

シャドーゾーンと地球深部の構造 指導資料

1 目的

四川大地震の全球的データからシャドーゾーンの存在を読み取り、地球深部の構造（核の存在、密度変化と地震波の屈折、外核の状態）を推定する。

2 準備するもの

定規、コンパス、赤と青のペン（鉛筆）

3 中学校までの既習事項

地震には震源があり、その真上の点を震央という。地震の揺れは波という形で伝わり、波にはP波とS波がある。また、P波の方が早く伝わり、S波の大きな揺れまでの時間を、初期微動継続時間とよぶ。地震の研究で地球内部のしくみがわかる（発展）。

4 実習の所要時間

すべての実習プロットを行って30分弱であり、解説に20分とると50分で完結する。

5 実習間のつながり

『走時曲線と地球内部の構造』でモホ面の存在を確認したように、地震は地球内部の構造を探るための重要な手段となる。ここでは、外核の存在を明らかにする。

6 実習上の留意点

実習AでS波の到達範囲から、まず外核の存在を描かせる。

波は媒質境界を通るときに屈折がおこる。また、媒質の密度が変化するときにも屈折が起こる。実習B・Cで内部ほど地震波速度が大きく、密度が上昇することを確認し、実習Dで屈折を考えて外核の大きさを修正し、シャドーゾーンの説明（P波の屈折）までを作図させる。実習Dは波の屈折を理解できるかどうかの問題があり、発展としたが、できる限り取り組ませたい。

横波であるS波は液体中を伝わらないことを、実習のあとで解説するほうがよい。

実習A 表層の2つの実線の間、P波、S波が観測されたことを示す点を書かせる。震源の点の半分程度の大きさでよい。上半分だけに書かせるのは、地球の内部構造（マントル、外核、内核）のメモを下半分の半円に書かせるためである。

実習B 地球規模での地震で内部を探るには、震源距離のかわりに角距離を用いて走時曲線を書くこと。横軸が距離、縦軸が時間をとっているため、傾きが小さいと速度が大きくなること。観測点は海には存在しないため、とびとびの角距離での観測のようにになっている。

実習C 弦距離という言葉は教え込む必要はない。角距離が遠いほどマントルの深い部分を通っていることが大切である。平均速度で明記しているのは、深さによって速度が変化するためである。

実習D 地震波のコースを推定させたあと、内接する円を描かせて外核の大きさを推定して修正させ、P波が屈折して伝わる様子も描かせてみる。最後に地表面から5100kmのところから内核を描かせるのもよい。

7 解答・解説

実習A

S波の届く最遠の角距離に直線を引いて、それに接する円が外核になる(右図)。波の屈折を理解できなくても、外核の存在はわかる。

考察1

地震波が伝わるのを邪魔するもの(外核)が、地球の内部にあると考えられる。その表面(外核の大きさ)は地表から深さ2300kmくらいのところになる。

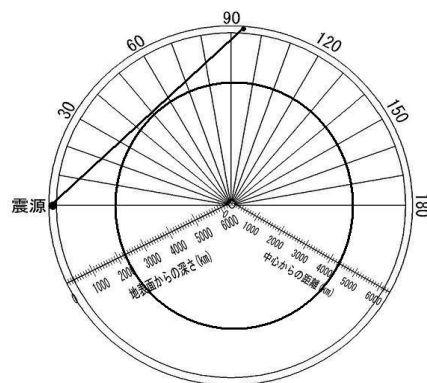


図1 実習Aの解答

実習B

作図例を右に示す。上の点がS波で、下がP波を表している。

考察2

- ・ P波の方がS波よりもグラフの傾きが小さい。
→ P波の方が伝わる速度が速い。
 - ・ P波もS波も角距離が大きくなるほどグラフの傾きが小さくなる。
→ より深部を通ってきた地震波ほど速い。
→ 深部ほど地震波が速く伝わる。
 - ・ P波もS波も角距離100° くらいより先で伝わらなくなる。
 - ・ P波だけが角距離156° より先で再び現れる。
 - ・ 角距離156° より先のP波のグラフは、100° までのグラフを延長したよりも上に出てくる。
→ P波は外核中で伝わる速度が遅くなる。
 - ・ S波は角距離100° より先には伝わらない。
→ S波は外核中を伝わらない。
- ※ 一般的には角距離が103° ~143° の部分にはP波が伝わらない。この間を地震波のシャドーゾーンとよぶ。

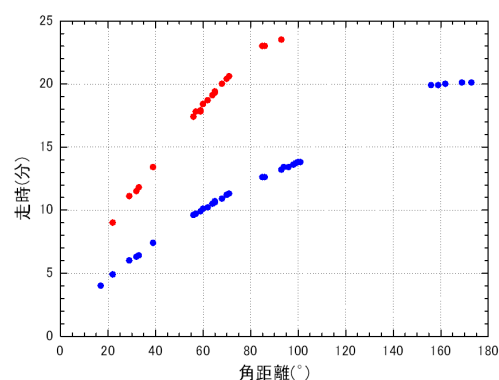


図2 実習Bの解答

実習C

作図例を右に示す。上の点がP波、下がS波である。

考察3

- ・ P波もS波も角距離が大きくなるほど速度が速くなっている。
→ より深部を通ってきた地震波ほど速い。
→ 深部ほど地震波が速く伝わる。
- ・ P波だけが角距離156° より先に現れるが、平均速度は遅くなっている。
→ 外核通過中に速度が遅くなったため、平均速度が遅くなった。

※ 地下深いところを通った地震波の平均速度が大きいことが明白であり、実習Bの結果を補強するものである。145° 以上のP波の速度が不連続に落ちているのは、固体のマントルから液体の外核

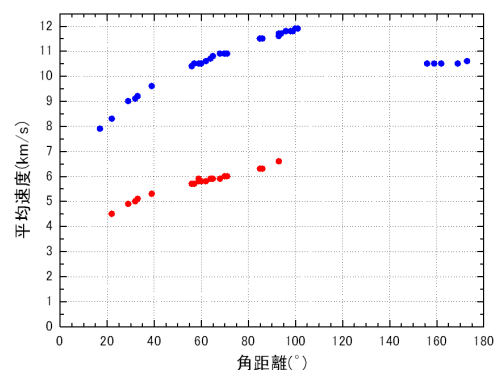


図3 実習Cの解答

を通過したためである。

実習D

考察4

作図例を右に示す。これは教科書等によく書かれているものである。波の屈折を意識させながら、角距離 100° のマントルに達するように進むP波の様子から、外核の大きさを修正させる。外核の深さは約 2900km である。また、外核で屈折して 145° 付近に届くP波を書かせてみる。今回の実習だけでは内核の存在までは推定できないが、深さ 5100km に内核があることを説明しておく。

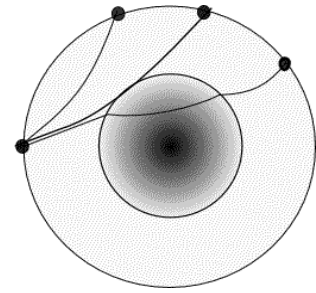


図4 実習Dの解答

考察5

実習B、実習Cより、P波、S波の伝播の様子から、

- ・ P波は外核中で伝わる速度が遅くなる。
- ・ S波は外核中を伝わらない。

ということがわかる。これは外核が液体であることを示している。

8 補足

[使用したデータについて]

四川地震を捉えた観測点は、1139箇所である。すべての観測データをグラフにすると、右図のようになる。この中から、今回の目的に見合うデータとして34箇所の観測点のみを使った。シャドーゾーンには、まったく地震波が届かないわけではない。実際には、様々な反射波、屈折波がある。マントルと外核の境界を伝わってくるP波もよく観測される。また、図中にはっきりした直線として描かれているのは表面波である。これを地球表層の固有振動として考えると興味深いだろう。なお、この大地震の表面波は、地球を6周も回ったことが記録に残っている。

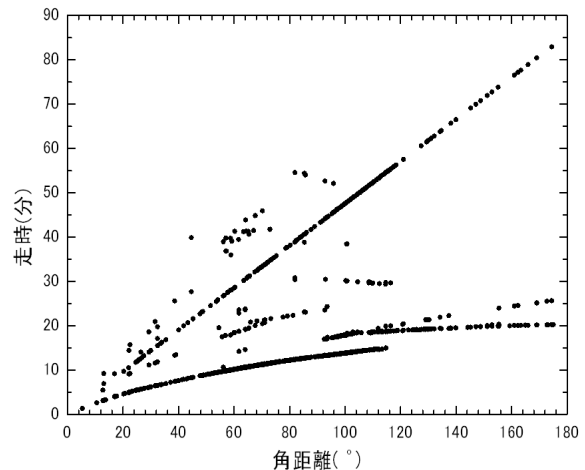


図5 四川地震のすべての地震波のようす

四川地震のシャドーゾーンを世界地図で表すと、下図のようになる（黒く塗りつぶされた部分がシャドーゾーン）。数字は走時(分)を表す。四川の裏側のチリ付近に20分程度でP波が到着している。

[参考URL]

アメリカ地質調査所(USGS) <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/>

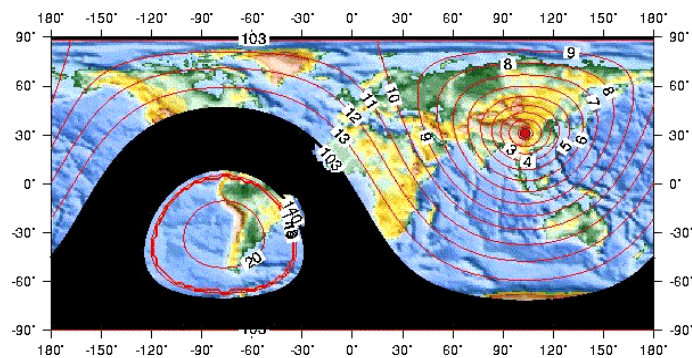


図6 四川地震のシャドーゾーン