学習日：　　月　　日

2023年度　海陽中等教育学校・特別給費【理科】大問１

地球の内部を調べる方法について、次の文章を読み、あとの問いに答えなさい。

地球は半径およそ6400ｋｍのほぼ球形で、地表から中心に向かって、地殻、マントル、核の３層に分かれています。

核は地表から深さ約2900ｋｍより深い部分で、主に鉄からなります。さらに核は、状態により２つの層に分けることもできます。深さ約5100ｋｍまでは液体、そこから中心までは固体になっています。

マントルと地殻は、主に岩石でできており、岩石のちがいにより区分されています。直接掘って調べたわけではないのに、どうしてわかるのでしょうか。

地震が起こると、震源から振動が四方八方に伝わっていきます。これが地震波です。人工地震でも同様で、地震波が発生した時刻が正確にわかるため、弱い地震波でも観測することができます。地震波にはＰ波とＳ波があり、Ｐ波は固体・液体・気体いずれの状態でも伝わりますが、Ｓ波は固体にしか伝わりません。

震源が地表にあり、地球全体を伝わる人工地震について考えていきます。地球の反対側までは数十分かかって伝わります。

問１

次の図１は地球の断面の半分を、内部の構造とともに示したものです。

ただし、地殻はうすいため、ここでは省略しています。

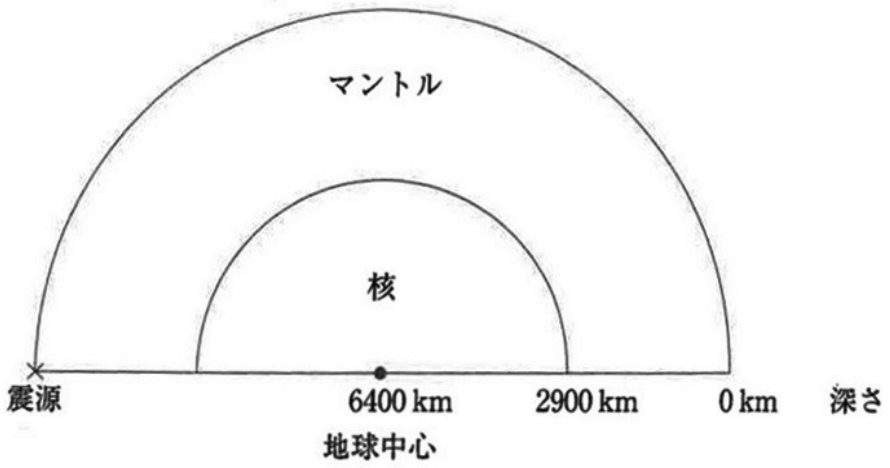
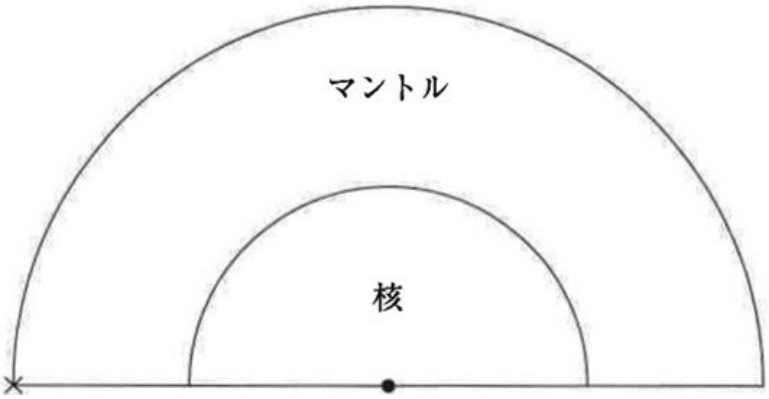


図１　地球の内部構造

（１）震源（×印）から地震波が地球全体を伝わるとき、Ｐ波・Ｓ波がそれぞれ最も遠くまで伝わる経路を図にかき入れなさい。Ｐ波の経路は実線の矢印（⟶）で、Ｓ波の経路は点線の矢印（- - - ->）でかきなさい。ここでは地球内部を伝わる地震波速度は一定であるものとします。



（２）地球全体に占めるマントルの体積の割合は何%になるか、計算しなさい。答えは小数第１位を四捨五入して整数で答えなさい。図１のように、地球は半径 6400 ｋｍの球形で、マントルと核の境界までの深さは 2900 ｋｍ、地殻の厚さは無視するものとします。また、体積は半径×半径×半径に比例します。

（参考）

$$球の体積 = \frac{4}{3} \times 3.14 \times 半径 \times 半径 \times 半径$$

$$64 \times 64 \times 64 = 262144$$

$$29 \times 29 \times 29 = 24389$$

実際には、地震波速度はかたい物質中で大きく、やわらかい物質中で小さくなります。地球内部の地震波速度は一定ではなく、一般に地球の深部ほど地震波速度は大きくなります。深部に行くほど圧力が大きくなり、岩石はかたくなるためです。ただし、液体になるとＰ波の地震波速度は急に小さくなります。また、岩石であっても温度が高くなるとやわらかくなるため、地震波速度は小さくなります。

地震波が伝わっていくとき、状態が固体から液体に変わったり、岩石から金属へ物質そのものが変わったりするところでは、地震波は屈折して方向を変えて伝わっていきます。地震波の屈折の関係は図２のようになることが知られています。

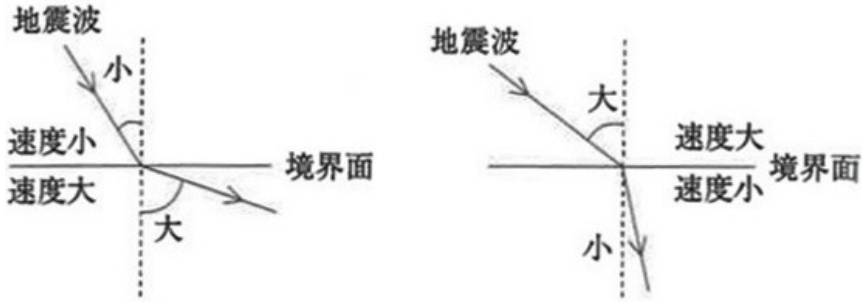


図２　地震波の屈折

地球表層は、地殻とマントルからなります。地殻の厚さは場所により大きく異なりますが、それでもおよそ５～60 ｋｍほどです。地殻をつくる岩石よりも、マントルをつくる岩石の方がかたいので、地震波速度は大きくなっています。

次の表１は、８時 48 分 50 秒に発生したある地震で、観測点までの距離とＰ波到達時刻をまとめたものです。

表１　観測点までの距離とＰ波到達時刻

観測点	震源距離（km）	Ｐ波到達時刻
A	410	8 時 49 分 50 秒
B	360	8 時 49 分 44 秒
C	330	8 時 49 分 40 秒
D	280	8 時 49 分 34 秒
E	210	8 時 49 分 25 秒
F	160	8 時 49 分 17 秒
G	120	8 時 49 分 10 秒
H	90	8 時 49 分 05 秒
I	70	8 時 49 分 02 秒
J	50	8 時 48 分 57 秒

この結果から、地震波速度が途中で変化していることが分かります。直接地殻だけを伝わったＰ波が観測される場合（直接波という）と、地殻からマントルに地震波が伝わって屈折し、マントルを速く伝わった地震波が再び地表まで到達して観測される場合（屈折波という）があり、より速く伝わった方の波がＰ波の到達時刻として記録されます。つまり、屈折波が直接波を追いこすと、記録は屈折波のものとなります。図３はこのようすを説明したものです。

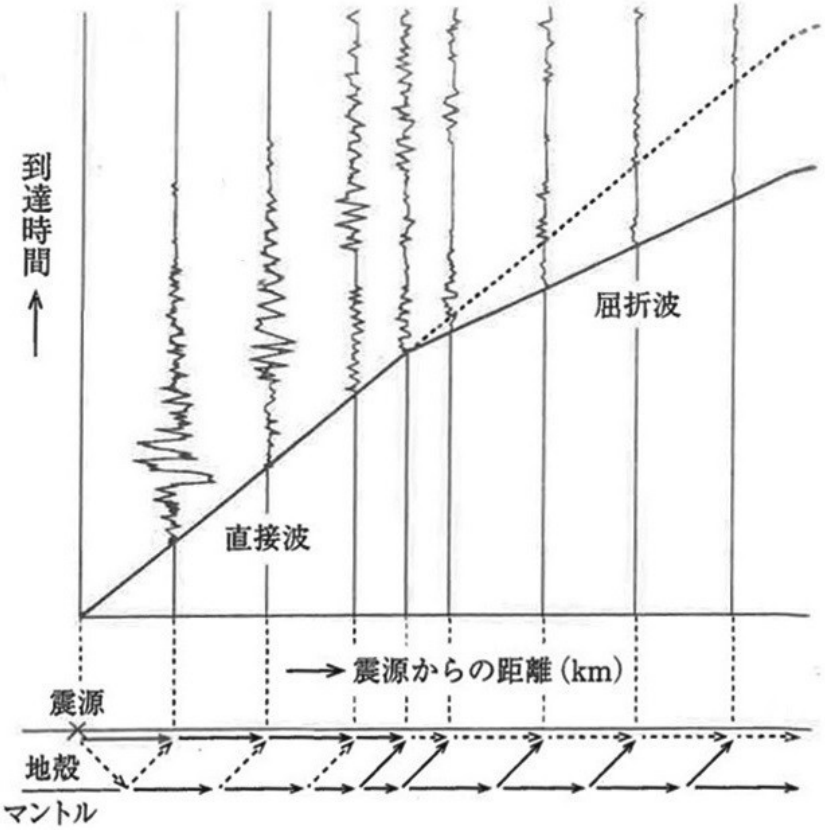


図３　地表付近の地震波の伝わり方

（方眼は自由に使ってよい）

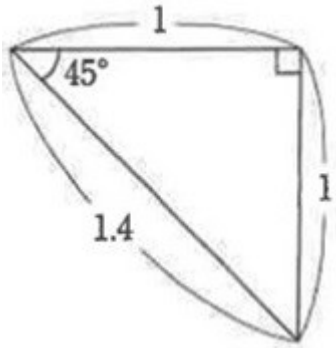
問２

表１の結果から、次の（１）～（３）の問いに答えなさい。

（１）直接波と屈折波がほぼ同時に到達する（この観測点より遠方へは屈折波の方が先に届く）観測点は、Ａ～Ｊのどこが最も近いと考えられますか。Ａ～Ｊの記号で答えなさい。

（２）①直接波のＰ波速度（秒速）と、②屈折波のマントル内を伝わるＰ波速度をそれぞれ求めなさい。答えは小数第１位を四捨五入して整数で答えなさい。

（３）この地域での地殻の厚さ（地殻とマントルの境界面までの深さ）を考えます。次の図４のように地震波が地殻やマントルを伝わっていくものとして、地殻の厚さを求めなさい。求め方も説明し、答えは小数点以下を四捨五入して整数で答えなさい。なお、直角二等辺三角形の辺の長さの比は右図の通りです。



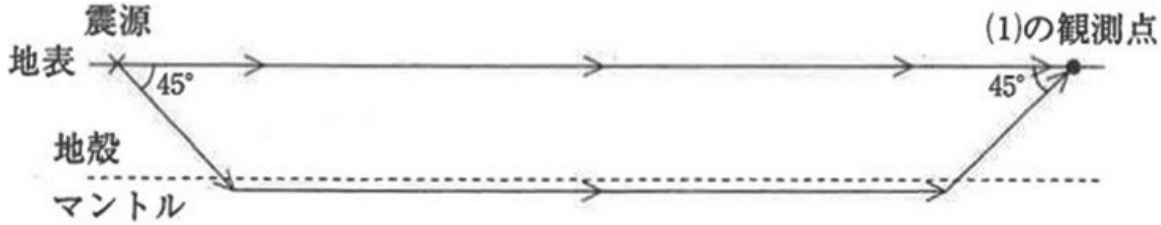


図４　直接波と屈折波の伝わり方

境界面で地震波速度が大きく変化しなくても、同じ層内であっても深部ほど速度が大きくなるため、地震波は曲がって伝わっていきます。さらに、地震波が核に到達すると、地震波速度が大きく変化するため、図５のように進む方向が大きく屈曲して伝わります。

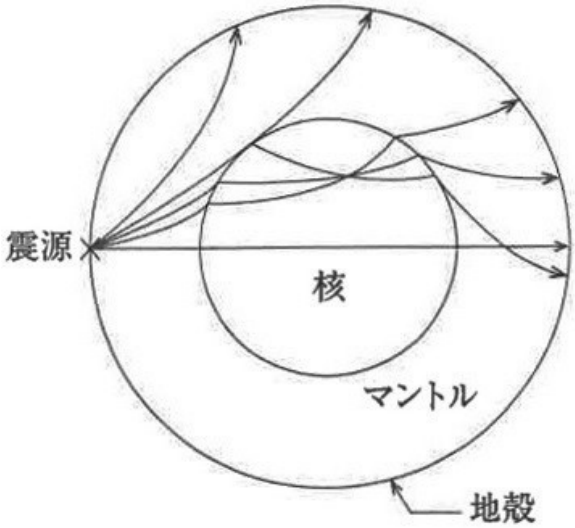


図５　地球内部を伝わるＰ波の様子

次の図６は、地表付近の地表からの深さとＳ波の地震波速度の変化を表したものです。

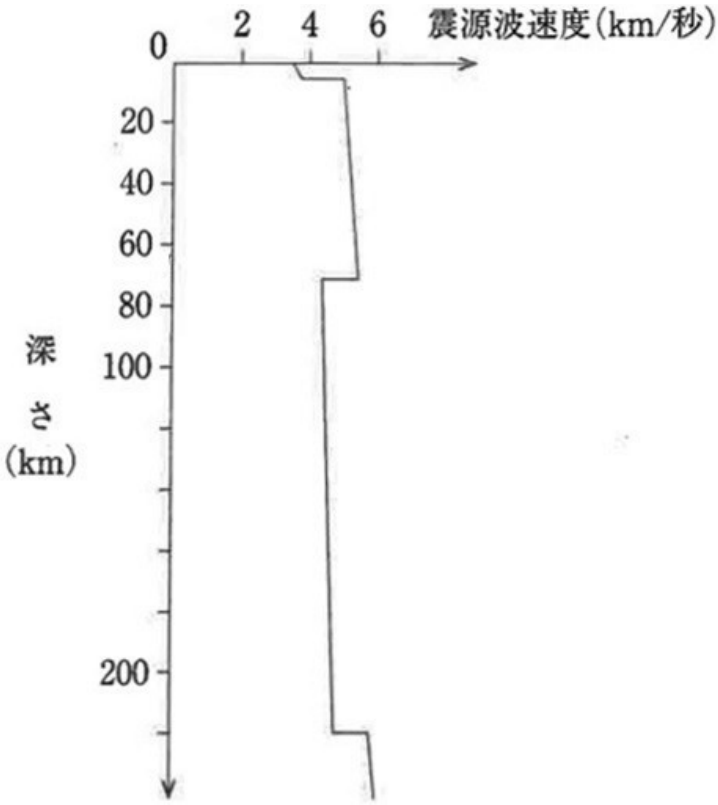


図６　Ｓ波の地震波速度の変化

また、図７は地表付近で発生した地震波のＳ波が伝わるのにかかる時間を表したグラフです。震源からの距離 1100 ｋｍ前後のところでグラフがとぎれていますが、これは地震波が伝わっていないことを示しています。

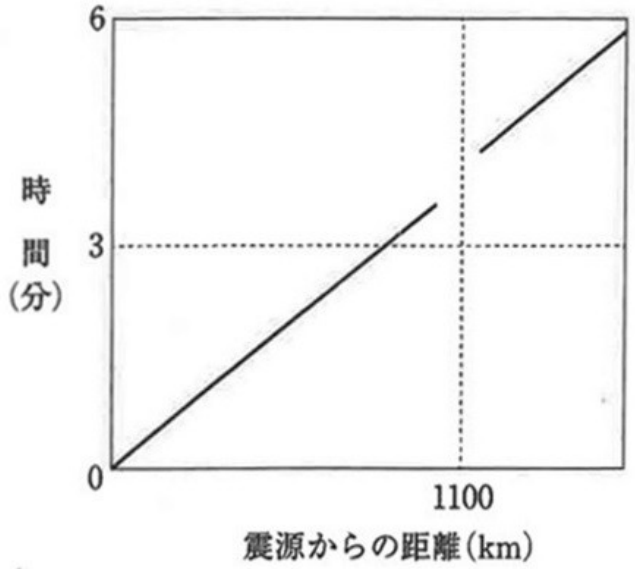


図７　震源からの距離とＳ波が伝わるのにかかる時間

問３

図６・図７について、正しい説明をしている文を次のなかから選びなさい。

ア　地表からの深さ約５～70 ｋｍの層は、その上下の層より岩石がかたくなっている。

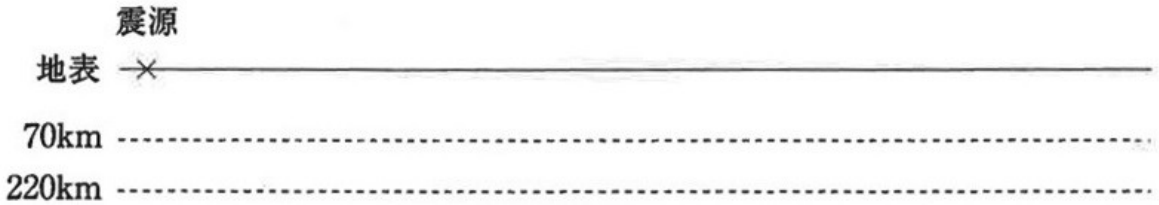
イ　地表からの深さ約 70～220 ｋｍは、マグマが発生している層であるので、
　　すべてとけて液体になっており、やわらかい。

ウ　震源からの距離 1100 ｋｍの前後は海になっているため、地震波が伝わらない。

エ　図７でグラフがいったんとぎれた後、再び現れるとき上にずれて現れるため、
　とぎれた地点より遠い地点へ伝わるときには、地震波速度が増加していると考えられる。

問４

図７においてグラフがとぎれる理由を、図２・図５を参考に、次の図を使って説明しなさい。
深さの縮尺が異なりますが、図の通り考えてください。



問５
地球表層は十数枚のプレートに分かれており、海のプレートは地球表層をすべるように動き、陸のプレートにぶつかって、陸のプレートの下に沈みこんでいると考えられています。これまでの内容から、プレートは何ｋｍぐらいの厚さであると考えられますか。最も適当なものを選びなさい。
ア：10 ｋｍ　イ：40 ｋｍ　ウ：70 ｋｍ　エ：110 ｋｍ　オ：220 ｋｍ

　地震波速度は温度の違いによっても変化します。地球内部のわずかな地震波速度の変化をとらえ、地球の内部構造を三次元的に解析する方法を、地震波トモグラフィーといいます。これによって海のプレートが陸のプレートの下にしずみこむようすが証拠としてとらえられています。

問６
図８は、地表付近の２地点を震源とする人工地震で発生した地震波の経路と、地表の観測点を示したものです。図中の矢印で示した観測点では、この地域の地下の岩石が均質であった場合と比べて地震波の到達がおそくなりました。このことから、地下には周囲より温度が高く、やわらかい部分があると推定されます。その部分を図中に１つのだ円と斜線（ ）で示しなさい。

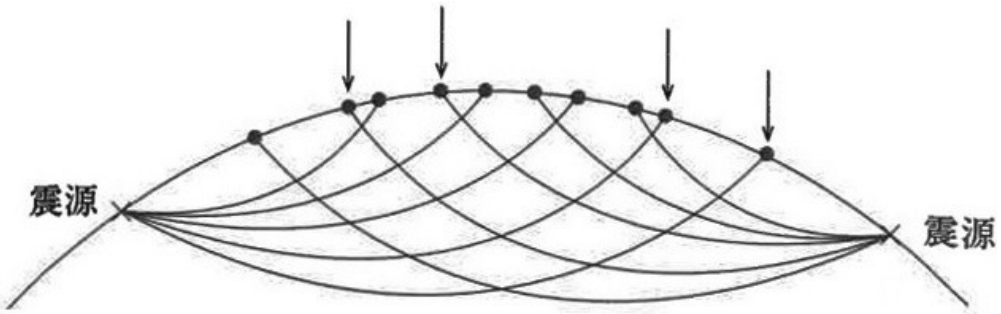


図８　地震波の経路と地表の観測地点