

2016 年度 九州大学 前期 地学

〔1〕 地球史と光合成

出題範囲	地球史
難易度	★★☆☆☆
所要時間	12分
傾向と対策	非常に基礎的な問題ばかりである。確実に得点しておきたい。 地球史と生物進化を絡めた問題では生物の細かい種まで問われたりすることもあるので、知識に抜けができないよう、このような基礎的な問題でしっかりと確認しておくといよい。万が一知らない部分があったらしっかりと復習しておこう。

解答

問1 ア：シアノバクテリア イ：ストロマトライト ウ：原核 エ：真核

問2 縞状鉄鉱層

問3 生物に有害な紫外線が地表に届かないように遮る役割。(25字)

問4 ロボク、リンボク、フウインボクから2つ

問5 植物の盛んな光合成により、二酸化炭素が減少し酸素が増加した。(30字)

問6 (d)

解説

問1 難易度：★★☆☆☆

ア：シアノバクテリア イ：ストロマトライト

始生代末の約25億年前にシアノバクテリアが光合成を始めたことで、海水・大気中に酸素が増加した。シアノバクテリアの活動によって、海水中の炭酸カルシウムなどが固まってストロマトライトが形成された。ストロマトライトは現在でも浅い海でつくられている。

ウ：原核 エ：真核

原核生物とは細胞内に核膜をもたない生物のことであり、すべて単細胞生物である。また、真核生物とは細胞内に核膜をもち核がはっきりしている生物のことである。シアノバクテリアは原核生物である。シアノバクテリアや好気性の細菌が別の細胞に取り込まれることで、葉緑体とミトコンドリアになったという考え方が、細胞内共生説である。

以上より解答をまとめると、ア：シアノバクテリア イ：ストロマトライト ウ：原核 エ：真核 となる。

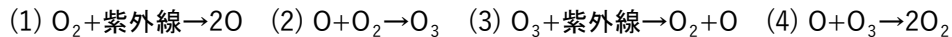
問2 難易度：★★★★☆

海水中の酸素濃度が増加するまでは、海水中に多量の鉄イオンが存在したが、海水中の酸素濃度が増加したことで、始生代最末期から原生代初期(約 25~20 億年前)に鉄イオンが酸素と結合して酸化鉄として海底に堆積した。こうして形成されたのが縞状鉄鉱層である。その後は大気中の酸素濃度が増加し、酸素と有機物からエネルギーを取り出す好気性の生物が増加していった。

したがって、解答は、**縞状鉄鉱層** となる。

問3 難易度：★★★★☆

オゾン層とは成層圏(高度 10~50km)にあるオゾン濃度が高い層のことである。



この4式の反応が繰り返され、各高度で酸素濃度と紫外線強度に従って平衡状態となり、オゾン濃度は一定に保たれている。紫外線はタンパク質を変性させたり DNA を傷つけたりするなど、生物に有害であるが、オゾン層が紫外線の大半を吸収することで、陸上に生物が生息可能な環境となっている。

解答例

生物に有害な紫外線が地表に届かないように遮る役割。(25 字)

問4 難易度：★★★★☆

デボン紀から石炭紀の森林はおもにトクサの仲間のロボク、ウロコのような表面のリンボク、表面に六角形の模様のあるフウインボクなどのシダ植物から構成されていた。リンボクやフウインボクは高さ 20m~40m に達した。

以上より解答は、**ロボク**、**リンボク**、**フウインボク**から2つを答えればよい。

問5 難易度：★★★★☆

植物の繁栄により光合成が盛んに行われたため、石炭紀後期~ペルム紀前期は最も酸素濃度が高い時代であった。また炭素が石炭として地中に固定されたため、二酸化炭素濃度は低下した。この時代には、問4で触れたシダ植物や、体長が1m近くある昆虫であるメガネウラなど、大型の動植物が繁栄した。

解答例

植物の盛んな光合成により、二酸化炭素が減少し酸素が増加した。(30 字)

問6 難易度：★★★★☆

新第三紀の初めころまで日本はアジア大陸の東縁にあったが、約 1500 万年前に日本海が開き日本は島弧となった。これに先立ち、古第三紀に北海道と九州では沿岸部の森林が海中に埋没し、これがのちに筑豊炭田や石狩

炭田などの炭田を形成した。また、日本海ができたことで、有機物が海水中に堆積し、日本海側の油田の起源にもなった。

したがって、解答は、(d) となる。

(芝田力, 諸星暁之, 笠見京平, 西山学)

2016 年度 九州大学 前期 地学

〔2〕 造山運動と地史

出題範囲	固体地球/地質・地史
難易度	★★☆☆☆
所要時間	10分
傾向と対策	単純な知識問題が多く、この分野を特に苦手にしてはいない受験生ならすらすらと解き進められたらだろう。問4の構造線の名前を書かせる問題は、普段注意して置いていなければ答えられない問題であった。日本の地質に関する問題は随所で問われるので、一度しっかり確認しておこう。

解答

問1 ア：(b) イ：(c) ウ：(d) エ：(b)

問2 (1) 火山フロント(火山前線)

(2) (b)

問3 ホルンフェルス

問4 オ：糸魚川－静岡構造線 カ：中央構造線 キ：棚倉構造線

問5 (b)

解説

問1 難易度：★★☆☆☆

ア：(b) アルプス・ヒマラヤ

地球上では長い間さまざまな地域で造山運動が起こってきており、現在活発に活動しているのは新期造山帯とよばれる環太平洋造山帯とアルプス・ヒマラヤ造山帯である。

語群に含まれるアパラチア・カレドニアおよびウラルは古期造山帯として知られており、古生代に活動して山脈をつくったものの現在は侵食によって低い山脈となっている。またアフリカは古生代より前に形成された大陸に分類され、アフリカ楕状地とよばれている一方、大地溝帯などの地域をもち、造山帯ではないが活発な火山活動が行われている地域である。南極もアフリカ同様に2種類に分かれており、西経30度・東経150度の経線に沿って南極大陸を横切る南極横断山脈を基準にしてインド洋側の東南極は安定陸塊、太平洋側の西南極は環太平洋造山帯に連なる新期造山帯である。

イ：(c) 海嶺

プレートは発散境界でつくられ、収束境界で沈み込んだり衝突したりすることで特有の地形をつくりだす。海洋プレートは海底の海嶺における火成活動でつくられており、大規模な海嶺としては大西洋中央海嶺や東太平洋海嶺があげられる。語群に含まれるホットスポットでも火成活動は起こっているほか、海台の一部も過去の火成

活動によるものだが、共に海洋プレートの形成には寄与しない。海台という地形は取り上げられることが少ないが、頂部が比較的平らな海中の台地状の高まりで、頂部の広さが100km²以上、周囲の海底面と比べて200m以上高いものをいう。オントンジャワ海台、シャツキー海台などが著名。

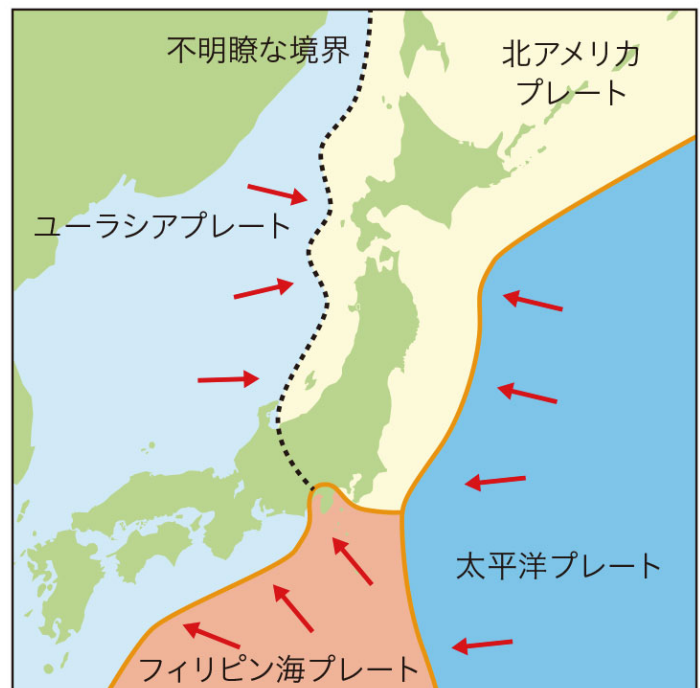
その他の選択肢である大陸棚、海溝は直接火成活動に関わる地形ではない。大陸棚は、干潮のときの海水面から、深海に向かって海底の傾斜が著しく大きくなる所までの、大陸を取り巻く平坦な海底のことを指していて、海洋底だが大陸プレートからなっている。多くの生物が住むうえ資源採掘も行える重要な海域であるため、国際条約で各国の権利が保護されている。海溝は上述したプレートの収束境界にあたり、最も深いとされるマリアナ海溝の最深部の水深が10000mを超えるなど水深が非常に深くなっている。

ウ：(d) 衝突

大陸プレート同士の収束境界の場合、大陸プレートは花崗岩や片麻岩などの軽い岩石からなるため容易に沈み込むことができず、衝突する場合が多くみられる。アルプス・ヒマラヤ造山帯は大陸プレート同士の衝突で特徴づけられ、ヒマラヤ山脈はユーラシアプレート上のアジア大陸に、インド・オーストラリアプレート上のインド亜大陸が衝突してできた山脈である。

エ：(b) フィリピン海

日本付近には4つのプレートがみられ、フィリピン海プレートは西南日本の太平洋側に位置している。フィリピン海プレートはユーラシアプレートに対して沈み込む一方、太平洋プレートによる沈み込みを受けているプレートで、ユーラシアプレートとの間で東海・東南海・南海地震を引き起こすプレートとして知られる。右図で日本列島付近のプレート分布を確認しておこう。



日本付近のプレート分布

以上より解答をまとめると、ア：(b) アルプス・ヒマラヤ イ：(c) 海嶺 ウ：(d) 衝突 エ：(b) フィリピン海 となる。

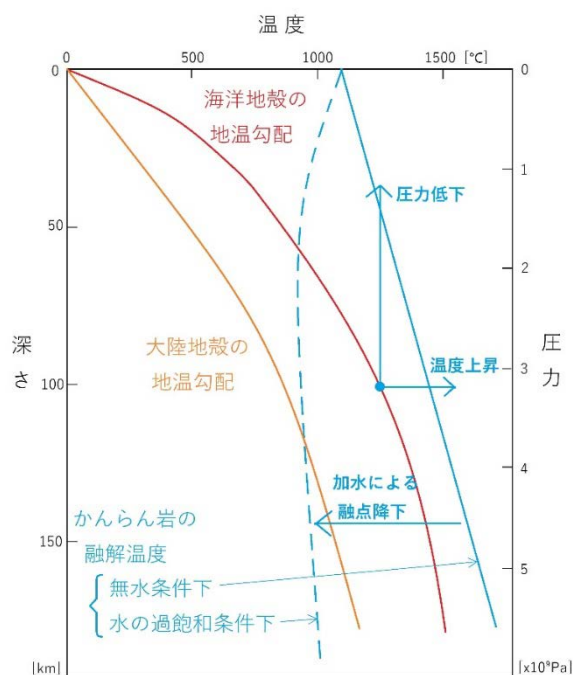
問2 難易度：★★★★☆

海溝系では海洋プレートが沈み込むことによって水がマントルに供給され、水の添加によるかんらん岩の融点降下がマントルの部分熔融を引き起こして火山がつくられる。マントルは概ね深いほど高温になるため、ある深

度より深いマントルは水の供給によってマントルが融点を超えられるようになる。この深度が(2)の約120kmで、この時のマントルの温度は約1000°Cである。

この条件になるまで海洋プレートが沈み込むのに必要な距離が日本ではおよそ200~300kmのため、火山フロントは海溝から200~300kmの距離に存在することになる。また反対に、この間を解く場合なら、火山フロントから海溝までの距離と日本で沈み込むプレートの傾きのイメージがあれば(2)の値を知らずとも解くことができる。

以上から、解答は(1)が火山フロント(火山前線)、(2)が(b)である。



かんらん岩溶融の温度圧力条件

問3 難易度：★★★★☆

接触変成作用とは、堆積岩等にマグマが貫入する際に熱によって岩石中の鉱物の種類や組織が変化する作用で、この作用でつくられた岩石は接触変成岩とよばれる。有名なものでは、石灰岩が接触変成作用を受けてできた結晶質石灰岩(大理石)と、砂岩や泥岩が接触変成作用を受けてできたホルンフェルスの2種類があり、ホルンフェルスは緻密な黒い岩石でとても硬いという特徴がある。

したがって、解答はホルンフェルスである。

問4 難易度：★★★★☆

オ：糸魚川-静岡構造線

糸魚川-静岡構造線は新潟県の糸魚川市から長野県の諏訪湖を通して静岡市付近に続く構造線で、ユーラシアプレートと北アメリカプレートの境界とされるフォッサマグナの西側境界である。フォッサマグナは東北日本と西南日本の境界にあたる新しい堆積岩や火成岩から成る地域を指すのに対し、糸魚川-静岡構造線は地層境界の線であって別のものであることに注意しておくといよい。略称で糸静線などともよばれるようである。

カ：中央構造線

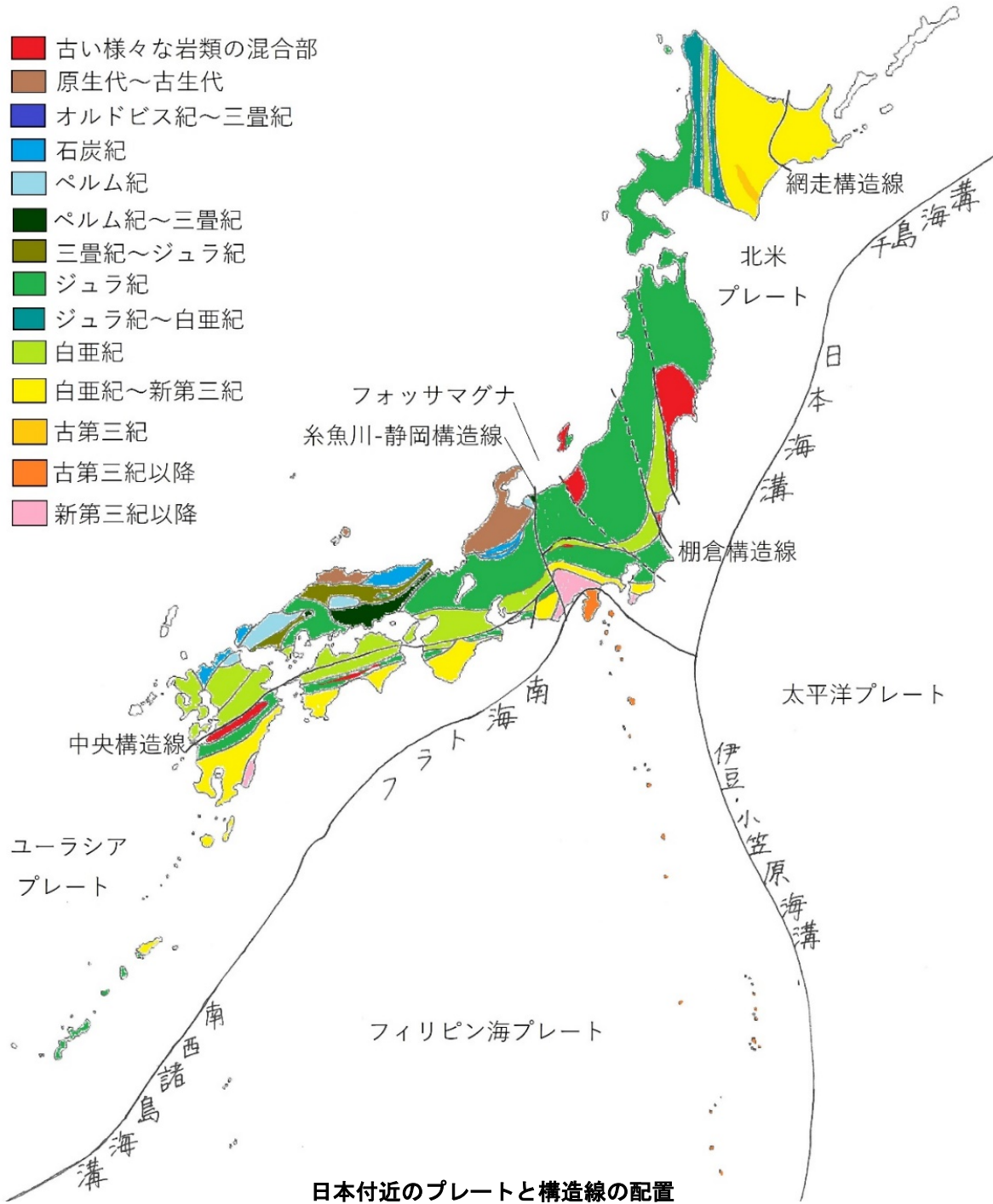
中央構造線は西南日本と東北日本にまたがる日本最大の構造線で、四国から紀伊半島、愛知県を通して長野県で糸魚川-静岡構造線に突き当たり、さらに埼玉県や、推定では千葉県まで続くとされる。中央構造線の南側には低温高圧型広域変成帯の三波川帯、北側には高温低圧型広域変成帯の領家帯が見られる。中央構造線のうち四国から紀伊半島にかけては、構造線に沿った活断層帯も存在している。

キ：棚倉構造線

棚倉構造線は福島県棚倉町付近を通して茨城県にかけて北北西-南南東方向に延びる構造線である。北部は山

形県へ入るとされる。構造線の西側はジュラ紀の付加体を中心とする足尾帯，東側は高温低圧型広域変成帯の阿武隈変成帯などを含む阿武隈帯となっている。

以上より解答をまとめると、オ：糸魚川－静岡構造線 カ：中央構造線 キ：棚倉構造線 である。



問 5 難易度：★★★★☆

(a)は太古代と原生代の境界, (c)は古生代と中生代 (古生代ペルム紀と中生代三畳紀)の境界, (d)は中生代と新生代 (中生代白亜紀と新生代古第三紀)の境界である。したがって, 解答は(b)。これらの年代は直接問われることもあるほか, 考察の手助けにもなるのでぜひ覚えておこう。

時代区分		年代(年前)	主な出来事	
顕生代	新生代	第四紀	類人猿の出現 被子植物の繁栄 哺乳類の発展	
		新第三期		
		古第三紀		
	中生代	白亜紀	6600万	恐竜・アンモナイトなどの絶滅 被子植物の出現 恐竜・アンモナイトなどの繁栄
		ジュラ紀	1億4500	
		三畳紀	2億100万	
		(トリアス期)	2億5200	
		ペルム紀	2億9900万	
	古生代	(二畳紀)	2億9900万	三葉虫・フズリナなどの絶滅 両生類の繁栄 は虫類の出現 シダ植物の繁栄 植物が陸上に進出
		石炭紀	3億5900万	
		デボン紀	4億1900万	
		シルル紀	4億4300万	
		オルドビス期	4億8500	
		カンブリア紀	5億4100万	
カンブリア紀の爆発				
元カンブリア時代	原生代	25億	多細胞生物の誕生 酸素の増加 生命の誕生 地球の誕生	
	太古代 (始生代)	40億		
	冥王代	46億		

各代・紀の境界の年代

(諸星暁之, 笠見京平, 芝田力, 西山学)

2016 年度 九州大学 前期 地学

〔3〕 フェーン現象

出題範囲	大気の運動
難易度	★★★★☆
所要時間	14分
傾向と対策	フェーン現象や条件付き不安定など、気象分野で頻出の題材からの出題であるが、問1のグラフ読み取り、問4の100字記述など少し面食らってしまう部分もあったかもしれない。水蒸気圧や不安定などの重要な用語が何を示すのか、くっきりとしたイメージをもち、それを文章化できるようにしておくことが大切だ。

解答

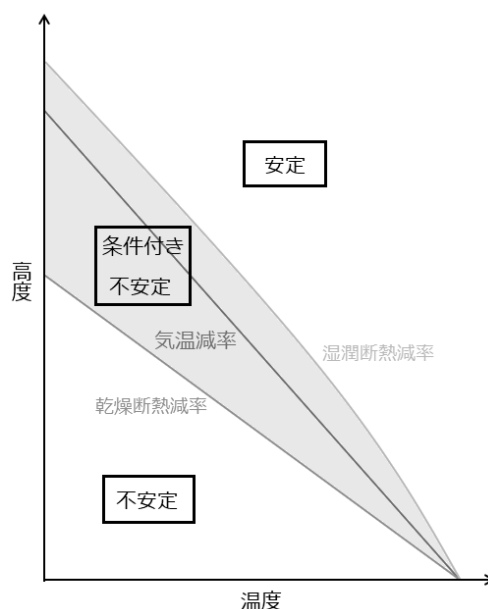
問1 49%

問2 $1.4 \times 10^3 \text{ m}$

問3 現象名：フェーン現象

温度：38°C

問4 条件付き不安定とは、図のように空気塊の周囲の気温減率が乾燥断熱減率よりも小さく、湿潤断熱減率よりも大きい場合を指し、空気塊が水蒸気に飽和しているという条件を満たすときに不安定となるような状態である。(99字)



解説

問1 難易度：★★★★☆

露点が 16°C である空気塊の 30°C における水蒸気圧は、破線から 21hPa 。実線から 30°C での飽和水蒸気圧は 43hPa だから、この空気塊の相対湿度は

$$\frac{21}{43} \times 100 = 48.8 \dots \approx 49\%$$

問2 難易度：★★★★☆

露点は 16°C だから、温度が $30 - 16 = 14^\circ\text{C}$ 下がると露点に達する。乾燥断熱減率は $1.0^\circ\text{C}/100\text{m}$ だから、露点高度は

$$14 \times 100 = 1400 = 1.4 \times 10^3 \text{ m}$$

問3 難易度：★★★★☆

露点高度である高度 1400m から 3000m までは、空気塊の水蒸気が飽和しており、湿潤断熱減率(0.5°C/100m) に従って温度が低下するから、高度 3000m での空気塊の温度は

$$16 - (3000 - 1400) \times \frac{0.5}{100} = 8^{\circ}\text{C}$$

したがって、山を越えて吹き降りるときは乾燥断熱減率(1.0°C/100m)に従って温度が上昇するから、高度 0m での空気塊の温度は

$$8 + 3000 \times \frac{1.0}{100} = 38^{\circ}\text{C}$$

フェーン現象とは、乾燥断熱減率よりも湿潤断熱減率のほうが小さいことにより、空気塊が山を越えるときに高温で乾燥した風になって吹き降りる現象である。乾燥断熱減率よりも湿潤断熱減率のほうが小さいのは、水蒸気が凝結する際に潜熱が放出されるためである。冬から春先には日本海低気圧により暖かい南風が吹くと、日本海側で強いフェーンが発生することが多く、雪崩や山火事に注意が必要である。ちなみにフェーンとはそもそも、アルプス山脈を越えて吹く高温で乾燥した局地風を指す言葉である。

以上より解答をまとめると、現象名：**フェーン現象** 温度：38°C となる。

問4 難易度：★★★★☆

大気の安定度は、気温減率と感熱断熱減率、湿潤断熱減率との大小関係によって、次の3つの場合に分けられる。なお、図中では青が湿潤な空気塊、赤が乾燥した空気塊とし、乾燥断熱減率を 1°C/100m、湿潤断熱減率を 0.5°C/100m とし、図中の左の数字は気温を示す。

・絶対安定

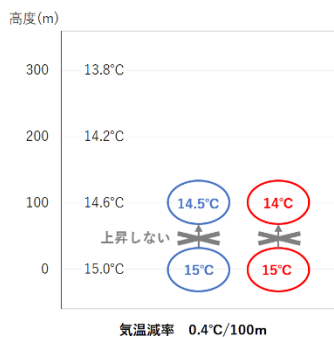
空気塊が湿潤であっても乾燥していても、気温減率 < 湿潤断熱減率であれば、もち上げられた空気塊は周囲の気温より温度が低く、周囲の空気より重くなりもとの位置に戻る。この状態を絶対安定という。

・絶対不安定

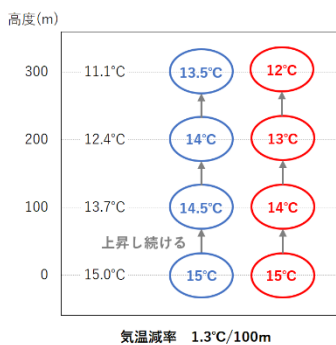
気温減率 > 乾燥断熱減率であれば、空気塊が湿潤であろうと乾燥していようと、空気塊が上昇したとき周囲の気温より空気塊の温度が高くなり、周囲の空気より軽いので上昇し続ける。この状態を絶対不安定という。

・条件付き不安定

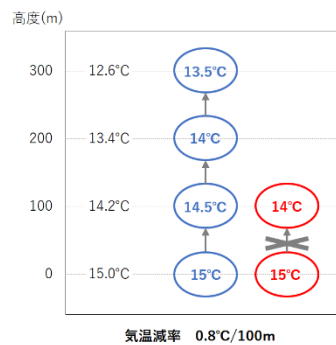
湿潤断熱減率 < 気温減率 < 乾燥断熱減率のときは、乾燥空気塊であれば安定、湿潤空気塊であれば不安定であり、この状態を条件付き不安定という。



絶対安定



絶対不安定

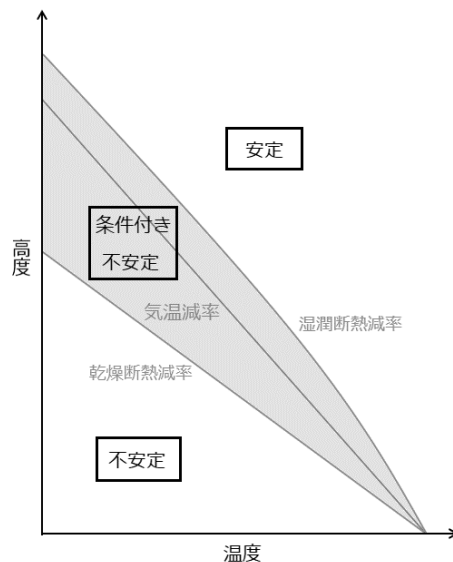


条件付き不安定

以上のことを文字数に合わせてまとめると下のような解答になる。また解答で示した図は条件付き不安定となる気温減率の範囲を表した図で、この図もぜひ覚えておくとよい。

解答例

条件付き不安定とは、図のように空気塊の周囲の気温減率が乾燥断熱減率よりも小さく、湿潤断熱減率よりも大きい場合を指し、空気塊が水蒸気に飽和しているという条件を満たすときに不安定となるような状態である。(99 字)



(芝田力, 諸星暁之, 笠見京平, 西山学)

2016 年度 九州大学 前期 地学

〔4〕 海洋

出題範囲	海洋の構造/海水の運動
難易度	★★★★☆
所要時間	12分
傾向と対策	この大問では問1から問3で海洋に関する標準的な知識を問う問題、問4と問5で自分の持っている知識やグラフなどを使って考えさせる問題が出題されている。問5ではグラフのどの部分がどの層にあたるかを、自分の持っている知識を使って読み取る必要があった。このような問題を解くためには日頃からグラフなどを積極的にみて、そこからさまざまな情報を読み取る練習をしておこう。

解答

問1 ア：(f) イ：(a)

問2 (c)

問3 (主)水温躍層

問4 (a)

問5 (c)(d)

解説

問1 難易度：★★★★☆

ア：(f) 97

地球の表層には約14億 km^3 の水が存在していると見積もられており、その約97.5%が海水である。

残り約2.5%の淡水のうち約70%(全体の約1.7%)が氷河、約30%(全体の約0.8%)が地下水であり、河川・湖沼の水は全体の約0.008%にすぎない。

イ：(a) 3.5

海水の塩分は約3.5%であり、1/1000を1とするパーミル(‰, 千分率)という単位を用いて35‰と表すこともできる。また、海水に含まれる主な塩類の割合は下の表のようになっている。割合が大きいほうから3種類の塩類は、問われることがあるので確認しておこう。

塩類	割合[%]
NaCl	77.9
MgCl ₂	9.6
MgSO ₄	6.1
CaSO ₄	4.0
KCl	2.1
MgBr ₂	0.2

海水に含まれるおもな塩類の割

以上より解答をまとめると、ア：(f) 97 イ：(a) 3.5 となる。

問2 難易度：★★★★☆

海水は温度が低いほど、もしくは塩分が高いほど密度が大きい。水温が低く、また、結氷によって塩分が高くなっている高緯度では海水の密度が大きいため沈み込み、熱塩循環を形成している。沈み込んだ海水は深層まで到達して循環するため深層循環ということもある。

以上より解答は、(c) となる。

問3 難易度：★★★★☆

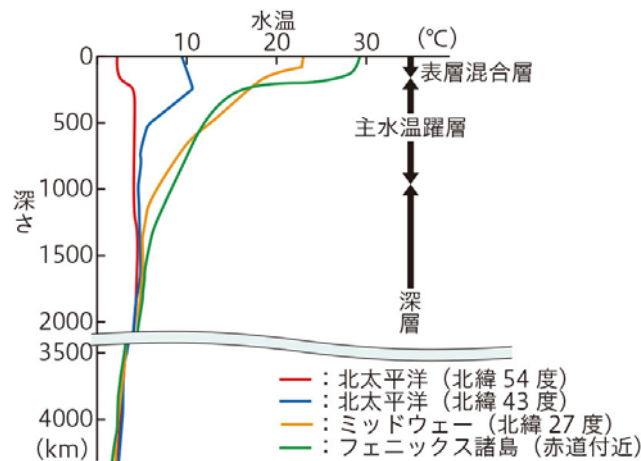
海洋は水温の鉛直分布の違いによって3つの層に分けられる。

表層は風や波、対流などによって混合されているため水温がほとんど一様になっている。この層を混合層という。混合層の水温や厚さ、塩分は緯度や季節によって異なる。

混合層の下には深くなるにつれて温度が急激に低下する(主)水温躍層がある。ただし、高緯度の海域では表層の水温が低く、図の赤線のように水温躍層は明瞭ではない。

主水温躍層の下には水温がほとんど一様な深層がある。深層の水温は季節などによって変化しない。

以上より解答は、(主)水温躍層 である。



海洋の層構造

問 4 難易度：★★★★☆

- (a) 誤 亜熱帯は高圧帯にあたるため降水量が少なく、蒸発量が降水量を上回っている。海水は蒸発するときに塩類を取り込まないため、亜熱帯の表層の塩分は極域に比べて高い。
- (b) 正 海氷が生成される時、海氷は塩類を取り込まない。ゆえに、残された海水の塩分は高くなる。
- (c) 正 北大西洋のグリーンランド沖では、水温が低く、結氷によって海水の塩分が高くなっているため海水の密度が大きく、沈み込む。沈み込んだ水は深層水となって大西洋を南下し、南極付近を通過して太平洋に到達し、浮上する。この循環を深層循環(熱塩循環)といい、約 2000 年かけて循環する。
- (d) 正 熱塩循環は風成循環と同様に低緯度から高緯度に熱を運ぶ役割を果たしており、沈み込みが弱まると熱塩循環全体の流れも弱まり、低緯度から熱が運ばれてこなくなるため高緯度は寒冷化する。

以上より解答は、(a) となる。

問 5 難易度：★★★★☆

- (a) 正 夏には海面が太陽放射で暖められて表層混合層が薄くなり、冬には海面の冷却による対流が活発化して表層混合層が厚くなる。実際、問題文中の図を見れば、表面から水温がほとんど変化しない、すなわち、等温線が少ない領域が表層混合層であるが、冬には厚い表層混合層が、夏には薄い表層混合層が形成されている。
- (b) 正 問題文中の図より 1~3 月にかけて表層混合層の深さが 100m を超えていることがわかる。
- (c) 誤 問題文中の図より、夏には、水深の浅い領域でも等温線の本数が多く、水温の下がり方が大きいことがわかる。ゆえに、夏に形成される表層混合層は薄いとわかる。理由は(a)に書いたとおりである。
- (d) 誤 風によるかき混ぜが活発になると、かき混ぜられた深さまでの水温が一樣になり、表層混合層が厚くなる。

- (e) 正 表層が冷却されると、より深部の海水よりも低温で高密度となるため対流が起こり、表層混合層が厚くなる。対流が起こるとき、表層混合層はより深部にある低温の海水を取り込むため、水温が低くなる。

以上より解答は、(c)、(d) となる。

(笠見京平, 諸星暁之, 芝田力, 西山学)

2016年度 九州大学 前期 地学

〔5〕 太陽系の惑星と衛星

出題範囲	太陽系
難易度	★★★★☆
所要時間	12分
傾向と対策	太陽系の惑星と衛星に関する正誤問題と計算問題が出題された。正誤問題は一部に高度な内容が含まれているが、正答するのは比較的容易である。衛星についても確実に知識をつけておきたい。計算問題も特に難しいものではない。単位の換算と計算ミスに注意してすばやく解けるようにしよう。

解答

問1 (b)

問2 (c)

問3 地球： $K = 3.3 \times 10^{18} [\text{m}^3/\text{s}^2]$ エウロパ： $K = 3.1 \times 10^{15} [\text{m}^3/\text{s}^2]$

問4

$$K = \frac{GM}{4\pi^2}$$

問5

$$\frac{M_j}{M_s} = 9.5 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}^2]$$

解説

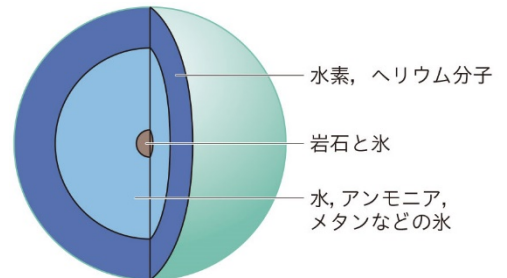
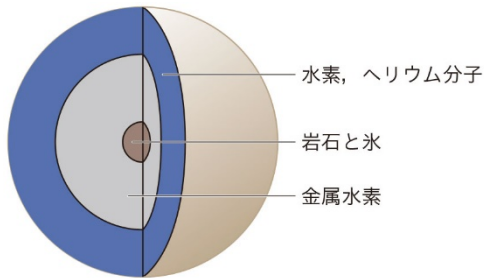
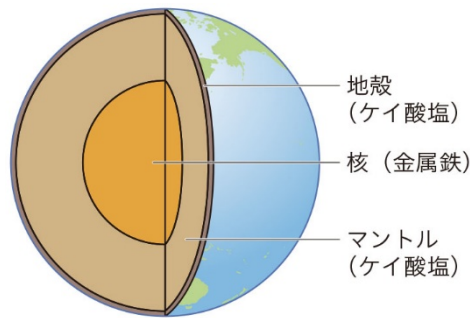
問1 難易度：★★★★☆

(a) 正 地球型惑星はいずれも中心部に鉄を主成分とする核が存在する。ちなみに水星は赤道半径約 2400 km に対して半径約 1800 kmの大きな金属の核をもつことも併せて覚えておくとよい。

(b) 誤 太陽系最大の惑星は木星であるが、密度が最小の惑星は土星である。土星の密度は約 $0.69 \text{g}/\text{cm}^3$ であり、太陽系の惑星で唯一、水よりも比重が小さい。他の木星型惑星の密度は約 $1.2 \sim 1.7 \text{g}/\text{cm}^3$ である。

(c) 正 木星型惑星はいずれも磁場をもち、オーロラが観測されている。地球型惑星のうち地球と水星には磁場があるが、水星には大気がないため、地球型惑星でオーロラが発生するのは地球だけである。

(d) 正 天王星と海王星の構造は下の図のとおり。内部に氷が存在し、巨大氷惑星とよばれる。巨大ガス惑星・地球型惑星の構造も確認しておこう。



以上より, 解答は(b)。

問2 難易度: ★★★★★

- (a) 誤 エウロパの表面は厚い氷で覆われており, 氷の下には液体の海が存在すると考えられている。海には生命の可能性もあり, 今後の探査が計画されている。ちなみに表面が海とよばれる黒っぽい岩石でできているのは月であり, 黒っぽい岩石とは玄武岩のことである。
- (b) 誤 ガリレオ衛星とは, ガリレオが発見した4つの木星の衛星であり, 内側からイオ, エウロパ, ガニメデ, カリストである。エリスは太陽の周りを公転する準惑星であり, 冥王星よりも外側を大きく傾いて公転している。その大きさは冥王星と同程度と考えられている。
- (c) 正 イオはガリレオ衛星のうち最も内側を回る衛星であり, 木星の重力によりイオには大きな潮汐力がかかる。このためイオが伸縮して内部に熱が発生することで火山活動が生じている。
- (d) 誤 タイタンは土星の衛星であり, 木星のガリレオ衛星ではない。なお, タイタンはメタンと窒素の雲で覆われており可視光で地表を見ることはできないが, 探査機カッシーニによると, 表層は氷で覆われており, 地球の水のようにメタンが蒸発・降雨し循環していると考えられている。内部構造は氷の層の下に水の海が広がっていると考えられている。

以上より, 解答は(c)。

問3 難易度: ★★★★★

$1.5 \times 10^8 \text{ km} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ だから、地球において、

$$K = \frac{a^3}{T^2} = \frac{(1.5 \times 10^{11})^3}{(3.2 \times 10^7)^2} = \frac{1.5^3}{3.2^2} \times 10^{19} = 0.329 \dots \times 10^{19} = 3.3 \times 10^{18} [\text{m}^3/\text{s}^2]$$

$6.7 \times 10^5 \text{ km} = 6.7 \times 10^8 \text{ m}$, $3.6 \text{ 日} = 3.6 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ s} = 311040 \text{ s} = 3.11 \times 10^5 \text{ s}$ だから、エウロパにおいて、

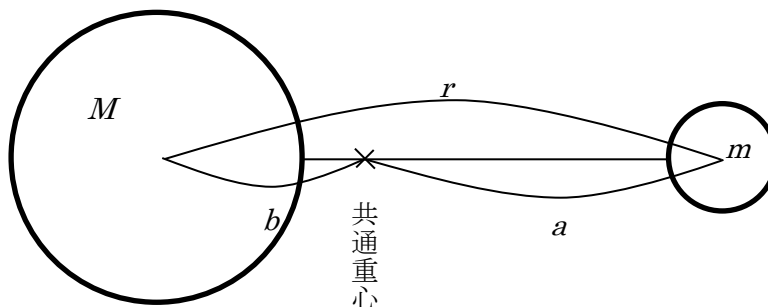
$$K = \frac{a^3}{T^2} = \frac{(6.7 \times 10^8)^3}{(3.11 \times 10^5)^2} = \frac{6.7^3}{3.11^2} \times 10^{14} = 31.09 \dots \times 10^{14} = 3.1 \times 10^{15} [\text{m}^3/\text{s}^2]$$

問4 難易度：★★★★☆

ここでは公転軌道を円と近似する。公転する天体の質量を m 、2つの天体間の距離を r とすると、公転半径 a は2つの天体の共通重心から公転する天体までの距離であるから(下図参照)、

$$a = \frac{M}{M+m} r$$

と表せる。



半径 a の回転運動による加速度は、角速度を ω とすると

$$a\omega^2 = a \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

運動方程式は

$$G \frac{Mm}{r^2} = ma \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

したがって、

$$\frac{GM}{r^2} = a \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

これを变形して、

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

ここで $M \gg m$ より $M+m \approx M$ だから

$$K = \frac{GM}{4\pi^2}$$

この導出は地学ではなく物理の履修内容であるため、物理を履修していない場合は覚えておくといだろう。

◆Column 楕円軌道の場合のケプラーの第3法則の導出

解説では軌道を円に近似してケプラーの第3法則を導出したが、楕円軌道の場合でも第3法則を導出してみよう。

図のように公転する天体の質量を m 、近日点距離を r_1 、その時の公転速度を v_1 、遠日点距離を r_2 、その時の公転速度を v_2 、軌道長半径を a 、軌道短半径を b とすると、楕円の面積は πab と表される。ケプラーの第2法則より、面積速度は $\frac{1}{2}r_1v_1 (= \frac{1}{2}r_2v_2)$ で一定であり、公転周期 T は、

$$T = \frac{\pi ab}{\frac{1}{2}r_1v_1} = \frac{2\pi ab}{r_1v_1}$$

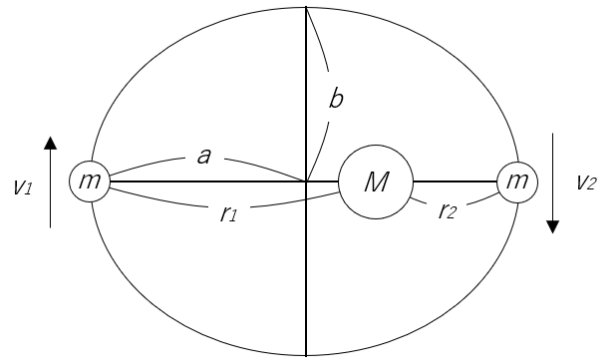
楕円の性質より、

$$a = \frac{1}{2}(r_1 + r_2), \quad b = \sqrt{r_1r_2}$$

だから、

$$T = \frac{2\pi a\sqrt{r_1r_2}}{r_1v_1} = \frac{2\pi a}{v_1} \sqrt{\frac{r_2}{r_1}}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 a^2 r_2}{v_1^2 r_1} \quad (1)$$



楕円軌道を公転する天体

近日点と遠日点とで力学的エネルギーが保存するから、

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - G\frac{Mm}{r_1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - G\frac{Mm}{r_2}$$

$$\frac{1}{2}(v_1^2 - v_2^2) = -GM\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$$

$r_1v_1 = r_2v_2$ を用いて v_2 を消去すると

$$\frac{1}{2}v_1^2\left(1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right) = -\frac{GM}{r_1r_2}(r_1 - r_2)$$

$$\frac{1}{2}v_1^2(r_1^2 - r_2^2) = GM\frac{r_2}{r_1}(r_1 - r_2)$$

$r_1 \neq r_2$ だから、

$$\frac{1}{2}v_1^2(r_1 + r_2) = GM\frac{r_2}{r_1}$$

$$av_1^2 = GM\frac{r_2}{r_1} \quad (2)$$

(1), (2)より,

$$T^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GM}$$

$$K = \frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

問5 難易度：★★★★☆

問3, 問4より,

$$\frac{GM_j}{4\pi^2} = 3.11 \times 10^{15} [\text{m}^3/\text{s}^2]$$

$$\frac{GM_s}{4\pi^2} = 3.29 \times 10^{19} [\text{m}^3/\text{s}^2]$$

とわかる。したがって,

$$\frac{M_j}{M_s} = \frac{\frac{GM_j}{4\pi^2}}{\frac{GM_s}{4\pi^2}} = \frac{3.11 \times 10^{15}}{3.29 \times 10^{19}} = 9.45 \dots \times 10^{-4} = \mathbf{9.5 \times 10^{-4}}$$

(芝田力, 笠見京平, 西山学, 諸星暎之)