

2016 年度 名古屋大学 前期 地学

問題 I 鉱物・岩石/地質・地史

出題範囲	変成作用/火成岩の分類・薄片/続成作用/河川・海的作用/風化
難易度	★★☆☆☆
所要時間	12 分
傾向と対策	この問題に解答するには岩石についての基本的な知識が必要である。わからなかったところはしっかりと復習しよう。問 4 についても問題内容は基本的なものである。100 字以内にうまくまとめられるよう日頃から記述問題の演習を積んでおこう。

解答

- 問 1 ア：火成岩 イ：堆積岩 ウ：変成岩 エ：溶融 オ：火山岩 カ：深成岩 キ：風化 ク：侵食(作用)
ケ、コ：圧力、熱(順不同) サ：変成作用
- 問 2 A：砕せつ物 B：続成作用 C：プレート D：海溝
- 問 3 オ：玄武岩、安山岩、流紋岩のうち 1 つを解答
カ：かんらん岩、斑れい岩、閃緑岩、花こう岩のうち 1 つを解答
- 問 4 深成岩では大きさのほぼそろった粗い鉱物粒からなる等粒状組織が観察される一方、火山岩では細かい鉱物粒やガラス質の部分からなる石基の中に比較的大きい鉱物粒(斑晶)が点在している斑状組織が観察される。(97 字)

解説

問 1 難易度：★★☆☆☆

ア：火成岩 イ：堆積岩 ウ：変成岩

岩石は火成岩、堆積岩、変成岩の 3 種類に分類される。問題 1 は、この 3 種類の岩石が互いに場所やすがたを変えながら地球表層(地表～マントル上部)を循環すること(岩石サイクル)についての問題である。

エ：溶融 オ：火山岩 カ：深成岩

高い温度の地球内部では岩石が溶融し、マグマが形成され、マグマが冷えて固結すると火成岩となる。火成岩は火山岩と深成岩に分類される。火山岩は地表付近で急冷されてできたものであり、深成岩は地下の深い所でゆっくりと冷えてできたものである。

キ：風化 ク：侵食(作用)

地表へ露出した岩石は、風化作用、侵食作用を受けて細かい岩片(砕せつ物)となり、河川、氷河、風などにより運搬される。運搬された砕せつ物は海底や湖底などに堆積する。堆積した砕せつ物は続成作用を受けて堆積岩となる。

◆Check!! 風化作用

風化作用には機械的風化(物理的風化)と化学的風化の2種類がある。

機械的風化(物理的風化)とは、岩石中の鉱物の膨張・収縮などの物理的な作用により岩石が破壊されることである。1日の間の温度の変化にともなって岩石は膨張・収縮する。岩石中の鉱物によって膨張率は異なるので、岩石の膨張や収縮は岩石全体で一様に起こるわけではなく、膨張や収縮の程度の違いで岩石にひびが生じる。長い年月を経て膨張・収縮を繰り返すことやひびに入った水が凍結し、膨張することでひびが大きくなり、岩石は破壊される。このことを機械的風化(物理的風化)という。

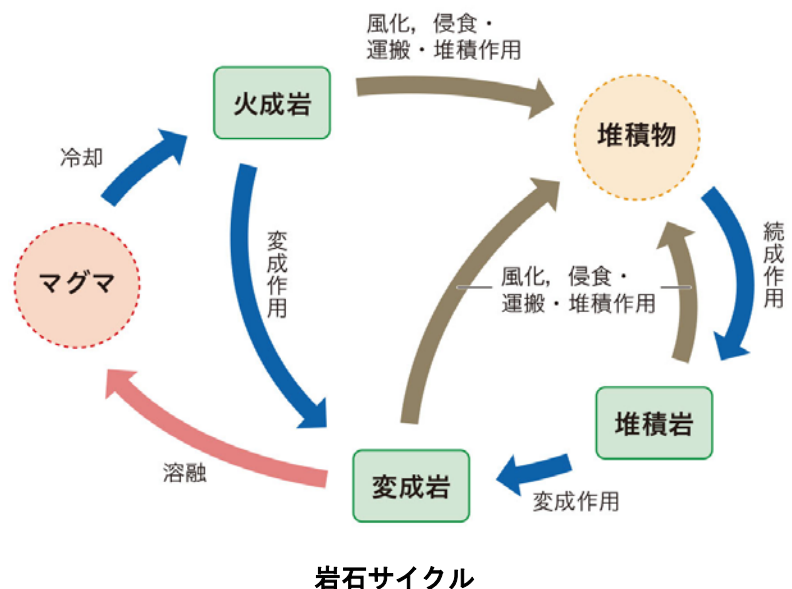
化学的風化とは岩石が雨水や地下水と反応することで岩石中の鉱物が溶けだしたり、変質したりすることで生じる風化作用のことである。例えば石灰岩(主成分は炭酸カルシウム)が二酸化炭素の溶けた雨水や地下水と反応し、溶解するのは化学的風化である。

ケ、コ：圧力(高圧)、熱(高温)(順不同) サ：変成作用

岩石が海洋プレートの沈み込みにともなって地下深部にもち込まれると、岩石は高い圧力や高い温度の影響を受ける。高い圧力や高い温度により、溶融せずに固体のまま岩石中の鉱物に変化し、岩石の組織が変化することを変成作用といい、変成作用を受けた岩石のことを変成岩という。

◆Check!! 岩石サイクル

マグマが固結して火成岩ができる。火成岩が風化、侵食、運搬、堆積作用を経て堆積物となる。堆積物が続成作用を受けて堆積岩となり、堆積岩が海洋プレートの沈み込みにともなって変成作用を受け変成岩となる。地下深部で変成岩が溶融し、マグマが生じると、そのマグマが固結して再び火成岩ができる。このように火成岩、堆積岩、変成岩はさまざまな作用を経て循環している。このことを岩石サイクルという。



以上より解答をまとめると、ア：火成岩 イ：堆積岩 ウ：変成岩 エ：溶融 オ：火山岩 カ：深成岩 キ：風化 ク：侵食(作用) ケ、コ：圧力、熱(順不同) サ：変成作用 となる。

問 2 難易度：★★★★☆

A：砕せつ物

岩石が風化作用、侵食作用を受けて細くなったもののことを砕せつ物という。

B：続成作用

続成作用とは堆積物が固結して堆積岩となる作用のことである。続成作用には 2 種類ある。1 つ目は、堆積物の下部が上部に積もった堆積物の重みで圧縮され、堆積物粒子の隙間にある水が押し出され、粒子間の距離が近くなる圧密作用である。2 つ目は、堆積物粒子間にある水(間隙水)には炭酸カルシウムやケイ酸が溶けており、間隙水から炭酸カルシウムやケイ酸が沈殿し粒子同士の結びつきが強くなるセメント化作用である。続成作用の初期は圧密作用の影響が強く、その後長い年月の間、セメント化作用を受けて堆積岩となる。

C：プレート D：海溝

海底に形成された堆積岩の一部は、海洋プレートが海溝から沈み込むときに地下深部に持ち込まれ、変成作用を受ける。

以上より解答をまとめると、A：砕せつ物 B：続成作用 C：プレート D：海溝 となる。

問 3 難易度：★★★★☆

火山岩に分類される岩石は、玄武岩、安山岩、流紋岩であり、深成岩に分類される岩石はかんらん岩、斑れい岩、閃緑岩、花こう岩である。

火成岩の分類方法は 2 種類ある。1 つ目は岩石の組織(鉱物の大きさや集まり方)から深成岩と火山岩に分類する方法である。2 つ目は SiO_2 含有量による分類で、 SiO_2 含有量が少ないほうから順に、超塩基性岩(超苦鉄質岩)、塩基性岩(苦鉄質岩)、中性岩、酸性岩(ケイ長質岩)という。火成岩を岩石の組織と化学組成の両方で分類したものが、玄武岩、安山岩、流紋岩、かんらん岩、斑れい岩、閃緑岩、花こう岩などの岩石であり、下表のようにそれらはまとめられる。

	超塩基性岩	塩基性岩	中性岩	酸性岩
火山岩	—	玄武岩	安山岩	流紋岩
深成岩	かんらん岩	斑れい岩	閃緑岩	花こう岩

火成岩の分類

オ：玄武岩，安山岩，流紋岩のうち 1 つを解答

カ：かんらん岩，斑れい岩，閃緑岩，花こう岩のうち 1 つを解答

問 4 難易度：★★★★☆

火成岩には深成岩と火山岩の 2 種類がある。

深成岩の岩石薄片を偏光顕微鏡で観察すると，比較的大きく，大きさのそろった鉱物粒からなる等粒状組織が見られる。等粒状組織はマグマ溜まりなどの地下深部でマグマがゆっくりと冷え，鉱物の結晶が大きく成長するとできる。深成岩の一例である花こう岩の薄片の模式図を右に示した。



花崗岩の薄片の模式図

火山岩の岩石薄片を偏光顕微鏡で観察すると，細かい鉱物粒やガラス質の部分からなる石基の中に比較的大きい鉱物粒(斑晶)が点在している斑状組織が見られる。石基の部分は地表で急冷されてできたものであり，比較的大きい鉱物粒(斑晶)は地下深部で晶出した鉱物の結晶である。火山岩の一例である安山岩の薄片の模式図を右に示した。

石基

斑晶



安山岩の薄片の模式図

解答例

深成岩では大きさのほぼそろった粗い鉱物粒からなる等粒状組織が観察される一方，火山岩では細かい鉱物粒やガラス質の部分からなる石基の中に比較的大きい鉱物粒(斑晶)が点在している斑状組織が観察される。(97 字)

(仁木創太，奥井晴香，坂井郁哉，辻有恒)

2016 年度 名古屋大学 前期 地学

問題 II 固体地球/地質・地史

出題範囲	地球の層構造/地球の化学組成/地震波トモグラフィ/地球史
難易度	★★★★☆
所要時間	17 分
傾向と対策	問題 II のテーマは地球の内部である。固体地球分野について幅広い内容(地球の層構造と化学組成, マグマの発生メカニズム, 外核の発見, 核の形成過程)が問われており, 記述量も多く, 難しい問題である。どの問も考察ではなく知識に重点が置かれているため, しっかりと教科書や参考書を読もう。

解答

問 1 (1)核 (2)地殻 (3)マントル

問 2 ア : Mg イ : Si ウ : Fe

問 3 プレート拡大境界 : マントル中の岩石が上昇する拡大境界では上昇に伴う圧力低下により岩石の融点さがり, マグマが発生する。(50 字)

プレート収束境界 : 海洋プレートの沈み込みに伴いマントル上部へ水がもたらされ, 岩石の融点さがり, マグマが発生する。(48 字)

問 4 震央距離を角距離で表したとき, $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ の領域では P 波は観測されず, 103° 以遠では S 波は観測されないことが明らかになっている。これは地球内部のある境界を超えると P 波速度が急激に低下して P 波は屈折し, S 波はその境界を超えると伝わらないということを示している。液体中を縦波の P 波は固体中より遅く伝わり, 横波の S 波は伝わらない。以上のことから地球内部には液体の領域(核)が存在することが推定された。(195 字)

問 5 微惑星が集積して地球を形成する際に放出される熱や惑星内部から脱ガスしてできた原始大気による温室効果により, 形成初期の地球は表層が融解したマグマオーシャンという状態であった。マグマオーシャンの中では密度の違いで分離が起き, 密度の大きい鉄成分は沈み, 密度の小さい岩石成分は浮き上がった。マグマオーシャンの底に着いても鉄成分は固化せず地球中心へと沈み, 鉄成分の核とその周囲の岩石成分のマントルが形成された。(200 字)

解説

問 1 難易度 : ★★★★★

(1)核 (2)地殻 (3)マントル

問 2 難易度 : ★★★★★

ア : Mg イ : Si ウ : Fe

問 1, 問 2 は地球の化学組成についての問題である。

この問題に答えるうえで地球の化学組成についての以下の 3 点について理解しておこう。

- ①核は Fe-Ni 合金でできている。
- ②マントル・地殻は岩石でできている、Si と O が主成分のケイ酸塩鉱物がおもな構成鉱物である。
- ③マントルを構成する主要鉱物は化学組成が $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ のかんらん石であり、マントルには Mg が多く含まれている一方、マントルと比べると地殻には Mg はあまり含まれない。

以上 3 点を踏まえて問題に解答する。

Ni が 5.4%含まれていることから(1)は核である。(1)は核であるので、核に 89.6%含まれる(ウ)は Fe である。(2), (3)は地殻またはマントルであり、地殻、マントルともに含有率が高く地球全体の化学組成の 15.2%を占める(イ)は Si である。マントルより地殻のほうが Si, Al の化学組成に占める割合が多いので、(2)は地殻であり、(3)はマントルである。

マントルの化学組成のうち 23.3%を占める元素は Mg である。

地殻		マントル		核	
化学式	存在比率	化学式	存在比率	化学式	存在比率
SiO_2	57.3%	SiO_2	46.0%	Fe	89.6%
Al_2O_3	15.9%	MgO	37.8%	Ni	5.4%
FeO	9.1%	FeO	7.6%	O	4.7%
CaO	7.4%	Al_2O_3	4.1%	Co	0.2%
MgO	5.3%	CaO	3.2%		
Na_2O	3.1%	Na_2O	0.3%		
K_2O	1.1%				
TiO_2	0.9%				

ケイ酸塩質

金属鉄

地球内部の元素組成

問 3 難易度 : ★★★★★

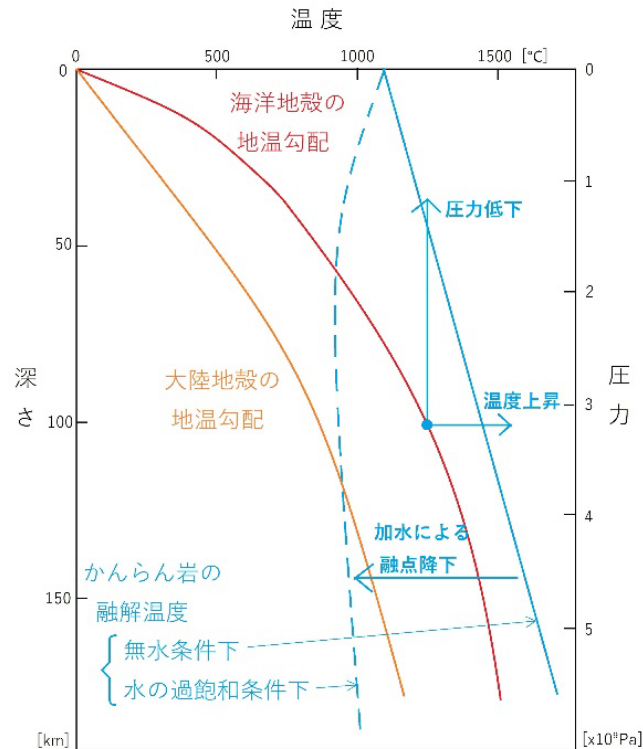
下の図に示した岩石の融解曲線(縦軸に深さ(圧力)、横軸に温度をとったもの)より、岩石が融解するのは

- ①岩石の温度が上昇する場合
 - ②岩石の圧力が低下する場合
 - ③岩石が水を含んで融点低下する場合
- である。

プレートが拡大する境界は地球内部からマントル物質が上昇している場所である。高温のまま上昇したマントル物質は上昇に伴う圧力の低下により融点が下がり、深さ約 200 km より浅いところで部分熔融して玄武岩質マ

グマが発生する。

海洋プレートの沈み込みに伴って地球内部に引きずり込まれた水を含む鉱物が脱水分解し、上部マントルに水がもたらされると、上部マントルを構成するかんらん岩の融点が下がり、かんらん岩が部分溶融して玄武岩質マグマが発生する。



かんらん岩の融解曲線

解答例

プレート拡大境界：マントル中の岩石が上昇する拡大境界では上昇に伴う圧力低下により岩石の融点が下がり、マグマが発生する。(50 字)

プレート収束境界：海洋プレートの沈み込みに伴い上部マントルへ水がもたらされ、岩石の融点が下がり、マグマが発生する。(48 字)

問 4 難易度：★★★★☆

世界各地の観測点で地震を観測して集められたデータから地球内部の地震波速度を推定し、そこから地球内部の構造について調べることができる。

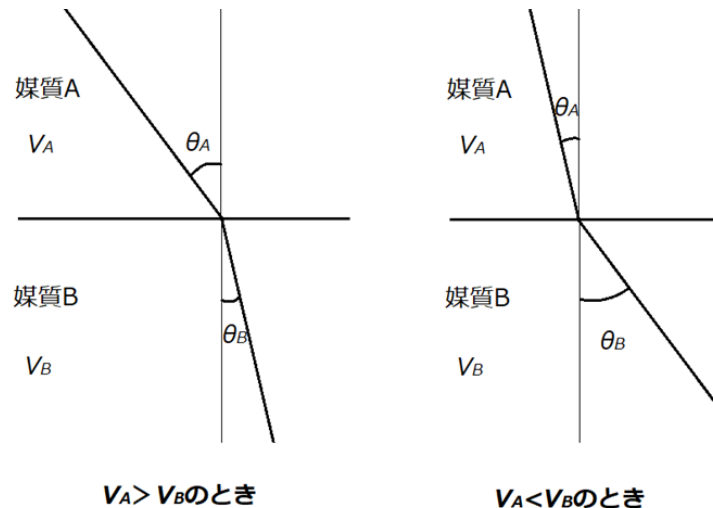
震央距離を角距離で表したとき、震央距離 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ の領域は P 波が伝わらない。この領域をシャドーゾーンという。

シャドーゾーンの存在から、地球の内部に地震波速度が急激に減少する境界が存在することが明らかになった。この地震波不連続面は 1913 年にグーテンベルクによって発見されたのでグーテンベルク不連続面という。地震波の伝わる速度が違う物質に入ると地震波は屈折する。シャドーゾーンの存在から、地球内部の深さ約 2900

km の境界で地震波が屈折するということが明らかになった。境界より浅い部分の地震波速度を V_1 、境界より深い部分の地震波速度を V_2 、入射角を θ_1 、屈折角を θ_2 としたとき、シャドーゾーンの存在から考えると、深さ約

2900km で $\theta_1 > \theta_2$ となる屈折をしている。スネルの法則より入射角と屈折角は $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2}$ という関係式で表せ、

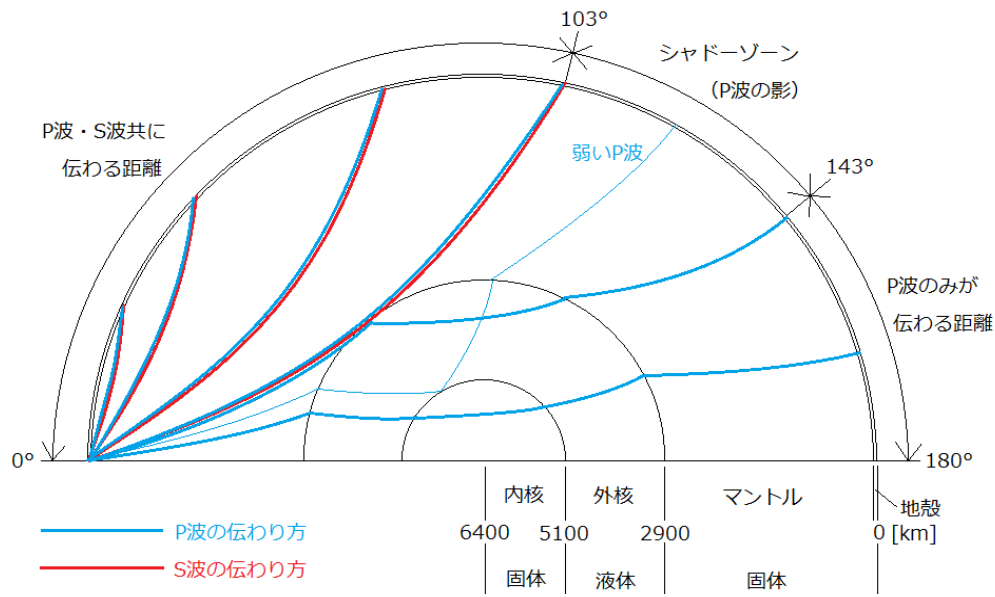
$\theta_1 > \theta_2$ のとき $V_1 > V_2$ である。よって、深さ約 2900 km の境界より深い所では P 波の伝わる速さは遅くなる。また、震央距離が 103° より遠いところでは S 波は伝わらず、このことは深さ約 2900 km の境界より深い所は液体であり、横波の S 波が伝わらないことを示している。P 波は固体中と液体中で地震波速度が大きく異なり、固体中では速く、液体中では遅い。このことはシャドーゾーンの存在から考える地震波速度とも合致している。よって、地球内部の深さ 2900 km 以深では液体の核があるということが考えられた。



屈折角と地震波速度

1913 年のシャドーゾーンとグーテンベルク不連続面(核とマントルの境界)の発見ののち、シャドーゾーンの中の震央距離 110° のところには弱い P 波が伝わるということが明らかになり、このことから 1936 年に核の内部に地震波速度の変化する境界面があることが明らかになった。シャドーゾーン中に伝わる P 波は核の内部にある深さ約 5100 km の境界面で反射した P 波であり、この境界より深い領域は固体だと考えられ、その部分を内核という。この境界より浅い液体の部分を外核という。

このように地震波を用いることで地球内部を CT スキャンのように調べることができる。このような解析手法を地震波トモグラフィーといい、近年ではマンツルの動きも明らかにされつつある。



地球内部を伝わる地震波の経路

解答例

震央距離を角距離で表したとき、 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ の領域では P 波は観測されず、 103° 以遠では S 波は観測されないことが明らかになっている。これは地球内部のある境界を超えると P 波速度が急激に低下して P 波は屈折し、S 波はその境界を超えると伝わらないということを示している。液体中を縦波の P 波は固体中より遅く伝わり、横波の S 波は伝わらない。以上のことから地球内部には液体の領域(核)が存在することが推定された。(195 字)

問 5 難易度：★★★★☆

地球は無数の微惑星が衝突・合体して形成し、その際に膨大な熱が放出された。また、惑星内部から脱ガスして形成された原始大気には二酸化炭素や水蒸気などの温室効果ガスが含まれており、強い温室効果があったと考えられている。その結果、地球は形成初期に表層が融解しており、マグマオーシャンに覆われていたと推定されている。液体の状態だと鉄成分と岩石成分の密度の差による分離は起こりやすい。マグマオーシャンの底に沈積した鉄成分はそのまま固化せずに地球の中心へと沈み込んでいったと考えられている。

解答例

微惑星が集積して地球を形成する際に放出される熱や惑星内部から脱ガスしてできた原始大気による温室効果により、形成初期の地球は表層が融解したマグマオーシャンという状態であった。マグマオーシャンの中では密度の違いで分離が起き、密度の大きい鉄成分は沈み、密度の小さい岩石成分は浮き上がった。マグマオーシャンの底に着いても鉄成分は固化せず地球中心へと沈み、鉄成分の核とその周囲の岩石成分のマンツルが形成され

た。(200 字)

(仁木創太, 奥井晴香, 坂井郁哉, 辻有恒)

2016 年度 名古屋大学 前期 地学

問題Ⅲ 宇宙

出題範囲	年周視差と距離/恒星の明るさ(等級)/ハッブルの法則
難易度	★★★☆☆
所要時間	15 分
傾向と対策	宇宙での距離の測定方法をテーマに、絶対等級やハッブルの法則などについて問う問題である。大問全体として、解答の量は多くないので、落ち着いて取り組めるだろう。問2は実質的に、絶対等級と見かけの等級の関係式の導出になっている。自力で導出できるか、一度手を動かしてチェックしておこう。問3のハッブルの法則に関する問題も、基本的な式を覚えていれば難しくはないはずだ。この機会におさらいしておこう。

解答

問1 ア：年周視差 イ：1秒 ウ：膨張

問2 (1) 地球から観測した天体の明るさは、その天体までの距離の2乗に反比例するので、

$$F' = \left(\frac{d}{10}\right)^2 F$$

(2) (1)より

$$\frac{F}{F'} = \left(\frac{10}{d}\right)^2$$

である。また、光度の比と等級の関係を考えると

$$\frac{F}{F'} = 10^{\frac{2}{5}(M-m)}$$

よって

$$\left(\frac{10}{d}\right)^2 = 10^{\frac{2}{5}(M-m)}$$

これを整理して

$$\frac{10}{d} = 10^{\frac{1}{5}(M-m)}$$

$$d = 10^{\frac{1}{5}(m-M)+1}$$

問3 (1) 天体が観測者に対して遠ざかったり近づいたりすることで、天体から届く光がドップラー効果をうけるから。

(2) 波長 λ の吸収線が $\Delta\lambda$ だけ波長がずれていたとすると、天体の後退速度 v は

$$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

と表される。 $\lambda = 393\text{nm}$, $\Delta\lambda = 4\text{nm}$, $c = 3.0 \times 10^8\text{m/s}$ を代入して、

$$v = 3.0 \times 10^8 \times \frac{4}{393} = 3.053 \dots \times 10^6 \approx 3.1 \times 10^6 \text{ m/s}$$

(3) ハッブルの法則より, (2)で求めた後退速度を v , ハッブル定数を H , 銀河までの距離を r とすると,

$v = Hr$ となる。 $v = 3.05 \times 10^6 \text{ m/s}$, $H = 70(\text{km/s})/\text{メガパーセク}$ を代入して,

$$r = \frac{v}{H} = \frac{3.05 \times 10^6}{70 \times 10^3} = 4.35 \dots \times 10 \approx 4.4 \times 10 \text{ メガパーセク}$$

解説

問1 難易度：★★★★☆

ア：年周視差 イ：1秒

地球の公転により恒星が1年周期で動く見かけの動きがあるが, 年周視差とはその動きの大きさを示す角度のことである。これが1秒になる距離が1パーセクである。1パーセクはおよそ3.26光年にあたる。

天体までの距離の測り方には前述の年周視差を利用する方法や後述のハッブルの法則を利用する方法などがあるが, 測定できる範囲には限りがある。例えば年周視差による測定では測定精度の限界のために, およそ1000パーセク以遠の距離は測定が困難である。天体までの距離を測る方法には測定可能距離が短いものから順に, レーダー測距, 年周視差の利用, 分光視差の利用, セファイド型変光星の利用, タリー・フィッシャー関係の利用, Ia型超新星の利用, ハッブルの法則の利用などがある。

ウ：膨張

1929年, ハッブルは銀河までの距離と後退速度の間に比例関係があることを, すなわち遠い銀河ほど大きな速度で遠ざかっていることを発見した。宇宙が一様に膨張していることにより, 宇宙のどこに観測点をおいてもその周囲の銀河が遠ざかっていくように見えるのである。

以上より解答をまとめると, ア：年周視差 イ：1秒 ウ：膨張 となる。

問2

(1) 難易度：★★★★☆

地球から天体までの距離が n 倍になると, n^2 倍の広さをもつ面が天体からの光を受け取るので, 地球から観測した天体の明るさは天体までの距離の2乗に反比例する。

$$F' = \left(\frac{d}{10}\right)^2 F$$

(2) 難易度：★★★★☆

(1)より

$$\frac{F}{F'} = \left(\frac{10}{d}\right)^2$$

である。また、光度の比と等級の関係を考える。等級が 5 小さくなると光度は 100 倍になる。よって、等級が 1 小さくなると光度は $100^{\frac{1}{5}} = 10^{\frac{2}{5}}$ 倍になる。ゆえに

$$\frac{F}{F'} = 10^{\frac{2}{5}(M-m)}$$

よって

$$\left(\frac{10}{d}\right)^2 = 10^{\frac{2}{5}(M-m)}$$

これを整理して

$$\frac{10}{d} = 10^{\frac{1}{5}(M-m)}$$

$$d = 10^{\frac{1}{5}(m-M)+1}$$

なお、求められた式の両辺の常用対数をとって整理すると、絶対等級と見かけの等級の関係式 $M = m + 5 - 5 \log_{10} d$ が得られる。

問 3

(1) 難易度：★★★★☆

波の発生源と観測者の相対的な運動によって、波の周波数が異なって観測される効果のことをドップラー効果という。例えば、恒星のスペクトル型を観測して分光連星を発見できるのは、連星の公転運動で光がドップラー効果をうけることを利用している。

解答例

天体が観測者に対して遠ざかったり近づいたりすることで、天体から届く光がドップラー効果をうけるから。

(2) 難易度：★★★★☆

波長 λ の吸収線が $\Delta\lambda$ だけ波長がずれていたとすると、天体の後退速度 v は

$$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

と表される。 $\lambda = 393\text{nm}$, $\Delta\lambda = 397 - 393 = 4\text{nm}$, $c = 3.0 \times 10^8\text{m/s}$ を代入して、

$$v = 3.0 \times 10^8 \times \frac{4}{393} = 3.053 \dots \times 10^6 \approx 3.1 \times 10^6\text{m/s}$$

◆Check!! 赤方偏移と後退速度

銀河のスペクトルを観測したとき、吸収線の波長がずれて現れるこの現象を赤方偏移という。赤方偏移の値 z は、波長 λ の吸収線の波長が $\Delta\lambda$ だけずれていたとすると、 $z = \Delta\lambda/\lambda$ で表される。

ドップラー効果の式を考えると、赤方偏移から銀河の後退速度が求まる。後退速度の大きさを v 、光

速を c 、赤方偏移を受ける前と受けたあとの光の周波数をそれぞれ f 、 f' とすると、これらをドップラー効果の式に当てはめて、(ドップラー効果の公式において、光源から観測者への方向を正としているので、後退速度は負となることに注意。)

$$f' = f \frac{c}{c + v}$$

となる。ここで $f = c/\lambda$ 、 $f' = c/(\lambda + \Delta\lambda)$ であり、代入すると、

$$\frac{c}{\lambda + \Delta\lambda} = \frac{c}{\lambda} \times \frac{c}{c + v}$$

$$\therefore c(\lambda + \Delta\lambda) = \lambda(c + v)$$

これを展開して整理すると、 $c\Delta\lambda = v\lambda$ となり、両辺を λ で割ると、

$$c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = cz = v$$

という式が導かれた。こうして後退速度は求まる。

(3) 難易度：★★★★☆

ハッブルの法則より、(2)で求めた後退速度を v 、ハッブル定数を H 、銀河までの距離を r とすると、 $v = Hr$ となる。 $v = 3.05 \times 10^6 \text{m/s}$ 、 $H = 70(\text{km/s})/\text{メガパーセク}$ を代入して、

$$r = \frac{v}{H} = \frac{3.05 \times 10^6}{70 \times 10^3} = 4.35 \dots \times 10 \approx 4.4 \times 10 \text{メガパーセク}$$

◆Check!! ハッブル定数と宇宙年齢

もともと1つの点から始まった宇宙が一定の速度で膨張し続けているとすると、遠方の銀河との距離を後退速度で割ると、膨張が継続している時間が求まる。

$$\frac{r}{v} = \frac{1}{H}$$

これがつまり宇宙の年齢である。仮に $H = 70(\text{km/s})/\text{メガパーセク}$ として計算すると、1パーセク $\approx 3.09 \times 10^{13} \text{km}$ であるから、

$$\frac{1}{H} = \frac{3.09 \times 10^{13} \times 10^6}{70} \text{s} = 4.41 \times 10^{17} \text{s} = \frac{4.41 \times 10^{17}}{3.2 \times 10^7} \text{年} \approx 1.4 \times 10^2 \text{億年}$$

となる。

(辻有恒, 奥井晴香, 坂井郁哉, 仁木創太)

2016 年度 名古屋大学 前期 地学

問題IV 大気・海洋

出題範囲	大気中の水蒸気(雨・雲)/エネルギー収支の緯度差
難易度	★★★★☆
所要時間	16 分
傾向と対策	問題IVのテーマは地球のエネルギー収支についてであり、特に顕熱輸送と潜熱輸送について問われている。この問題に解答するには問題文に沿って計算を進めていく必要がある。条件の読み飛ばしに注意しよう。シュテファン・ボルツマンの法則は必ず覚えておこう。

解答

問 1 664W/m^2

問 2 -59.3W/m^2

問 3 (1) 正味放射量： 746W/m^2

顕熱輸送量： 298W/m^2

潜熱輸送量： 448W/m^2

- (2) 潜熱輸送とは蒸発熱を周囲から奪って蒸発した水が移動し、直接の温度上昇なしに熱が運ばれることである。顕熱輸送とは地表面から大気への熱伝導のことであり、直接大気の温度を上昇させる。よって、地表から大気への熱輸送のうち大気の温度上昇にかかわるのは顕熱輸送である。植生地の顕熱輸送量は 298W/m^2 である一方、裸地の顕熱輸送量は 545W/m^2 であり、植生地のほうが顕熱輸送量は少ない。よって、地表面近くの大気温度は植生地のほうが低い。(200 字)

解説

この問題では有効数字 3 桁で解答することになっているが、与えられた条件の有効数字には 2 桁以下のものがある。よって有効数字 3 桁で解答することに意味はないが、問題の指示に従い、解答は 3 桁まで用意した。

問 1 難易度：★★★★☆

地球の大気上端に入射する単位時間・単位面積あたりの太陽放射は 1370W/m^2 であり、これを太陽定数という(太陽定数を以下、 S と表す)。

太陽高度によって単位面積あたりに地表が受け取るエネルギーは変化する。例えば春分の日赤道では太陽放射は真上から降り注ぐので受け取るエネルギーは大きい一方、北極では太陽放射が地平線から降り注ぐので受け取るエネルギーはほとんどない。

地表で板を太陽光線に対して垂直に立てたとき、板が受け取る太陽放射エネルギーは、地表で板の影の面積が受け取る太陽放射のエネルギーと同じである。よって、単位面積あたりに地表で受け取る太陽放射エネルギーは、

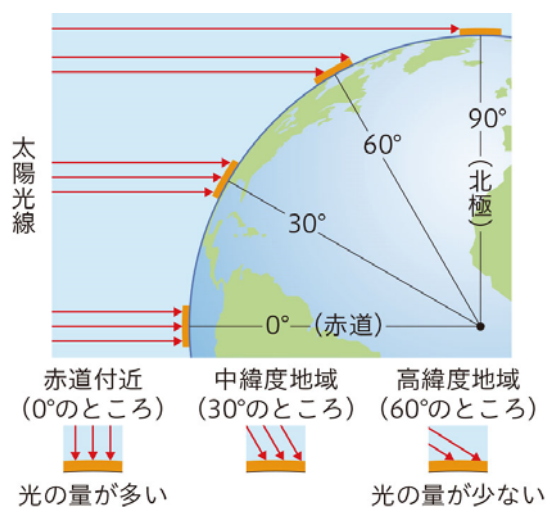
板と板の影の面積比で決まる。太陽高度が θ であるとき、板と影の部分の面積比は $\sin\theta:1$ である。太陽放射が大気上端に入射してから地球表面に届くまでに反射や吸収により減衰しないと仮定すると、太陽放射と垂直な板が太陽放射から単位面積あたりに受け取るエネルギーは S であり、地表が受け取る単位時間・単位面積あたりの太陽放射は $S \times \sin\theta$ である。

春分の日の緯度 30° での南中高度は $\theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ である。

問題文より地球表面に到達した太陽放射は大気上端に入射する太陽放射の 70%であり、さらに地球表面で反射された太陽放射は 20%であるので、このことも考慮すると、下線部①は

$$1370 \text{ W/m}^2 \times \sin(90^\circ - 30^\circ) \times \frac{70}{100} \times \left(1 - \frac{20}{100}\right) = 664 \text{ W/m}^2$$

である。



緯度と太陽放射

問2 難易度：★★★★☆

単位面積・単位時間あたりに物体が放射する熱は物体の表面温度の 4 乗に比例するという関係のことをシュテファン・ボルツマンの法則という。シュテファン・ボルツマンの法則は

$$E = \sigma T^4$$

という式で表される(E :放射する熱 [W/m^2], σ :シュテファン・ボルツマン定数 [$\text{W/m}^2\text{K}^4$], T :物体の温度 [K])。シュテファン・ボルツマン定数は $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ である。

シュテファン・ボルツマンの法則より、300Kの地球表面からの赤外放射は

$$\sigma \times (300 \text{ K})^4 = 459.3 \text{ W/m}^2$$

である。下線部②は大気から地球表面への赤外放射(問題文中より 400 W/m^2)から地球表面からの赤外放射を引いたものなので、

$$400 \text{ W/m}^2 - 459.3 \text{ W/m}^2 = -59.3 \text{ W/m}^2$$

である。

問 3

(1) 難易度：★★★★☆

植生地の正味放射量は問 1, 問 2 と同様に下線部①と下線部②を求め, その和を計算すると,

$$1370 \text{ W/m}^2 \times \sin(90^\circ - 30^\circ) \times \frac{70}{100} \times \left(1 - \frac{10}{100}\right) + \{400 \text{ W/m}^2 - \sigma \times (290 \text{ K})^4\}$$

$$= 746 \text{ W/m}^2$$

である。

正味放射量のうち顕熱輸送と潜熱輸送の配分比は植生地で 2:3 であるので, 顕熱輸送量は正味放射量の 2/5, 潜熱輸送量は正味放射量の 3/5 である。

よって,

$$\text{顕熱輸送量は } 746 \text{ W/m}^2 \times \frac{2}{5} = 298 \text{ W/m}^2$$

$$\text{潜熱輸送量は } 746 \text{ W/m}^2 \times \frac{3}{5} = 448 \text{ W/m}^2$$

である。

以上をまとめて, 解答は

正味放射量：746W/m²

顕熱輸送量：298W/m²

潜熱輸送量：448W/m²

である。

(2) 難易度：★★★★☆

顕熱輸送と潜熱輸送のうち, 地球表面近くの大気温度にかかわるのは顕熱輸送である。

顕熱とは物質の状態変化を伴わず温度変化にのみ費やされる熱のことである。地球表面から大気へ熱伝導が起きており, それは大気の温度を直接上昇させる。この熱輸送のことを顕熱輸送という。

潜熱とは状態変化に伴う熱のことである。水は蒸発する際に $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ の熱を周囲から奪い, 凝結する際に $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ の熱を放出する。地球表面で水が蒸発すると, 地球表面から潜熱(蒸発熱)が奪われ, 地表付近の大気へとその熱が輸送されるが, 水が凝結しなければ潜熱は放出されないのので地表付近の大気の温度は変わらない。

裸地の正味放射量は $664 \text{ W/m}^2 + (-59.3 \text{ W/m}^2) = 605 \text{ W/m}^2$ である。裸地での正味放射量のうち顕熱輸送と潜熱輸送の配分比は 9:1 であるので, 顕熱輸送量は $605 \times \frac{9}{10} = 545 \text{ W/m}^2$ である。植生地の顕熱輸送量は 298 W/m^2 であるので顕熱輸送量は植生地のほうが裸地より少なく, 地球表面近くの大気温度は植生地のほうが低い。

解答例

潜熱輸送とは蒸発熱を周囲から奪って蒸発した水が移動し, 直接の温度上昇なしに熱が運ばれることである。顕

熱輸送とは地表面から大気への熱伝導のことであり、直接大気の温度を上昇させる。よって、地表から大気への熱輸送のうち大気の温度上昇にかかわるのは顕熱輸送である。植生地の顕熱輸送量は 298W/m^2 である一方、裸地の顕熱輸送量は 545W/m^2 であり、植生地のほうが顕熱輸送量は少ない。よって、地表面近くの大気温度は植生地のほうが低い。(200 字)

(仁木創太, 奥井晴香, 坂井郁哉, 辻有恒)