

用語解説

地震波トモグラフィ

深海研究部 海宝 由佳 Yuka Kaiho

1. 地震波で何が見えるか

計算機を使ったトモグラフィは、1970年代のはじめに医学の分野に導入された(CTスキャン-Computed Tomography)が、地震波トモグラフィも原理は同じで、X線を地震波に、脳を地球に置き換えている。

tomoの語源は、ギリシャ語の tomos (切られたもの)であるが、切って調べるわけにはいかない「地球」の断面を得たことは、地球科学にとって実に画期的なことであった。

地震波トモグラフィは、高速大容量計算機の発達とデジタル広帯域地震計データの蓄積により発展した。1970年代には、計算機を使ったモデル計算等(逆問題を解く-インバージョン)の研究や実際の地球への応用が精力的に行われた。地震波トモグラフィは、地球内部構造についてのインバージョンである。答は一意ではなく、解像度と信頼度は相反する関係にある(Backs and Gilbert, 1967, 68, 70)が、その原理は単純化すれば「連立一次方程式を解く」ことで、左辺の変数が内部構造、右辺の数値が地震波の観測データである(Aki and Lee, 1976)。連立一次方程式は変数の数だけ答えがあれば解け、使った地震の数に相当する解像度の内部構造が得られる(理想的な場合)。

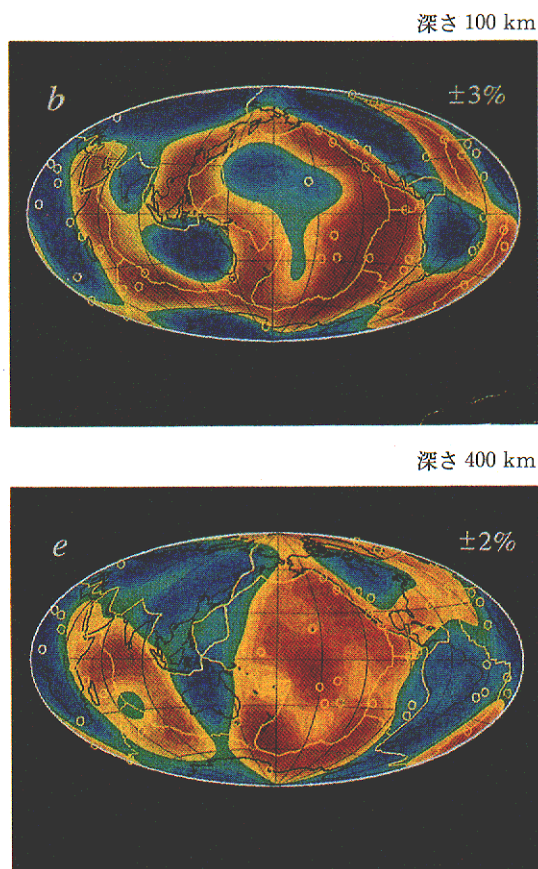
地震波トモグラフィでは、地殻内の2本のボーリング孔の間の構造のような小規模のものか

ら全地球構造までを扱うが、以下では全地球規模のものに目を向ける。1970年代後半には地球の球殻層構造が精密に求められ、それ以前の構造がかなり正確であったことも分かった。1980年代からは、主にマントルと核、特にマントル内部の水平方向の構造変化が研究された。地震波からは、速度構造、減衰構造が得られるが、これらは、温度・圧力と化学組成による、物質の溶融の度合いと密度の違いを表す。マントルでは、深さ方向への密度・物質の変化に、対流による温度場の効果が重なっている。速度異常を仮に温度異常と考えると、温度は深さとともに高くなるので、上昇流の部分では周囲より温度が高い。また、温度上昇により更に浮力が発生する。このように、温度構造からマントル対流が推定できる。

2. マントル内部三次元構造

堅いプレート内には地震が起こるが、マントル内のやわらかいアセノスフェアには地震が起きないことから、1970年代よりも前には、地震の起こる部分が沈み込むプレート(スラブ)だと考えられてきた。しかし、地震がなく、しかも強い(地震波速度の速い)領域が発見され、地震波速度による地球内部構造が注目されるようになった。1980年代からは大規模な地震波トモグラフィから、マントル内部の三次元構造が明らかにされた。

図-1は、デュボンスキーらによって得られた



図一 Su, Wood and Dziewonski (1992) による上部マントルの速度構造異常図より、深さ 100 km と 400 km の図。各深度の平均的な速度構造に対し、それぞれ 3 % と 2 % のゆらぎがある。赤が低速度域、青が高速度域を表わし、線はプレート境界、丸はホットスポットの位置を示す。

上部マントルの不均質構造の一部である。深さ 100 km では、東太平洋などのプレートを作る場所である海嶺の下が熱い（速度が遅い）ことが分かる。日本付近が熱いのは、プレート沈み込み域の裏側で小さい海底拡大が起こったためである。深さ 400 km では、熱い領域の分布は海嶺の下だけではない。また、日本付近は、沈みこんだ太平洋プレートの影響で速度が速く、冷たい。

プレート生成の場である海嶺の下での温度異常は上部マントルの浅い部分である。スラブは 670

km 面まで達し、精密な解析によると下部マントルに落ち込むものもある。ハワイのようなホットスポットと呼ばれる孤立した火山は、下部マントルの高温域との関連が指摘されている。

マントル対流は、高温の核からマントル底面に供給された熱を表層へ運び、プレート運動の原動力となる。上部マントルの層構造は、深さすなわち圧力による結晶構造の変化（密度変化）で説明されるが、沈み込みが 670 km で止まるので、上部マントルと下部マントルの境である深さ 670 km の構造の不連続面では、化学組成に起因する密度変化が推定され、対流が二層に分かれるという意見がある。しかし、地震波の構造と高压での岩石実験の結果からは、化学組成の変化の存在は同定できない。温度場から対流のパターンを直接見ることがこの問題を解く手がかりとなる。

二層対流の場合、上部マントルと下部マントルの間の物質の移動としてスラブの落ち込みとブリュームの上昇がある。670 km 不連続面をつきぬけたスラブや、面上にたまったスラブの残骸が時折り下部マントルに落ち、マントルと核の境界に不均質な層を作ったり、ホットスポットのマグマを生成するという考えがある。始源地球からマントル各層がどのように分化したかを考える手がかりとなるため、詳しい対流構造や層の境界付近の三次元構造を明らかにすることが望まれている。

3. 課 題

ソースとしての自然地震は、その場所、時間をコントロールできない。また観測点の配置も片寄っている。

地震はプレート沈み込み域に多く、地震計の分布も陸上に片寄っているため、太平洋の真ん中に構造異常があってもうまく捉えられない。地震波トモグラフィーでは、P 波、S 波の屈折波のみで

はなく，表面波や反射波を使ってあらゆる場所を見るが，観測点のない地域の上層マントルに解像度の低い部分が生じやすい。誤差が解像度の低い部分に混入することも考えられる。現在，海域における観測網の充実が強く望まれている。

参考文献

- 1) Aki, K. and W.H.K. Lee : J.G.R., **81**, 4381-4399. (1976)
- 2) Backus, G. and F. Gilbert : Geophys. J. Roy. Astr. Soc., **16**, 169-205. (1967)
- 3) Diewonski, A. M. and D. L. Anderson : Phys.Earth Planet. Int., **25**, 297-356. (1981)
- 4) W. Su, R.L. Wood and A.M. Diewonski : Nature, **360**, 12, 149-152. (1992)
- 5) 深尾・古元編:地震2, **44**, 特集号, 1-406. (1991)

