

南海トラフ巨大分岐断層の起源と全歴史を解明

木村 学(地球惑星科学専攻 教授), 北村 有迅(地球惑星科学専攻修了*)

南海トラフでは歴史的にくりかえし海溝型巨大地震が発生し、津波とともに甚大な被害を及ぼしてきた。政府の地震調査研究推進本部によると、来る30年以内の発生確率は、東南海地震で60～70%、南海地震で50～60%とされている。この地震を引き起こす断層は、プレート境界断層とともにそこから分岐した断層であるとの推定がなされてきた。

統合国際深海掘削計画 (IODP)・南海トラフ地震発生帯掘削計画は、この地震発生断層を地球深部探査船「ちきゅう」によって直接に掘削し、地震準備・発生過程を解明するほか、孔内の連続観測を実施することにより、来るべき東南海、南海地震の発生に備えるというものである。その第1ステージでは、断層を含めて海底下の浅い部分を掘削し、活動の全貌と現在の状態を把握することを目的として実施され(図)、その第316次研究航海は、断層近傍から直接試料を回収することにより、分岐断層の起源と歴史を解明することをその目的のひとつとした。

掘削によって得られた堆積物と堆積岩の年代決定の結果より、分岐断層の活動の開始は195万年前までさかのぼることが判明した。また炭酸塩含有率を検討した結果、当初の深度は海溝の近傍であったと推定された。当初の変位速度は大きいものであったが、いったん変位速度が落ち、155万年前ほどから再び活発化し、急速に隆起したことも判明した。この過程でほぼ

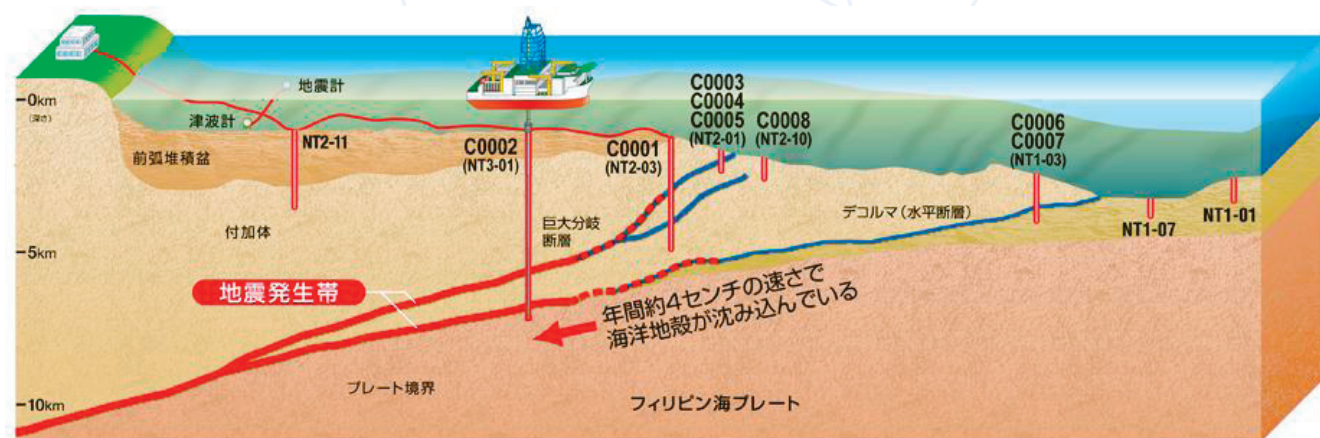
現在の状態に近づいたと推定される。地震・津波発生断層として機能しはじめたのは、この時以降と推察される。124万年前以降は、分岐断層は海底直下の浅い部分ではより分岐し、現在に至っていることも明らかとなった。

本成果は、これまでの南海トラフの断層と地震活動の歴史を大きく塗り替えるものであると同時に、この分岐断層が今後の東南海、南海地震においても活動することを強く示唆している。断層そのものの詳細な研究は継続中であり、また、現在実施中の第2ステージ南海トラフ地震発生帯掘削計画では、この分岐断層に孔内観測装置を設置するための準備が行われている。来年度以降に実施する予定の第3ステージでは、分岐断層の深部、地震発生領域まで掘削する予定である。南海トラフにおいて、超深度掘削により、海溝型巨大地震発生断層における準備・発生過程の解明に迫ろうとする計画は、前人未到の研究計画であり、その成果の社会的還元も大きく期待される。

本成果は、M. Strasser *et al.*, *Nature Geoscience*, **2**, 648-652, 2009 に掲載された。

(2009年8月17日プレスリリース)

* 現所属は、ドイツ、キエール大学、ライプニッツ海洋科学研究所。



■ ステージ1掘削地点。C0004において分岐断層を貫いて掘削し、C0008において分岐断層が切る堆積物の年代が確認できた。

酸性化した海ではサンゴが消滅

井上 志保里(地球惑星科学専攻 修士1年),
茅根 創(地球惑星科学専攻 教授)

東京大学海洋調査探検部の8名(隊長・井上志保里)は、徳之島より西に65 kmの位置にある活火山の無人島、硫黄島島に上陸、サンゴ礁の調査を行ったところ、火山活動によって酸性化した海では造礁サンゴがみられず、骨格を持たないソフトコーラルが密生することを発見した。これは地球温暖化で酸性化するサンゴ礁生態系の予測に重要な知見を提供する(図1)。

2009年8月1日から3日まで、東京大学海洋調査探検部の硫黄島島遠征隊の、隊長・井上志保里(地球惑星科学専攻・修士1年)率いる、農学部、工学部、教養学部の2年から4年生までの7名は、活火山の無人島である硫黄島島(沖縄県久米島町; 鹿児島県徳之島から西に65 km)に上陸し、同島海岸にキャンプして、ダイビングによる調査を行った。調査の目的は、これまで定量的な調査がまったく行われていなかった、同島のサンゴ礁地形・生態と魚類相を明らかにすることであった。

調査の結果、温泉の影響を受けて高温・酸性(海水温32.7℃, pH 7.74)となった環境では、石灰質骨格をもつ造礁サンゴが見られず、骨格を持たないウネタケ(ソフトコーラル)の仲間が群生していることを発見した(図2)。同じ島でも、温泉から離れたpH 8.16の海域では健全なサンゴ群集が広がっている。魚類相も、温泉がある東岸の浅海域ではセナスジベラがよく観測されたが、他の地点では確認されなかったという特徴があった。

地球温暖化の原因である大気CO₂濃度の増加によって海洋が酸性化し(2倍CO₂でpHは現在の8.2から7.8へ酸性化)、サンゴなどの石灰化生物が減少することが予測され、実験室ではサンゴの成長速度が遅くなることなどが確認されていた。しかしながら実際の酸性化した海域で、生態系がどのように変化するか、フィールドにおける観察はなかった。今回の発見は、

温暖化・酸性化したサンゴ礁では造礁サンゴがソフトコーラルにシフトする可能性を、実際の生態系で初めて観察した点で重要である。成果は、奄美新聞などの地方紙のほか、読売新聞など全国紙でも報道された。

本遠征は、東京大学海洋調査探検部の40周年記念事業の一環として行われた。同部は、1969年に創立(学友会所属)されて以来、ダイビングによる海洋調査と探検を目的として、ミクロネシアのトラック、マジュロの遠征調査、三宅島における1983年の噴火によって海に流入した溶岩への生物の定着状況の調査、琉球列島やパラオのサンゴ礁調査などで、学術的にも高い成果をあげてきた。現在の部長は、遠征にも参加した澤山周平(農学部4年)、顧問は茅根創(地球惑星科学専攻・教授)である。

無人島での野営、ダイビングによる調査と、それによって学術的に重要な成果を得たことは、本学総長が標榜する「タフ」な東大生の象徴といえる。本遠征は、同部のこれまでの活動をベースとして成功したもので、同部のこれまでの活動とあわせて高く評価され、2009年度(秋)の総長賞を受賞した。

なお遠征の資金は、参加した部員の私費と東京大学海洋調査探検部OB会支援のほか、財団法人日本科学協会、2009年度笹川科学研究助成「トカラ火山列島最南端に位置する無人島、硫黄島島のサンゴ礁の地形・生態調査」(井上志保里)によって船渡し代を支出された。

(2009年8月24日プレスリリース)

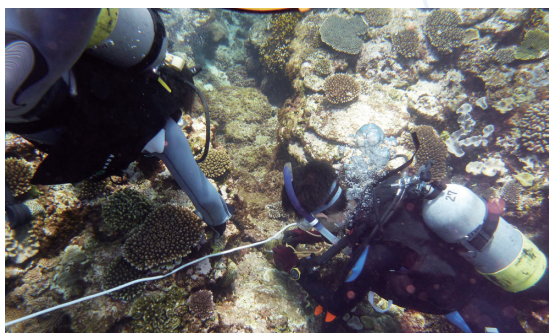


図1: スクーバダイビングによる調査の様子

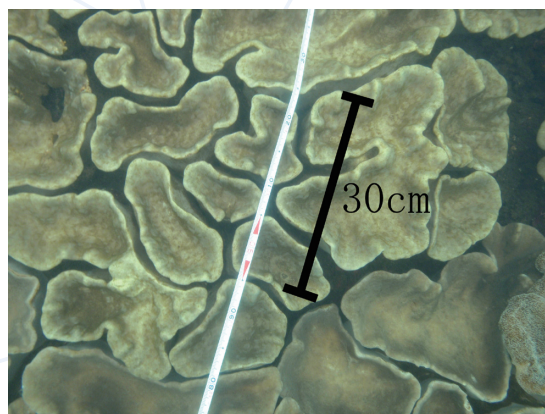


図2: 温泉から90m沖。pH 7.74 海水温 32.7℃。温泉近くでは、サンゴ礁でできた基盤の上に、ソフトコーラルの、ウネタケの一種が密生していた。生きているサンゴはみられない。

オオバコの仲間は雑種だらけ

塚谷 裕一（生物科学専攻 教授）

このたび筆者らと基礎生物学研究所、山形大の共同研究グループは、道端に生えて、踏まれても踏まれても丈夫に育つことで世界的にも身近な雑草、オオバコの仲間について遺伝子解析を行った結果、おどろくほど多くのオオバコ属植物が、互いに複雑に入り組んだ雑種の関係になっていることを明らかにした。これは、従来の方法では雑種由来かどうか判別できなかった点を改善した、独自の系統解析から判明したものである。いわゆる網状進化が、属全体にこれだけ頻繁に起きているという事実は、植物の進化の理解の上で、たいへん興味深い発見である。

今回の発見を具体的に例で説明する。日本で見られるオオバコ属には、日本古来のオオバコと、帰化種のセイヨウオオバコとがある。これらは互によく似た種で、図鑑には区別点がかかれてはいるが、実際には区別がひじょうに困難である。私たちの遺伝子解析の結果、区別が難しいのも当然であることがわかった。つまりオオバコは、セイヨウオオバコと、未知の別種との間でできた雑種に由来する種類だったのである。

さらに面白いことに、南西諸島に見られるオオバコ類似の種類については、以前から、台湾オオバコという独立種という説のほか、オオバコであるという見解、セイヨウオオバコであるという見解があった。これを調べてみたところ、この種類は、オオバコにもう一度セイヨウオオバコが交雑した種が起源であることがわかった。人によって意見が分かれるのは当然だったのである。

以上は、今回わかった新事実の、ほんの一部の例である。

まずオオバコ属の中のひじょうに多くの種は、ゲノムのセットを多数もっていることが、これまでも知られていた。今回の私たちの解析の結果、その秘密は、くりかえし起きた雑種形成にあることがわかった。一般的に、異なる種の間でできた雑種は、種子をつけることができない。しかしその雑種が倍数化して、ゲノムのセットを2セットずつもてば、再び種子もつくれるようになり、新たな種として繁殖し始める。オオバコとセイヨウオオバコの交雑でできた台湾オオバコも、交雑後、ゲノム倍化によって自立した種だと考えられる。オオバコ属は、世界に分布を広げながらこうしたプロセスを何度もくりかえし、多様に進化してきたことが、今回、判明した。ふつう、生物の系統樹は、木の枝のように、末端に行くほど細かく分かれていくものであるが、このように、いったんほかの種に分かれたもの同士が交雑をくりかえし、進化が進む現象を、網状進化という。

オオバコ属は、網状進化を最大限利用している典型例だったのである。驚くことに、種間のみか、属の下のレベルの「節」の間ですら交雑が起きてきたようである。たとえば日本各地に帰化しているツボミオオバコも、2つの異なる節の間の交雑から生じたもので、雑種から生まれた種が多いオオバコ属の中でも、遠縁同士の交雑から生まれた種であることが今回、判明した（図）。

こうしたことがこれまで気づかれていなかったのは、互によく似た種を、むりやり形で分類してきたこと、また、雑種を調べるのには不適當なDNA配列を使った解析しかされてこなかったことにある。私たちは今回、雑種の間隔を決めるのに適切な新たなDNA領域を使い、以上のような知見を得ることができた。研究にあたったのは、基礎生物学研究所の博士研究員である石川直子博士、山形大学教授の横山潤博士、そして筆者からなる研究チームである。

以上の成果は、アメリカ植物学会誌に、N. Ishikawa *et al.*, *American Journal of Botany*, **96**, 1627–1635, 2009として掲載された。

(2009年9月14日プレスリリース)



■ ツボミオオバコ。1913年に国内で最初に記録された岡崎市で撮影。

強い地球磁場のつくりかた

櫻庭 中 (地球惑星科学専攻 助教)

地磁気の発生機構を知るために、地球の液体金属コアの熱対流とそれとともなうダイナモ作用を、数値シミュレーションで再現した。過去のモデルが抱えていた問題点、すなわちパラメーターを地球に近づけているにもかかわらず、生じる磁場の特徴が地磁気のそれに反してしまうという矛盾が、不適切な温度境界条件に起因していることを明らかにした。

地球には固有の磁場がある。宇宙空間の中に「地球」なるものを定義しようとすれば、地圏、大気圏の外側にさらに磁気圏を含めることができ、これらはひとつの地球システムとして原始地球が誕生して以来、営みを続けている。地磁気の発生源は、地球中心に位置するコアとよばれる金属鉄の領域に流れる電流にある。コアの大部分は熔融しており流動しやすい。その流動の力学的エネルギーを、発電機(ダイナモ)と同様の原理によって、コア自身が電磁気的エネルギーに変えている。同様のダイナモ作用は、太陽や木星など多くの天体に普遍的にみられる。

多くの研究者は、地球のゆっくりとした冷却が、自転する液体金属コアの熱対流運動を駆動し、ダイナモ作用を引き起こすというモデルによって、南北方向を向いた強い双極子磁場の生成や、その時間変動の特徴などを説明することができると信じている。実際コンピューターをもちいた再現実験(シミュレーション)はそれを支持している。しかしこれまでのシミュレーションには問題点も多い。もっとも問題なのは、モデル流体の粘性パラメーターが想定される値よりも高すぎるという点である。近年、並列コンピューターが進歩し、より低い粘性パラメーターのもとでの乱流的なダイナモの高解像度シミュレーションがいくつか報告されている。これらは地磁気の特徴をよりよく再現するはずだと期待されたが、現実はその逆に反した。むしろ双極子が卓越しない解や、弱い磁場の解しか得られないのである。

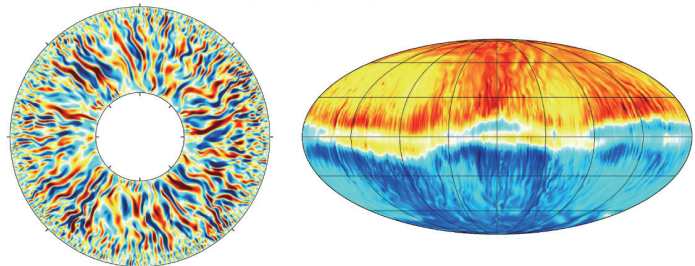
われわれはこの矛盾が、コアの表面に課せられた不適切な温度境界条件に起因していることを示した。過去の低粘性モデルと同様、表面温度を水平方向に一樣とすると、対流の空間スケールが細かく、磁場の弱い解しか得られない。いっぽうそれと対極にある熱フラックス一様な境界条件(温度の鉛直勾配が水平方向に一樣)をもちいると、大規模な渦が発生し、比較的強い磁場が生成する。とくに

コア表面の磁場のパターンがゆっくりと西向きに動くようすは、実際に観測される地磁気の西方移動とよく似ていた。この劇的な相違は、(大気の大循環のような)液体コアの子午面内循環がダイナモ作用と深く結びついていて、かつそれが温度境界条件に強く依存するために起こる。なお計算には地球シミュレーター(海洋研究開発機構)を使用した。

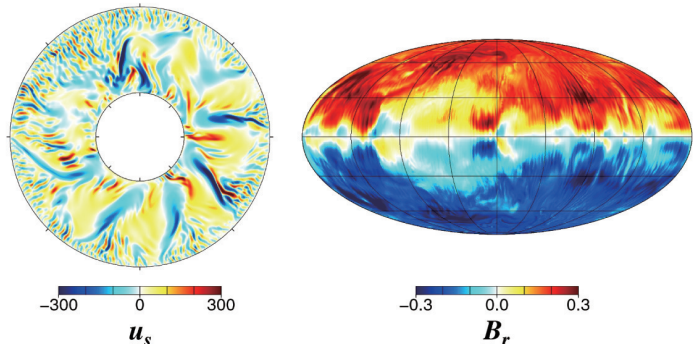
コアを覆っているマントルは熱輸送の効率が悪く、温度一様な条件は物理的に不適切である。本研究は、物理的に適切な境界条件をもちいれば、粘性パラメーターを低く抑えることで、より地球に似た強い磁場が再現可能であることを示した。今後はこの方針にしたがって地磁気発生メカニズムを詳細に明らかにする計画である。本研究は A. Sakuraba and P. H. Roberts, *Nature Geoscience*, 2, 802-805, 2009 電子版 (doi:10.1038/NGEO643) で発表した。

(2009年10月2日プレスリリース)

表面温度一様モデル



表面熱フラックス一様モデル



2つの異なる温度境界条件のもとでの低粘性地球ダイナモモデルの計算結果。左は赤道面に平行な断面における流速の動径成分を示す。真ん中の小円は固体の内核。右はコア表面における磁場の動径成分。熱フラックス一様モデル(下)のほうが、対流構造が大規模で、強い磁場が生成しており、実際の地球に似ていると考えられる。