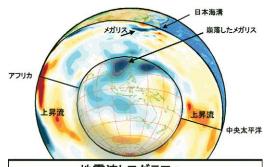
# 沈み込んだプレートはどこへ?

独立行政法人 海洋研究開発機構 地球内部変動研究センター長

いまご紹介があった深尾と申します。島崎 先生が地表近くで起きる地震をどう考えるか、 それに対してどう備えるかという話をされま した。私はそれを受けて、先ほどから繰り返 し紹介があったように、地震、特に巨大地震 は、プレートが海溝から地球の中へと入り込 むとき起きるわけですが、入り込んだプレー トがいったいどこへ行くのか、その全体のシ ナリオをどう考えればいいのかという話をし たいと思います。

これは、地震波で撮った地球の内部の一種の写真です(図 1)。それを見ると、プレートが日本海溝から地球の中へ沈み込んでいます。地球の中でも、岩石の世界をマントルと呼んでいます。それよりもさらに深い部分は、コアと呼ばれる溶けた鉄の世界です。これからは、この岩石、マントルの深さ3,000キロぐらいまでの世界のお話です。



地震波トモグラフィー 青色: 高速異常、冷たく重い 赤色: 低速異常、暖かく軽い

図 1



## 深尾良夫

それで、この海溝から入り込んだプレートがどうなるかという話をしたいわけですが、ひょっとすると皆様「メガリス」という言葉をご存じかもしれません。それは、「日本沈没」という映画でメガリスという言葉が使われたからです。メガリスは、地震学的に実体を持った存在なので、これから少しその話をしたいと思います。

「日本沈没」という映画では、日本列島が水浸しになって沈没してしまうのですが、なぜ沈没するかというのがこの映画の一つの主題になっています。それからもう一つ、いつ沈没するかという時間の問題。この沈没が、時間スケールで言うと数年ということなので息詰まるドラマが生まれるわけです。なぜというメカニズムの問題、それからいつという時間の問題、これから少しその両方を考えていきたいと思います。なぜ沈没するかというのに対して、田所先生は、メガリスなのだと言います。いつ沈没するのかということに関しては、もう数年スケールで、時間がないと言うわけです。これをもう少し掘り下げて考えてみます。

それで、地震というのは皆さんもよくご存じですし、島崎先生が詳しく話されたので詳しいことは言いませんが、震源の強い揺れ、あるいは震源で断層が滑る時間は、2004年のスマトラ沖地震みたいないわゆる超巨大地震でもせいぜい10分ぐらいと、相対的には非常に短い時間です。

私は海洋研究開発機構というところにいますが、ここが所有する調査船が2004年12月

### JAMSTEC 調査船「なつしま」によるスマトラ沖地震緊急調査

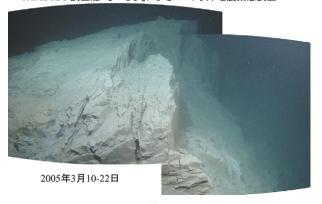


図 2

にスマトラ沖地震が起きた数カ月後に現地に 出動しました。現地というのは、スマトラ沖 地震という名前のとおり海底にありますが、 その海底に調査船がハイパードルフィンとい う無人の探査機を海底に送り込んで、そこで 何が起きているか調べました。その映像をま ずお見せして、地震がどういうものかという ことから本題に入っていきたいと考えます。

これが、われわれがハイパードルフィンと 呼んでいる無人探査機で見た、スマトラ沖地 震の震源域の海底です(図2)。これはふか ふかの堆積物ですが、地震の強烈な揺れで 粉々に壊されてしまっています。これが非常 に新しい傷口であることは、みんなエッジが 非常に鋭い。あとで見えてきますが、非常に ふかふかの堆積物ですから、昔の堆積物だっ たらみんな丸まっているはずです。いま腕が 伸びて海底のエッジをちょっとつついていま すが、あっという間に崩れてしまいます。こ のように柔らかいものですから、時間がたて ば海底の流れなどでどんどん侵食されて角が 丸くなるはずですが、これだけシャープだと いうことは、明らかに震源地の様子を見てい るというわけで、海底巨大地震の震源を初め て見た映像ではないかと考えています。

いま、震源の非常に強い揺れで海底が粉々に壊れていましたが、それはせいぜい10分以下しか続きません。でもこの揺れは、地震の波として世界中に伝わっていきます。島崎先

生が話されたように、それは地球の周りを何遍も回ります。そのコンピューターシミュレーションをこれからお見せします。地球の中は、地震波が伝わるスピードが遅かったり、地殻が厚かったり、地殻が厚かったりと、けったり、それからコアとマントルのこうがでこぼこだったりと、けっこでもいろいろ複雑なことがあるわけけですが、そういう複雑性をすべて考慮レーションです(図3)。それをこれからお見せします。

これは震源がスマトラ沖海底です。そこから波がだんだん同心円状に伝わっていっています。同心円と言っても、よく見ると同心円ではなくて、あるところは速く進んだり、あるところは遅く進んだりしていて、きれいな同心円にはなっていません。先ほど言ったように、地球の中が複雑で単純ではないために、波の伝わり方も複雑になっているわけです。逆に、地震学者というのはこういう波の伝わり方が同心円からずれているのを見つけ出して、地球の中がどうなっているか調べるわけです。私も最近はそういう方向の研究をしています。

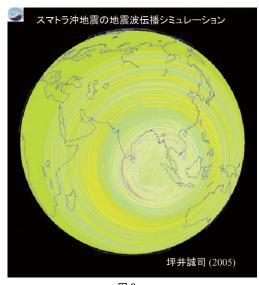


図 3

いまお見せしたのは、地震が起きてからだいたい6時間ぐらいの範囲の波の伝わり方ですが、地球をぐるぐる回っているようなゆっくりとした波は、非常に高性能な地震計ではだいたい数日間ぐらいずっといつまでも揺れているのを検知することができます。ですが、地震というのはせいぜい数日以下の現象だということがわかります。

次に、スマトラ沖地震のときには巨大な津波が発生しました。津波が伝わるスピードというのは、だいたい秒速200メートルぐらい。地震波が伝わる速度というのは秒速8キロメートルとかいうものですから、それに比べればずっと遅いですが、それでもアフリカ東海岸まで伝わるのがだいたい300分、せいぜい5、6時間です。

島崎先生の話に出てきた1960年チリ地震の場合だと、チリから地球反対側の日本へ津波がやってきて三陸海岸が大打撃を受けましたが、そのときには日本到達まで丸1日、24時間かかっていました。でも、津波の伝わる時間スケールというのはせいぜい1日。ですから、地震で地球全体が揺れるとか、津波が地球の裏側から反対側に伝わるとかいう現象を含めても、地震というのはせいぜい1日とか数日とか、それ以下の短い現象です。

それでは、もう一つ代表的ななじみ深い地学現象である火山噴火の時間スケールはどうかというと、よく皆さんご存じのように、噴火の瞬間というのはドーンという音がしますから、すごい音波が出ているわけで、これは非常に短い現象です。だけど、また一方で、三宅島噴火というのは2000年に起きたわけですから、もうすでに8年、未だに有毒ガスが懸念されています。ですから、年というスケールの現象でもあるわけです。ですが、いずれにせよ人間が感覚できるような時間スケールです。

おそらく史上初めてだと思いますが、わが 海洋研究開発機構が今年北マリアナで数カ月 前に撮った、非常に短いほうの時間スケール の海底火山噴火の映像をこれからお見せしま す。

これは、スーパードルフィンという無人の 潜水機を送り込んで撮影した北マリアナのス ミス火山と呼ばれる海底火山の噴火の現場で す。これは外国人と日本人の共同調査隊なの で、大きな声を出して笑っているのはアメリ カ人。ちょっと見ると陸での火山噴火と見ま ごうばかりの激しい活動をしています。もう すぐ火山の全体像が出てくるはずです。研究 者が完全に興奮して何かわめいています。火 口から噴煙がすさまじい勢いで上がってきて います。ここから陸で言えば火砕流に対応す るものが流れ落ちているのがわかります。こ れは実時間ですから、せいぜい1分、2分と かの瞬間を見ていますが、これがたとえば1 週間とかいうスケールで続きます。ですから、 完全に人間感覚の現象です。

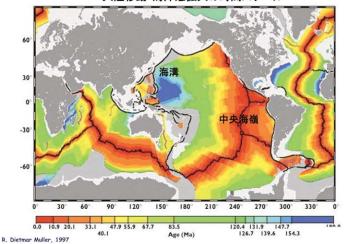
しかし、地球科学の現象には、このように 目で見てすごく速い、あるいは人間の生活と 同時進行ぐらいのスピードの現象と併せて、 気の遠くなるような長い現象も存在します。 それは、大陸移動とか海洋底拡大とかに伴う 時間スケールです。

たとえば、太平洋の海洋底の地図を見てみますと(図4)、年代のスケールが入っていますが、ここが0年、誕生したばかり。こっちの一番古いところが1億8,000万年。だいたい1億5,000万年ぐらいのスケールです。中央海嶺が一番若くて0歳。中央海嶺から遠ざかるにつれてだんだん年を取って、海溝の一番近くになると、この青いところが1億5,000万年ぐらい。

中央海嶺という誕生したばかりの海洋底から海溝の1億5,000万年までの距離が、1万2,000キロぐらい。ですから、1万2,000キロを1億5,000万年で割ると、太平洋プレートの移動速度が出ます。だいたい年に8センチぐらいという非常にゆっくりしたスピードです。先ほどの地震波が伝わるスピードの秒速8キロメートルと比べると、とてつもなく遅いスピードになります。

恐るべきことに、現代科学というのは、こ

### 大陸移動・海洋底拡大の時間スケール



中央海嶺(0年)から海溝(1.5億年)まで 12,000 km → 太平洋プレートの移動速度 8 cm/年

図 4

GPS測距による地殻の動き (黄色はプレートテクトニクス理論による予測)

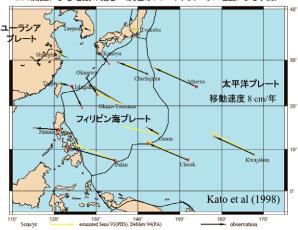


図 5

ういう遅いスピードでも年のスケールでちゃんとスピードを計ることができます(図5)。それがGPS測距と呼ばれる技術で、皆さんがよくご存じのGPS衛星を使うわけです。そうすると、プレートテクトニクスの理論からするとこの黄色のような方向とスピードになるはずだというのが、実測するとほとんどドンピシャに合います。黒が実測ですが、よく合っている。合わないところは合わないなりにちゃんと理由がある。プレートの真ん中あたりでは非常によく合っているということがよ

くわかって、太平洋 プレートのスピード というのは年8セセ チというとてつもス くゆっくりしたスピードであるというこ とが実測でも検証さ れたわけです。

この太平洋プレートがユーラシアプレートの下に入り込むときに巨大地震が発生するというのが島崎先生のお話でした。だいたい100年に1回ぐらいユーラシアプレートと太平洋プ

レートの間のタガが外れて巨大地震が起こるという話をされたわけです。 そうすると、地学現象というのはとてつもなく時間スケールに幅があることがわかります。太平洋の海底の一生というのは、先ほど見たように1億5,000万年ぐらい。地震の一生というのは、スマトラ巨大地震のようにマグニチュード9クラスの地震でも頑張って10分。こうした非常に時間スケールの違う現象が、しかもお互いに密接にかかわったメカニズムの下で起きているというところがおもしろいわけです。

ところが「日本沈没」というのは、こういう時間の大きな違いを無視して人間の実時間で日本沈没をドラマ化しています。要するに、100万年、1,000万年、あるいは1億年という非常に気の遠くなるようなスケールの話と、地震とか火山という人間の感覚と同じ時間スケールを意識的に混同して、その混同から来るおもしろさを強調した映画なわけです。

これからは非常に気の遠くなるような時間 スケールの話に入っていきます。

映画「日本沈没」の冒頭で米国測地学会の

# サカリスは何故できる? 鍵の1つは相転移 映画 「日本沈没」 (山岡耕春) Upper Mantle 上部マントル Lower Mantle 下部マントル 地震波 トモグラフィー 相転移

図 6

ユージン・コックス博士がメカニズムの話をします(図6上図)。「日本の地下に潜り込んだ太平洋プレートは、上部マントルと下部マントルの境界面、深さ650キロの不連続面に蓄積されます」と。コックス博士はさらに続けて、「こうして蓄積されたプレートは、メガリスと呼ばれます。これが一定量を超えると、上部マントルの底から下部マントルへと一気に落下します。これはメガリスの崩壊と呼ばれています」というナレーションが入ります。

ここで言っていることは基本的には正しく、地下深くで実際に起きているだろうと信じられている考え方です。ところが、それに続けて、何で日本沈没が非常に早く起きるかというところで、田所先生は「バクテリアがプレートとマントルの間で異常繁殖し、大量のメタンガスをつくり出し、それが液体となって潤滑油の役割を果たし、メガリスを引っ。それにデラミネーションという働きが重なったにデラミネーションという働きが重なったいにデラミネーションという働きが重なって、日本は一気に沈没します」と。こっちはまるででたらめ。(笑)ここで「一気に」という言葉が出てきますが、一気にと漠然と書くと何となく人間の実時間と同じような気になりますが、実際にはこれが100万年とか1,000万

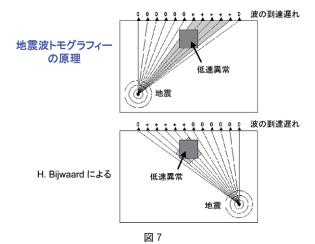
年のオーダーの話になっ てくるわけです。

それで、ここに「上部マントルの底に落ったの気に落ったの気に落った。を650年から下下であるさそのとしていたいに上れがでからなったます。ならはもロルがに上れががらいたによりになった。これがあったます。というではないにようのでます。というではないないにようであります。

なぜメガリスがたまるのかというメカニズムの話の前に、ちょっとこの図を見ていただきます(図1)。地震波で撮ったいわゆる断層写真で、青いのが冷たいところ、赤いのが暖かいところです。深さ3,000キロぐらいのマントルの底に非常に冷たいものが累々とたまっています。おそらくメガリスが落ちてここにたまっているんだろうと考えられています。「日本沈没」では、メガリスがここに一気に落ちてしまって、そのとき日本を下に引っ張るというシナリオを考えています。

これからの話で重要なのは、この地震波トモグラフィーによる図です。地球の輪切り断面を地震波を使って撮るわけです。これからの話では、青色が地震波が異常に高速に伝わる場所、それから赤いのは異常に低速で伝わる場所で、直感的には青は冷たくて重く下降流の起る場所、赤は暖かくて軽く、したがって上昇流の起る場所と思ってください。

地震波トモグラフィーの原理をちょっとだけ言っておくと、たとえばここで地震が起きます。地表に地震の観測点がいっぱい並んでいるとします(図7)。ここに地震波の伝わる速度が異常に遅い物質があったとすると、地震の波はここを通過するところだけ遅れて来ます。それ以外のところは遅れずに来ます。



ですから、遅れて来た観測点範囲を見ると、 ここの薄い影の部分に異常に遅いものがある ということがわかります。

今度は別の場所、ここで起きた地震を使います。相変わらず観測点はこういうところに並んでいますが、この地震から出てくる地震波はこう伝わります。今度は、この観測点範囲だけで地震波が遅く来ます。そうすると、さっきの結果と合わせてこの薄い影の部分に遅いものがあるという見当がつきます。

さらにいっぱい地震を使うと、このへんの 形がもっとよく出てくるというわけで、これ が地震トモグラフィーの原理です。こういう 手法を使って地球の中の速い遅い、あるいは 冷たい暖かいというところを見つけるわけで す。

これは最近の研究の一例ですが、日本の下のこういうところに入り込んだ太平洋プレートがその先どうなっているかを見たトモグラフィー断面です。これが北海道の下に入り込んだ太平洋プレートの断面、これが本州の下に入り込んだ太平洋プレートの断面(図6下図)です。いずれを見ても、海溝から沈み込んだプレートは、上部マントルと下部マントルの境目、深さ700キロぐらいのあたりで横になってしまっています。

n ちなみに、丸でぶつぶつと書いてあるのは地震の震源です。地震は浅いところで一番起こりますが、深いところでも起こっていて、それはプレートの中に限られます。それも深さ700キロよりも浅いところでしか起きなくれなぜかこういうところではまったく起きない。ですから、上部マントルの境目というのは、地震の起きる世界と起きない世界の境目でもあるわけです。そういうところに海溝から沈み込んだプレートは横たわってしまっている。なぜこんなところに横たわってしまうのかというのがこれからの主題です。

重要なことは、上部マントルと下部マントルの境目で相転移という現象が起きていることです。これは岩石の写真です。これは長石という鉱物でできていて、これは石英という鉱物でできている石ですが、これらは地殻の岩石。それよりも深いところでは、もっと密度の高い重たい岩石でできています。これはかんらん石という鉱物でできている岩石です。これは輝石という鉱物でできている岩石。いずれにせよ、非常に重い。

ところが、ぎゅっと締まった重い岩石も、 先ほど言った上部マントルから下部マントル へ入ると相転移を起こします。輝石と呼ばれ る鉱物は、非常な高圧の下で全然違う構造に 変わります。かんらん石と呼ばれる上部マントルで一番普遍的にある鉱物は分解して全然 別の鉱物に変わってしまいます(図8)。こ ういう相転移とか相分解といって別の構造に 変わってしまうのが、実はメガリスができる、 沈み込んだプレートがこの深さあたりでたま ってしまう一番大きな原因であると考えられ ています。

相転移という現象はちょっとなじみが浅い と思ったので、相転移の実験をやっている人 に頼んで、映画をつくってもらいました。た とえば、皆さんが一番ご存じの相転移は水か ら氷への変化です。縦軸に温度を取って横軸



に圧力を取っています。水を常圧で冷やすと、0℃で氷になります。例えば、冷凍庫で冷やすと液体の水から固体の氷に変わります。これが相転移です。これは氷のIと呼ばれる氷ですが、摂氏20℃、常温でも、圧力をかけていくとやっぱり固体に変わります。同じ温度で室内の高圧装置で圧力だけを上げていくと、氷のVIという高圧の氷に変わります。ですから、青矢印は冷蔵庫での相転移。赤矢印は高圧下での相転移。こっちは温度を変えずに圧力を上げる。こっちは温度だけ変えるというものです。

これからお見せするのは、温度は変えない で圧力だけぎゅっと上げていくと水が氷にな るという実験の映画です。あらかじめビデオ の中身を言うと、まず水の状態からだんだん 圧力を上げていきます。そうすると、あっと いう間に全体が氷になります。粒々がいっぱ い現れて、それが氷の結晶です。それから少 し減圧して、相境界のこのへんでうろちょろ させます。そうするとだんだん氷の結晶の数 が少なくなってきます。最後に1個にしてし まいます。1個にしておいて一気に高圧側に するとその1個の氷が大きくなります。もし かして、たとえばダイヤモンドみたいに非常 に高価なものでも、小さいものをつくってお いて相境界のこのへんでうろちょろさせて最 後ボンッと高圧側にもっていくと、大きなダ イヤモンドの結晶ができるかもしれないとい うわけです。これからその映像を。

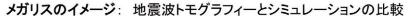
もう氷になりました。先ほどまったく粒々がなかったのが瞬間的に氷になってしまいました。氷になったところで、水と氷になるげたりで圧力を上げたりで圧力状態を変がして圧力状態を数がしてきます。元の結晶のこさまはあったが必にしてきます。実験をやっているときはあっという間

に終わってしまいますが、こうやって見ていると結構長く感じますね。もう完全に真ん丸になりました。だんだんこのへんの結晶がなくなってしまって、最後にこれだけが残ります。1個になったところで圧力をぎゅっと上げます。そうするとたちまちこのように大きな結晶ができます。こうやって大きな結晶をつくるわけです。今度は急に圧力を下げると、あっという間に元の水に戻ってしまう。これが相転移です。

次に、これは本邦初公開の相転移ビデオ。 先ほど言ったように、上部マントルと呼ばれるところの主成分はかんらん石と呼ばれる鉱物です。この鉱物が深さ700キロぐらいのところで高圧の相の鉱物に分解してしまいます。その映像をお見せします。これはおそらく、こういう実験をやっている人以外はだれもまだ見たことがないのではないかと思いますが、特注してつくっていただきました。

上部マントルの主成分はかんらん石、誕生石にもなっているペリドットという宝石です。上部マントルはこの宝石で敷き詰められているわけです。これが深さ700キロよりも深いところになると、かんらん石というものでいられなくなって別の鉱物に変わってしまいます。その相転移の状況を見ようというわけです。

やることは、まずかんらん石の非常に小さ な粒を持ってきて、常温で圧力をかけてしま



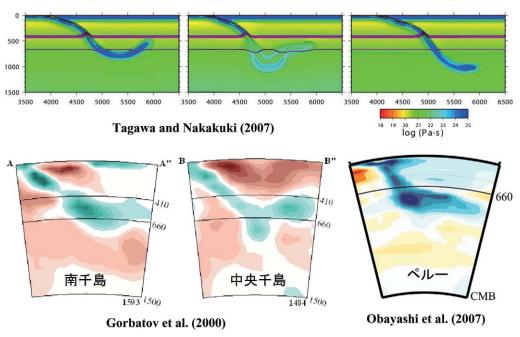


図 9

います。一気に42ギガパスカル、4万3,000 気圧のところに持っていきます。だいたい1,050キロぐらいの深さのところです。ところが、常温なので全然反応しない。温度を上げないとなかなか反応しないので、こんな圧力になってもかんらん石と呼ばれる構造のままです。そこでレーザーを当てて温度を上げます。そうすると、反応が進んで高圧相に変わってきます。構造が下部マントルの鉱物に変わる瞬間をこれから見ていただこうというわけです。

これはまだオリビンの状態です。いま、レーザーを当て始めてだんだん温度が上がっていく状態です。先ほど言ったように、低温ではなかなか反応しません。ある程度の温度になると、だんだん深さ700キロよりも深いところでのみ存在する鉱物に変わっていきます。高圧の鉱物にだんだん変わっていく様子を実時間で見ているわけです。氷ほどドラマチックではないですが、ゆっくりと下部マントル、

4万3,000気圧の非常に高圧な中でしかいられない鉱物ができつつあるという映像です。

これが相転移と呼ばれる現象で、メガリス というのはまさにいま見ている相転移が主役 を務めている現象です。

なぜメガリスはできるかという話ですが、映画ではメガリスが上部・下部マントル境目 付近にたまるというだけで、なぜたまるかということはあまりちゃんと言っていません。 これが実際の地震波トモグラフィーという技 術を使って地球の中、これは太平洋プレート が小笠原海溝の下に沈み込んで、上部・下部 マントル境目付近で寝てしまっている姿を写 しています(図6下図)。こうやって寝てしまう鍵の一つがいま見た相転移というわけで、この相転移現象を考慮した数値シミュレーションをこれからお見せします。相転移があると、沈み込んだプレートがどういう挙動を示すかというシミュレーションです。

これは沈み込んだプレートで、ここは深さ

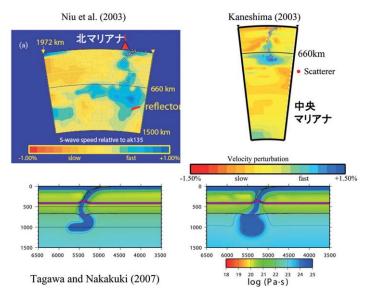


図10

700キロの相転移があるところです。相転移がなければこのまま落ちていきますが、相転移があるとここで寝てしまいメガリスを形成します。なぜここで寝てしまうかというのは一言では説明できないので、ともかく、相転移があるからこういうことが起こるということをとりあえずご理解ください。

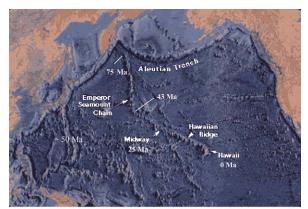
それで、相転移のパラメーター、あるいは ほかのパラメーターをちょっと変えると、沈 み込んだプレートの形がさまざまに変化しま す(図 9)。実際のトモグラフィーを見ても、 たとえば南千島みたいに、これは先ほどの小 笠原と同じように、プレートが千島海溝から 沈み込んでいって相転移面にぶつかり跳ね返 されて上へ行っています。それから、これは 中央千島、千島列島の真ん中あたりで、基本 的には南千島の場合と似ていますが、相転移 面にぶつかった部分がしずくのように下部マ ントルに垂れ下がっています。こっちは数値 シミュレーション、こっちは実際の断層写真 ですが、互いによく似ています。

それからこれはペルー。ペルーの場合はナスカプレートというプレートが南米大陸の下に入り込んでいます。ここでは沈み込んだプレートが上部・下部マントル境目を突き抜け

あるいは、メガリスがもっと複雑な団子の形をした場所もあって、これはマリアナの場合の地震

波トモグラフィーです(図10)。北マリアナだとこんなふうにぐにゃっとなっている。中央マリアナの場合は、ぐじゃぐじゃと団子になってしまっている。実際にシミュレーションをやっても、パラメーターを少しだけ変えるとこれとそっくりなものが出てくるわけで、実際にメガリスというものは、相転移現象を考えて、それに他のファクターも考えると、現実に十分起こり得る現象であるということが最近わかってきました。

さて、いま、マリアナ、ベルー、千島といろいろな現実のメガリスを見てきましたが、メガリスの先端部がいまからどれぐらい前に海溝から入り込んだのかは、プレートテクトニクスの知識からだいたい見積もることができます。そうやって見積もってみると、メガリスの先端が海溝から沈み込んだのはだいたい4,000~5,000万年前だということがわかります。だけど、プレートの沈み込み自身はもっと前からずっと続いていたはずだから、それ以前にできたメガリスはおそらく下部マントルに崩落してしまっているのだろうと推測されます。先ほどマントルの底にメガリスのたまっているものが地震波トモグラフィーで見えたという話をちょっとしましたが(図1)、



太平洋海底に残された4-5千万年前の事件跡

図11

ここが崩落場所と考えられます。

この4,000~5,000万年前にどんなことがあったのかを、太平洋の海底に残された4,000~5,000万年前の事件の跡で見てみます(図11)。たとえばハワイ諸島の東端に位置するハワイ島は、ホットスポットと言って、マントルの深いところから来るマグマが地表に噴出している場所です。ですから、ここで溶岩の年代を測ると0年です。

だけど、だんだん太平洋プレートが西方に 移動していますから、西に行くにつれてだん

だん溶岩の年代が古 くなっています。こ こまで来ると2.500万 年前の溶岩。ここま で来ると4,300万年前 の溶岩。ここからこ っちに行くといきな りハワイ諸島の向き が北向きに変わって います。ここから北 は天皇海山列といっ て、海面にはもう頭 を出していませんが、 海底の昔の火山とし てずっと続いていま す。これもやっぱり 北へ行くほど年を取

って、一番年を取ったところが7,500万年前。ホットスポットの作る火山列は何故か4,300万年前に急に北から西へと並ぶ方向を変えてしまったのです。

それから、伊豆、小笠原、マリアナ海溝というおなじみの海溝がありますが、これら海溝および平行する伊豆、小笠原、マリアナ諸島ができたのが、5,000万年前から4,500万年ぐらい前です。何かこの時期に太平洋規模の事件があったに違いない。

実際にプレートテクトニクスの歴 史を見てみると、4,000~5,000万年

前にプレートの動きに非常に大きな変化がありました(図12)。5,000万年前、太平洋プレートは北向きに進んでいました。それが4,500万年前に西向きに方向を変えてしまいました。これがハワイ諸島とその先の天皇海山列の向きが大きく異なる理由です。4,000~5,000万年より前には、太平洋プレートが北に向っていたために、フィジー、トンガ、ケルマディックという島の列、あるいは伊豆、小笠原、マリアナという島の列はなかった。それと平行する海溝もまったくなかった。そ

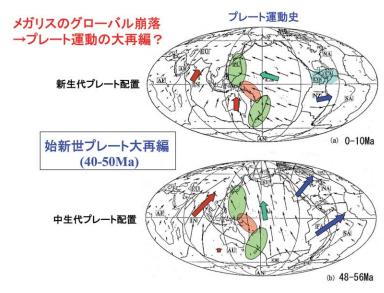


図12

れが、太平洋プレートの動く向きが変わった ためにフィジー、トンガ、ケルマディックと いう海溝や、伊豆、小笠原、マリアナという 海溝ができたのです。

それから、4,000~5,000万年より前には、 インドプレートがすさまじい勢いで北上して いました。その間、オーストラリアプレート はほとんど動いていなくて、オーストラリア と南極は地続きでした。それが4,000~5,000 万年前になると、インドプレートはユーラシ アプレートにぶつかって急に減速します。そ れと呼応するかのように、オーストラリアプ レートが急に動きだしてインドプレートと合 体しインド・オーストラリアプレートという 一つのプレートになってしまいます。オース トラリアプレートが動いていなかったために ここには別に海溝などありませんでしたが、 オーストラリアプレートが急に北上しだした ので、ここにニューアイルランド、ニューブ リテン、それからニューヘブリディーズ、ソ ロモンといった島々、それから海溝ができて しまうという天変地異が起きました。

それから、ここに昔ファラロンプレートと いうのがあって、北米プレートと南米プレー トの下に入り込んでいましたが、それが 4,000~5,000万年前になるとナスカプレート になって、南米プレートの下にだけ入り込む ようになって、その代わり中米に小さなココ スプレートとかカリビアンプレートができま した。以上見てきたように、このときにプレ ート運動がグローバルに再編を起こしました が、それを「始新世のプレート大再編」と呼 んでいます。ひょっとしてこのときに、たま っていたメガリスが下部マントルに連鎖的に 落っこち、その反動でプレート運動が大再編 を起こしたのではないかということが考えら れます。これはまだスペキュレーションです が、実際にそういうことが起きていたら楽し いなと思うわけです。

たとえば、4,000~5,000万年前はいまの伊豆、小笠原、マリアナに沿って海溝はなかった。それが、4,000~5,000万年前に突然太平

洋プレートの向きが変わったために海溝ができたというシミュレーションがあります。それを見ると、日本沈没はこういうことがあれば起こるという参考になるので、ちょっとそれをお見せします。

こちらが太平洋プレートで、最初は海溝の ない状態です。これは地形です。こっち側は プレートが薄くて地形が高くなっている。こ っちの太平洋側はプレートが厚くて地形が低 くなっているという状態で、太平洋プレート が4,000~5,000万年前まではこの紙面の向こ う側に進んでいたわけです。4,000~5,000万 年前突如左に向かってプレートが沈み込み始 めます。そういうことがあるとその後どうい うことが起きるかというと、だんだんこのプ レートが左側へ落ち始めます。それとともに、 地形がどんどん低まっていって、日本がここ にあれば完全に沈没してしまいます。さらに 時間がたつとそこからマントルの熱い物質が 噴き出します。これが火山活動に対応するも のです。こうやって伊豆、小笠原、マリアナ 海溝とその背後の伊豆、小笠原、マリアナ諸 島ができた可能性もあります。この地形変化 を見ると、日本沈没のような現象は起こりう ることがわかります。

さて、これでだいたいメガリスがどうしてできるかという話を中心に、プレートが沈み込むほうの話がだんだんわかってきました。物が沈み込んで地球の中の方に入ってくれば余分に物がたまるので、それを補償するようにどこか中から出てこなくてはいけない。物が一気に中から出てくるときにもやはりすさまじいことが地球上で起こるはずで、実際そういうことが起きたらしい形跡があります。

それを見るのに、これからまたムービーで 自然界におけるプレート運動のアナログモデ ルをお見せします(図13)。アフリカのエチ オピアの溶岩湖で、黒い部分は表面が空気で 冷やされて固くなった部分でプレートに相当 します。一方、白く光った線状の部分がプレ ートの境界に相当します。ここでプレート運 動そっくりな運動が起きているわけですが、

### 自然界におけるプレート運動のアナログモデル



エチオピア Erta Ale 溶岩湖 (44分を29秒に圧縮) J. Alean, R. Carniel, M. Fulle.

http://www.swisseduc.ch/stromboli/ 図13

じっと見ているとときどきプレートのど真ん 中に下から熱いものが噴き出します。こうい うことが実際の地球でも起きているらしい。

これがアフリカのエチオピアの溶岩湖ですが、ここで溶岩が冷やされて固化し表皮となり、ここでその表皮が沈み込んでいます。この1枚1枚がプレートに相当するわけで、中央海嶺と呼ばれるところで生まれて、そして海溝と呼ばれるところで沈み込んでいくのに相当します。ただ、中央海嶺に相当する以外の場所でも熱いものがときどき噴き出しています。地球の中でも、普段はプレート運動が

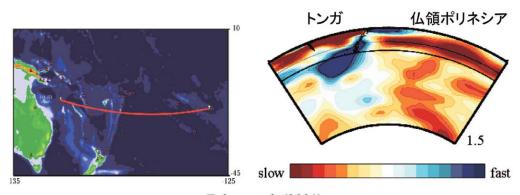
起きていますが、ときどき熱いものがプレートのど真ん中に噴き出すということが起きているらしい。ムービーでこれが普通の状態です。プレートが中央海嶺で生まれて、そして海溝で沈み込んでいくところ。見ているとときどきここで熱いものが噴き出している。

このように、プレートの境界とは 関係ないところで熱いものが噴き出 すということが、地球でもたまにだ けど起きたらしいというのがこれか らのお話です。

これはフィジー、トンガ、ケルマディックという海溝を横切る断面の断層写真です(図14)。太平洋プレートがトンガ海溝から地球の中に入り込んでいって、上部・下部マントル境目のすぐ下で横になってメガリスをつくっています。一方、その東、フレンチポリネシア地域ではマントルの一番深いところから熱いものが上がってきて地表に出ているようなイメージが見えます。これが先ほどの溶岩湖のビデオでプレート運動とは別にプレートの真ん中に熱いものが噴き出していたものに対応するものではないかと思えます。

深い所から円筒状に上昇する熱い物質はプ

# 環太平洋のメガリスと南太平洋プルーム



Fukao et al. (2001)

図14

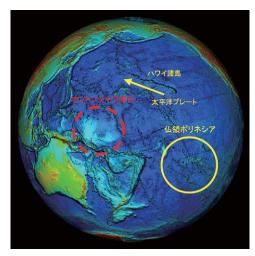


図15

ルームと呼ばれています。これから、このプルームが下部マントルから上がってきて上部マントルへ噴き出すシミュレーションをお見せします。

熱いものが軽くて上がってくるわけですが、ここが上部マントルと下部マントルの境で、上部マントルへ来ると上にプレートというフタがあって、横へカサのように広がっていく様子です。これをプルームと呼んでいます。 いま一番上のほうだけ拡大してみます。 プルームが上部マントル付近まで来ると急に勢いを増して横に広がってきます。こういうことがあると、地上にも非常に大きな影響を与えたはずで、実際証拠もあります。いま、プルームが細々と上昇してくるのはタヒチを含むフレンチポリネシア地域です。

そこから西に8,000キロぐらい離れたところにオントンジャワと呼ばれるところがあります(図15)。ここは海底溶岩が異常に広がっているところで、オーストラリアの四半分ぐらいの面積を持った、とてつもない海底溶岩に覆い尽くされた地域です。これは海山と呼ぶにはあまりにも大きいので、海底台地、海台と呼ばれています。この海台がつくられたのが約1億年前。だいたい太平洋

プレートはこっちの方向へ進んでいますから、 1億年ぐらい逆方向に引き戻すと、このオントンジャワ海台と呼ばれる世界一の巨大な海台がどこで生まれたかがわかります。そうやって元へ引き戻してみると、オントンジャワ海台は今のフレンチポリネシア地域へ来ます。

そのほかにも、1億年前ぐらいにはいろいろな大きな海台ができて、それらを昔のところに引き戻してみるとみんなフレンチポリネシア地域へ集まってきます。1億年ぐらい前には、ここにとてつもなく大きな海底火山活動があり、いろいろな海山、海台をつくったということがわかります(図16)。これが先ほどのシミュレーションで見たプルームの産物ではないかということで、これは太平洋スーパープルームと呼ばれています。

1億年ぐらい前にこんな大規模な海底火山活動があったとすると、このころ何か地球上で大異変があったのではないかと想像されます。1億年前というと恐竜の全盛時代の白亜紀と呼ばれる時代です。図において左が北極、右が南極、真中が赤道ですが、この時代の温度分布を見てみます(図17)。現在の温度分布は北極と南極で一番温度が低くて、赤道が一番高い、冷たいところだと−25℃で、暖かいところで20℃ぐらいという温度分布ですが、白亜紀というのは北極や南極でも0℃以上で氷もほとんどなかったという異常に暖かかった時代。白亜紀の超温暖期と呼ばれています。

### 1億年前に超大規模な海底火山活動

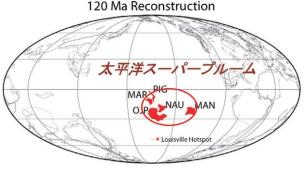
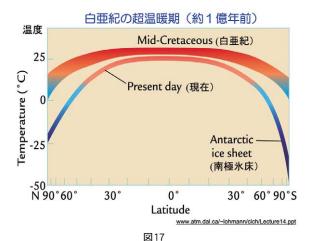


図16



この時代は海嶺や海底火山の活動が非常に活発であったということや、大量の二酸化炭素が放出されたということがわかっています。それから、海洋地殻の生産が非常に活発で、したがって海面が非常に上昇していた。それから、海洋の平均温度も10℃以上高くて、平均温度は20℃以上。北極にも南極にも氷河がなくて、極域と低緯度の間の温度差が小さくて、海流の大循環が停滞していて、海洋無酸素事変というのが繰り返し起きた。

海洋無酸素事変というのは、上が暖かくて下が冷たい状態になって、安定して海流が停滞してしまうわけです。上に軽いものがあって下に重いものがあると、海の水が循環しない。そうすると冷たい地表の酸素が下へ運ばれなくて、下のほうで酸素が欠乏してしまいます。そうすると、生物起源の炭素が下へます。そうすると、生物起源の炭素が下へあたています。それが黒色頁岩として残っています。白亜紀の時代の酸素が欠乏して海底にたまった生物起源の堆積物が石油になっています。白亜紀の超温暖期と石油とは非常に密接にかかわっています。

太平洋スーパープルームは、たとえば地表にすさまじい火山活動をもたらしたとか、気候に大温暖期をもたらしたとか、いろいろ影響を及ぼしたわけですから、いまのフレンチ

ポリネシアの下の構造がどうなっているのか知りたいところです。ところがここは海がほとんどですから、観測が難しくいままでよくわかっていない場所でした。

そこで私どもは、フランスのチームと協力して、ここに海底地震計を10台近く持っていって、調査船、あるいは有人潜水調査船を使って2年間調査を行いました。これは「しんかい6500」という潜水調査船が撮った海底に置かれた海底地震計です(図18)。いままで、ちゃんと海底地震計が置かれていたかどうか目で確

かめたことはありませんでしたが、水深 4,400メートルでもちゃんと水平に置かれて いるのがこれで初めてわかりました。

これから、ちょっと宣伝になりますが、「しんかい6500」のビデオを。これがなかなか格好いいのです。これが「よこすか」という調査船で、これに「しんかい6500」を動かすことができるシステムが付いています。いま海中に「しんかい6500」を下ろしていくところです。

「残り5分です」というメッセージが出て きたので、(笑) 格好いい場面はこれからな のでもったいないですが、やめたほうがいい ですね。

こういう地震学的な調査を2年間やって、いままでの地震波トモグラフィーで得られていたプルームのイメージは一つ大きな変更が必要だということがわかりました。フレンチポリネシア地域の巨大なスーパープルームは前から見えていました。ところが、今回の調査によれば、それが深さ1,000キロぐらいのところで急に頭打ちになってしまって、その上へはちょろちょろと細いプルームが上昇するだけ(図19)。われわれの研究はまだ途中で、浅いところと深いところしかまだよくわかっていません。そこで中間の深さのことはちょっと目をつぶっていただいて、浅いところでは深部の巨大な熱い上昇流とはほとんど

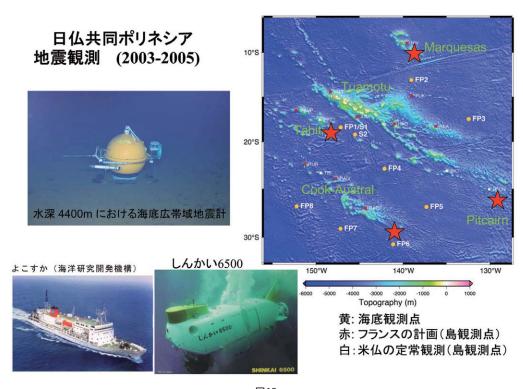


図18

無関係に、ソサエティとかピトケアンとか、いま活発なホットスポット火山の下あたりにだけ暖かいものがあることが見えてきました。つまり、巨大なプルームは途中で終わってしまって、そこから上は細いプルームが延びて、それが現在のホットスポットにつながっているんだろうと。

1億年前には何が起こったかというと、深さ1,000キロあたりで頭打ちになっていた巨大プルームが、そのときはどういうわけか非常に活発化して、頭が地表に溢れ出して、ここにすさまじい海底火山活動を起こし、地球に超温暖期をもたらしたというイメージですね。

# 

れと多少似ているかなと思うわけです。

フレンチポリネシアには巨大なプルームが上がってきていますが、現在の活動としては1,000キロメートルぐらいの深さで頭打ちで、あとはちょろちょろと地表に出てきているだけ、一方、1億年前はプルームの頭が地表に溢れ出すくらい非常に活発だったという話をしました。そうすると、1億年前の活動の産物であるオントンジャバ海台とフレンチポリネシアの島々とはお互い親戚関係があり、なおかつ違うところもある。どこが違いどこが同じかは、今日新宮を出港した地球深部探査船「ちきゅう」(図20)でこういうところを掘ればわかるだろうと期待されます。

### 地球深部探査船「ちきゅう」



図20

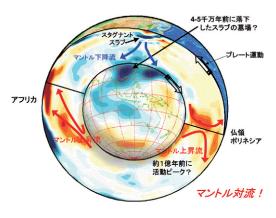


図21

島崎先生がお話しされたように、「ちきゅう」は最初に東南海沖に行って、巨大地震の断層を世界で初めてサンプリングすることになっています。そのあとの予定の中に、いま言ったオントンジャワと言われる世界最大の巨大海台をサンプリングするというプランが入っています。こういうものを使って、実際に深いところから溶岩を採ってきて、普通の溶岩と何が違うか、どこが同じかということを調べれば、スーパープルームの実態がわかってくるであろうということです。これはもう少し宣伝したいところだがやめて。

まとめに入ります(図21)。いままで見て きたように、4.000~5.000万年前にメガリス が下部マントルに崩落して、マントルの底に 今たまっています。プレートの落下という現 象そのものがマントルの下降流を表していま す。一方、先ほど見たように、フレンチポリ ネシア地域では熱くて巨大なプルームが上昇 しています。1億年前には活動のピークがあ ったと考えられています。これがマントルの 上昇流です。マントルの底ではここに崩落メ ガリスが入り込んでこちらから上昇プルーム としてものが上に逃げていくわけですから、 ここからこちらへの水平の流れがあるだろう し、表層では逆向きの水平な流れがあって、 それがプレート運動であると考えられます。 ただし、プレートが生まれる場所、中央海嶺 は簡単に移動しうる存在で、マントル深くか らの上昇流とは別物なので注意が必要です。 このように地球の中を巡るマントル対流の全 体像がいま見えつつあるというのが現状です。

先ほど言ったように、マントルの下降流や上昇流は突然活発化する可能性があります。これはマントル対流のシミュレーションの例で、これが上部マントル、これが下部マントルで、突然上部マントルの冷たいものが下に入り込んでしまって、その代わりに下部マントルの熱いものが上に押し出されるという現象が起きています。要するに、マントルの対流はいつも静々と起こるわけではなくて、あるとき突然、冷たいものが落っこちたり熱い

ものが噴き出したりということが起きてもおかしくはない。それも、先ほど言った上部マントルと下部マントルの境目に相転移があるということが非常に大きな役割を果たしているわけです。

まとめます。沈み込んだプレートは上部・ 下部マントルの境目付近にいったんとどまり、 そして横たわってしまいます。それが映画 「日本沈没」で言えばメガリスです。たまっ たメガリスはやがて下部マントルに落下しま す。この落下自体は4,000~5,000万年前にあ ったと思われますが、そのときにプレート運 動大再編が起きたのではないか。一方、1億 年前には急激なスーパープルームの上昇があ ったと考えられています。そのスーパープル ームが地表まで到達したときに、超大規模な 火山活動や超温暖気候がもたらされたのでは ないか。こうしたことを総合すると、全体と してマントルは大規模な対流運動を起こして いて、その表層の動きがわれわれがよく知っ ているプレート運動なのだが、その運動はと きに激しい変化を伴うものであると考えられ ます。

ただ、マントル対流の表層の動きがプレート運動だと言いましたが、表層というのは大気や海洋で冷やされてかちかちなものだから、中の柔らかいものとは違う運動をしている点が一つ重要なことです。例えば海溝におけるプレートの沈み込みはマントルの下降流にそのままつながりますが、海嶺におけるプレートの生成・拡大はマントルの上昇流と直接には関係しません。

以上ざっと、最後のほうは駆け足になりま したが、これで終わります。