

走時曲線と地球内部の構造 指導資料

1 目的

直接見ることはできない地球内部を探る方法のひとつとして、地震波の走時曲線を描かせ、地下の層構造を知る方法を学習させる。

2 準備するもの

定規、赤ペン（赤鉛筆）、コーヒーや茶葉が入った缶

3 実習の所要時間

導入演示 5 分、走時曲線の作図と考察 20 分、走時曲線が折れ曲がる理由の解説 25 分。

4 中学校までの既習事項

地震の性質や原因について学習しており、この実習に関係する既習事項は以下の通り。

- ・震源からの距離が大きくなると、地震波が届くまでの時間は長くなる
- ・地震波の伝わる速さ = 震源からの距離 ÷ 地震波が届くまでの時間

5 実習間のつながり

地震波については、つるまきばねを用いて演示する方法が一般的である。『演示 つるまきばねによる縦波と横波』参照。

この実習は地殻とマントルの境界までしか扱わない。この実習に続いて『シャドーゾーンと地球深部の構造』を行い、より深部の構造を取り扱う。

地球の内部構造は岩石密度と関係があるので、『火成岩の分類』で地殻・マントル・核をつくる岩石（鉄）の密度を調べ、理解を深めさせたい。

6 実習上の留意点

地球の中は簡単に見ることができない。このように、割って見ることができないものの内部は、その物体の中を伝わる振動をもとに推測することができる。実習の前に、コーヒーや茶葉が半分ほど入った缶を使い、次のような導入を行うと効果的である（T：教師、S：生徒）。

導入例

T：この缶の中身が入っているかどうか、ふたを開けずに知るにはどうしたらいいですか。

S：缶を振ってみる、缶をたたいてみるなど。

T：ではやってみましょう（音がする）。どうですか。中身は入っていますか。

S：入っている。

T：なぜ入っていると思いますか。

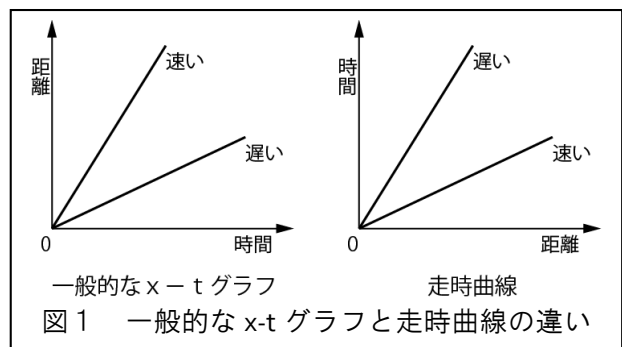
S：音がするから、音の感じなど。

T：では確認してみましょう（ふたを取って中身を見せる）。

T：みなさんの予想通り、中身が入っていました。缶の中を伝わる音をもとに中身を知ることができました。音は空気の振動によって発生します。同じように地球の中の様子も振動、つまり地震によって調べることができるはずです。

走時曲線は時間を縦軸、距離を横軸に取る。これは、地球の内部構造と対応させるための工夫である。一般的な $x-t$ グラフ（距離と時間のグラフ）とは異なり、グラフの傾きが大きい方が速度が大きくなるので注意する（図1）。

地震動が始まる点は矢印で示したが、読み取りにくいので赤鉛筆などで印をつけさせてはっきりさせる。走時曲線の傾きの変化は微妙なので、ぱっと見ただけではわかりにくい。そのため、最初に震源に最も近い点と遠い点とを結び、直線にはならない（＝傾きが途中で変化する）ことに気づかせる（実習①）。



記録から地球内部構造まで考えさせるのは難しいので、考察(3)まで行った後、発展として「8 補足 [モホロビッチの説明]」を参考に、走時曲線が折れ曲がる理由の解説を行ってほしい。

距離は一般的には震央距離を使うが、震源の深さ分だけ震源付近でずれが生じ、グラフの傾きが違ってしまつたため、震源距離に換算してワークシートを作成してある。

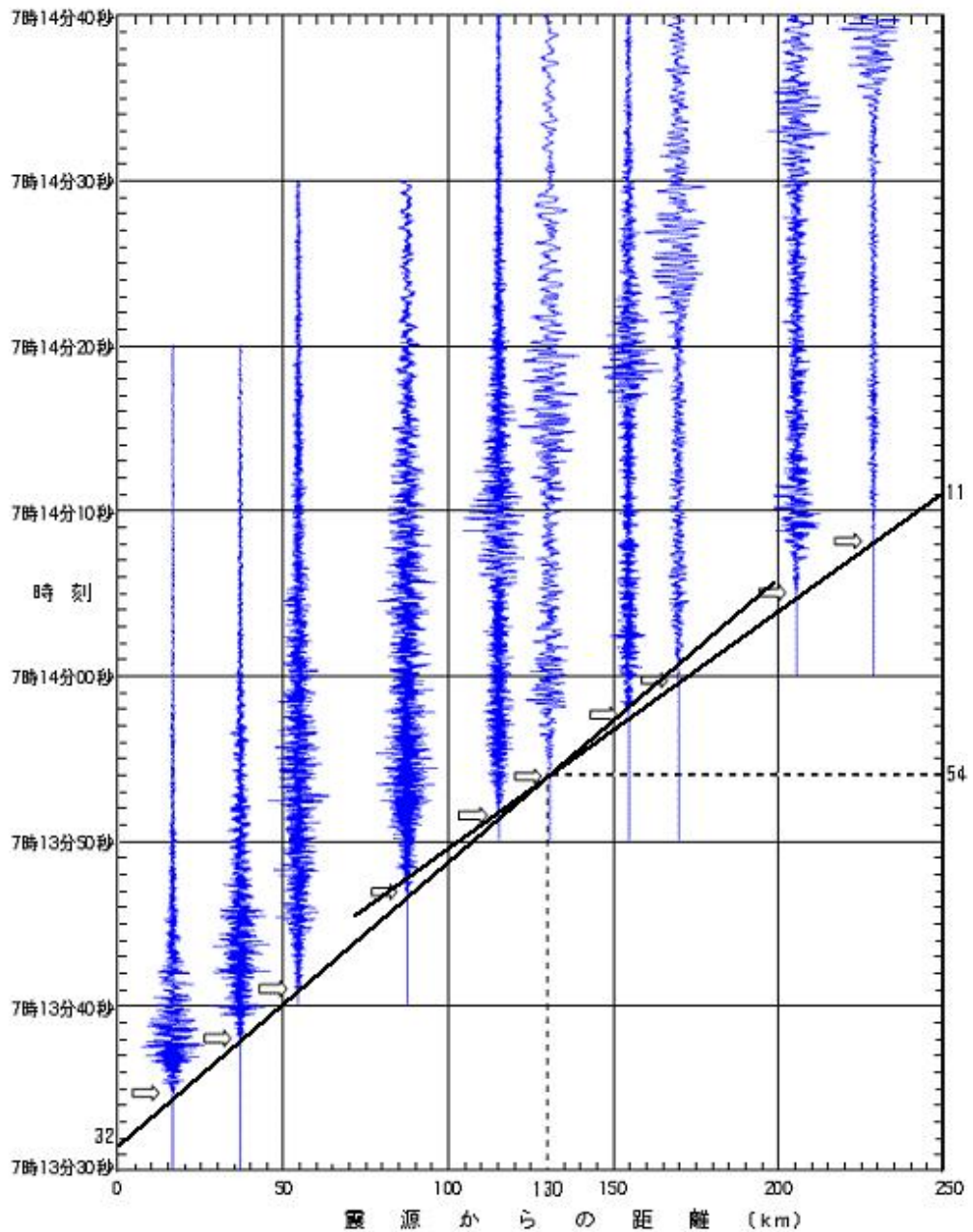
7 解答・解説

実習(2) 震源に近い側と遠い側でグラフの傾きが異なる(上に凸のグラフになる)。

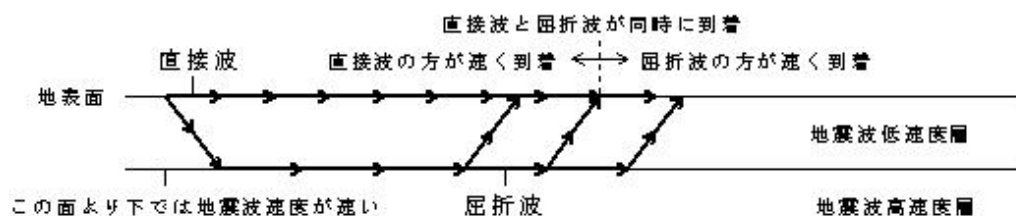
※ 震源からの距離が130kmの地点でグラフの傾きが変化する(作図結果参照)。

以下の計算結果はこの値から求めたが、生徒によってグラフの描き方が異なるので、必ずしも同じ値(130km)にはならない。

●作図結果



※走時曲線の傾きが変化する理由の図解例



●考察

(1) $130 \div (54 - 32) = 5.90$

答. 5.9 km/秒

※ 作図結果より、地震が発生したのが7時13分32秒。グラフが曲がる（震源から130km離れた）地点に地震波が到達したのが7時13分54秒である。

(2) $(250 - 130) \div (71 - 54) = 7.05$

答. 7.1 km/秒

※ 作図結果より、震源から250kmの距離で地震波が観測されるのは7時14分11秒である。速度は距離÷時間なので、上記の式が得られる。

(3) 震源距離130kmより遠くなると、速度が速くなっている。

[発展] 前ページのワークシート解答の図解例、下の[モホロビッチの説明]を参照。

8 補足

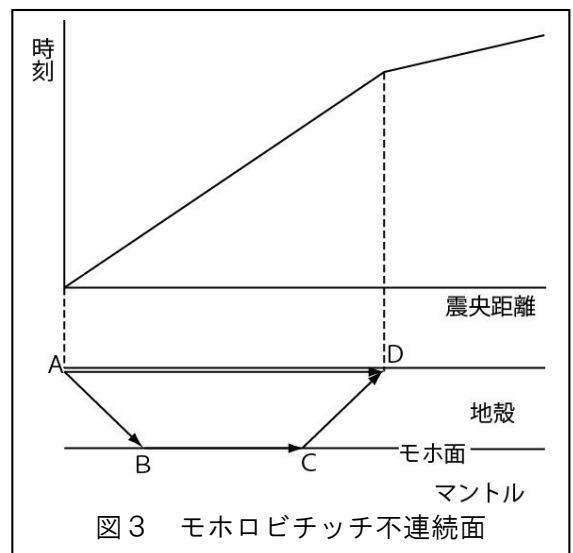
[モホロビッチの説明]

モホロビッチは、1909年にクロアチアで起こった地震の走時曲線から、2つの地震波速度があることを読み取り、地下のある深さに地震波速度が急に速くなる不連続面があると考えて説明した(図3)。この不連続面は地殻とマンツルの境界であり、モホロビッチ不連続面(モホ面)と呼ばれている。

震央付近ではA→Dのように不連続面より上の層を伝わってきた地震波が観測される。これを直接波と呼ぶことにする。地震波はあらゆる方向に伝わるので、地下に向かうものもある。そして不連続面より下の層に達した地震波は、下の層の中を上層よりも速い速度で伝わっていくが、再び上の層を通過して地上に現れるものもある(A→B→C→D)。これを屈折波と呼ぶことにする。

震央からある距離以上離れると、下の層中を速い速度で進んでから地表に出てくる屈折波が直接波に追いつくだろう。ここが走時曲線の折れ曲がる点である。これよりも近い地域では直接波が、遠い地域では屈折波が先に到達するため、見かけ上速度が速くなったのである。

※ 直接波と屈折波の関係は、一般道だけを走る車と、途中、高速道路を使う車などに例えられる。目的地が近ければ一般道を走っていった方が速いが、遠ければ多少遠回りしても途中で高速道路に乗って走っていった方が速く着けると同じ理屈である。



[地震波形データについて]

・公開されている地震波形データとしては防災科学研究所のK-NETがあるが、データの時間軸方向が短いため、走時曲線から屈折波の存在を読み取れるデータを見つけることができなかった。

・この実習で使用した気象庁の強震波形「2003年宮城県北部の地震」は、かろうじて走時曲線の傾きの変化を読み取ることができた。

(http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/030726_miyagi/index.htm)

・波形は震源に近いほど振幅が大きいですが、各記録は最大振幅が同じ幅に入るようにスケールが変えてあり、震源に近いものほど振幅方向の圧縮率が大きい点に注意したい。