



東海スロースリップの原因と推定される地下構造を発見

その発生メカニズムと東海地震発生との関連を探る

南海トラフ周辺域（駿河湾から西に延びる水深3,000m~4,000mの海底のくぼ地）では巨大地震が繰り返し発生してきた。特に東海沖では1854年の安政東海地震以降巨大地震の発生がなく、次の地震発生が警戒されている。また国土地理院のGPS観測によれば、東海地方では通常のプレート運動以外に2000年後半から年間約1cm程度の局所的なスロースリップ(プレート境界間でのゆっくりとした滑り)が生じている。南海トラフを中心に構造研究を進めてきた地球内部変動研究センターは、国立大学法人東京大学地震研究所と共同で実施した中部日本横断海陸統合地殻構造探査の結果から、東海スロースリップの発生メカニズムの構造要因を明らかにした。



取材協力：
金田 義行 プログラムディレクター
地球内部変動研究センター
プレート挙動解析研究プログラム

地殻構造探査でわかった海嶺の沈み込み

フィリピン海プレートが沈み込んでいる南海トラフ周辺では100~150年間隔でマグニチュード8クラスの大規模な巨大地震が繰り返されており、1854年の地震ではわずか30時間程度の時間差で、1944年南海地震の破壊域と1946年南海地震破壊域に当たるエリアが続いて破壊されている。南海トラフ

では近い将来に東海地震の発生が警戒されることや南海・東南海地震との連動も議論されていることもあって、2003年には南海・東南海特別立法*も施行され、この地域に対する調査研究が強化されている。

次の東海地震震源域になるのではないかと想定される地域はちょうど陸と海の境界域にあり、最も調査のしにくいところである。そこで2001年7~8

月に実施された東海中部日本海陸統合地殻構造探査では、東海沖から中部日本を通過して日本海に達する探査測線を取り、海域を海洋研究開発機構（当時：海洋科学技術センター）が、陸域を東京大学地震研究所が中心となって観測を担当することになった。海域では海底地震計70台、陸域にも328台の陸上地震計を設置し、地上では海洋研究開発機構によるTNT火薬500kgを用い

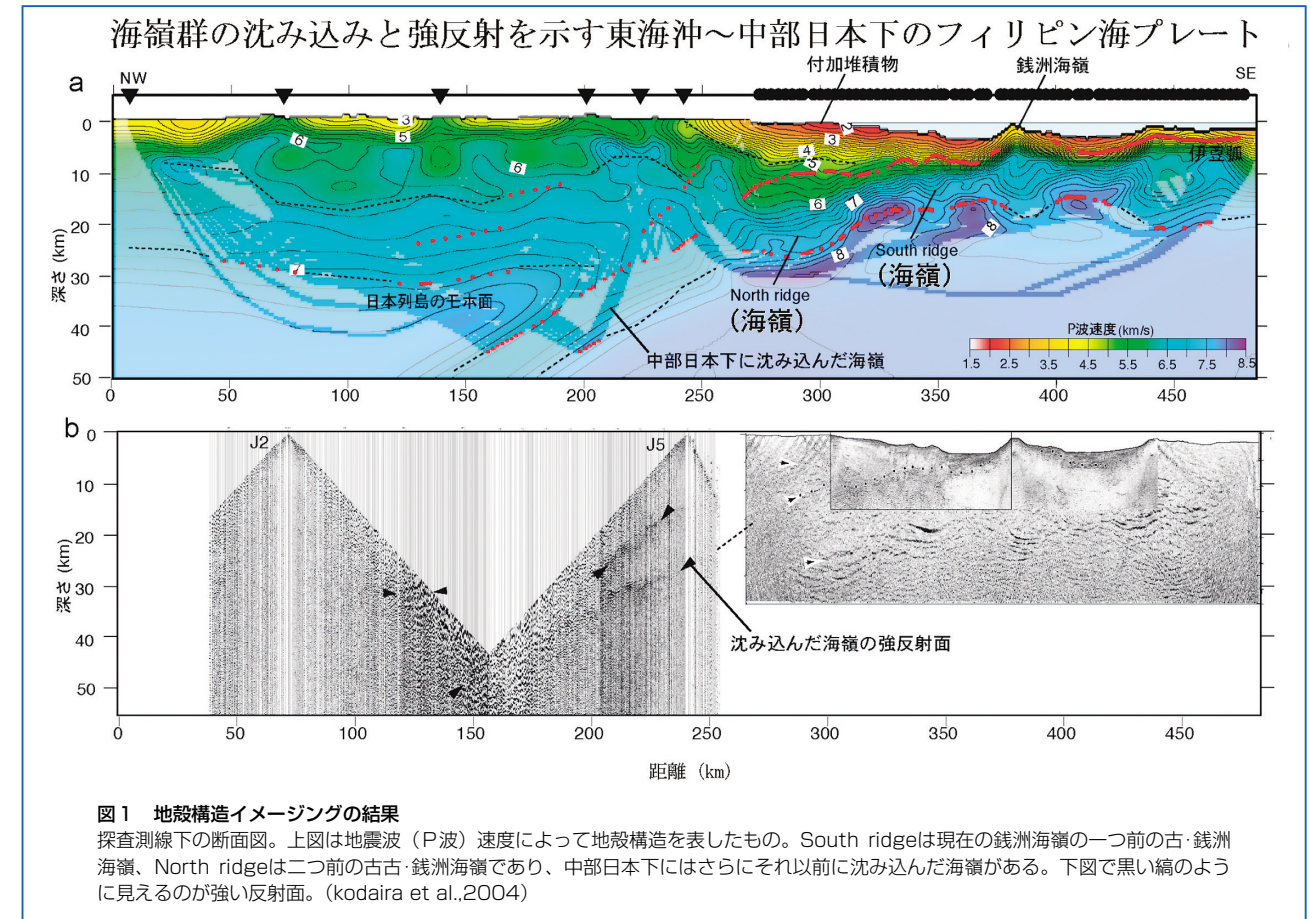


図1 地殻構造イメージングの結果
探査測線下の断面図。上図は地震波（P波）速度によって地殻構造を表したものである。South ridgeは現在の銭洲海嶺の一つ前の古・銭洲海嶺、North ridgeは二つ前の古古・銭洲海嶺であり、中部日本下にはさらにそれ以前に沈み込んだ海嶺がある。下図で黒い縞のように見えるのが強い反射面。(kodaira et al.,2004)

た発破を5地点（加えて東京大学地震研究所による小発破1地点）、海域では船からの大容量エアガン発振を実施した。その際に地中を伝播する屈折波および反射波の記録を海陸両側から観測し解析することで、海陸境界域の地殻構造の解明を行ったのである。

探査結果を元に、地殻構造のイメージングを行うと図1のようになる。図1上は屈折法探査（地震波速度の違いを利用したもので、深部の探査に向いている）によって得られた地下断面図だ。東海沖の伊豆半島南の海域には、銭洲海嶺と呼ばれる海嶺があるが、フィリピン海プレートが沈み込むことで銭洲海嶺以前に海底にあった古い海嶺が、東海沖から中部日本の下に繰り返し沈み込んでいることが、今回のイメージングから明らかになった。

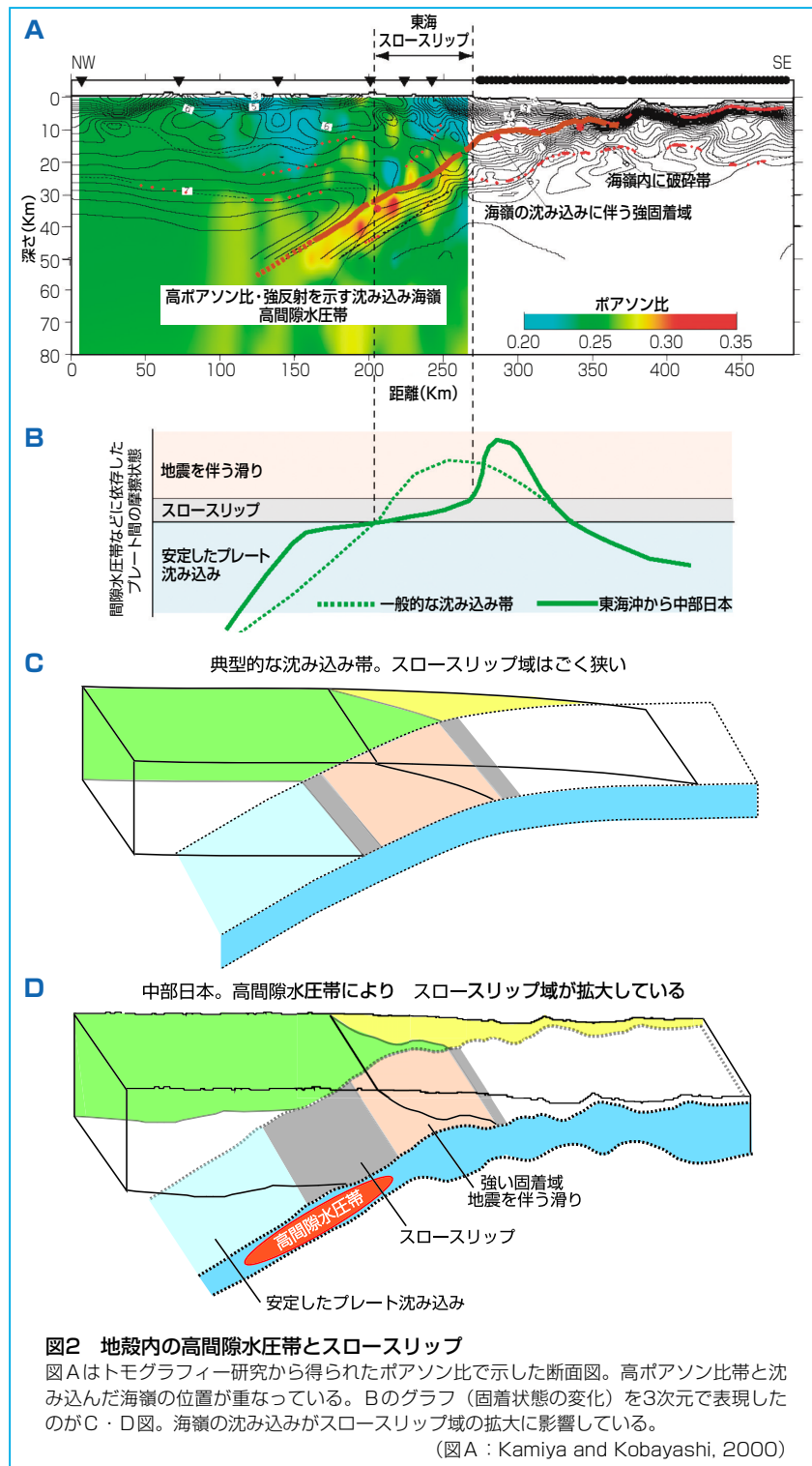
沈み込んだ海嶺とスロースリップの関係

さらに、今回の探査に基づいたイメージングからは、東海スロースリップに関して新たな事実が判明した。図1下（東京大学地震研究所の解析）は屈折法のデータを反射法（地震波の反射を利用し比較的浅いところを詳細に探査するのに向いている）的処理で陸域から見た断面図である。古い海嶺が沈み込んでいる部分に強い反射面（黒い縞状の部分）が見られる。

一方で地球内部変動研究センターには、陸上の地震観測ネットワークが捉えた自然地震の波形データを用いたトモグラフィ研究（医療で用いられるCTスキャンと同じ原理で、伝わる地震波の到達時間や波形を用いて地下の速度構造を探査する）を行っている研究グループがある。地震波のP波（縦波）、S波（横波）の速度が得られると、それを

使って「ポアソン比」という、物質の柔らかさの指標を表す情報が得られる。ポアソン比はP波速度とS波速度に依存する数式で求められ、やわらかい物質あるいは流体が存在する構造では値が高くなる（高ポアソン比となる）ため、地殻構造の物性がどのような状態なのかを知ることができる。

図2Aはポアソン比を示す断面図である。この赤色の高ポアソン比を示す部分は図1の左下図の強反射波面や東海スロースリップの位置と良く対応している。強い反射面は地下に地震波速度や密度に大きな違いがあると発生すること、ならびに高ポアソン比帯と対応していることから、この反射波境界域には流体が存在する可能性を示唆している。周囲の岩石に比べて地震波速度や密度が小さい流体が存在することで周囲とのコントラストが大きくなり、その結果、強反射波や高ポアソン比（流

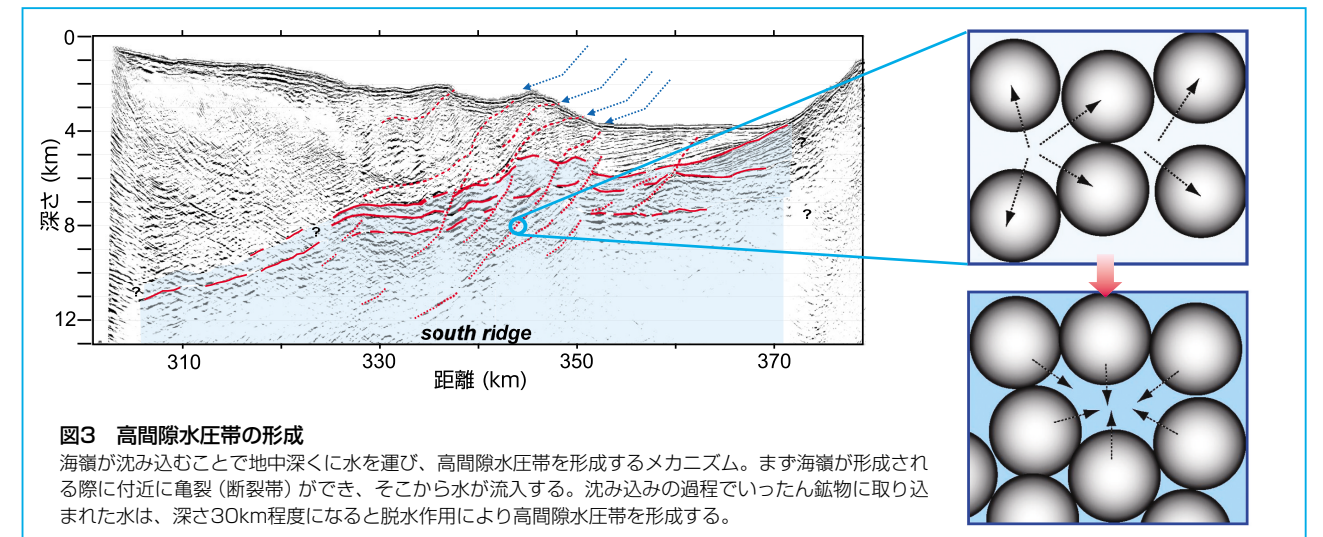


体の存在によって強度が下がるため)帯を形成する。現在の銭洲海嶺も沈み込んでいる古い海嶺も、もとは地殻が押されて盛り上がりできたもので、その過程で海嶺の「山すそ」に当たる部分に多くの亀裂(断裂帯)が入っていることが反射法探査で明らかになってお

り、この亀裂に海水が取り込まれると考えられる。深さ10kmに沈み込んだ海嶺部分の反射面を示したのが図3である。赤い部分は地殻内の亀裂で、この亀裂から海水が岩石の中に入りこみ、沈み込んでいく過程で温度と圧力で水は岩石の中に

結晶として取り込まれる。ところがより深く沈み込んで深さ30km程度まで達すると、さらに高温高压環境に置かれるため水は鉱物の中にとどまることができず押し出され、脱水する。脱水した水は逃げ場を失ってどんどん岩石の隙間に溜まって周囲を押し、いわゆる「高間隙水圧帯」を形成する。間隙水圧とは、地下の微細な間隙(すきま)に存在する水に起因する水圧のことで、高間隙水圧帯とは、間隙内の水の体積が増えるなどして間隙水圧が高くなったゾーンを指す。陸のプレートと海のプレートの境界近傍に高間隙水圧帯があると、このゾーンは潤滑油のような作用をし、プレート境界域はすべりやすくなる。この高間隙水圧帯をポアソン比で見ると、見かけ上「やわらかい物質」と捉えられるわけだ。

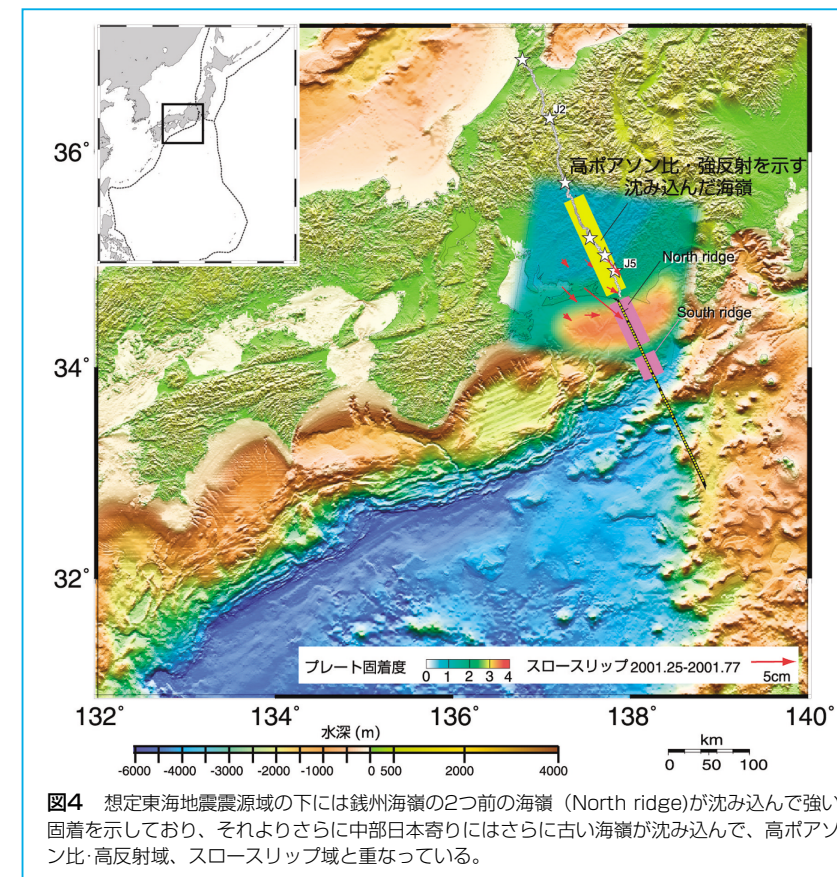
プレート境界の摩擦の状態を見ると、典型的なプレートの場合(図2C)、深さ10~30kmに沈み込んだあたりが固着(摩擦)が強く、地殻のひずみによるエネルギーをため込んで地震の発生域となる部分である。その前後にスロースリップ域に相当する部分はあるものの、ごく狭いもので、それより深くなるとプレートは安定して滑りながら沈み込んでいる。しかし海嶺のような不整形な構造が繰り返し沈み込んでいる場合(図2D)、沈み込む過程で水を取り込み、深さ30km以深で脱水作用により高間隙水圧帯を形成するためスロースリップ帯ははるかに広がると考えるモデルが提案された。観測結果からも、国土地理院のGPS解析によるスロースリップ帯と中部日本下の高ポアソン比、強反射域はよく合致していることがわかる。今回の調査では銭洲海嶺の前の古い海嶺の沈み込みの様子があったのが第1の成果で、第2の成果として東海スロースリップや東海地震の発生メカニズムが、海嶺の沈み込みと深く関連しているであろうことがわかった。想定



されている東海地震震源域には現在の銭洲海嶺の2つ前の古い海嶺が沈み込んでおり、それが今度の東海地震のアスペリティ(普段は固着して地震のエネルギーを溜め、地震の時に大きく滑るところ)となる可能性がある。そのさらに先の中部日本下には、高ポアソン比・強反射を示す高間隙水圧帯が

あり、東海スロースリップを起こしている場所と重なる。これも海嶺が連続して沈み込むことで、岩石内に水を取り込んで深部に運び込み、高温・高压状態で脱水した水が高間隙水圧帯を作り出し、プレートが滑りやすくなっているためと仮定できる。それが非常に広いゾーンにわたるため、国土地理院の

GPS観測に捉えられたと考えられる。地球内部変動研究センター・プレート挙動解析研究プログラムの研究グループは、現在起っている現象を理解するには、海嶺の沈み込みに起因する今まで述べたプロセスで東海スロースリップが発生しているという仮説がもっとも適切だと考えている。地殻構造研究で得られたモデルを用いた地球シミュレータ等の大規模シミュレーションによる長い時間間隔での地震発生サイクルに関する研究も進んできた。したがって、今後は東海だけにとどまらず、南海・東南海・東海にわたる南海トラフを一つのシステムとして捉えていくことが重要であり、さまざまな地殻変動・地震のデータ等、さらには断層岩による分析・物理実験やシミュレーション研究を統合化した研究を推進していくという考えだ。



●参考
 High Pore Fluid Pressure May Cause Silent Slip in the Nankai Trough
 Shuichi Kodaira, Takashi Iidaka, Aitaro Kato, Jin-Oh Park, Takaya Iwasaki, Yoshiyuki Kaneda
 28 May 2004, Science Volume 304, pp. 1295-1298

●引用
 S. Kamiya, Y. Kobayashi, Geophys. Res. Lett. 27, 819 (2000).