

2015 年度 東北大学 前期 地学

1 連星

出題範囲	恒星/地球の運動
難易度	★★★★☆
所要時間	12 分
傾向と対策	問 1 では連星の分類, 問 2 ではケプラーの第 3 法則の厳密な式を暗記または導出する必要がある少々骨のある問題だが, 本問の山場は問 3 のグラフ読解であろう。連星の位置のずれの成分の比較から連星間の距離を求めさせる応用問題で, 多くの受験生は初見の問題であったのではないと思われる。勉強した内容について, 観測の方法や見え方を想像できるようにしておくとい。

解答

問 1 ア : 食連星(食変光星) イ : 短 ウ : 分光連星

問 2 (1) 主星・伴星を合わせた明るさが 3, 主星のみの明るさが 2 のため, 主星の明るさは伴星の 2 倍。

(2) ケプラーの第三法則より, 主星と伴星の平均距離を r , 公転周期を T とおくと, 主星・伴星の質量をそれぞれ m_1 , m_2 としたとき,

$$\frac{r^3}{T^2} = G \frac{m_1 + m_2}{4\pi^2}$$

が成り立つ(G は万有引力定数)。また, 太陽と地球の質量をそれぞれ M , m とおくと ($M \gg m$), 同様に

$$G \frac{M + m}{4\pi^2} \doteq G \frac{M}{4\pi^2} = 1$$

これと, 図 1 より $T = 8$ 年と読み取れるから,

$$m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{T^2} = \frac{r^3}{T^2} \cdot M = \frac{10^3}{8^2} \cdot M \doteq 16M$$

よって, 16 倍。

問 3 周期 1 年の変動は年周視差, 短い周期の変動は公転によるものと考えられるので, 年周視差が $0.1''$, 公転による変動の振幅が $0.03''$ より, 公転半径は 0.3 天文単位である。主星・伴星の質量は等しいから公転半径は等しく, 2 星の平均距離は 0.6 天文単位である。公転周期が 0.1 年のため, 問 2(2) と同様に

$$m_1 + m_2 = \frac{r^3}{T^2} \cdot M = \frac{0.6^3}{0.1^2} M \doteq 22M$$

よって, 22 倍。

解説

問 1 難易度：★★★★☆

ア：食連星(食変光星)

連星の公転軌道と地球が同一平面上にあるとき、主星と伴星が互いに食現象(一方が他方を隠す現象)を起こし、明るさが変化する。このような連星を食連星(食変光星)という。連星において伴星は主星より暗いため、伴星が主星の光球面を通過し主星を隠すときのほうが減光の度合いは大きい。

イ：短

ドップラー効果により、波を発する物体が観測者に対して近づく速度をもつとき、波長は短く周波数は大きくなる。光も波であるから、恒星が観測者に対して近づくときにはスペクトル線の波長は短波長にずれる。

ウ：分光連星

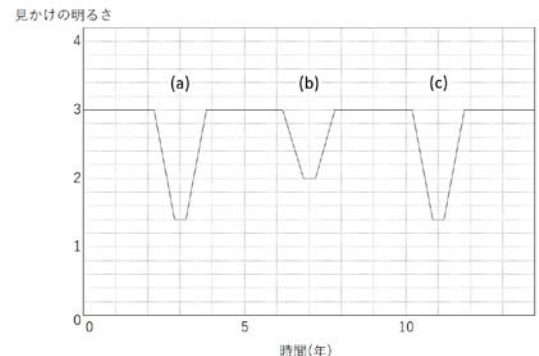
連星には先に述べた食連星、肉眼や望遠鏡で 2 恒星を確認できる実視連星のほかに、スペクトルの周期変化により連星であることがわかるものがある。これを分光連星とよぶ。共通重心周りの公転により、スペクトル線は恒星が観測者へ近づくときに短波長、遠ざかるときに長波長へとずれる。この時間変化を調べることで公転速度の視線方向成分や公転周期がわかる。

以上まとめると、ア：食連星(食変光星) イ：短 ウ：分光連星 が入る。

問 2 難易度：★★★★☆

(1)

問 1 アで述べたとおり、伴星のほうが暗いため右図の(b)の減光は主星が伴星を隠した際のものであるとわかる。すなわちこのときの見かけの明るさは主星のみによる。主星・伴星を合わせた明るさが 3、主星のみの明るさが 2 のため、伴星の明るさは $(3 - 2 =)1$ である。よって、主星の明るさは伴星の 2 倍。



問題図 1

(2)

ケプラーの第三法則より、主星と伴星の平均距離を $r (=10 \text{ 天文単位})$ 、公転周期を T とおくと、主星・伴星の質量をそれぞれ m_1 、 m_2 としたとき、

$$\frac{r^3}{T^2} = G \frac{m_1 + m_2}{4\pi^2}$$

が成り立つ(G は万有引力定数)。また、太陽と地球の平均距離を $r_0 (=1 \text{ 天文単位})$ 、公転周期を $T_0 (=1 \text{ 年})$ 、質量をそれぞれ M 、 m とおくと ($M \gg m$)、

$$\frac{r_0^3}{T_0^2} = G \frac{M + m}{4\pi^2} \approx G \frac{M}{4\pi^2} \quad \therefore \frac{4\pi^2}{G} = \frac{T_0^2}{r_0^3} \cdot M$$

これと、図 1 の変光周期より $T = 8 \text{ 年}$ と読み取れるから、

$$m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{T^2} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^3 \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \cdot M = 10^3 \cdot \left(\frac{1}{8}\right)^2 \cdot M = 15.6 \cdots \times M \approx 16M$$

よって、16 倍。

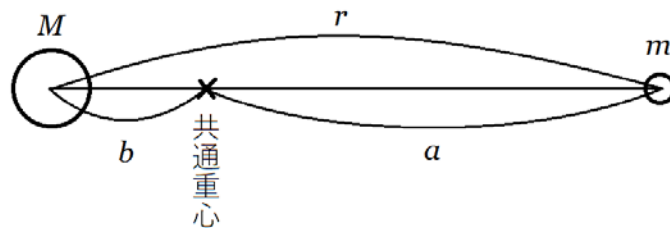
◆Check!! ケプラーの第三法則とその導出

ケプラーの第三法則：「恒星—惑星間の平均距離の 3 乗とその惑星の公転周期の 2 乗の比は、同じ惑星系の中ならどの惑星でも一定である。」

この法則は万有引力と遠心力のつりあいから導出できる。

恒星—惑星間距離を r 、惑星の公転角速度を ω 、公転周期を T 、重力定数を G 、恒星の質量を M 、惑星の質量を m とする。

まず、下図のように、恒星と惑星の共通重心を考えると、共通重心までの距離の比は質量の逆比となる。つまり、 $a:b = M:m$ となり、 $a = M/(M+m) \times r$ となる。



ここで、万有引力と遠心力のつりあいを考えると、

$$ma\omega^2 = G \frac{Mm}{r^2}$$

が成立しており、ここに $a = M/(M+m) \times r$ を代入し、また、 $\omega = 2\pi/T$ であるから、

$$\frac{4\pi^2 Mmr}{(M+m)T^2} = G \frac{Mm}{r^2}$$

整理すると、

$$\frac{r^3}{T^2} = G \frac{M+m}{4\pi^2}$$

となる。ここまでの導出は連星系を考えるとときもまったく同じなので覚えておくこと。

多くの惑星系においては $M \gg m$ だから、 $M+m$ は M で近似できるので、同じ惑星系ならどの惑星でも右辺は一定となる。こうして第三法則は導かれた。

問3 難易度：★★★★☆

クエーサーは非常に遠方にあるため、天球上の定点とみなせる。ちょうど 1 年の周期をもつ細い実線の変動は、クエーサーに比べ比較的近傍にある連星に生じる年周視差によるものと考えられる。したがって、連星の公転による見かけの位置の変動はこれに重ねられている短い周期の変動である。

年周視差による変動の振幅が 0.1 秒角のため、視線に垂直な 1 天文単位の位置変化が連星の距離においては 0.1 秒角に対応する。公転による変動の振幅は 0.03 秒角であるから、主星の軌道半径は $(0.03 \div 0.1 =) 0.3$ 天文単位と求められる。

質量が同じのため共通重心までの距離は主星と伴星で同じであるから、主星と伴星との平均距離は $(0.3 \times 2 =) 0.6$ 天文単位である。図 2 から公転周期は 0.1 年と求められるため、問 2(2)と同様にして質量の和が求まる。つまり、

$$m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{T^2} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^3 \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \cdot M = 0.6^3 \cdot \left(\frac{1}{0.1}\right)^2 \cdot M = 21.6M \approx 22M$$

よって、22 倍。

(奥井晴香, 坂井郁哉, 辻有恒, 仁木創太)

2015 年度 東北大学 前期 地学

2 重力

出題範囲	地球の形・重力
難易度	★★☆☆☆
所要時間	11 分
傾向と対策	重力および重力異常について、頻出の内容が問われた。基本的な内容であるので、書けなかった場合はよく復習しておきたい。重力異常は混乱しやすい内容なので、それぞれの補正の方法とどのような場所で重力異常が起きるかについて理解を深めておこう。

解答

問1 ア：遠心力 イ：ジオイド ウ：標準重力 エ：フリーエア補正 オ：ブーゲー異常

問2 A：最小 B：最大

問3 例[1] 遠心力は回転半径に比例するため赤道で最大となり自転軸に対し直角外向きに働いて重力を弱めるが、極では働かないため。

例[2] 地球は赤道方向に膨らんだ形をしているため、重心からの距離が赤道で最大、極で最小になっているから、引力が赤道付近で最小、極付近で最大となるため。

問4 ブーゲー補正は測定点とジオイド面の間の物質を平均的な岩石の密度として影響を取り除くため、平均より高密度な領域がある場合は正の、平均より低密度な領域がある場合は負のブーゲー異常が生じる。これを用いて地下の密度構造を推定する。

解説

問1 難易度：★★☆☆☆

ア：遠心力

遠心力は回転軸に対して垂直外向きにはたらく力で、その大きさは回転角速度を ω 、回転軸からの距離を r 、物体の質量を m とおくと、 $f_c = mr\omega^2$ と表される。万有引力によって地球重心へ引かれる力と遠心力との合力を重力という。

イ：ジオイド

平均海面を仮想的に延長して地球全体を覆った曲面をジオイドという。平均海面とは長期的な海面高度の平均をとることにより潮汐や波の影響を取り除いた海水面を指す。ジオイドは物体の位置エネルギーが一定となる面で、重力の向きに直交する。

ウ：標準重力

ジオイドに最も近い回転楕円体を地球楕円体とよぶ。地球楕円体は扁平率がおおよそ $1/298$ で、赤道半径のほ

うが極半径に比べ 20km ほど長くなっている。地球を内部の均質な地球楕円体とみなして計算した重力の理論値を標準重力という。

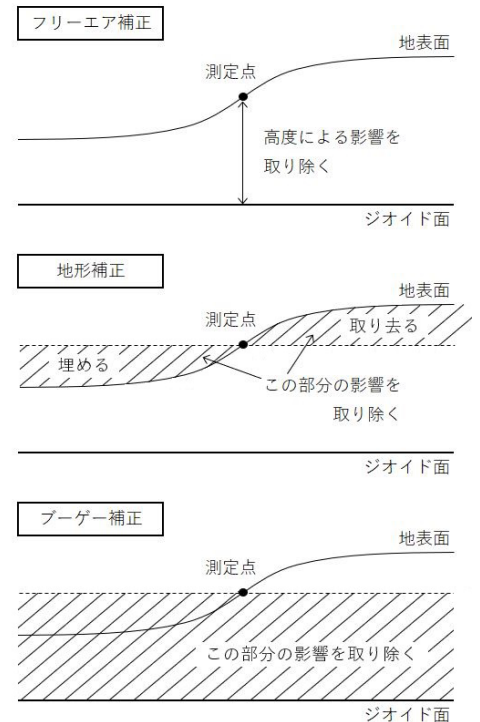
エ：フリーエア補正 オ：ブーゲー異常

各地の重力は、標高、地形の凹凸などによっても変化し、得られた重力の実測値のままでは比較ができない。そこで、測定点の重力値を補正することが必要になる。

標高が高いほど、地球重心から遠くなるため重力は小さくなる。フリーエア補正では、ジオイド面と測定点の間にある物質の影響を無視してジオイド面上での値に補正する。これと標準重力との差をフリーエア異常とよび、一般に標高の高い場所では山体の引力の影響で正の異常に、海洋では低密度の海水により負の異常となることが多い。

さらに、測定点付近の地形の凹凸の影響を取り除く地形補正、ジオイド面と測定点との間が平均的で一様な物質で埋まっているとみなして影響を除くブーゲー補正が行われる。ブーゲー異常は地下の密度分布が周囲より大きいとき正の値をとり、小さいとき負の値をとる。

以上まとめると、ア：遠心力 イ：ジオイド ウ：標準重力 エ：フリーエア補正 オ：ブーゲー異常 が入る。

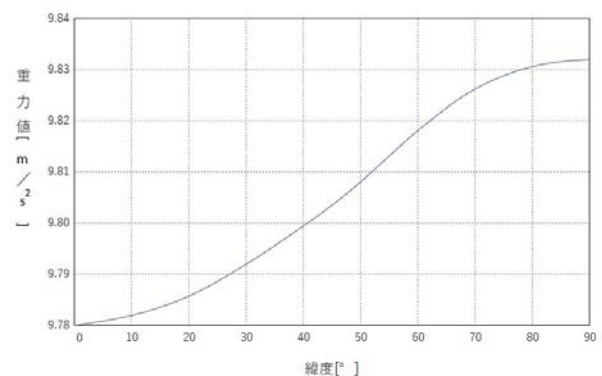


重力補正

問2 難易度：★★★★☆

右図に見るとおり、緯度による変化だけに注目すれば（地下構造の不均一や地形・標高の影響を無視すれば）、重力は赤道付近で最少、極付近で最大となる。赤道と極の重力加速度にはおよそ 0.05m/s^2 の差がみられる。

よって答えは、A：最小 B：最大 である。



標準重力の緯度による変化

問3 難易度：★★★★☆

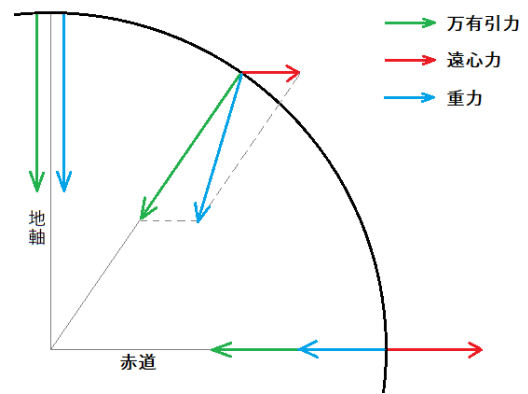
重力は万有引力と遠心力の合力である。遠心力は回転軸である地軸から直角外向きにはたらし、先に述べたよ

うに回転軸からの距離に比例して大きくなる。よって赤道付近で鉛直上向きの成分が最大になり、万有引力と打ち消しあって重力値は小さくなるのに対し、極付近では遠心力が働かず、万有引力＝重力となる。

また、質量 m の物体にはたらく万有引力は地球の質量 M 、地球重心からの距離 r 、万有引力定数 G を用いて

$$f_g = G \frac{mM}{r^2}$$

と表せる。地球は赤道方向に膨らんだ形をしているため、重心からの距離が赤道で最大、極で最小となっており、上記の式から万有引力は赤道付近で最小、極付近で最大となる。



重力＝万有引力＋遠心力

解答例 1

遠心力は回転半径に比例するため赤道で最大となり自転軸に対し直角外向きに働いて重力を弱めるが、極では働かないため。

解答例 2

地球は赤道方向に膨らんだ形をしているため、重心からの距離が赤道で最大、極で最小になっているから、引力が赤道付近で最小、極付近で最大となるため。

問 4 難易度：★★★★☆

ブーゲー補正では、ジオイド面より上にある物質の引力を、これらが一様に平均的な岩石の密度であると仮定して実測値にフリーエア補正・地形補正を行った値から差し引く。ブーゲー補正を施した値から標準重力を差し引いた値をブーゲー異常という。

ブーゲー補正後の重力値が標準重力よりも大きい(正のブーゲー異常の場合、上記の仮定より引力が強いということだから、地下に平均的な岩石より高密度の領域が存在していることになる。反対に標準重力よりも小さい(負のブーゲー異常の場合、低密度の領域が存在していることになる。このようにして地下の密度構造の分析を行うことができる。

解答例

ブーゲー補正は測定点とジオイド面の間の物質を平均的な岩石の密度として影響を取り除くため、平均より高密度な領域がある場合は正の、平均より低密度な領域がある場合は負のブーゲー異常が生じる。これを用いて地下の密度構造を推定する。

(奥井晴香, 坂井郁哉, 辻有恒, 仁木創太)

2015 年度 東北大学 前期 地学

3 プレートテクトニクス

出題範囲	プレートテクトニクス/火山
難易度	★★★☆☆
所要時間	11 分
傾向と対策	プレート運動とそれによって引き起こされる造山運動および火成活動に関する出題。造山運動の種類は大学入試では滅多に出題されないため、難しく感じた受験生も多かったと思われる。問 2～4 は標準的。必要な要素が抜けていたり、指定語句の使い方に迷ったりした場合はしっかりと復習しておこう。

解答

問 1 ア：密度 イ：インド ウ：アルプス エ：太平洋(コルジレラ)

問 2 B, D

問 3 マグマが発生する原因：①温度が上昇すること。

②圧力が減少すること。

③水などの不純物が混ざることによって融点が低下すること。

(b)においてもっともよくみられる過程：③

説明：海洋プレートの含水鉱物の脱水分解により上部マントルに水が供給され、かんらん岩の融点が低下して部分溶融が起こり、玄武岩質マグマが生成される。

問 4 本源マグマである玄武岩質マグマが、結晶分化作用や、地殻中を上昇する過程で地殻の岩石が溶出するマグマ同化、およびマグマ混合などにより組成をケイ長質へと変化させるから。

解説

問 1 難易度：★★★☆☆

大陸地殻の密度はおおよそ 2.7g/cm^3 、海洋地殻の密度はおおよそ 3.0g/cm^3 である。よって海洋プレートは比較的密度の小さい大陸の下へ沈み込むが、海洋プレートが大陸をのせている場合、大陸は密度が小さいため沈み込めずに衝突する。インド大陸はおおよそ 2 億年前南極大陸と分裂し、北上しておおよそ 5000 万年前アジア大陸への衝突を始めた。

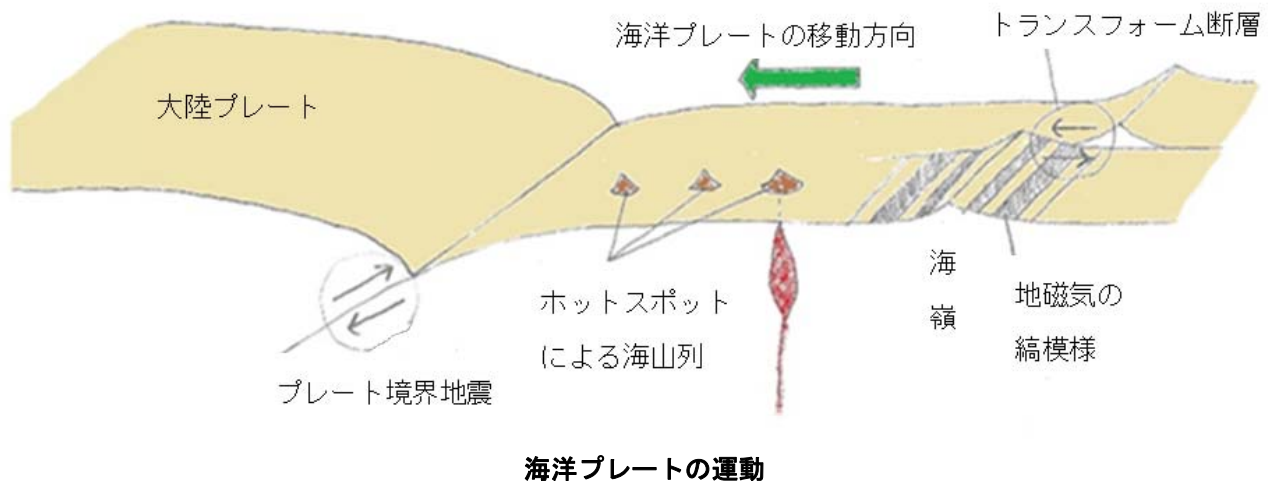
アルプス型造山運動では大陸どうしが衝突する圧縮力により隆起・褶曲が起こり急峻な山脈が形成され、火山は少ない。一方で太平洋(コルジレラ)型造山運動では沈み込んだ海洋地殻から水が上部マントルに供給され融点が下がることなどによりマグマが発生する。そのために火山弧が発達し、プレートの収束に伴う圧縮力による断層や、海洋プレート上の堆積物の大陸への付加による付加体も形成される。

よって空欄には、ア：密度 イ：インド ウ：アルプス エ：太平洋(コルジレラ) が当てはまる。

問2 難易度：★★★★☆

- A 海洋底のトランスフォーム断層は海嶺と海嶺(あるいは海溝と海溝、海嶺と海溝)の間でプレートの運動の向きが異なるためにできるすれ違う境界である。したがって走向はプレートの移動方向に平行である。
- B 磁気異常の縞模様は海嶺で生み出された海洋プレートがその時代の地球磁場の向きに磁化されることで海嶺に平行な縞模様となったものである。海嶺に平行なため、海洋プレートの移動方向に直交する。
- C ホットスポットは海洋プレートの運動によらずほぼ同じ位置に留まるため、1つのホットスポットで作られた火山あるいは海山はプレートの運動に伴い移動する。そのため、各時代で活動した海山はプレートの移動方向に並ぶ。
- D 火山弧は沈み込んだ海洋プレートが深さ 100km ほどに達する場所でマグマが作られるため、おおむね海溝に平行に形成される。よって海洋プレートの移動方向とは平行でない。
- E プレート境界地震は海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む際に大陸プレートを引きずり込み、このひずみが十分に蓄積して大陸プレートが跳ね上がる際に起こる。したがって、ずれの向きは海洋プレートの移動方向に平行である。

したがって、答えは B, D となる。



問3 難易度：★★★★☆

次ページの図のように、地温勾配による温度・圧力条件から温度が上昇するか、圧力が低下するか、あるいは水を含んで融点が下がるとかんらん岩が部分溶融する。島弧の下では沈み込んだ海洋プレートから水の供給があるために上部マントルのかんらん岩の融点が下がり、部分溶融する過程が最も重要である。一般に、物質の融点是不純物が多く含まれるほど低くなる。なお、島弧の下ではプレートの沈み込みに伴う補償流(海洋プレートにマントルが引きずられるためこれを補うような逆向きの流れ)が起きており、この上昇に伴う減圧も同時に起き

ている。

これに加えて、中央海嶺やホットスポットでは高温のマントル物質の上昇によって減圧による部分溶融が起きていることもおさえておくこと。

マグマが発生する原因：①温度が上昇すること。

②圧力が減少すること。

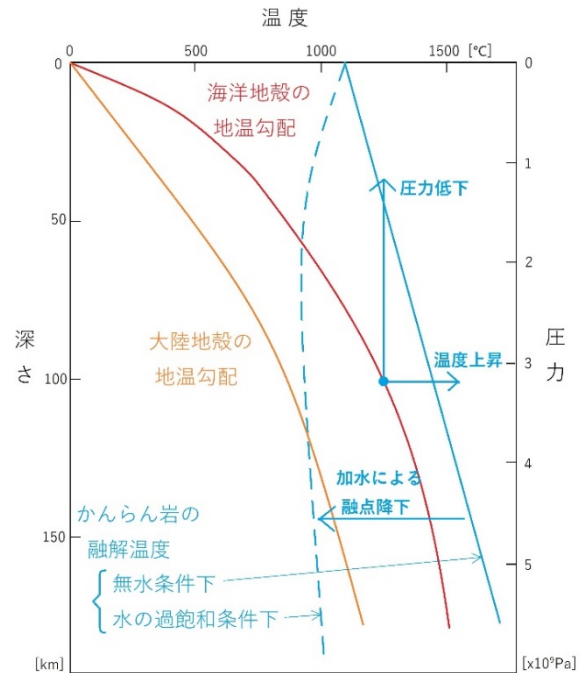
③水などの不純物が混ざること
融点が降下すること。

(b)においてもっともよくみられる過程：③

説明：

解答例

海洋プレートの含水鉱物の脱水分解により上部マントルに水が供給され、かんらん岩の融点が降下して部分溶融が起こり、玄武岩質マグマが生成される。



かんらん岩の融解曲線

問4 難易度：★★★★☆

鉱物は各々異なった融点をもっており、マグマが次第に冷え固まってくるとき、融点が高いものから順に晶出するため、残ったマグマの成分は連続的に変化する。これを結晶分化作用という。鉱物の晶出順は温度・圧力条件によるため一概にはいえないが、おおまかな傾向としてかんらん岩の部分溶融によって生じた本源マグマである玄武岩質マグマはこの作用により次第に安山岩質→デーサイト質→流紋岩質へと組成を変化させていく。

また、マグマは地殻中を通過する際に地殻の岩石を部分的に溶かしこみ、組成を変化させる。これをマグマ同化という。異なる組成のマグマと混合することで中間質のマグマが形成されることもあり、これをマグマの混合作用とよぶ。

マグマの組成はこれらの過程により本源マグマである玄武岩質マグマから複雑に変化し、大陸地殻を形成するケイ長質マグマを生じる。

なお、本問で問われているようなかんらん岩の部分溶融で生じる玄武岩質マグマを起点とした組成変化だけでは、大陸地殻の大量の花こう岩の存在は説明できない。下部大陸地殻やスラブの部分溶融で安山岩質～デーサイト質マグマが生じる過程が、大陸地殻の組成を決めるうえで重要な役割を果たしていることが示唆されている。

解答例

本源マグマである玄武岩質マグマが、結晶分化作用や、地殻中を上昇する過程で地殻の岩石が溶出するマグマ同化、およびマグマ混合などにより組成をケイ長質へと変化させるから。

(奥井晴香, 坂井郁哉, 辻有恒, 仁木創太)

2015 年度 東北大学 前期 地学

4 付加体

出題範囲	堆積岩
難易度	★★★★☆
所要時間	13 分
傾向と対策	四国南部の地質を取り上げ、典型的な付加体の構造について考えさせる問題。問 4 は聞きなれない内容のように感じるかもしれないが、リード文の誘導をヒントに付加体の成り立ちから考えていけば難しくはない。

解答

問 1 ア：付加体 イ：四万十帯 ウ：チャート

問 2 玄武岩，石灰岩

問 3 海底地すべりで発生した混濁流により大陸斜面下部から深海底にかけて粒径の揃っていない碎屑物が同時に堆積して形成される。大きな粒子ほど沈殿が速いので，上ほど粒径の小さい級化構造を呈する。流痕やリプルマーク，斜交葉理がみられることもある。

問 4 海洋プレートの移動により堆積場所が遠洋から海溝に向かって変化するのに伴い，形成される堆積層の種類は変化する。まず初めに遠洋で堆積する深海底堆積物のうち堆積量が多く深海でも溶けにくいケイ質軟泥を起源とするチャート，続いて風や海流で遠くまで運ばれる火山灰や土壌粒子からなる泥岩，混濁流堆積物などによる砂岩の順に形成されるから。

解説

問 1 難易度：★★★★☆

ア：付加体

海洋プレートが沈み込むとき，その上面にある堆積物や海山などの岩石が大陸プレートに底付けされる形で付加される。このような地質構造帯を付加体とよぶ。

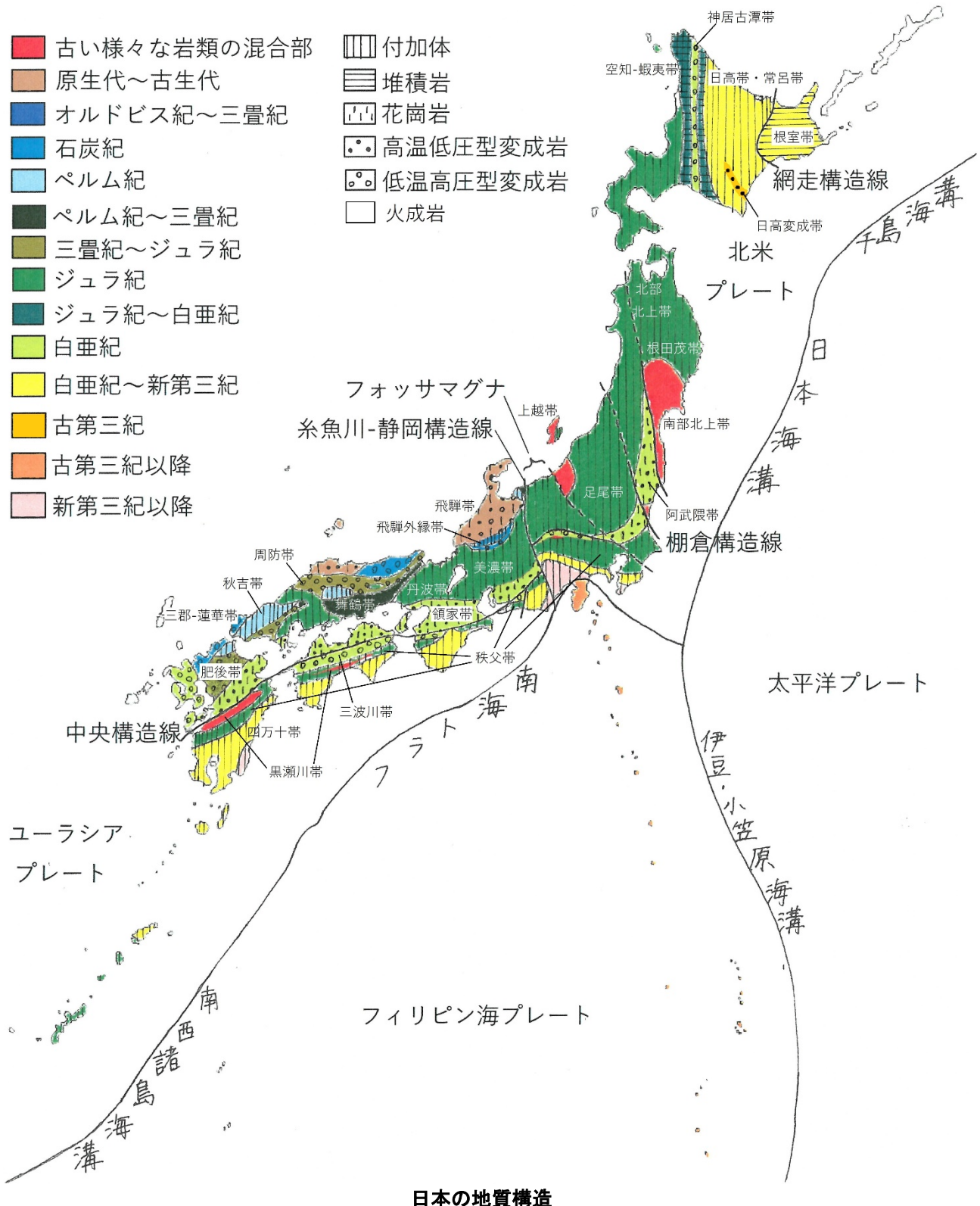
日本列島は多くが付加体および変成岩や花崗岩によって構成され，日本海溝や南海トラフなどの海洋プレートが沈み込む領域は太平洋側にあるため，おおむね太平洋側ほど新しい時代のもとなっている。

イ：四万十帯

四万十帯は白亜紀後期以降に形成された付加体である。西南日本の最も太平洋側に位置し，西は南西諸島から九州・四国南部，東海地方を経て東は房総半島まで延びる。

ウ：チャート

深海底堆積物はケイ質軟泥、石灰質軟泥、遠洋性粘土(陸源堆積物)がある。石灰質軟泥は堆積量こそ多いもののある深さ(炭酸塩補償深度)を超えると堆積よりも速い速度で溶けてしまうため、長時間深海底を移動してくる海洋プレート上の堆積物では溶けてしまっていることが多い。海洋域には火山灰や風・海流で運ばれた砂塵も堆積するものの、この問題では泥岩を半遠洋性と分類しており、また遠洋での堆積量は少ないことが多い。よってウに適当なのは生物起源のケイ質軟泥が固結したチャートであると考えられる。



よって、答えをまとめると、ア：付加体 イ：四万十帯 ウ：チャート となる。

問2 難易度：★★★★☆

海洋プレート上では、比較的浅い場所まで高温のマントルが存在し、噴出するマグマの温度が高いため結晶分化が進んでおらず、海洋地殻は玄武岩質で薄いためマグマ同化やマグマ混合の効果も大陸地殻に比べて小さい。よって噴出するマグマは玄武岩質になる。また噴出して急冷されるため、海山を構成するおもな火成岩は玄武岩となる。

また、海山の山頂や火山島の周囲は水深の浅い海となるため、海水温の高い海域で形成された場合サンゴ礁が発達しやすい(海洋プレート上の火山島は海深の深い海溝に近づくにつれ沈み多くの場合海山となる)。このため海山では石灰岩が形成されることが多い。

よって、海山を代表する岩石には、**玄武岩**、**石灰岩**が挙げられる。

問3 難易度：★★★★☆

大陸斜面の上部を形成する未固結な堆積物は、地震や台風などによって海底地すべりが発生すると海水とさまざまな粒径の碎屑粒子が混合する。周囲より密度の高くなった^{こんだく}混濁流(乱泥流)が大陸斜面を高速で流下し、大陸斜面下部から深海底にかけて再堆積して海底扇状地が形成される。この堆積物をタービダイトという。粒径の大きな粒子はすぐに堆積し、粒径の小さい粒子は長時間沈殿せず海水中に留まるため、上ほど粒子の細かい級化構造(級化層理, グレーディング)がみられるのが特徴である。流れがあるため流痕やリプルマーク(漣痕^{れんこん})、斜交葉理がみられることもある。

なお、混濁流よりさらに密度の高いものを水中土石流とよぶこともあるが、この場合は級化が起こらず混じりあったまま堆積することが多い。

よって、答えは以下になる。

解答例

海底地すべりで発生した混濁流により大陸斜面下部から深海底にかけて粒径の揃っていない碎屑物が同時に堆積して形成される。大きな粒子ほど沈殿が速いので、上ほど粒径の小さい級化構造を呈する。流痕やリプルマーク、斜交葉理がみられることもある。

問4 難易度：★★★★☆

付加体は海洋プレート上の火成岩および堆積岩が大陸縁に付加されてできるので、海洋プレートの移動に伴ってどのような順番で堆積が起こるのかを考えればよい。つまり、堆積岩層の形成場所は海嶺付近から次第に大陸縁に向かって移っていく。海嶺付近では石灰質軟泥も堆積するが、問1ウで述べたとおり、炭酸塩補償深度(「積もる速さ＝溶ける速さ」となる深さ)よりも深い深海底を移動する中で多くが溶かされてしまう。よって、遠洋性堆積物であるケイ質軟泥を起源とするチャートがまず典型的に形成される。やがて大陸に近づくとき細粒な碎屑

物は大陸から風や海流に乗って運ばれて堆積するようになるので、半遠洋性堆積物である火山灰や風成ダストからなる泥岩が形成される。さらに海溝に向かって海洋プレートが移動し大陸斜面の下まで達すると混濁流などにより砂粒子が堆積し、これが砂岩となる。

解答例

海洋プレートの移動により堆積場所が遠洋から海溝に向かって変化するのに伴い、形成される堆積層の種類は変化する。まず初めに遠洋で堆積する深海底堆積物のうち堆積量が多く深海でも溶けにくいケイ質軟泥を起源とするチャート、続いて風や海流で遠くまで運ばれる火山灰や土壌粒子からなる泥岩、混濁流堆積物などによる砂岩の順に形成されるから。

(奥井晴香, 坂井郁哉, 辻有恒, 仁木創太)

2015 年度 東北大学 前期 地学

5 地殻熱流量

出題範囲	地殻熱流量
難易度	★★☆☆☆
所要時間	13 分
傾向と対策	大陸地殻と海洋地殻の熱流量に占める放射性元素の崩壊熱の割合など、地殻熱流量に関する具体的な値の評価がテーマとなっている。難しくはないものの計算が煩雑なので、このような問題でミスをしていないことが試験で高得点を取るために非常に重要である。

解答

問 1 ア：地下増温率(地温勾配) イ：熱伝導率

問 2 大陸地殻での崩壊熱による熱流量は、

$$2.5 \times 10^{-6} \text{W/m}^3 \times 20000 \text{m} + 3.1 \times 10^{-7} \text{W/m}^3 \times 10000 \text{m} = 5.31 \times 10^{-2} \text{W/m}^2 \approx 5.3 \times 10^{-2} \text{W/m}^2$$

地殻熱流量に対する割合は、

$$\frac{5.31 \times 10^{-2} \text{W/m}^2}{6.5 \times 10^{-2} \text{W/m}^2} \times 100 = 81.6 \dots \% \approx 82\%$$

海洋地殻での崩壊熱による熱流量は、

$$3.1 \times 10^{-7} \text{W/m}^3 \times 5000 \text{m} = 1.55 \times 10^{-3} \text{W/m}^2 \approx 1.6 \times 10^{-3} \text{W/m}^2$$

地殻熱流量に対する割合は、

$$\frac{1.55 \times 10^{-3} \text{W/m}^2}{1.0 \times 10^{-1} \text{W/m}^2} \times 100 = 1.55\% \approx 1.6\%$$

問 3 原始地球が形成されたときの微惑星の衝突，中心核形成の際の位置エネルギー解放により生じた熱が地球中心部に溜め込まれ，現在も地球内部から供給されていると考えられる。

問 4

$$\frac{1.4 \times 10^3 \text{W/m}^2 \times \pi \times (6.4 \times 10^3 \text{m})^2}{4\pi \times (6.4 \times 10^3 \text{m})^2} = 3.5 \times 10^2 \text{W/m}^2$$

$$\frac{3.5 \times 10^2 \text{W/m}^2}{8.7 \times 10^{-2} \text{W/m}^2} = 4022.9 \dots \approx 4.0 \times 10^3 \text{倍}$$

解説

問 1 難易度：★★☆☆☆

定義より、

$$\text{地殻熱流量} = \text{岩石の熱伝導率} \times \text{地下増温率(地温勾配)}$$

である。

地殻熱流量は地殻が薄く高温のマントルが比較的浅いところまで存在している海洋地殻で平均して大きく、反対に大陸地殻で小さい。また、場所により地殻熱流量は変動し、大陸地殻では古い安定地塊で小さく、火山帯で大きい。海洋地殻では海嶺で大きく海嶺から離れるほど小さい。

したがって、ア：地下増温率(地温勾配) イ：熱伝導率 が入る。

問2 難易度：★★★★☆

熱流量[W/m²]は単位時間あたりに単位面積を通過する熱量によって表される。地下増温率は一定(地下の岩石の温度は変化しない)としてよいので、1m²の直下にある地表からモホロビッチ不連続面までのすべての岩石が単位時間に発生させる放射性元素の崩壊熱の総量が求める熱流量ということになる。

大陸地殻での崩壊熱による熱流量は、

$$2.5 \times 10^{-6} \text{W/m}^3 \times 20 \times 10^3 \text{m} + 3.1 \times 10^{-7} \text{W/m}^3 \times 10 \times 10^3 \text{m} = 5.31 \times 10^{-2} \text{W/m}^2 \approx 5.3 \times 10^{-2} \text{W/m}^2$$

地殻熱流量に対する割合は、

$$\frac{5.31 \times 10^{-2} \text{W/m}^2}{6.5 \times 10^{-2} \text{W/m}^2} \times 100 = 81.6 \dots \% \approx 82\%$$

海洋地殻での崩壊熱による熱流量は、

$$3.1 \times 10^{-7} \text{W/m}^3 \times 5 \times 10^3 \text{m} = 1.55 \times 10^{-3} \text{W/m}^2 \approx 1.6 \times 10^{-3} \text{W/m}^2$$

地殻熱流量に対する割合は、

$$\frac{1.55 \times 10^{-3} \text{W/m}^2}{1.0 \times 10^{-1} \text{W/m}^2} \times 100 = 1.55\% \approx 1.6\%$$

問3 難易度：★★★★☆

放射性元素の崩壊熱以外の地球内部の熱源とは、地球形成時に蓄積された熱エネルギーであり、その由来は微惑星衝突のエネルギーおよび地球内部の層構造形成時の重力エネルギーの解放である。地球は創成時に微惑星の衝突や強い温室効果によりマグマオーシャンとなった。この時、核とマントルは分化し、核を構成する鉄などのもっていた位置エネルギーは熱エネルギーとして核に蓄積された。地球は現在も熱を徐々に放出して冷えており、これらの熱がとりわけ海洋地域における地殻熱流量を担っている。海洋地殻は大陸に比べ薄く、浅部まで高温のマントルが存在するため、このような地球内部からの熱流量が多くなる。したがって、解答は以下のとおり。

解答例

原始地球が形成されたときの微惑星の衝突、中心核形成の際の位置エネルギー解放により生じた熱が地球中心部に溜め込まれ、現在も地球内部から供給されていると考えられる。

問 4 難易度：★★★★☆

地球の断面積に入射する太陽放射のエネルギーを地球の表面積で平均すればよいから、

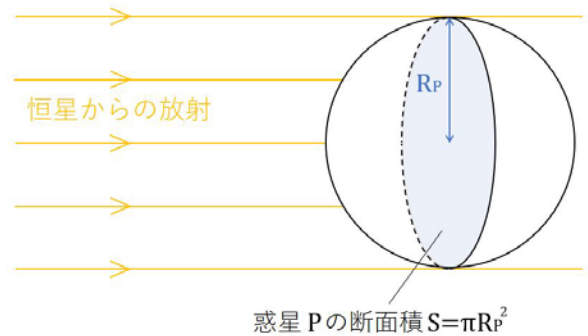
$$\frac{1.4 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \times \pi \times (6.4 \times 10^3 \text{ km})^2}{4\pi \times (6.4 \times 10^3 \text{ km})^2} = 3.5 \times 10^2 \text{ W/m}^2$$

よって、地殻熱流量の

$$\frac{3.5 \times 10^2 \text{ W/m}^2}{8.7 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2} = 4022.9 \dots \approx 4.0 \times 10^3 \text{ 倍}$$

となる。

太陽定数は太陽から 1 天文単位の距離にある(=地球の大気圏最上部における)太陽光に垂直な単位面積に入射する太陽放射のエネルギーである。すなわち、地球が太陽から単位時間に受け取る全エネルギーは、これに地球の断面積を乗じたものである。地球の表面積で割れば、太陽放射により受ける平均のエネルギーが求まる。



惑星の受け取る全エネルギー

(奥井晴香, 坂井郁哉, 辻有恒, 仁木創太)