議) にて、MARGINS の結論を受けて IODP の優先課題として地震発生帯掘削を位置付けた。南海トラフについて米国 JR 号と日本の「ちきゅう」が分担して掘削を進めることが話し合われた。

- ・ IODP Initial Science Plan

CONCORD 及び COMLEX (Conference on Multiple Platform Exploration of the Ocean: 複数掘削船国際科学者会議、1999年5月バンクーバー開催) での議論をもとに2001年に IODP Initial Science Plan (IODP 初期科学計画) の科学目標が定められ、地震発生帯掘削が重要課題の1つとして位置付けられる。

- ・ INVEST

2009年9月にブレーメンで開催された INVEST (IODP New Ventures in Exploring Scientific Targets: 次期科学目標検討会議) では、世界中から600人の研究者が集まり、次期 IODP の科学目標が話し合われた。

- ・ IODP New Science Plan

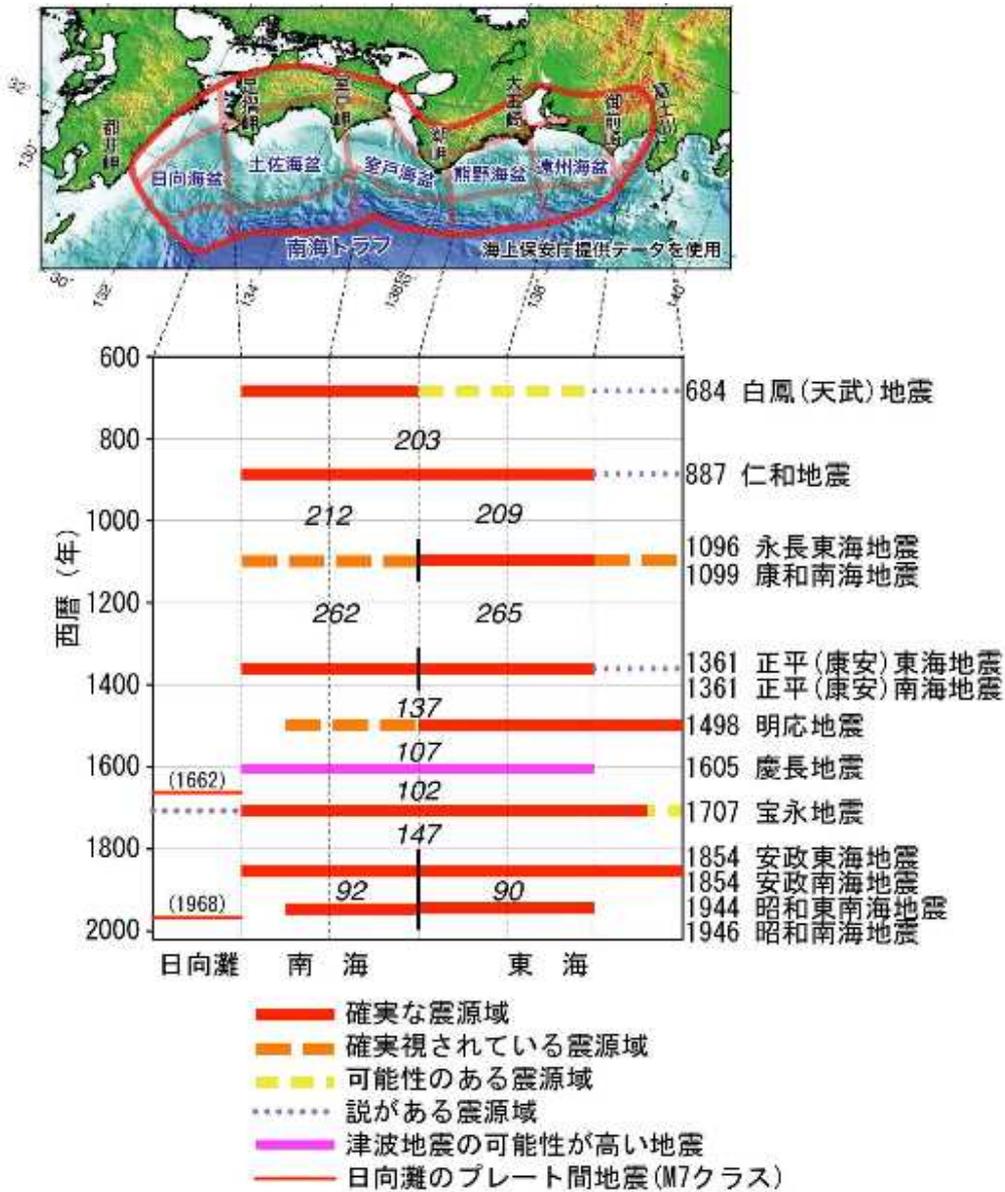
2011年6月に IODP New Science Plan (IODP 次期科学計画) の科学目標が正式に決定され、スマトラ地震、東北沖地震を踏まえ、地震発生帯掘削が重要な課題として選ばれた。

- ・ Chikyu+10

2013年4月に東京で開催された Chikyu+10 国際ワークショップでは、世界中から400人の研究者が集まり、新 IODP におけるライザー掘削の対象が話し合われ、Flagship Project として南海トラフ地震発生帯掘削が選ばれた。

3. 南海トラフを震源とする地震

南海トラフ掘削の対象海域周辺は、いわゆる南海・東南海地震とよばれる地震の発生源と言われている。南海・東南海地震は、遠州から日向灘までの海溝地帯を発生源とする地震であり、この地域では定期的に大地震が発生している(なお、現在は南海地震、東南海地震という固有地震説の見直しから、海域名等で区分される傾向にある)。地震調査研究推進本部による「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について」(平成25年5月24日)では、この地域における今後30年以内の地震発生確率が70%程度と極めて高い確率が推定されている。また想定される被災地には産業活動が集中しており、内閣府による「南海トラフ巨大地震の被害想定について(第二次報告)」(平成25年3月18日)の最悪のシナリオでは200兆円規模の被害が想定されている。



(地震調査研究推進本部「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)概要資料」より)

図1 南海トラフを震源とする地震の発生履歴

4. 津波による人的被害軽減の重要性

「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」(平成 26 年 3 月 28 日)では、南海トラフ地震では最悪 33 万人の死者数が想定されており、今後 10 年間で想定死者数を 8 割減らす数値目標が設定された。

警察庁の報告によると、東北地方太平洋沖地震による死者 15,000 人余のうち 90%以上は水死であるため、津波による人的被害の軽減は最難課題とされている。津波対策としては以下が挙げられている。

- ・ 津波避難意識の向上
 - － 津波ハザードマップの作成
 - － 津波防災訓練の実施
 - － 自主防災組織の充実
- ・ 津波情報の的確な伝達
 - － 津波予報の迅速化
 - － 防災行政無線等の整備
- ・ 避難施設、防災施設の整備
 - － 避難地の整備
 - － 海岸保全施設の整備

また、宮崎県の試算では、早期避難による減災効果が高いと報告されている。

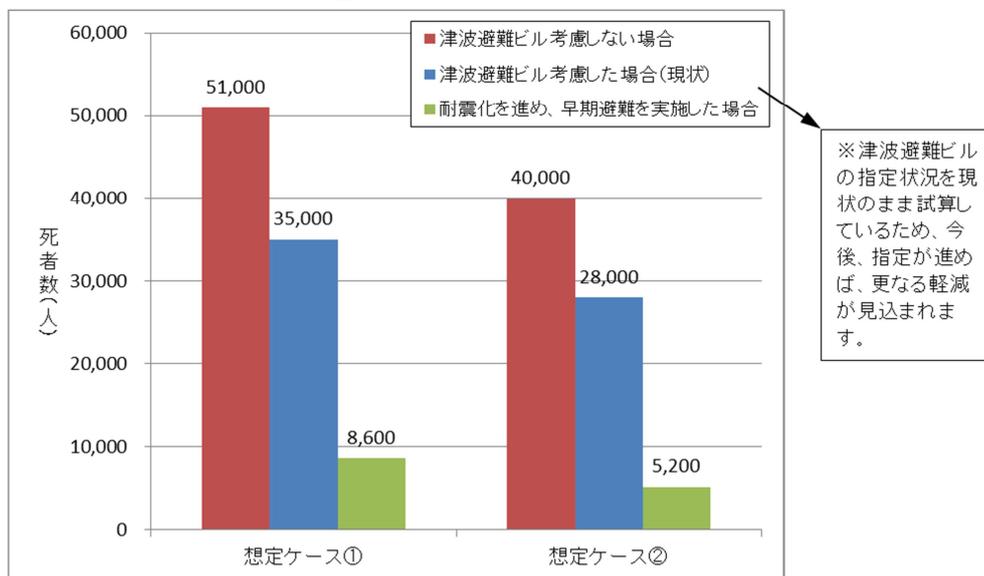


図 2 人的被害の減災効果(宮崎県試算)

5. 南海トラフ掘削によって期待される効果

将来期待される防災への貢献は以下のとおり。

- ・ 断層部でのひずみ限界の推定

実際の地質データである、断層面の試料による摩擦係数や孔内応力のデータを用いてひずみ蓄積の限界をより精密に推定する。

- ・ 地震速報の早期化

最終的に海底下数千メートルに地震計を設置し、リアルタイムモニタリングすることにより、秒単位での早期化を図る。

- ・ 精細な地震観測情報の提供

海底下の震源に近い場所での測定によって、低周波地震のデータなどから地震発生のパターンを分析し、差し迫った地震発生の危険性を把握することの可能性を探ることなどに貢献する。

また南海トラフ地震発生帯掘削計画では前人未踏の領域での掘削が行われており、以下のような先端技術開発が期待される。

- ・ 海象条件の悪い場所での掘削、大水深での掘削など、日本近海での海底掘削に必要な掘削技術の開発
- ・ 耐熱センサーなど極限環境下で機能する測定技術の開発

参考資料2-2 「南海トラフ地震発生帯掘削計画」によって期待される成果

1. 付加体の進化と断層活動の歴史

これまでの南海トラフ地震発生帯の掘削によって多くの科学的進展が見られるが、その一つに沈み込み帯のメカニズムの解明がある。その結果、プレートが沈み込む際に沈み込まれる側の地質状況によりセグメント分けが起きているという見方が有力となってきている。また、フィリピン海プレートに日本列島が乗り上げたとされる従来の日本列島形成の定説を見直す動きにもつながっている。

そもそも、南海トラフが掘削対象として選定されたのは、1400年にわたる詳細な地震の記録があり、海溝一般の地震・津波発生を理解するうえで有利であると国際的にも認識されていたことにある。地震の歴史から、南海トラフの破壊領域は図4のA,B,C,Dの様にセグメント化されて考えられていたが、何故そうなるのか理由は明らかにされていなかった。

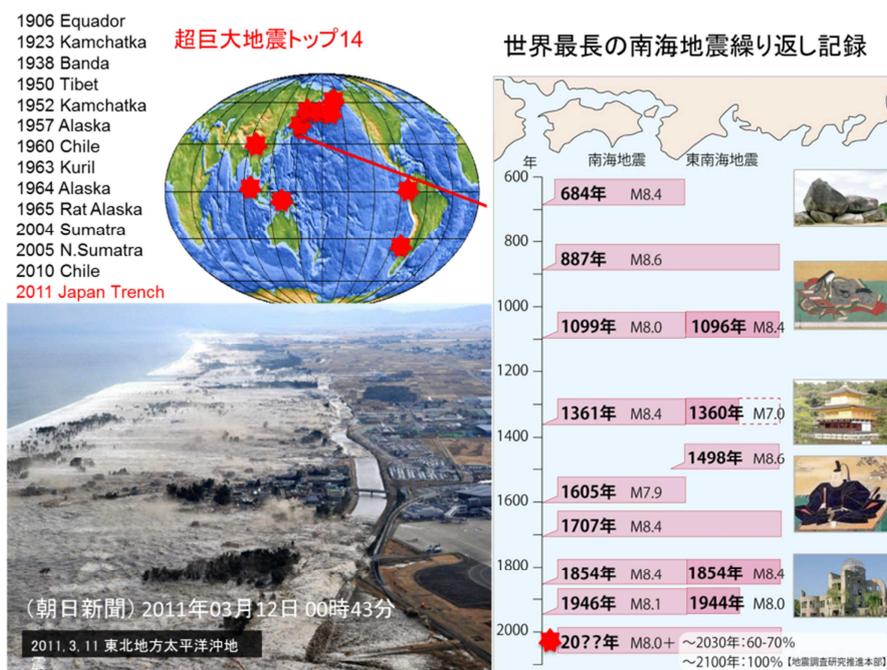


図3 南海トラフ地震の記録

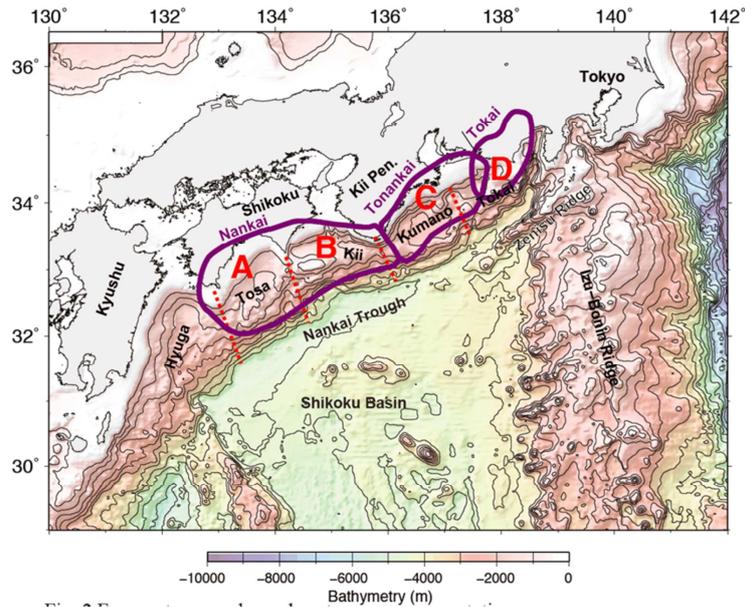


図 4 南海トラフのセグメント区分

沈み込むフィリピン海プレートの磁気異常を南海トラフ地形図と重ね合わせてみると、沈み込むプレート側の場所によって破断帯や海山といったような凹凸があり(図 5)、それが影響を与えているように見える。しかし、それが破壊領域に大きく影響しているかについては、様々な議論がある。

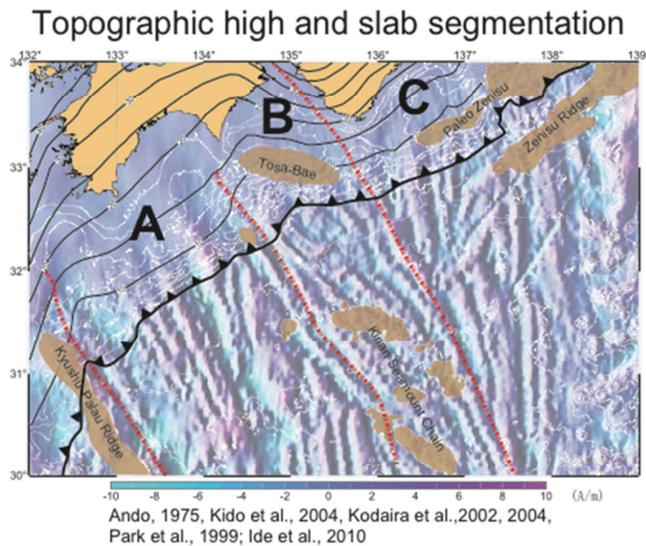


図 5 フィリピン海プレートの磁気異常による地形の解析

そういった議論の中で、発想を転換して沈み込まれる側の上盤プレートを成因として検討したところ、図 6 の重力異常図のように足摺岬沖、室戸半島沖、潮岬沖の西南日本の南海トラフの岬の先端部がすべて正の重力異常になっていることがわかり、従来指摘されているセグメント区分に合

致することが判明した。

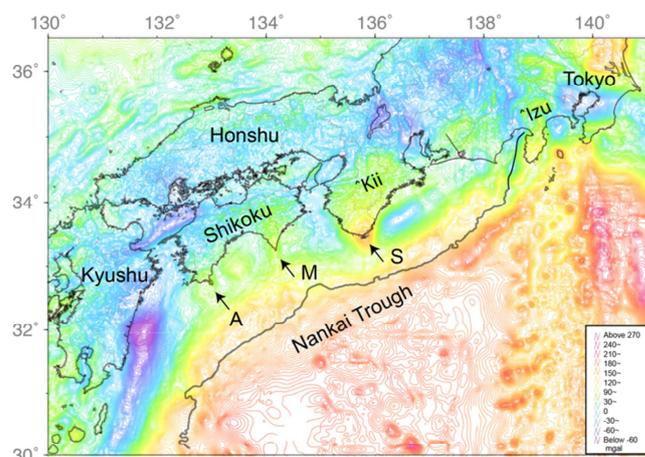


Fig. 4 Bouguer gravity anomaly for the assumed density of 2.0 g/cm³. Note that the Capes Ashizuri (A), Muroto (M) in Shikoku, and Cape Shiono (S) in the Kii Peninsula and their northern extensions represent positive anomaly in the forearc region. The anomaly might be caused by the existence of dense plutonic rocks beneath there. Gravity contours are from Geological Survey of Japan (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>)

図 6 南海トラフ近辺の重力異常

図 7 は紀伊半島の重力異常図の上に地質図を重ねたものである。従来、上盤プレートは付加体から構成されると考えられてきたが、花崗岩質が多くを占めていることが分かり、これが南海トラフの破壊領域をコントロールしているのではないかという意見もあったが、一般性をもつものなのか議論されてこなかった。そこで、電磁波による電気特性の結果と比較したところ、非常に比抵抗の大きい岩帯が地殻のほとんど(深さ 20km)を占めていることが分かった。つまり、紀伊半島は付加体で占められているのではなく、相当部分が花崗岩帯で占められていることが分かった。

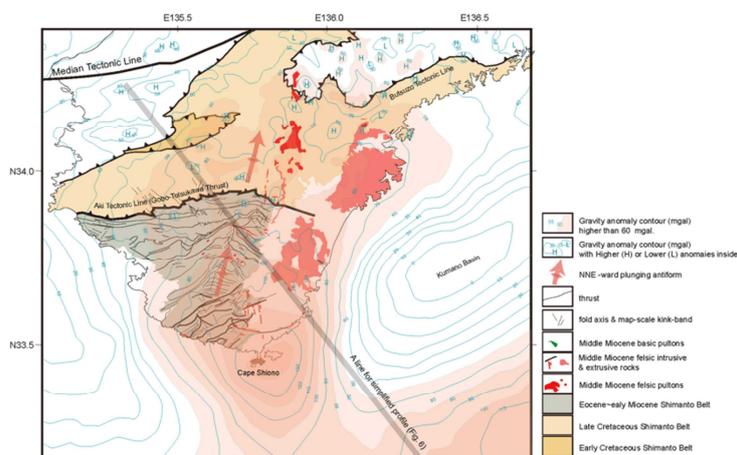
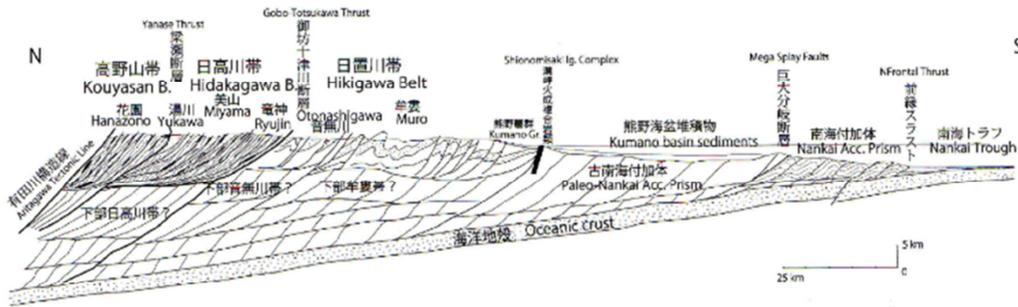


Fig. 5 Simplified geologic structure of the Shimanto Belt in the Kii Peninsula north to the Cape Shiono with Bouguer gravity anomaly with assumed density of 2.0 g/cm³ (compiled from Nakaya, 2012; Seamless Geological map series by Geological Survey of Japan, 2013). Note that NNE-ward plunging antiform and felsic plutons is clearly recognized. The antiform and igneous rock distribution is associated with positive gravity anomaly and is continued to the off-shore continental shelf. The gravity anomaly around the Cape Shiono suggests a large pluton below.

図 7 南海トラフ重力異常図及び地質図の重ね合わせ



第9図 有田川構造線から南海トラフに至る地域の地下深部断面模式図
 Fig. 9 Subsurface geologic profile of the Shimanto and the Nankai Accretionary Prisms.

Suzuki (2012)
 common idea
 Accretionary prism growth and the splay fault as an out-of-sequence thrust

図 8 従来の南海トラフにおける地下深部断面

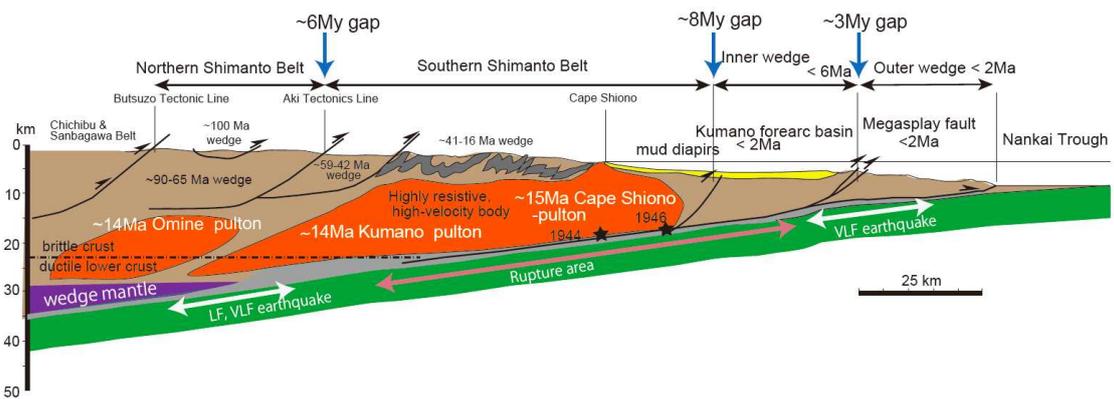


図 9 重力異常、電気特性の調査に基づく推定地下深部断面

紀伊半島主部が付加体でなく花崗岩帯であるとなると、それらはどこから来たのか、つまり、これまで日本列島形成の説として、日本海側が開く際、既に存在していたフィリピン海プレートに日本列島が押しつぶさったとの見方を再検討する必要が出てきた。そのため、南海トラフのフィリピン海プレート側の掘削結果を分析したところ、約 1500 万年から 1200 万年前の砂状の堆積物が見つかり、年代と鉱物組成の分析から、これらは日本列島由来のものではなく、中国大陸起源であると判明した。一方、熊野海盆の上盤のほとんどを占めている付加体は、ほとんどが約 550 万年より若く、非常に新しいものである。

これらのことから、図 9 のように、フィリピン海プレートそのものが約 1500 万年前には琉球列島の沖合程度の位置であったと推定され、そこにはかつての古い揚子江が直接流れ込んでいたというモデルが提起された。

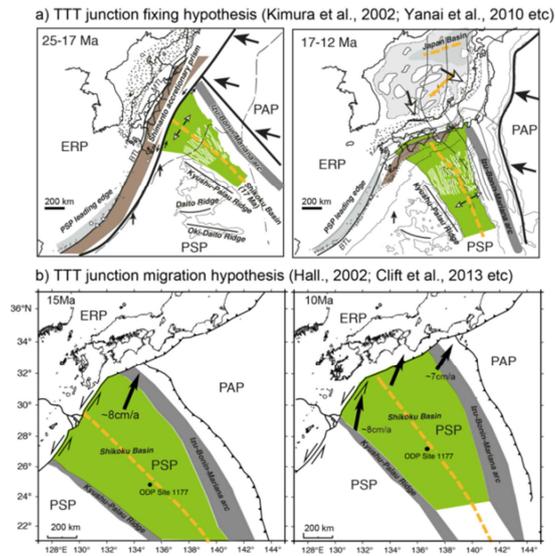


Fig. 2 Two hypotheses for the middle Miocene Nankai margin.
 a) A traditional hypothesis originally proposed by Seno and Maruyama (1984) and followed by Maruyama et al. (1997). The TTT junction among the Nankai trough, the Japan trench and the Izu-Bonin-Mariana Trench has been almost fixed since ~17Ma off Tokyo and SW Japan overthrust upon the young and hot Philippine Sea Plate.
 b) TTT junction migration hypothesis proposed by Hall (1995), Sdrölias et al. (2004) and recently supported by Clift et al. (2013) and Pickering et al. (2013).
 Note that the Nankai margin was swept by northern tip of the Izu-Bonin-Mariana Arc colliding with its eastward migration.

図 10 日本海が開く際のプレートモデル

これを書き直すと図 11 にあるように、伊豆半島がかつて九州の沖合から紀伊半島、そして現在の伊豆半島に至るように、なめる様にして東進して日本列島に関与したという、全く新しい日本列島像が考えられる。それは紀伊半島、室戸半島等々の室戸岬、それから紀伊半島の潮岬等々の上盤プレートの地質帯に影響を与え、現在の破壊領域を決めていると考えられる。

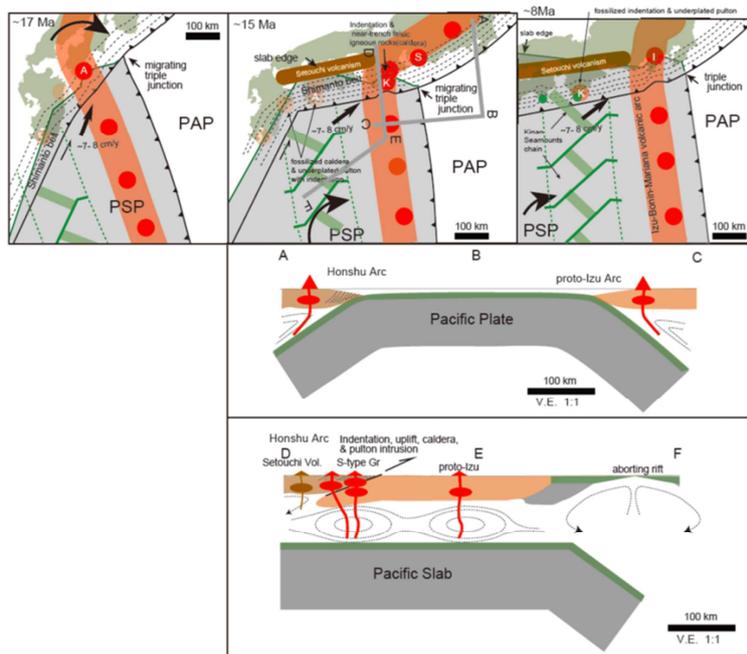
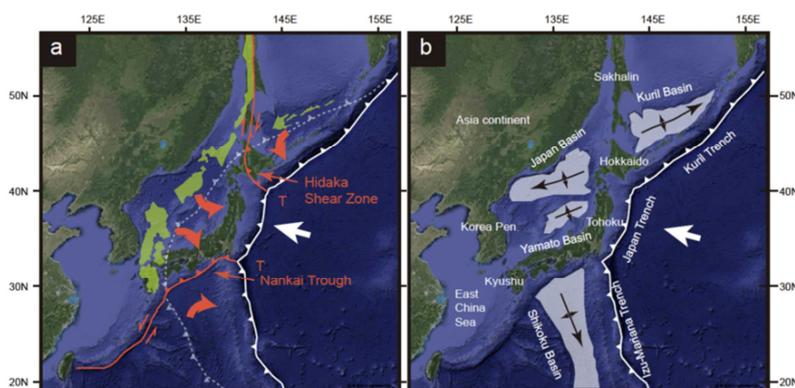


図 11 南海トラフ地震発生帯掘削計画の結果、得られた日本列島形成モデル

これは、従来考えられていた日本列島の形成、すなわちフィリピン海プレートが常にゆっくりと沈み込んでいて現在に至るというモデルではなく、約 1200 万年前に日本列島は大きく形成が止まり、その後約 600 万年前に現在につながるプレートの沈み込みが開始されたことを示唆している。このように日本列島の形成モデルを大幅に考え直すきっかけとなったことは南海トラフ掘削の大きな成果である(以上、Kimura et al. Tectonics)。



掘削は、南海破壊領域の進化的要因を示唆。
掘削は、日本列島形成史の大幅変更を示唆。
(Kimura et al., TECTONICS in press)

図 12 南海トラフ地震発生帯掘削計画により示唆された新たなモデル

2. 沈み込む堆積物と基盤岩

南海トラフ地震発生帯掘削計画では、海溝の東側 2 カ所の掘削を行い、堆積物の下の基盤岩である海洋地殻まで掘削している。この掘削で得られた玄武岩から、沈み込む海洋地殻には多くの水分が含まれており、それが沈み込んだ後、地震発生帯で脱水することで間隙水圧の高いすべりやすい層を作っていることが解明された。

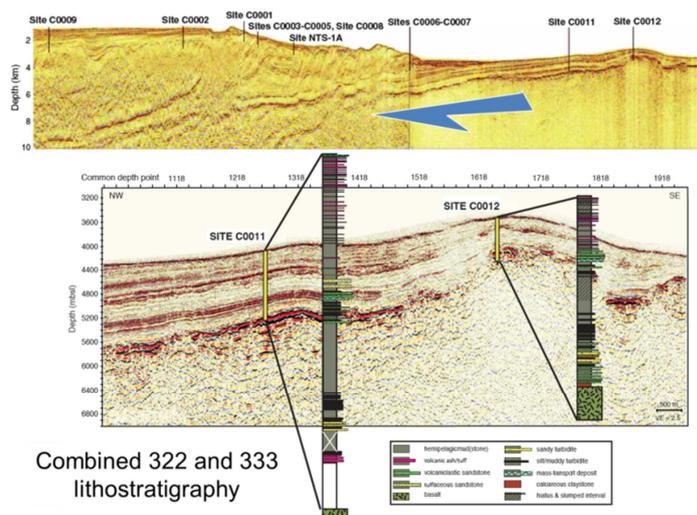


図 13 掘削断面図

海洋プレートの掘削によって得られた玄武岩は、変質して水を多く含んだ含水鉱物に変化しており、この中でもサポナイトという粘土鉱物が非常に多くを占めていることが判明した。含水鉱物系や粘土鉱物系、オパール系鉱物は、沈み込みによって温度が 100 度程度の環境になると脱水を活発に引き起こすため、地震発生帯の付近には含水鉱物は存在せず、主に地質の隙間に存在する水が悪さをすると考えられていた。しかし、サポナイトという粘土鉱物は温度にして 150 度から 300 度へ至る際にクロライトという鉱物に変化し、その過程で脱水することが判明し、これが地震発生帯の唯一の水源であるという発見があった。

沈み込み帯内部でのS-C 反応

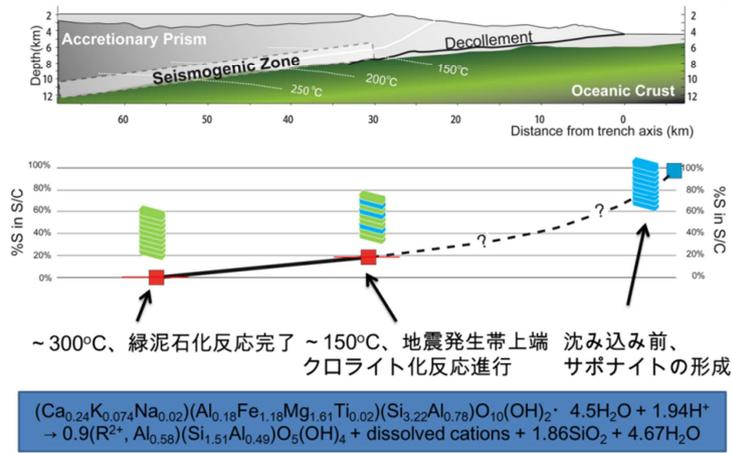


図 14 クロライトへの変質

例えばオパール系鉱物は、地震発生帯においてプレートが沈み込んで温度 150 度に至るまでに、脱水して水晶となる。水が抜けにくい環境にあると間隙水圧が上昇し、岩石の破壊強度、あるいは摩擦力を大きく下げる効果がある。

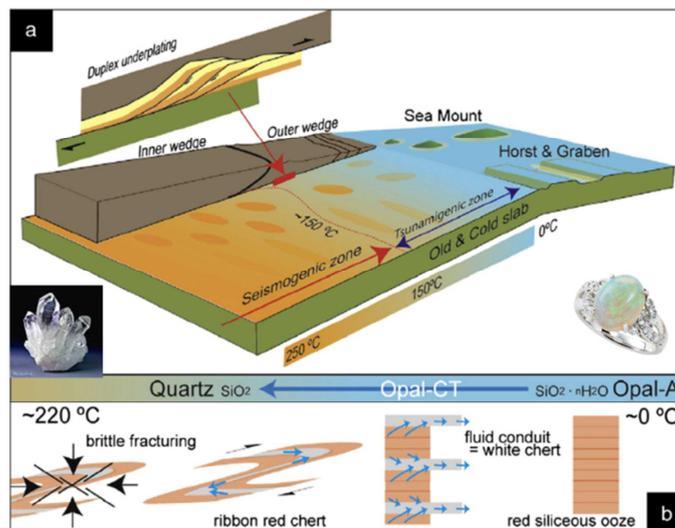


図 15 オパール系鉱物の変質