



地震波による地球内部の視覚化

—— 谷本研究室～地球・惑星科学科 ——



谷本 俊郎 教授

私たちの住んでいる、とても身近で、かけがえのない地球。しかし身近なゆえに知らないこともあります。例えば、地球の構造がどのようにになっているのか調べるにはどうしたらいいのでしょうか。一番簡単に思い浮かぶ方法としては実際に地表に穴を掘ることですが、この方法には限界があります。だいたい15キロぐらいが人間の掘れる深さの限界といわれています。ではそのほかにどんな方法で調べればいいのでしょうか。

この問題に対し、谷本研究室では、地震波を利用したサイスマックトモグラフィーという手法を使うのです。



地震波は地球の中を伝ってやってくる

サイスマックトモグラフィーは地震波を利用することにより地球の内部の温度分布を画像化することが出来ます。つまり地球の内部が視覚的にわかるのです。

地震が発生すると、その波は世界のあらゆるところに伝わり、観測されます。例えばロサンゼルスで地震が起これば、その波は、遠く離れた日本や中国、オーストラリアなど世界各地で観測されます。しかし、地震波は震源地から同じ距離であっても同時に届くというわけではありません。地球の内部の状態によって地震波の伝わる速度が変化するためです。具体的にいうと地震波は通る物質の硬さによって速さが変化します。この硬さは物質の違いによっても影響を受けますが、主に影響を受けるのが物質の温度なのです。つまり、温度が低いところほど、物質は硬くなり、地震波は速く伝わります。逆に、温度の高いところほど、物質は柔らかくなるため、地震波は遅く伝わるのであります。こうして地震波の伝わる速さが分かれば、地球の内部がどのようにになっているか知ることができます。

原理は以上のように単純なのですが、データ量が膨大なので、その処理はコンピュータに頼らざるを得なくなります。この計算技術をサイスマックトモグラフィーというのです。計算の仕方は病院などで使われているCTスキャンとほぼ同じ原理です。

CTスキャンの原理は、まず対象にX線をあらゆる方向から当て、反対側に通り抜けてくる量を検出します。その結果をコンピューターで解析することにより、物体の中の様子を画面に映し出すものです。

CTスキャンがX線の透過量をデータとして使用するのに対し、サイスマックトモグラフィーは地震波の速度をデータとして使用します。

地震波の伝わる速さのデータをたくさん集めて解析をすれば、ちょうど地球をCTスキャンにかけたように、各部分の硬さや温度分布が画像として得られるのです。この、実際に地球の中の様子を画像としてみられるということが、サイスマックトモグラフィーの一番の利点なのです。そしてこの温度分布から地球の構造を追求するのです。



視覚的にとらえて～新たなる発見

サイスミックトモグラフィーの画像から、様々なことが確認されました。

まず、プレートテクトニクス理論で唱えられていましたマントル対流の裏付けができました。プレートが湧き出している部分の温度は高く、逆に沈み込むあたりでは、温度は低くなっています。例えば、太平洋の東側にある海嶺の下のほうには温度の高い部分が大きく広がっています。そして、海溝に近づくにつれ温度が下がっていきます。この原因は、マントルの成分が湧き出してプレートとなり、地球の表面を移動するあいだに冷却されるためなのです。沈み込むときの温度は、湧き出しのときの温度に比べて、数百度も下がっています。

また、サイスミックトモグラフィーにより次のようなことも発見されました。深さ700kmぐらいまでプレートはゆっくりとマントルの中に沈み込みますが、いったんそこで大きな塊となって溜まります。そして、ある程度の量に達したときに一気に下のコアの方に落ち込んでいくのです。

サイスミックトモグラフィーで地表に近い深さの画像を見ると、温度の低い部分はプレートの沈んでいく所だけに分布しているわけではありません。むしろ温度の低い部分は大陸の真下に広く分

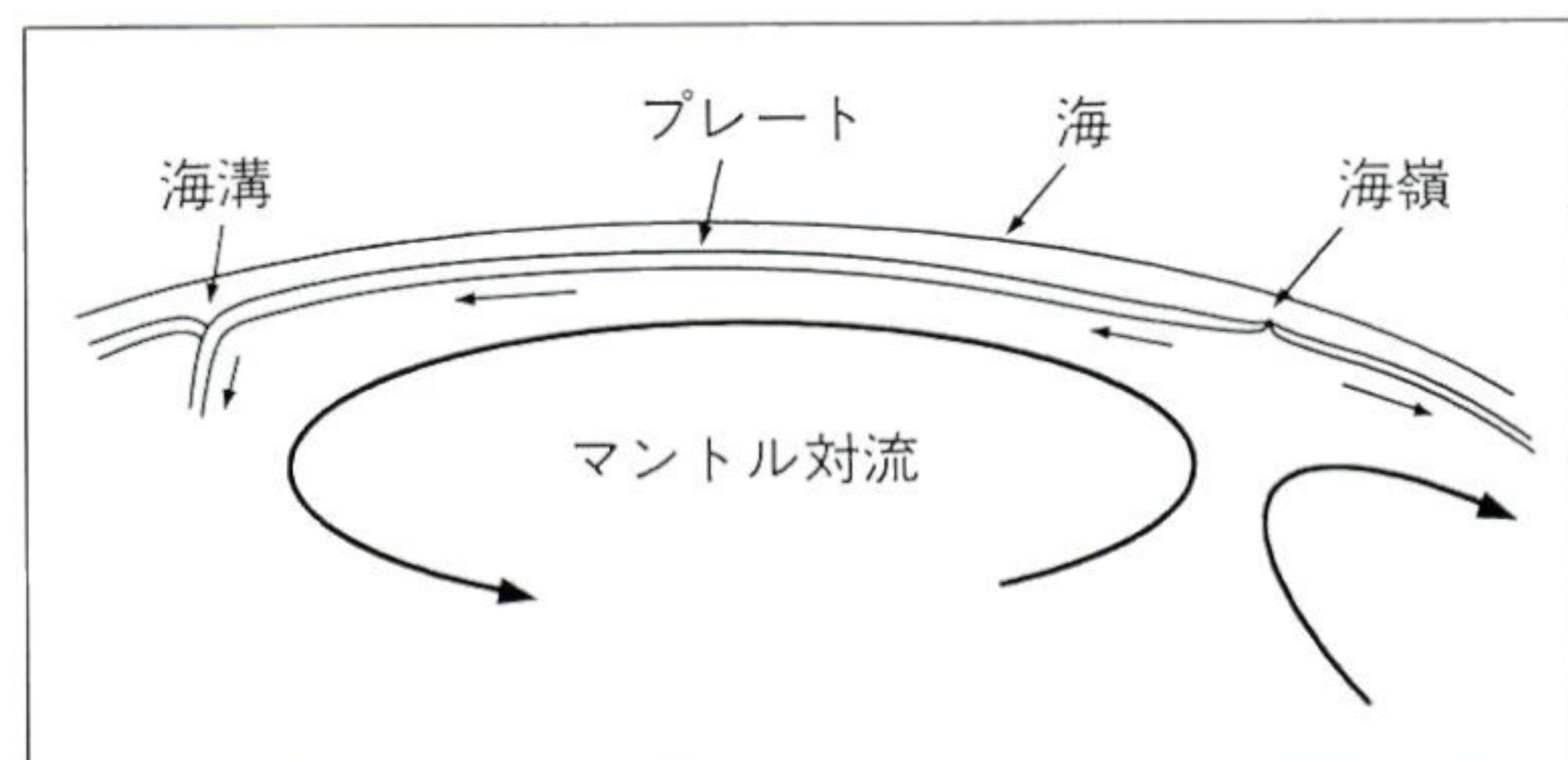


図1 プレートテクトニクスの概念図

地殻はいくつかのプレートで構成される。プレートはマントルが冷えて固まつたものと考えられ、海嶺で発生し海溝に沈み込む。その運動はマントルの対流によってひきおこされる。大陸移動説もこれにより説明することができる。

布しています。その温度は、海の下の部分に比べて少なくとも200度ぐらい温度が低くなっています。しかし、この低温域は深度が深くなるにつれてなくなってしまうのです。この温度分布を大陸の模式図とともに示すと、図3のようになります。低温域の部分が現れるのが(1)のような深さを見た場合と考えられ、(2)のような深さで見た場合、温度に差がなくなると考えられています。

この図3をみると、大陸がマントルの上に浮いている状態とも考えられます。実際それを裏付け

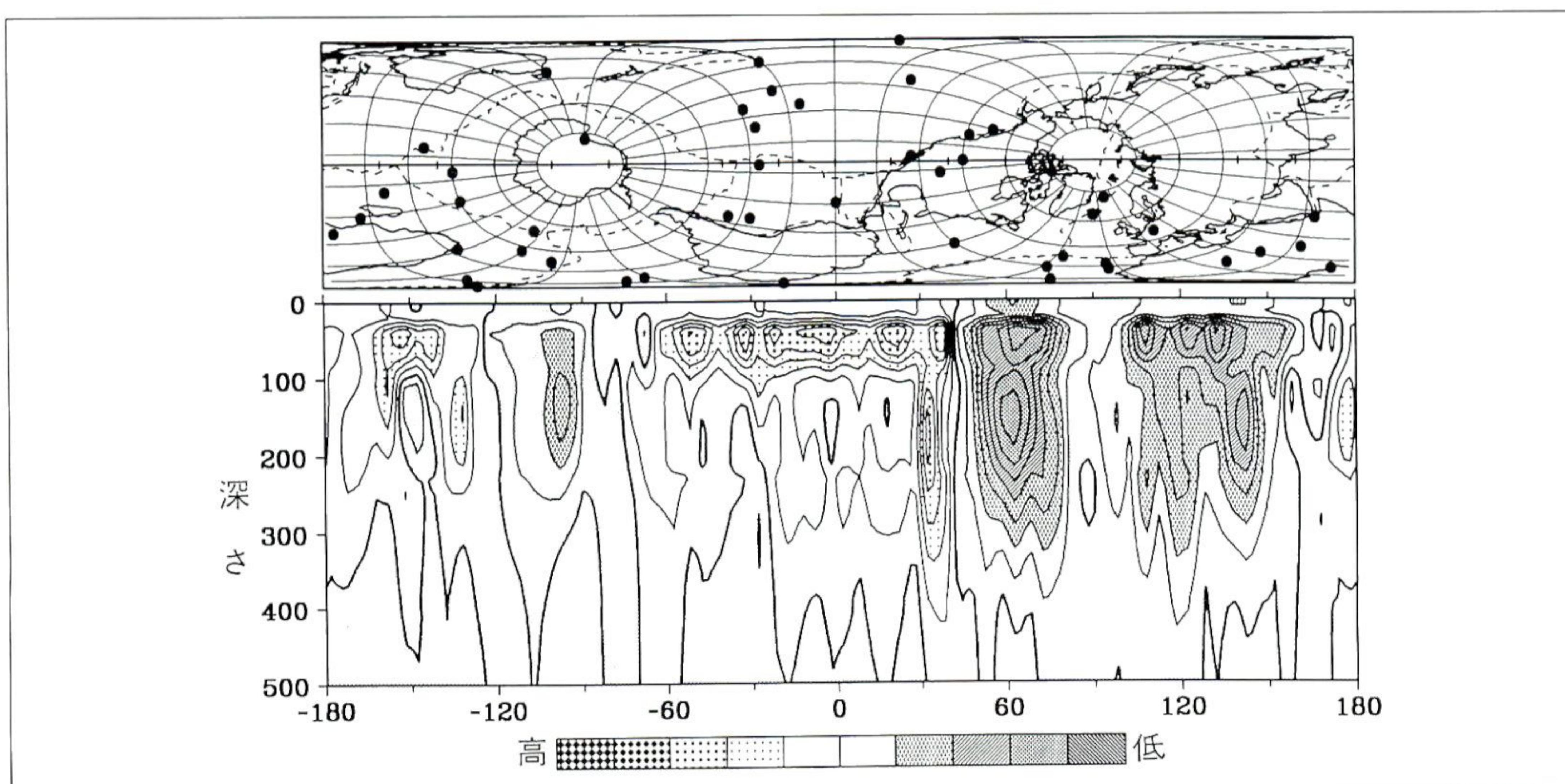


図2 サイスミックトモグラフィーによる画像

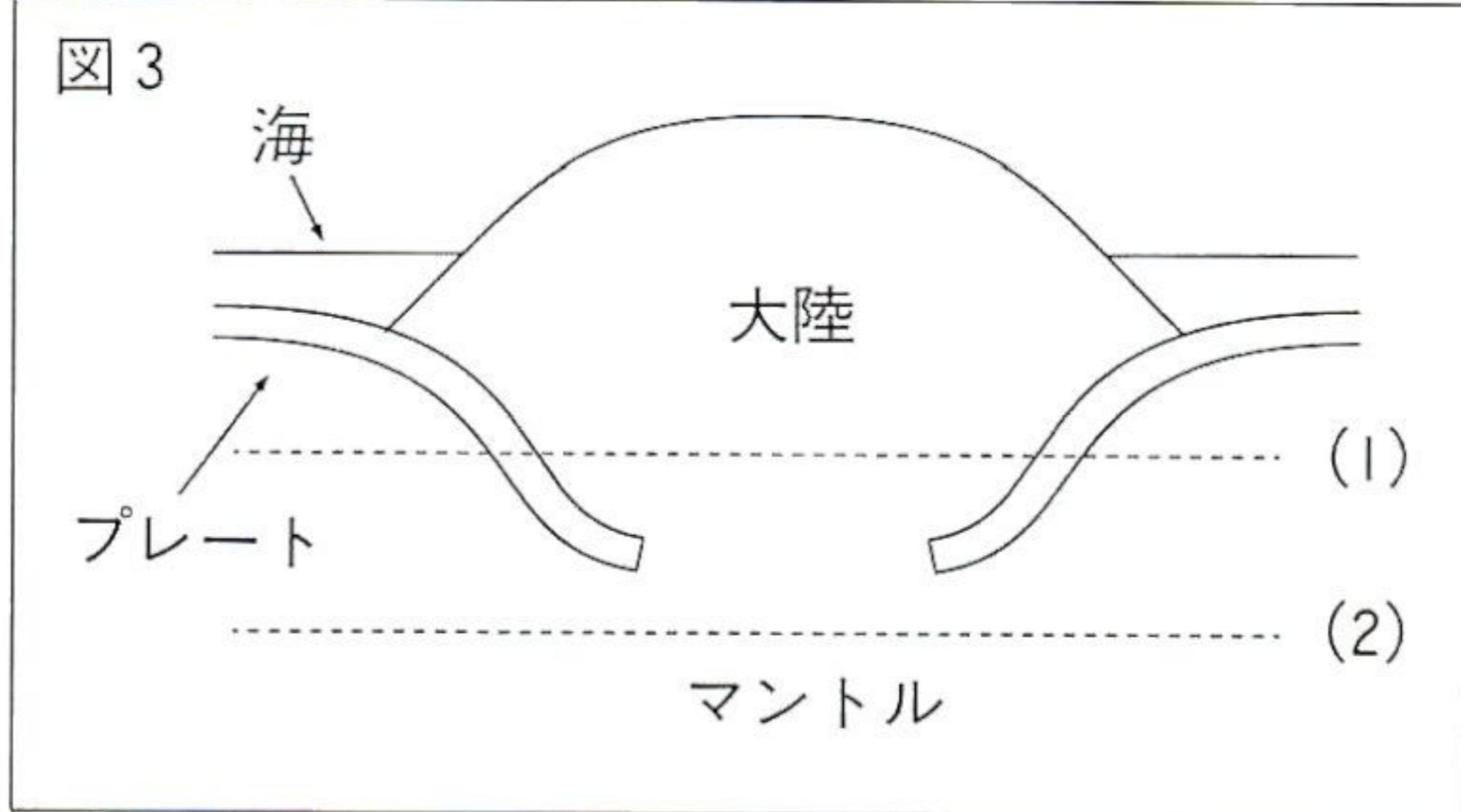
地図を横切る中心線の位置での深さと温度の関係を表している。大陸の下に温度の低い領域が集中していることがわかる。

るよう、岩石の年代の測定によると、大陸では海底よりもずっと古いものを見つけることができます。海底の岩石は古くとも2億年くらい前のが限度です。一方、大陸での岩石はカナダやオーストラリアなどで地球上でもっとも古い20億年前の古い岩石まで見つかっています。これは大陸は浮かんできたり沈んだりすることがなく、ずっと地球表面にあるためです。



プレートを突き破るプリューム

プレートの真ん中、つまり海嶺でも海溝でもないところでマントルが点状にわき出している様子もサイスミックトモグラフィーで確認することができました。このマントルの点状の湧き出しのことをプリュームといいます。普通、マントルはプレートの中央付近においてプレートに平行に移動していますが、それに対しプリュームは深い部分からプレートの表面方向にまっすぐに湧き上がっているのです。この湧きだしは深いところからマ



ントル対流の中を通って湧き上がっているのにもかかわらず、マントル対流の運動からは、あまり影響を受けないので。なぜプリュームがマントル対流からあまり影響を受けないのかはまだ詳しくわかっていない。

このプリュームは非常に高温なのでプリュームが発生すると、そのうえにあるプレートが上方向に圧力を受けて、その部分が溶けます。このプリュームの力が強いと、その一部はプレートを突き破って海底火山や火山島を形成するのです。このような場所のことをホットスポットと呼びます。

ホットスポットの特に有名なところは太平洋の中央付近にあるハワイ諸島ですが、そのほかにもインド洋やアイスランドなど、世界各地で30ヶ所以上が見つかっています。

プリュームの場所は表面のプレートの動きと無関係で常に定位置にあります。そのためプレートが移動すると、それまでの海底火山や火山島はプレートとともに移動して、プリュームから離れてしまい、その活動を終えてしまうのです。そして、プレートの新しい部分に、プリュームにより新たに火山ができます(図4)。こうして、ハワイ諸島から続いているような火山島の列ができたといわれています。(海底立体図5)

このような火山の列は、実はプレートの動いた跡としてみることもできます。ハワイ諸島から続く火山島や海底火山の列は、途中で急に右に曲がっています。これは、4300万年ほど前、何らかの原因でプレートの動く方向が大きく変わったためだといわれています。しかし、4300万年前に地球上で地殻的な大異変が起こったという痕跡は見つかっていません。そのため、なぜプレートの動く方向が変わったのかは、現在でも謎のままです。

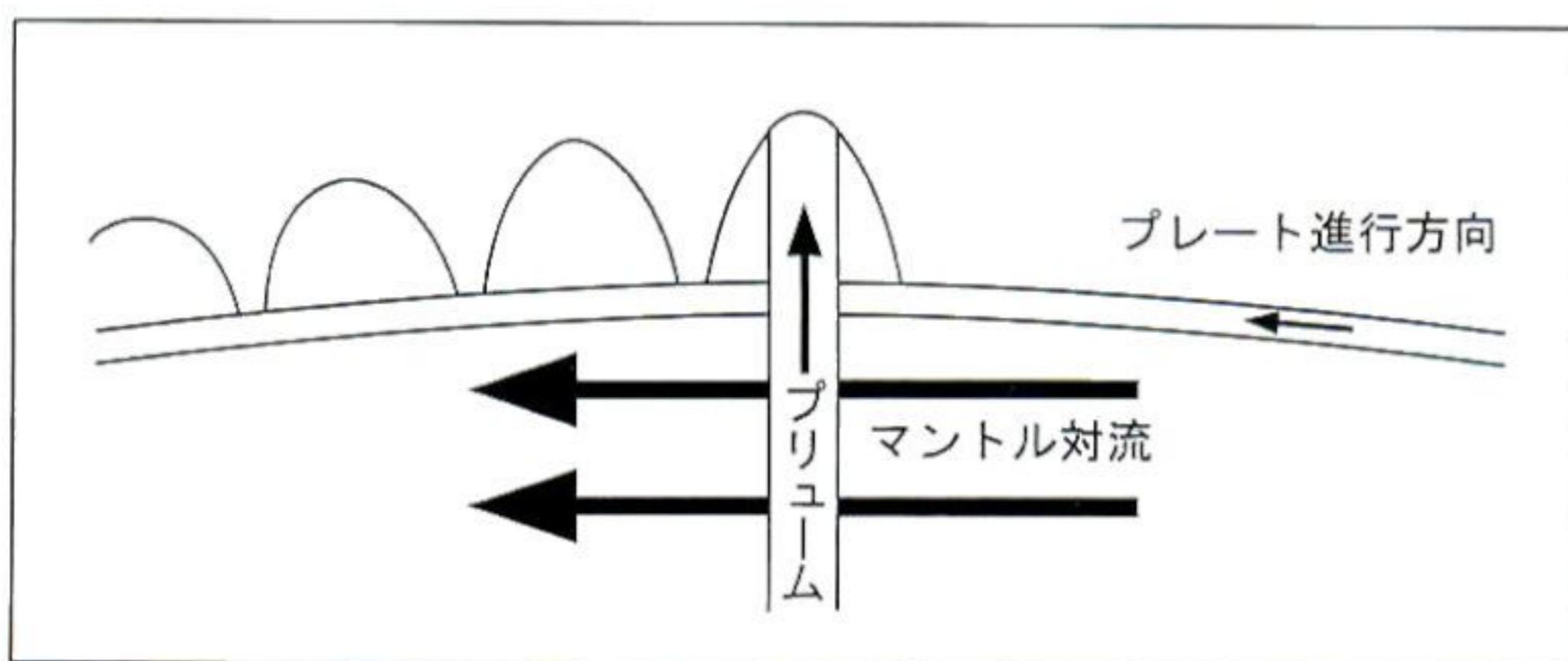


図4 ホットスポットの模式図

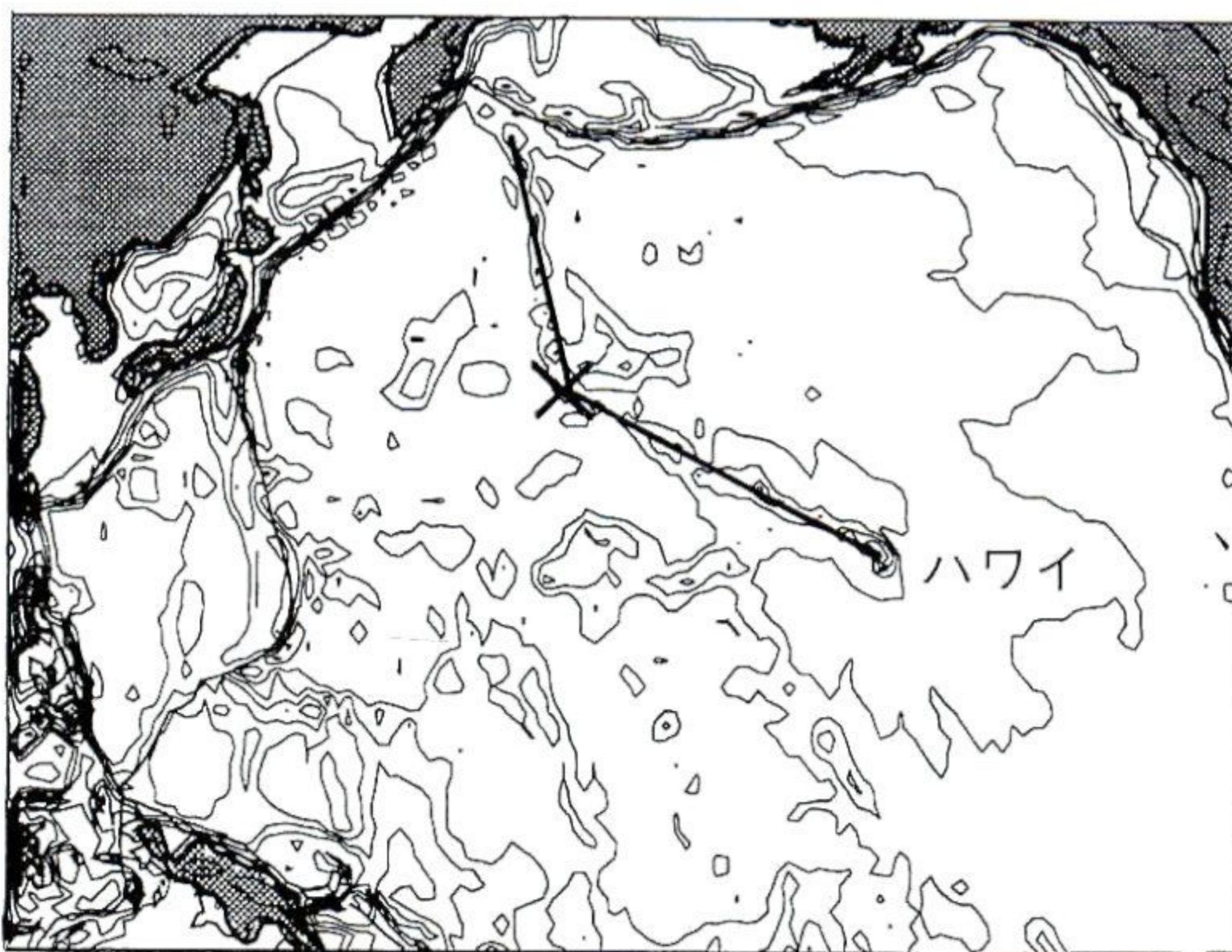


図5 太平洋の海底地図

図中の線に沿った海底火山列は、プレート運動の軌跡を表している。印の位置が約4300万年前の海底火山で、その前後でプレートの運動方向が変化している。



問題点を解決し、更なる発展へ

サイスミックトモグラフィーを使うことで地球の構造がさらに詳しく分かってきました。しかし、得られる画像はまだまだ粗いものばかりです。見ることができるのは、マントルの浅い部分で数百キロメートル四方です。さらに深くなるとデータが少なくなるので、さらに粗い画像しか得られなくなります。

サイスミックトモグラフィーの精度は、データ数に比例します。いいデータがたくさんあった方が、きれいな画像が得られるのです。解析に役立つ「きれいな」データが取れるのは大体マグニチュード 6 以上のものといわれます。規模の小さな地震では海の波や人間の生活により起こされた振動の影響により弱い波がうまく観測できなくなるためです。マグニチュード 6 の地震は年間100回、7 のものは10回、8 のものは1 回程度、世界中のどこかで起きています。つまり年間で100回程度の「きれいな」データが取れることになります。しかし、データの数としてみた場合、この回数では少なすぎます。そのため、データを増やすために、観測網を広げる必要があります。現在では、冷戦時代には考えられなかった旧共産圏とのデータ交換も行われるようになり、世界的規模で観測が行われています。しかし、それでもまだ十分ではありません。地球の表面の 7 割は海なので、海にも地震観測網を展開する必要があります。とはいっても実際には、かなり難しい問題があります。高い水

圧に耐えることができる地震計がないからです。また、データが得られたとしても、そのデータを送るための通信ケーブル敷設にも資金的な問題があります。今はせいぜい地震計を海に投下して、数週間後に引き上げることぐらいしかできません。しかし、この問題点も技術的な革新や古くなってしまった海底ケーブルの転用等で、徐々に解消されつつあります。そして、数多くのデータが蓄積されるにつれ、サイスミックトモグラフィーの画像がより詳細になっていくことが、大いに期待できます。

将来的には、サイスミックトモグラフィーから、地球がどのように活動しているのか、どのように変化していくのかということが明らかにされていくでしょう。

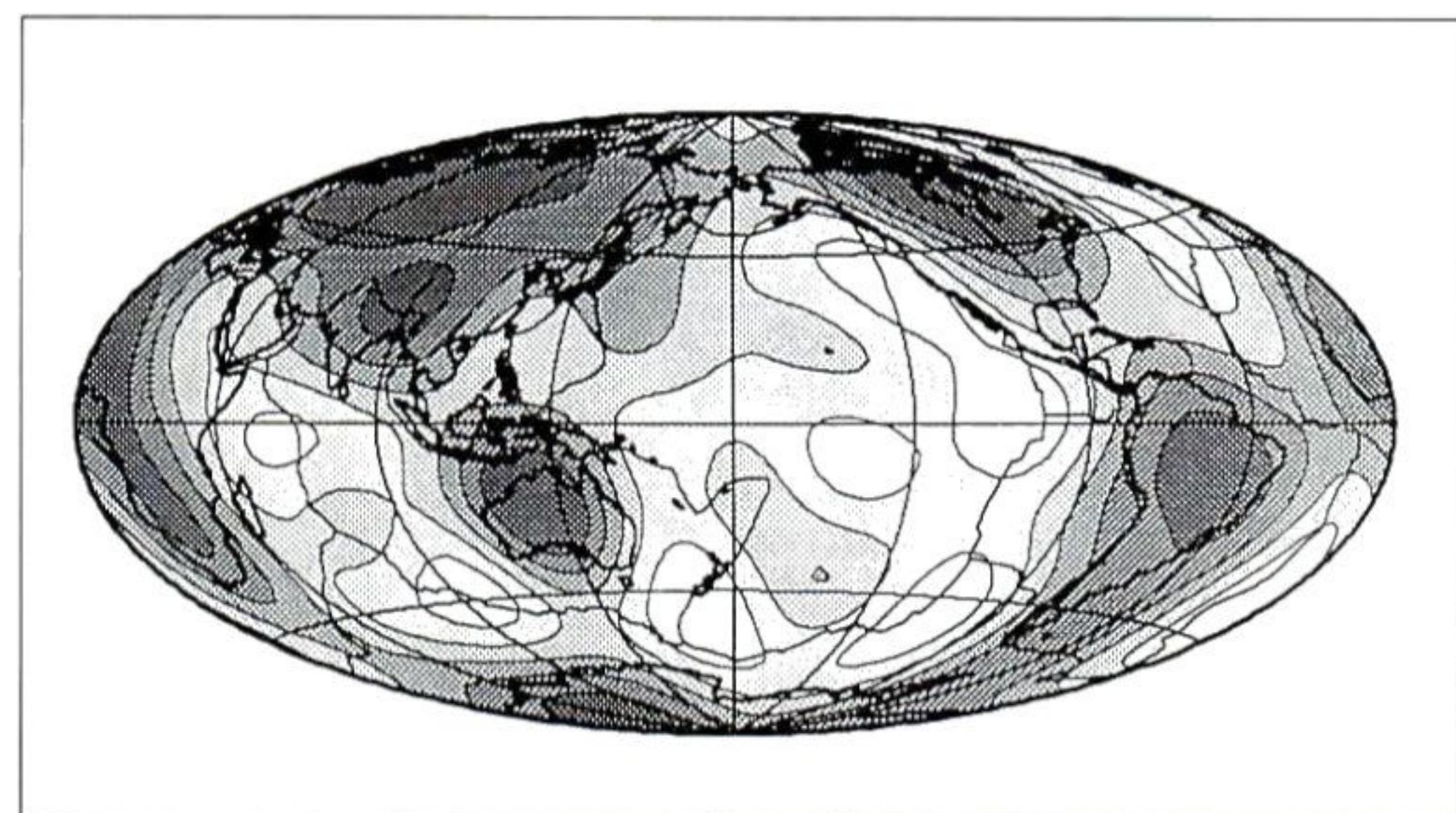


図 6 サイスミックトモグラフィーによる画像
深さ 300km での地球全体の温度分布図を表している。
色が濃いほど温度が低いことを表している。

「地震が起こって欲しいのは、特にプレートの真ん中とか、今まであまり地震が起きていないようなところですが、それでも人に被害が及ぶようなところでは起こって欲しくない」という先生の言葉が、科学者である以前に人間であるという感じで印象に残りました。

地球の奥深くを知る手段として、たしかに地震観測は今まで最も有効な手段となっていました。しかし、地震が大きければ大きいだけ、地球内部がよくわかるかわりに、近くに住んでいる人などが被害を受けることにもなるのです。私たちに大きな被害を及ぼすような大きな地震ほど、地球の

内部をより詳しく知るのに役立っているというの、何か皮肉のような気がします。

最後になりましたが、お忙しい中、私たちに丁寧に説明をしてくださった谷本先生にこの場を借りてお礼申し上げます。

(森田 晃平)