

2015 年度 北海道大学 前期 地学

1 マグマの発生と火山噴火

| | |
|-------|--|
| 出題範囲 | 火山 |
| 難易度 | ★★☆☆☆ |
| 所要時間 | 12分 |
| 傾向と対策 | 問1～5ではマグマの発生機構や分化，地球の層構造などに関連した知識問題であった。細かい知識はあまり問われておらず，合格するためにはここで確実に得点したい。問6と7はPM2.5などで有名となったエアロゾルについての問題である。エアロゾルは最近研究が盛んな分野でもあり，地学の問題では最新の研究内容が題材とされることがよくある。このような問題に対処するためにも日頃から新聞などを読んでおくとよい。 |

解答

問1 (ウ)

問2 (ア)

問3 (ウ)

問4 例[1] 名称：結晶分化作用

鉱物の結晶の晶出に伴いマグマの化学組成が変化するという作用。(30字)

例[2] 名称：同化作用

作用：マグマの周囲の岩石が溶け込み，化学組成が変化するという作用。(30字)

例[3] 名称：マグマ混合

作用：異なる組成のマグマが混合し，化学組成が変化するという作用。(29字)

問5 H₂O, CO₂

問6 エアロゾル

問7 エアロゾルは太陽光を吸収・反射して地表に届く太陽放射の量を減らし，地球の気温を低下させる。(45字)

解説

問1 難易度：★★☆☆☆

マントル内では下層ほど温度と圧力が上昇して密度と結晶構造が変化し，上から順にかんらん石，スピネル相，ペロブスカイト相，ポストペロブスカイト相というように相転移をしている。上部マントルはおもにかんらん岩で構成されていることは必ずおさえておこう。解答はかんらん岩の(ウ)。

あわせて地殻・マントル・核の化学組成も確認しておこう。

| 地殻 | |
|--------------------------------|-------|
| 化学式 | 存在比率 |
| SiO ₂ | 57.3% |
| Al ₂ O ₃ | 15.9% |
| FeO | 9.1% |
| CaO | 7.4% |
| MgO | 5.3% |
| Na ₂ O | 3.1% |
| K ₂ O | 1.1% |
| TiO ₂ | 0.9% |

| マントル | |
|--------------------------------|-------|
| 化学式 | 存在比率 |
| SiO ₂ | 46% |
| MgO | 37.8% |
| FeO | 7.6% |
| Al ₂ O ₃ | 4.1% |
| CaO | 3.2% |
| Na ₂ O | 0.3% |

| 核 | |
|-----|-------|
| 化学式 | 存在比率 |
| Fe | 89.6% |
| Ni | 5.4% |
| O | 4.7% |
| Co | 0.2% |

問2 難易度：★★★★☆

地球内部の上部マントルでは温度の上昇や圧力の低下、沈み込むスラブから供給された水による融点の低下などが原因となり岩石の溶けやすい(融点の低い)成分が選択的に溶ける。これを部分熔融という。上部マントルではかんらん岩が部分熔融を起こし、玄武岩質マグマが発生する。この玄武岩質マグマは本源マグマであり、結晶分化作用などを経て安山岩質マグマや流紋岩質マグマといった多様なマグマが生じてゆく。

したがって、答えは(ア)。

問3 難易度：★★★★☆

地殻とマントルの境界はモホ不連続面とよばれており、クロアチアの地震学者アンドリア＝モホロビッチが発見した。モホロビッチが震源からある程度離れたところで走時曲線が折れ曲がることを見つけ、地表を伝わってきた波よりも地中を伝わってきた波のほうが早く届くことがわかった。これは地中に地震波速度の不連続面が存在することを示すと考えられ、こうしてモホ面が見つかった。地震波速度はモホ面より下が大きく、密度も同様にモホ面の下のほうが大きくなる。この密度の違いが原因となり、浮力によって上昇したマグマが一旦留まり、マグマだまりを形成する。したがって、解答は(ウ)。

◆Check!! 地球内部の不連続面

不連続面とは地震波速度が大きく変わる面を指し、そこが異なる物質同士の境界になっていることを示している。以下の3つの不連続面を覚えておこう。下の地震波速度と深さのグラフも参照すること。

- ・モホロビッチ不連続面(モホ面・モホ不連続面ともよばれる)

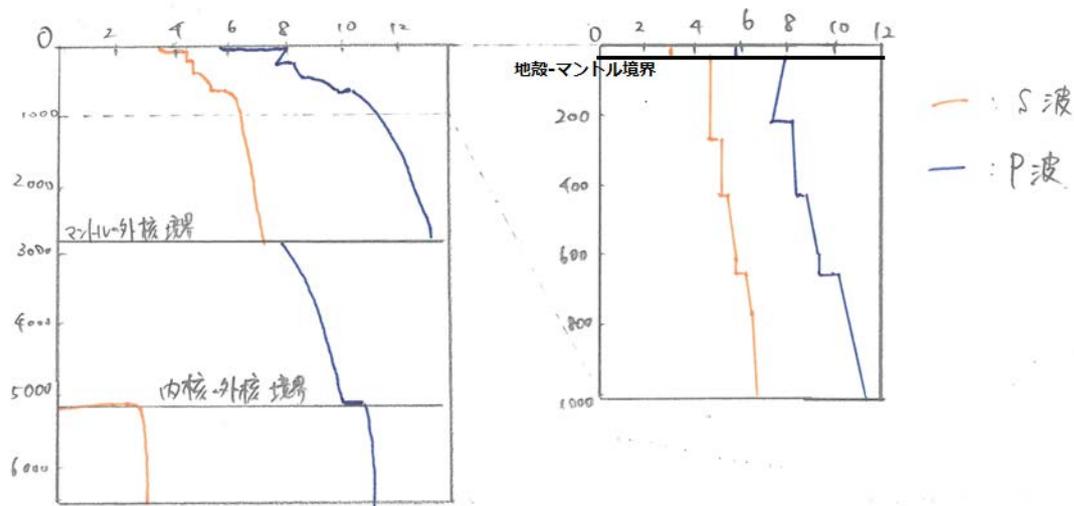
深さ数十 km のところで地震波速度が大きくなる面。地殻とマンツルの境界を示す。

- ・ゲーテンベルク不連続面

深さ約 2900km のところより下で S 波が伝わらなくなっている。これはこの境界より下が液体であることを示し、マンツルと外核(液体)の境界である。

- ・レーマン不連続面

深さ約 5100km のところより下では S 波が伝達できるのでこの下は固体である。つまり、固体である内核と液体である外核の境界である。



深さと地震波速度

また上図でマンツル内にも不連続面が多数含まれていることがわかる。これは(1)の解説で触れたマンツル内の鉱物の相転移によるもので、特にかんらん石の相転移が起きる深さ約 410~660km の部分をマンツル遷移層とよぶ。

問 4 難易度：★★★★☆

結晶分化作用とは、マグマの冷却に伴って融点の高い鉱物から先に晶出していき、残されるマグマの組成が変化していくという作用である。おもな有色造岩鉱物の融点が高いほうから、かんらん石、輝石、角閃石、黒雲母の順となっており、融点の高いほうから晶出・沈殿してゆく。すると残ったマグマの液体部分の組成が変化し、徐々に SiO₂ 含有量が増加してゆく。つまり、マグマが冷却されるに伴い玄武岩質、安山岩質、デーサイト・流紋岩質というように変化することと対応している。

同化作用とは、マグマだまりが花崗岩質の地殻内に形成されるといったことなどが原因となり、マグマ周囲の岩石が溶けてマグマに混じり合い、マグマの組成が変化することである。

マグマ混合とは、異なる組成のマグマ同士が混合し、化学組成が変化するという作用である。玄武岩質マグマと流紋岩質マグマが混合してかんらん石と石英が共存するといった、結晶分化作用では説明できない特徴をもつこともある。

解答例 1

名称：結晶分化作用

作用：鉱物の結晶の晶出に伴いマグマの化学組成が変化するという作用。(30 字)

解答例 2

名称：同化作用

作用：マグマの周囲の岩石が溶解込み、化学組成が変化するという作用。(30 字)

解答例 3

名称：マグマ混合

作用：異なる組成のマグマが混合し、化学組成が変化するという作用。(29 字)

問 5 難易度：★★★★☆

マグマに溶けていた揮発性成分は圧力の低下に伴いマグマから分離し、気泡を生じるようになる。これが地表に噴出すると火山ガスとして観測されるようになる。火山ガスの組成は火山によって異なり、二酸化硫黄をはじめ、硫化水素や塩化水素、フッ化水素といった多種多様な成分を含むが、ガスの大半は水蒸気と二酸化炭素に占められている。特に水蒸気は火山ガスの大半を占め、島弧の火山においては 90%以上を占めることも多い。これより解答は H_2O 、 CO_2 となる。

問 6 難易度：★★★★☆

エアロゾル(エアロゾル)は固体または液体の微粒子が大気中に浮遊している状態を指す。排煙中のすす・火山灰・黄砂などがエアロゾル粒子にあたり、風によって遠隔地に運ばれることもある。サイズによって名称があり、よく報道されているPM2.5は粒子径が $2.5\mu m$ 以下のエアロゾル粒子を指す。したがって、火山灰粒子や硫酸液滴も総称してエアロゾルとよばれる。

問 7 難易度：★★★★☆

大気中のエアロゾル粒子は太陽光を直接散乱・吸収し、地表に届く太陽放射の量を減らし、地表面付近の大気は冷やされる。これは日傘効果とよばれており、これによって温暖化が一部相殺されているともいわれている。実際にフィリピンのピナツポ山が 1991 年に噴火した際には対流圏で気温が低下したことが確かめられている。また、ほかにも雲粒の凝結核となり、エアロゾル粒子の種類や数によって降水の抑制や雲の長寿化などを引き起こすともいわれている。しかし、エアロゾルの気候への寄与についてはまだ不確定な部分が多く、現在も世界中の研究者が取り組んでいる研究テーマの 1 つである。

解答例

エアロゾルは太陽光を吸収・反射して地表に届く太陽放射の量を減らし、地球の気温を低下させる。(45 字)

(西山学, 笠見京平, 芝田力, 諸星暁之)

2015 年度 北海道大学 前期 地学

2 古生物の多様性

| | |
|-------|--|
| 出題範囲 | 地球史 |
| 難易度 | ★★★★☆ |
| 所要時間 | 12分 |
| 傾向と対策 | 海洋中の生物の多様性の変遷と絡めて古生物に関する知識が問われた大問である。問2でやや細かい知識を問われたものの、問1, 3, 4は基本的な知識なので、ここで得点を重ねてほしい。問5は教科書などでは書かれていないことを自分で考えて答える記述問題であり、この大問の中では一番難しく時間がかかる。時間配分と相談しながら取り組んでもらいたい。また、問5のような考え方は大学で科学を学ぶうえでとても重要なので、解けなかった人も解答を見てよく考えてほしい。 |

解答

問1 (a): オルドビス紀 (b): シルル紀 (c): デボン紀 (d): 石炭紀

(e): 白亜紀 (f): 古第三紀 (g): 新第三紀

問2 パージェス動物群・チェンジャン(澄江)動物群

問3 カンブリア型動物: (イ)

古生代型動物: (ア)・(ウ)・(カ)

現代型動物: (エ)・(オ)・(キ)

問4 カリウム・アルゴン法

(理由)

^{14}C の半減期は数千年程度であり、数千万年前の地層では測定不可能であるから。(39字)

問5 現代に近い年代の地層ほど上位にあるため地層の露出面積が広く、また化石が残存する可能性も高いため発見された化石の数は多い。よって現代に近いほど見つかる化石の種類も多く、多様性が増加しているようにみえる。(100字)

解説

問1 難易度: ★★★★★

地質年代の名称を答える問題である。次のページの図で確認し、おおよその年代やおもな出来事とあわせて覚えておくこと。

答えはそれぞれ(a): オルドビス紀 (b): シルル紀 (c): デボン紀 (d): 石炭紀 (e): 白亜紀 (f): 古第三紀 (g): 新第三紀 である。

問2 難易度：★★★★☆

カンブリア紀の爆発(カンブリア爆発)とは、カンブリア紀の短期間に多種の動物が出現した現象である。カナダのロッキー山脈で化石として見つかったバージェス動物群や中国雲南省で見つかったチェンジャン(澄江)動物群がこれにあたる。ほかにもグリーンランドのシリウス・パセット動物群やオーストラリアのエミュー・ベイ頁岩で見つかった動物群などもあるが、解答の2つを覚えておけば大学受験の範囲としては事足りるだろう。これらの生物は殻などの硬組織をもつようになったため、これ以前の生物に比べると化石として残りやすくなった。したがって、答えは**バージェス動物群・チェンジャン(澄江)動物群**。

なお、エディアカラ生物群と混同する人が多いが、エディアカラ生物群は先カンブリア時代末の化石群なので注意。

| 時代区分 | | 年代(年前) | 主な出来事 |
|----------|---------|---------|---------------------------|
| 新生代 | 第四紀 | 260万 | 類人猿の出現 |
| | 新第三紀 | 2300万 | 被子植物の繁栄 |
| | 古第三紀 | 6600万 | 哺乳類の発展 |
| 中生代 | 白亜紀 | 1億4500 | 恐竜・アンモナイトなどの絶滅 被子植物の出現 |
| | ジュラ紀 | 2億100万 | 恐竜・アンモナイトなどの繁栄 |
| | 三畳紀 | 2億5200 | 三葉虫・フズリナなどの絶滅 |
| | (トリアス期) | 2億9900万 | 両生類の繁栄 |
| | ペルム紀 | 2億9900万 | は虫類の出現 |
| | (二畳紀) | 3億5900万 | シダ植物の繁栄 |
| | 石炭紀 | 4億1900万 | 植物が陸上に進出 |
| | デボン紀 | 4億4300万 | |
| 古生代 | シルル紀 | 4億8500 | |
| | 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 |
| | 原 生 代 | 25億 | 多細胞生物の誕生 |
| 先カンブリア時代 | 太 古 代 | 40億 | 酸素の増加 |
| | (始 生 代) | 40億 | 生命の誕生 |
| | 冥 王 代 | 46億 | 地球の誕生 |

問3 難易度：★★★★☆

それぞれの生物について説明する。

地質時代とおもな出来事

- (ア)腕足動物：カンブリア紀に出現し、古生代を通じて繁栄した。シャミセンガイなどが属するが、現生の種はあまり多くない。
- (イ)三葉虫：カンブリア紀に誕生した古生代を代表する節足動物である。絶滅したのは古生代末であるが、シルル紀以降は衰退の一途をたどっていたとされている。
- (ウ)ウミユリ：古生代を通じて繁栄した棘皮動物で、化石は石灰岩中に見られることが多い。現生しており、水質の変化が少ない深海などに生息している。
- (エ)二枚貝：古生代に誕生し、現在も多様性を維持している。中生代に発展し、モノチス・トリゴニア・イノセラムスといった種が示準化石として有名である。
- (オ)哺乳類：中生代三畳紀に出現し、新生代に繁栄し現在に至る。
- (カ)サンゴ：古生代初期から現在に至るまで広く分布し、古生代にはハチノスサンゴやクサリサンゴが登場し発展した。示相化石としても用いられる。
- (キ)は虫類：古生代石炭紀に登場し、現在に至るまでさまざまな種が誕生している。中生代に繁栄を極め、大型は虫類(恐竜)が登場した。
- したがって、カンブリア型動物(カンブリア紀に繁栄・オルドビス紀以降は衰退)は三葉虫、古生代型動物(オ

ルドビス紀～ペルム紀に繁栄)は腕足動物・ウミユリ・サンゴ, 現代型動物(中生代以降多様化)は二枚貝・哺乳類・は虫類であるので、解答は

カンブリア型動物:(イ) 古生代型動物:(ア)・(ウ)・(カ) 現代型動物:(エ)・(オ)・(キ)となる。

問4 難易度:★★★★☆

放射性炭素(^{14}C)法の半減期は約5700年と短く、 ^{14}C がほとんど残っていない古い年代の計測には向いていない。測定限界は数万年程度であり、6600万年以上前の白亜紀の地層の年代測定には適さない。一方、カリウム・アルゴン(K-Ar)法では ^{40}K の半減期が約13億年であり、白亜紀の地層にも対応可能である。したがって、適した年代測定法はカリウム・アルゴン法、理由は上記の理由をまとめればよい。

解答例

(理由) ^{14}C の半減期は数千年程度であり、数千万年前の地層では測定不可能であるから。(39字)

ほかにも何種類か放射年代の測定法は存在する。以下の表にまとめておくので確認されたい。

| 測定法 | 放射性同位体 | 生成される安定同位体 | 半減期(年) | 測定対象 |
|-------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------|
| U-Pb 法 | ^{238}U | ^{206}Pb | 4.5×10^9 | ウラン鉱物 |
| | ^{235}U | ^{207}Pb | 7.0×10^8 | ウラン鉱物 |
| Th-Pb 法 | ^{232}Th | ^{208}Pb | 1.4×10^{10} | ウラン鉱物 |
| Rb-Sr 法 | ^{87}Rb | ^{87}Sr | 4.9×10^{10} | 火成岩, 火山ガラス, 造岩鉱物 |
| K-Ar 法 | ^{40}K | ^{40}Ar , ^{40}Ca | 1.3×10^9 | 造岩鉱物, 花こう岩 |
| ^{14}C 法 | ^{14}C | ^{14}N | 5.7×10^3 | 木片, 貝殻など |

◆Check!! 酸素同位体比

同位体は本問で取り扱ったような年代測定のほかに、環境復元にも用いられている。例えばプランクトン化石中の酸素の安定同位体比は過去の地球気温の推定に用いられている。以下にそのメカニズムを紹介するので確認しておいてもらいたい。

^{16}O を含む水は ^{18}O を含む水より軽く蒸発しやすいので、海から蒸発して形成された雲には ^{16}O が多くなり、降水に含まれる ^{16}O が多くなる。もし寒冷な時期なら ^{16}O を含む降水は氷床となって陸上に残るので、海中の ^{16}O の割合は減る。温暖なら氷床は融解して海に流れ込むので ^{16}O の割合は低くはならない。つまり、海中の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ の値は温暖な時に小さく、寒冷な時に大きくなる。これが海生プランクトンの化石中の酸素同位体比に反映され、地球気温の推定に役立っている。

問 5 難易度：★★★★☆

解答に盛り込むべきポイントは以下の 3 点である。

- ①地層累重の法則より、新しい(現代に近い年代の)地層ほど上位(地表近く)にある。そのため、新しい地層が地表に現れる確率が高くなり、地層の露出面積が広がる。
 - ②地層の露出面積が広いほどその地層の化石は見つかりやすく、また新しい地層であるほど化石は残存しやすい。そのため、新しい地層ほど発見される化石の数が多い。
 - ③化石が多く発見されるほど見つかる生物の種類数も増える。もし仮に種類数が一定だったとしても、化石が見つかりやすい新しい地層ほど見つかる生物の種類数が多くなる。
- これらをまとめると下のようになる。

解答例

現代に近い年代の地層ほど上位にあるため地層の露出面積が広く、また化石が残存する可能性も高いため発見された化石の数は多い。よって現代に近いほど見つかる化石の種類も多く、多様性が増加しているように見える。
(100 字)

(西山学, 笠見京平, 芝田力, 諸星暁之)

2015 年度 北海道大学 前期 地学

3 ENSO

| | |
|-------|--|
| 出題範囲 | 地球環境の変化/海洋の構造 |
| 難易度 | ★★☆☆☆ |
| 所要時間 | 12分 |
| 傾向と対策 | 大学受験では定番の題材である。問4と5以外はCheck!!にまとめた内容が身につけていれば解けるだろう。センター試験などでも頻繁に出題されるので、もしまだ身につけていない人がいたら必ず読んで理解しておこう。問4と5は海洋の鉛直方向の海水温分布について知っておく必要があった。海洋の層構造については図とともに出題されることが多い事項なので、図表などで確認してもらいたい。 |

解答

問1 ①弱く ②東 ③低く ④高く

問2 (ウ)

問3 南方振動

問4 (ウ)

問5 (表層)混合層

しくみ：風や波で混合され海水温が均一化する。(18字)

問6 貿易風が弱まると、もともと西に吹き寄せられていた赤道太平洋表層の暖水が東部に広がる。これにより東部の深海からの冷たい湧昇流が弱まり、東部の海水温が上昇する。(78字)

解説

問1 難易度：★★☆☆☆

エルニーニョ現象発生時には平年に比べて貿易風が弱くなり、平年時に貿易風によって西部に吹き寄せられていた表層の暖水層が東部にも広がる。暖水層は蒸発が活発であるため降水が盛んであり、降水域も暖水層に伴い東部へと移動する。また海面気圧はこれに伴い東部で平年より低く、西部で高くなる。したがって、これらをまとめると①弱く ②東 ③低く ④高く となる。この東西の気圧の変化により貿易風の強さが決まっている。

問2 難易度：★★☆☆☆

エルニーニョ現象やラニーニャ現象は数年に一度の時間間隔で発生している。また、一度起きると半年から2年ほどの期間続くことが観測されている。したがって、(ウ)。

問3 難易度：★★★★☆

南太平洋の海面気圧は、東部が高いときは西部が低く、東部が低いときは西部が高くなる。このような海面気圧の変化は南方振動とよばれる。この海面気圧の変化は貿易風の強弱にかかわっているため、エルニーニョ・ラニーニャ現象とも連動している。これらの大気と海洋の連動をエルニーニョ・南方振動(ENSO, El Niño-Southern Oscillation)とよぶ。また、このように離れた場所で大気と海洋の現象が互いに連動していることをテレコネクションとよぶ。したがって、ここで答えるべき現象名は**南方振動**である。

問4 難易度：★★★★☆

まず、表層の水温の平常時とエルニーニョ時の差は西部のほうが東部よりも小さいため、表層での実線と破線の水温差が大きいAが東部、小さいBが西部とわかる。

次にAでの表層での実線と破線の水温差を考える。東部では平常時は深海からの冷たい湧昇流により表層の海水温は低いが、エルニーニョ時は湧昇流が弱まり海水温が上昇する。したがって、実線が平常時、破線がエルニーニョ時だと判定できる。

また、Bのグラフからも判定できる。平常時は西部に暖水が吹き寄せられ暖水層が厚くなるが、エルニーニョ時は暖水の移動により暖水層の厚さが薄くなる。Bのグラフを見ると実線のほうが暖水層が厚く、これが平常時であることが読み取れる。

したがって、解答は(ウ)。

問5 難易度：★★★★☆

表層混合層とは深さ方向の水温の変化が小さい層のことである。海面上の風や波浪によってかき混ぜられ、海水温が均一化されている。またほかにも、海面上の気温が海面温度よりも低いときは海洋表層が大気に冷やされて熱対流が起きて海水がかき混ぜられる。これも表層混合層ができる一因である。

表層混合層の厚さは季節によって異なる。風が強く、冷却効果の強い冬季には厚くなり、日射によって表層が温められる夏季には対流が弱まり薄くなる。具体的には日本近海では夏季は10~20mほどであるのに対し、冬季は100mを超えることもある。

(表層)混合層

しくみ：

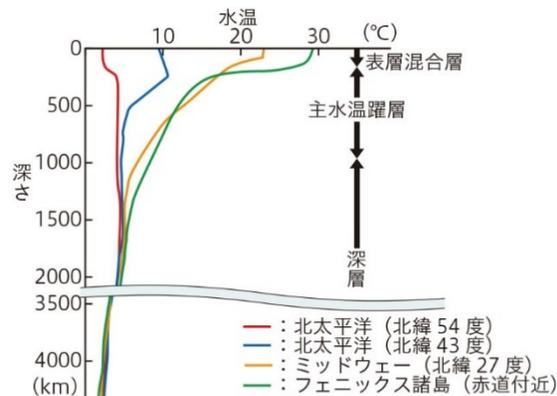
解答例

風や波で混合され海水温が均一化する。(18字)

◆Check!! 海水温の鉛直分布

海洋の鉛直構造は大きく以下の3つから構成される。

- ・(表層)混合層
: 風や波の影響で混ぜられ水温が均一な層
- ・(主)水温躍層
: 水温が深度と共に急激に下がる層
- ・深層
: 水温が約 2°C で一定の層。極域で沈み込んだ海水からなる。



太平洋における海水温の鉛直分布

問6 難易度：★★★★☆

ここまでの問題の内容をまとめる問題である。

- ① 熱帯太平洋の海面気圧が東部で平年より低くなり、西部では高くなって東西の気圧差が小さくなる。これにより貿易風が弱まる。
- ② 平年は貿易風によって表層の暖水が西部に吹き寄せられている。しかし、貿易風が弱まると吹き寄せが弱まり暖水が東部に広がる。
- ③ 平年は東部では冷たい深層水が湧き上がっている。しかし、エルニーニョ現象が起きて暖水が東部に広がると、深層からの冷たい湧昇流が弱まる。こうして東部では平年よりも海水温が上昇する。

これらをまとめると、解答例は以下のようなになる。

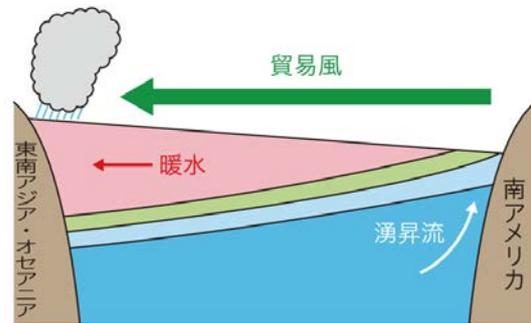
解答例

貿易風が弱まると、もともと西に吹き寄せられていた赤道太平洋表層の暖水が東部に広がる。これにより東部の深海からの冷たい湧昇流が弱まり、東部の海水温が上昇する。(78 字)

◆Check!! エルニーニョ・南方振動

・ 平常

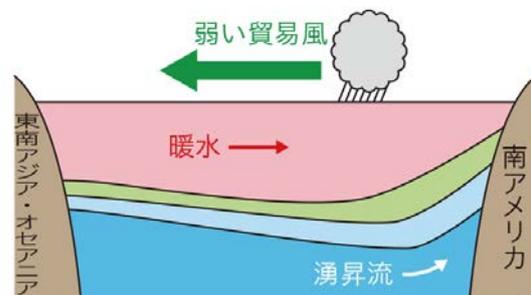
太平洋赤道付近では東風の貿易風が表層の暖水を西側へと吹き寄せ、西側のほうが東側よりも水温が高くなり、東側では海底からの冷たい湧昇流が発生する。これによって西部では海水の蒸発が盛んとなり、水蒸気の供給が活発になり積乱雲が発生する。また、海面の高さも西のほうが吹き寄せられる分高い。



平常時

・ エルニーニョ現象

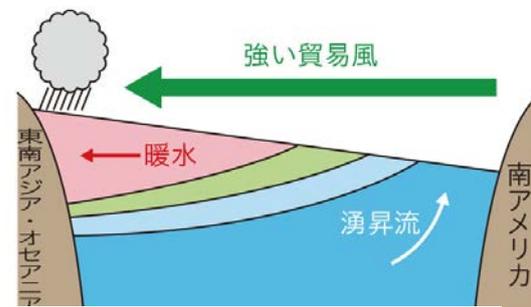
貿易風が弱まると暖水の吹き寄せが弱まり暖水が東側へと広がる。このため東側では湧昇流が暖水の層に阻まれて弱まり、漁業には大きな影響が出る。また、暖水域が東部に広がることで積乱雲の発生地帯は東側に移り、海水面の高さも東西差は小さくなる。



エルニーニョ

・ ラニーニャ現象

貿易風が強まると暖水の吹き寄せが強まり暖水が西部に集中する。これにより東側では冷たい湧昇流が強まり水温の東西差は大きくなる。これにより積乱雲の発生は西側に集中し、平年よりも活発に発生する。また、海水面の高さの東西差も大きくなる。



ラニーニャ

(西山学, 笠見京平, 芝田力, 諸星暁之)

2015 年度 北海道大学 前期 地学

4 HR図と星の明るさ

| | |
|-------|---|
| 出題範囲 | 恒星 |
| 難易度 | ★★★★☆ |
| 所要時間 | 12分 |
| 傾向と対策 | やや計算する問題があり、この年度の中では最も時間がかかる大問であるが、個々の問題としては問2を除いてオーソドックスなものが多い。等級差と星の光度、半径、距離などを絡めた問題はどの大学でも頻出であるから問題集などで練習を積んでおくことが肝要である。問2はHR図の読み方や宇宙年齢、太陽年齢などの知識を知ったうえで思考力が問われる難問である。だが、このような思考の問題も頻出であるからよく復習しておくこと。 |

解答

問1 水素の核融合反応でヘリウムを生成する。(19字)

問2 太陽の寿命は約100億年であり、質量が大きいほど主系列星としての寿命が短いので太陽より小さい星の寿命は100億年を超える。しかし、宇宙の年齢は約137億年であり、太陽より質量が小さい星が(イ)のように主系列星としての寿命を終えているとは考えにくいから。(118字)

問3 aとbの等級差はちょうど10であるので、aの明るさはbの $100 \times 100 = 10000$ 倍である。また、スペクトル型がaとbで同じであるから表面温度が等しいので、明るさの差は表面積の差である。aの半径を R_a 、bの半径を R_b とすると、 $4\pi R_a^2 = 4\pi R_b^2 \times 10000$ であり、 $R_a/R_b = 1 \times 10^2$ 倍

問4 (1) 等級差が6なので、 $100^{-\frac{6}{5}} = 100^{-\frac{1}{5}} \times 10^{-2} \doteq \frac{1}{2.5} \times 10^{-2} = 4 \times 10^{-3}$ 倍

(2) (1)の値を用いて、 $4 \times 10^{-3} \times \left(\frac{1}{0.17}\right)^2 = 0.13 \dots \doteq 1 \times 10^{-1}$ 倍

解説

問1 難易度：★★★★☆

主系列星の内部では4個の水素原子核から1個のヘリウム原子核が生成される核融合反応が起きている。この際に生じる質量欠損が熱エネルギーとなり放出される。ちなみに、核融合反応の過程にはppチェインとCNOサイクルとよばれる2種類があり、太陽と同程度またはそれ以下の質量の星ではおもにppチェイン、太陽よりも質量が大きい星ではおもにCNOサイクルによって核融合反応が起きる。このことも覚えておくとよい。

解答例

水素の核融合反応でヘリウムを生成する。(19字)

問2 難易度：★★★★☆

この問題において必要な知識は以下の4つである。太陽の寿命などの値は覚えておこう。

- ・ 恒星は質量が大きいほど主系列星としての寿命が短く、小さいほど長い。
- ・ 赤色巨星段階(Ⅱ)は主系列星としての寿命を終えた恒星。
- ・ 太陽の寿命=約 100 億年
- ・ 宇宙の年齢=約 137 億年

これらから、太陽よりも質量が大きい星は寿命が 100 億年以下、小さい星は寿命が 100 億年以上であるとわかる。最初の恒星は宇宙が誕生して数億年後に形成されたので、寿命が 130 億年程度(太陽と同程度)以下の恒星でないと現時点で主系列星としての寿命を全うできていないと推察できる。したがって、主系列星としての寿命を終えた(Ⅱ)領域の星に適するのは質量が太陽と同程度もしくはそれ以上の恒星であり、太陽より質量が小さい星が主系列星の段階を終えているとは考えにくい。

これらを指定字数以内にまとめると下のようになる。

解答例

太陽の寿命は約 100 億年であり、質量が大きいほど主系列星としての寿命が短いので太陽より小さい星の寿命は 100 億年を超える。しかし、宇宙の年齢は約 137 億年であり、太陽より質量が小さい星が(Ⅱ)のように主系列星としての寿命を終えているとは考えにくいから。(118 字)

◆Check!! 質量光度関係と恒星の寿命

主系列星の質量 M と光度 L の間には一定の関係があり、光度は質量の 3~4 乗に比例する($L \propto M^{3\sim4}$)とわかっている。これを質量光度関係とよぶ。

また、主系列星の燃料の総量は恒星の質量 M に比例する。一方、燃焼の速さは、放出する単位時間あたりのエネルギーすなわち光度 L に比例するので、主系列星としての寿命 T は M/L に比例する。よって、 $T \propto M/L \propto 1/M^{2\sim3}$ となり、質量が大きい星ほど寿命が短くなるとわかる。

問3 難易度：★★★★☆

a の絶対等級は 1.5, b は 11.5 であるから, a と b の等級差は 10 である。5 等級の差が明るさの 100 倍に相当しているので, a の光度は b の $100^2 = 10000$ 倍である。また, a と b のスペクトル型が同じなので, 両者の表面温度は等しい。ここで光度 L は表面温度 T , 恒星半径 R , シュテファン・ボルツマン定数 σ を用いて, $L = 4\pi R^2 \times \sigma T^4$ と表せるので, a と b それぞれの光度を $L_a \cdot L_b$, 半径を $R_a \cdot R_b$ とすると

$$L_a = 10000 \times L_b$$

$$4\pi R_a^2 \times \sigma T^4 = 10000 \times 4\pi R_b^2 \times \sigma T^4$$

$$R_a^2 = 10000 \times R_b^2$$

$$R_a^2/R_b^2 = 10000$$

$$R_a/R_b = 100 = 1 \times 10^2$$

したがって、a の半径は b の 1×10^2 倍

◆Check!! シュテファン・ボルツマンの法則と恒星の光度

黒体(外部から入射する光をすべて吸収する物体)の表面の 1m^2 から 1 秒あたりに放出される放射のエネルギー E は定数 σ と表面温度 T を用いて、 $E = \sigma T^4$ と表され、これをシュテファン・ボルツマンの法則とよぶ。ちなみに、定数の値は $\sigma \cong 5.670 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ である。

恒星が放射するエネルギーの量はその恒星の表面積、つまり $4\pi R^2$ (R は恒星の半径) に比例しており、半径 R の恒星が 1 秒間に放射する全エネルギー(光度) L は

$$L = 4\pi R^2 \times \sigma T^4$$

で表される。

問 4

(1) 難易度：★★★★☆

HR 図より太陽の絶対等級は 5、星 c の絶対等級は 11 と読み取れるから、星 c は太陽より 6 等級分暗いとわかる。5 等級差が 100 倍の明るさの差であるので、6 等級大きいときの明るさは $100^{\frac{6}{5}}$ 倍となる。よって、

$$100^{\frac{6}{5}} = 100^{-\frac{1}{5}} \times 100^{-1} = \frac{1}{100^{\frac{1}{5}}} \times 10^{-2} \cong \frac{1}{2.5} \times 10^{-2} = 4 \times 10^{-3} \text{倍}$$

この問題では $100^{\frac{1}{5}}$ の値が必要であったが、これは 1 等級差が明るさの約 2.5 倍に対応することを知っていればわかる。この値は覚えておこう。

(2) 難易度：★★★★☆

恒星の見かけの明るさは、恒星そのものの明るさに比例し、恒星と観測点の距離の 2 乗に反比例する。地球から見た太陽の見かけの明るさを L とする。(1) より星 c の明るさが太陽の 4×10^{-3} 倍であり、太陽-地球間の距離は 1AU で星 c-惑星間の距離は 0.17AU であるから、これらを用いて惑星軌道上での星 c の明るさは

$$L \times (4 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{1}{0.17}\right)^2 \text{である。}$$

$$\text{したがって、} 4 \times 10^{-3} \times \left(\frac{1}{0.17}\right)^2 = 0.13 \dots \cong 1 \times 10^{-1} \text{倍}$$

(西山学, 笠見京平, 芝田力, 諸星暁之)