

生 物

第 1 問

抗体に関する次の文章を読み、下の問 1～問 4 に答えよ。

ヒトの遺伝子数は現在約 22,000 と推定されている。一方、抗体はその数をはるかに超える数千万種類も存在することが知られている。このような抗体の多様性はどのようにして作り出されるのであろうか。利根川進博士は、そのしくみとして抗体遺伝子の再構成という現象を発見し、その研究によりノーベル賞を受賞した。体細胞のもつ遺伝情報は不変であるが、形質細胞(抗体産生細胞)に分化する能力をもつ(ア)細胞では、例外的に一つひとつの細胞で抗体遺伝子の再構成が行われる。図 1 は抗体の H 鎖をつくる遺伝子の再構成の過程を模式的に示したものである。V, D, J とよばれる 3 つの領域から、それぞれ 1 つの遺伝子断片が選択され、これらが順に再結合されることで H 鎖遺伝子が新たに構成される。図 1 のように V 領域に 45, D 領域に 23, J 領域に 6 つの遺伝子断片がある場合、これらの領域が再結合するだけで、理論的には(イ)種類の異なる遺伝子を再構成することができる。再構成された範囲は、抗体分子の(ウ)とよばれる領域のアミノ酸配列を指定している。また、この遺伝子断片の再結合の過程で、図 1 の矢印で示す 2 か所において、a いくつかのヌクレオチドがランダムに挿入されることが知られている。再構成された H 鎖遺伝子は核内で転写され、生成された mRNA のもつ情報は、RNA とタンパク質とからなる巨大な複合体である(エ)のはたらきにより(オ)される。抗体では L 鎖遺伝子においても同様の再構成が起こるため、H 鎖と L 鎖で形成される抗体には大きな多様性が生じる。このような機構で合成された抗体は、形質細胞から細胞外へと分泌される。

病原体に対する獲得(適応)免疫応答に関わった(ア)細胞の一部は、病原体が排除された後も生体内に残存し、再び同じ病原体が侵入した際にはこれを標的として速やかに抗体産生を行う。これを(カ)という。このときに産生される抗体の量は最初の応答よりも多いため、速やかに病原体が排除される。弱毒化した病原体やその産物を抗原として体内に注入することで特定の感染症を防ぐ(キ)は、このしくみを利用したものである。

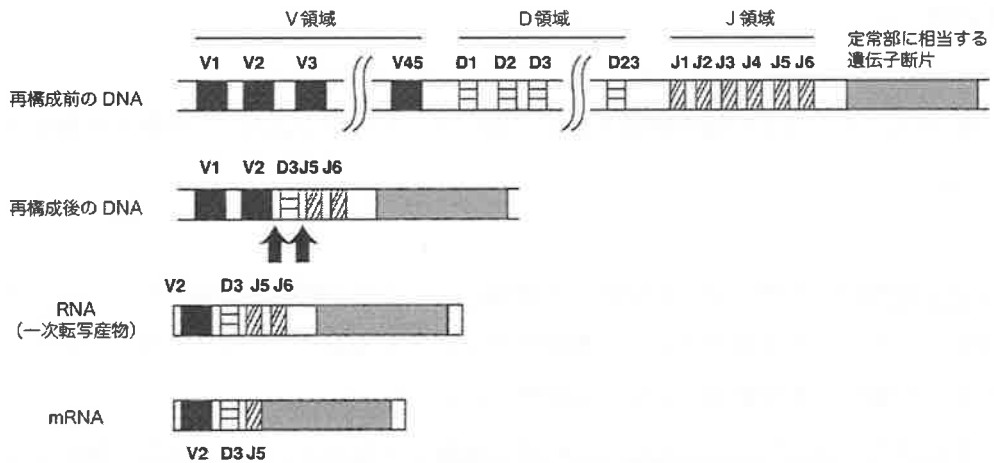


図 1

問 1 文章中の (ア) ~ (キ) に最も適切な語句を入れよ。

問 2 図 1 において、最初に転写された RNA (一次転写産物) と mRNA を比較すると、mRNA では一部の配列が失われていることがわかる。このように一次転写産物の一部の配列が失われる過程を何というか、その名称を答えよ。

問 3 抗体が病原体に結合した後に起こる生体防御反応を 1 つあげて説明せよ。

問 4 下線部 a の過程は、抗体をつくる遺伝子の多様性の増大に寄与しているが、一方で挿入されるヌクレオチドの数によっては、正常な抗体がつくられないことがある。その理由を説明せよ。

第2問

iPS 細胞を用いたすい臓の形成と移植に関する次の文章を読み、下の問1～問4に答えよ。

a iPS 細胞は、皮膚などから採取した細胞に、初期胚や幹細胞ではたらくいくつかの遺伝子を導入して作製する。iPS 細胞はさまざまな細胞へと分化できることから、iPS 細胞を臓器の再生医療に応用する研究が行われている。

b すい臓は、ランゲルハンス島 A 細胞や B 細胞からはホルモンを、外分泌腺からは消化酵素を含むすい液をそれぞれ分泌する臓器である。X 系統のマウス (マウス X) の皮膚の細胞から作製した iPS 細胞を、すい臓を形成できない Y 系統のマウス (マウス Y) の胚盤胞 (胞胚に相当) に注入して発生させると、産まれたマウス Y の体内にすい臓が形成されていた。そのすい臓の各組織には、マウス X とマウス Y に由来する細胞が表1の通りに分布していた。

すい臓から分泌されるホルモンが正常にはたらかないと、血中のグルコース濃度 (血糖値) の調節機能に不具合が生じて糖尿病になる。c 糖尿病を発症したマウス X に、上述した方法でマウス Y の体内に形成されたすい臓を移植したところ、糖尿病の症状が改善された。しかし、d 移植後しばらくして拒絶反応が起こり、移植したすい臓は機能しなくなった。

表1 移植したすい臓の各組織における細胞の分布

細胞	ランゲルハンス島	外分泌腺	血管
マウス X に由来する細胞	あり	あり	あり
マウス Y に由来する細胞	なし	なし	あり

問1 下線部 a に関連して、iPS 細胞や ES 細胞に関する記述として適切なものを、次の①～⑥のうちからすべて選び番号で答えよ。

- ① iPS 細胞や ES 細胞はもともと骨髄や肝臓などにも存在し、組織を構成する分化した細胞をつくるはたらきがある。
- ② プラナリアを切断すると、全身に散在している ES 細胞が切断部に集まり、増殖・分化して再生が起こる。
- ③ ヒトの場合、ES 細胞から分化させた細胞を移植すると、ほとんどの場合拒絶反応が起こる。
- ④ iPS 細胞を培養してカルスをつくり、培養条件を変えることで完全な個体にまで育つ体細胞由来の胚（受精卵からの胚と区別して不定胚という）をつくることができる。
- ⑤ iPS 細胞や ES 細胞は、オーガナイザーのように未分化な胚の細胞にはたらきかけて器官や組織をつくらせるはたらきがある。
- ⑥ 山中伸弥博士は、iPS 細胞を世界ではじめてつくり出すことに成功し、その功績によりノーベル賞を受賞した。

問2 下線部 b に関連して、すい臓の(ア)ランゲルハンス島 A 細胞, B 細胞, および外分泌腺は, (イ)血管とは異なる胚葉に由来する。(ア)と(イ)のそれぞれが由来する胚葉の名称を答えよ。

問3 下線部 c に関連して、図 2 は、マウス X におけるランゲルハンス島から分泌されるホルモンの血中濃度①と血糖値②の、給餌前後の変化を模式的に表したものである。横軸は時間経過を示し、点線は糖尿病を発症した状態の値を、実線はすい臓を移植して糖尿病の症状が改善された状態の値を示している。①のホルモンの名称を答えよ。また、②において、すい臓の移植によって血糖値が低下した理由を簡潔に説明せよ。

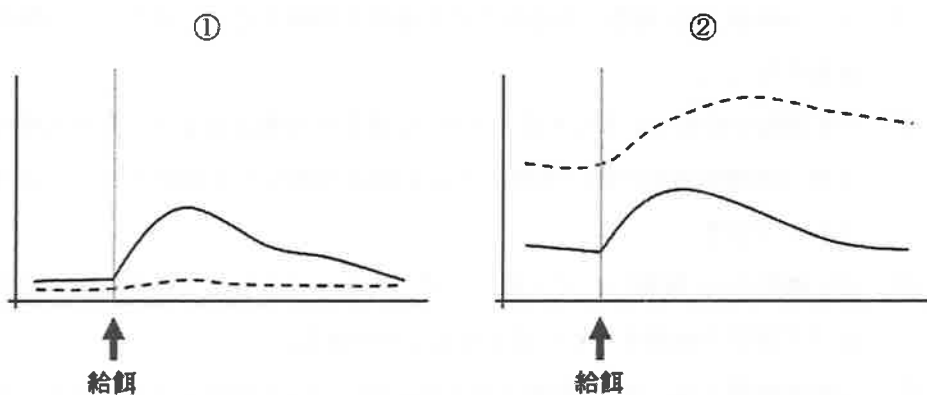


図 2

問 4 下線部 d に関して、マウス Y の体内に形成されたすい臓を、糖尿病を発症したマウス X に移植したときに、拒絶反応が起こった理由を簡潔に説明せよ。

第3問

心臓と血液循環に関する次の文章を読み、下の問1～問5に答えよ。

動物において、心臓は血液を押し出すポンプの作用をしており、血液循環に重要な器官である。脊椎動物の血管系は、心臓から押し出された血液が血管を通過して全身に運ばれ、心臓まで戻る閉鎖血管系である。他方、無脊椎動物の節足動物であるエビやカニの血管系は、心臓から押し出された血液が、間もなく血管から外に出て、いろいろな器官や組織の間を自由に流れてから再び血管に戻る開放血管系である。脊椎動物の心臓は筋肉（心筋）からなり、この心筋の強い収縮により血液を体中に押し出すのである。脊椎動物の心臓の構造は、図3のように血液を送り出す心室と血液が戻ってくる心房とからなり、魚類には1つの心房（1心房）と1つの心室（1心室）があり、両生類は2心房1心室、哺乳類は2心房2心室である。

ヒトの心臓は、休むことなく毎分約70回の（ア）により血液を供給し続ける。この（ア）は、（イ）神経と（ウ）神経により調節されている。血液中の二酸化炭素濃度が増加すると、（イ）神経の末端から（エ）が心臓で分泌され、（ア）が激しくなり、その結果血流量が増し、酸素供給量を高める。反対に、血液中の二酸化炭素濃度が低下すると、（ウ）神経の末端から（オ）が心臓で分泌され、（ア）が緩やかになる。このように循環する血流量は自律神経により適切に調節されている。



図3

- 問1 文章中の（ア）～（オ）に最も適切な語句を入れよ。
- 問2 閉鎖血管系は開放血管系より優れている。どのような点が優れていると考えられるか，簡潔に説明せよ。
- 問3 心筋は横紋筋である。横紋筋が収縮するしくみに関する説の名称をあげ，簡潔に説明せよ。
- 問4 両生類の心臓が哺乳類の心臓より劣る点を簡潔に説明せよ。
- 問5 ヒトの心臓の左心室の筋層は右心室の筋層よりも厚い。それにはどのような理由が考えられるか，簡潔に説明せよ。

第4問

池 A に生息する水生生物に関する次の文章を読み、下の問1～問5に答えよ。

池 A で水生生物の分布調査（調査1）を行ったところ、ミナミメダカやフナ類などの魚類、ヌマエビ類などの甲殻類、魚類や甲殻類を捕食するナマズやドンコなどの肉食性の魚類、カワニナなどの貝類、およびヒシやオニバスなどの水草が確認された。

a このように、さまざまな生物が存在することを（ア）という。この池で確認されたミナミメダカは、その生息数が各地で減少し絶滅の危機に瀕している。このような生物種のことを（イ）という。環境省は、絶滅のおそれのある野生生物種の生息状況などをまとめたレッドデータブックを刊行し、ミナミメダカも（イ）として掲載している。

調査1を実施した2年後に、池 A では魚類のオオクチバスが新たに確認された。オオクチバスは、もともとは日本に生息していなかった生物種であり、（ウ）とよばれる。環境省と農林水産省は、在来の **b 生態系** に及ぼす影響が特に大きな（ウ）を（エ）に指定し、オオクチバスもその1つに選定している。

オオクチバスが池 A の生態系に及ぼす影響を調べるため、再び、水生生物の分布調査（調査2）が実施された。その結果、多数のオオクチバスが確認されたとともに、**c 水生生物の種や個体数が、調査1のときに比べ大きく変化していることがわかった。**さらにその数年後には、アメリカザリガニの侵入も新たに確認された。アメリカザリガニは水草なども好んで摂食する雑食性の（ウ）であり、池 A の水生動植物への影響が懸念された。なお、アメリカザリガニの侵入後にオオクチバスを捕獲して胃内容物を調べたところ、複数の生物種が確認されたが、その中にはアメリカザリガニも含まれていた。

問1 文章中の（ア）～（エ）に最も適切な語句を入れよ。

問2 下線部 a に関連して、（ア）を考える場合に重要となる3つの視点（階層）をあげよ。

問3 下線部 b に関連して、図4は3つの生物種（A, B, C）を例として生態系の構造を図示したものである。図中の（オ）～（ク）に最も適切な語句を入れよ。

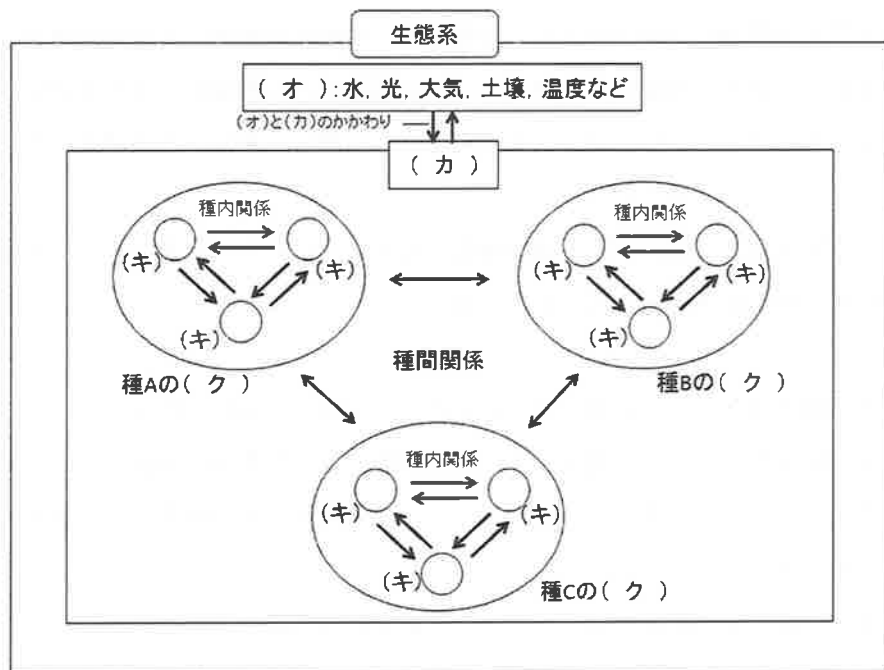


図4

問4 下線部 c に関して、調査2のときの水生生物の種や個体数は、調査1のときと比べてどのように変化していたと考えられるか、150字以内で説明せよ。

問5 オオクチバスとアメリカザリガニが侵入した池Aにおいて、個体数が増加したオオクチバスのみを駆除した場合、池Aに生息している水生生物の種や個体数は、どのように変化すると予測されるか、理由も含めて150字以内で説明せよ。

地 学

第 1 問

プレートテクトニクスに関する次の文章を読み、下の問い（問 1～問 4）に答えよ。

気象学者であったドイツのウエゲナーの提唱した^(a)大陸移動説では、約 3 億年前の地球上に超大陸パンゲアが存在したとされた。その後大陸移動説は、海嶺軸に対称な磁気異常の縞模様の観測や^(b)過去の地磁気極（地磁気の北極）の移動の発見などにより海洋底拡大説へと発展した。さらに、^(c)磁気異常の縞模様から海洋底の拡大速度を求める研究などが行われ、プレートテクトニクス理論が確立されるに至った。

問 1 下線部 (a) に関連して、大陸の移動や分裂について述べた文として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 超大陸パンゲアの復元には、鳥類化石の分布が利用された。
- ② 超大陸パンゲアの復元には、北米大陸に分布する氷河の痕跡が利用された。
- ③ ユーラシア大陸とインド大陸（インド亜大陸）との衝突により消滅した海洋をテチス海という。
- ④ 大陸移動の原動力は、マントル対流であることがウエゲナーによって示された。

問 2 下線部 (b) に関連して、ヨーロッパ大陸と北米大陸から求めた極移動の軌跡が異なる理由を説明せよ。

問 3 下線部 (c) に関連して、海洋底の拡大速度は、同一のプレート内においても場所により異なる。その理由を説明せよ。必要であれば図示してもよい。

問4 図1は太平洋における海洋底の年代と水深との関係を示したものである。海嶺軸から離れるほど海洋の水深が深くなる理由を説明せよ。

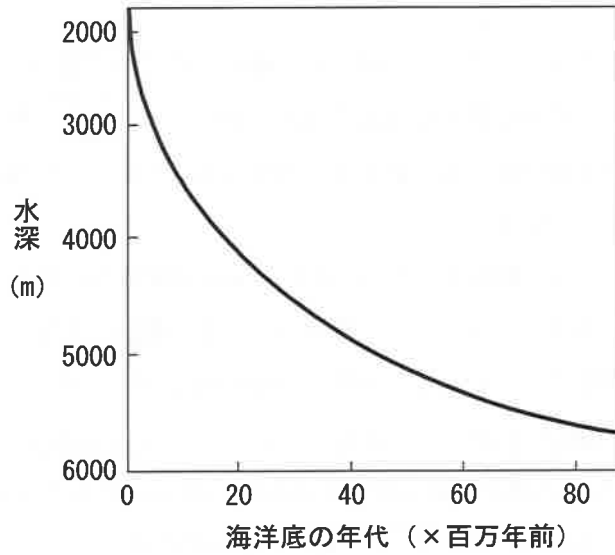


図1

第 2 問

図 2 は、ある地域の地質断面図である。以下の文章を読み、下の問い（問 1～問 4）に答えよ。

A 層は深海に堆積したタービダイトと呼ばれる砂岩と泥岩の互層からなる。砂岩単層の厚さは 5～30 cm で、単層は底から上部に粒径が細くなる **ア** をなしている。泥岩からはペルム紀の放射虫化石を産出する。図 2 に示されるように地殻変動によって地層は変形し褶曲^{しゅうきよく}している。

B 岩体は花こう岩である。鉱物のサイズは 0.5～2 mm 程度の等粒状組織をなす。主な構成鉱物は **イ**、斜長石、カリ長石、黒雲母である。微量に含まれるジルコンを抽出して **ウ** 年代測定を行った結果、8000 万年前の値が得られた。

C 層は河川によって堆積した礫岩主体の地層である。ほとんどが長径 1～20 cm の円^{まる}い礫からなる。厚さ 10 m の流紋岩質凝灰岩の単層 Ct を挟む。Ct に含まれるジルコンを用いた **ウ** 年代は 1600 万年前（**エ** 紀）の値が得られた。

D 層は最終氷期後の縄文海進の時期に、浅海に堆積した未固結の泥層主体の地層で、砂層を挟む。砂層の単層は中粒サイズの砂粒からなり、化石として貝殻の破片を含む。この上面には水流によって形成された **オ** と呼ばれる堆積構造が観察できる。

B 岩体は A 層に貫入している。A 層の①の部分の岩石はホルンフェルスになっていることから、B 岩体による **カ** を受けたことがわかる。A 層・B 岩体と C 層の境界②は **キ** である。

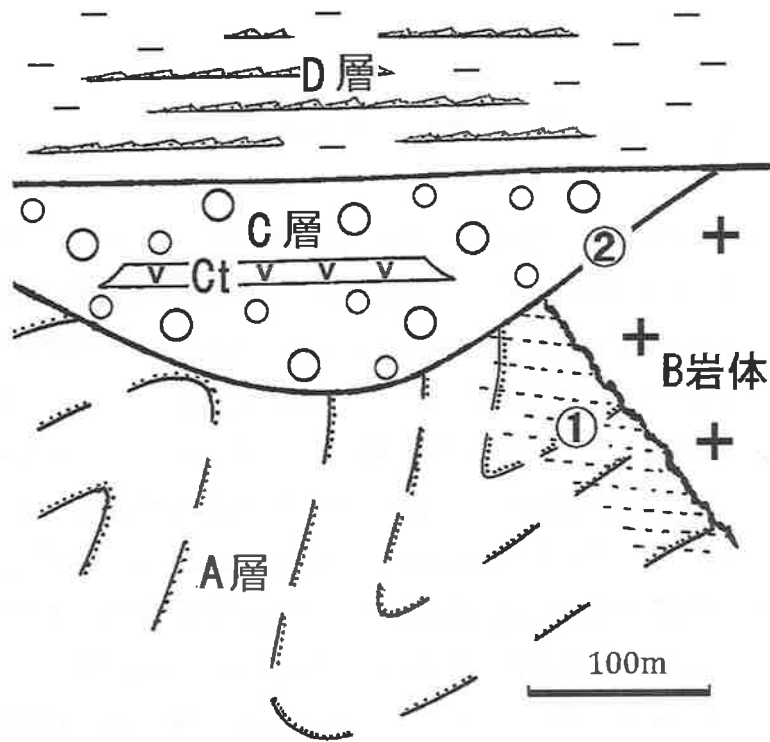


図 2

問 1 文章中の **ア** ~ **キ** にあてはまる最も適当な語を記せ。

問 2 C 層の礫岩に含まれる礫として、可能性がある岩石名を図 2 から推定しすべて記せ。

問 3 D 層堆積時の海進が起こった原因と、それに伴う地理的変化について記せ。

問 4 A 層の褶曲作用がおこった時期はおおよそいつからいつの間と考えられるか、根拠をあげて地質時代で記せ。

第3問

次の文章を読み、下の問い（問1～問5）に答えよ。

地球の大気上端において、太陽光線の進行方向に垂直な 1 m^2 の平面に1秒間に入射する太陽からの放射エネルギー量を^(a)太陽定数という。太陽から地球に入射した放射エネルギー（太陽放射）は、雲や地表面などにより、その一部が宇宙空間へと反射される。入射エネルギーに対する反射エネルギーの割合を $\boxed{\text{ア}}$ という。1年間で平均した、大気上端での放射エネルギー収支を考えると、地球全体として見た場合には、^(b)地球が受け取る正味の太陽放射は、地球が宇宙空間へと放出する放射エネルギー（地球放射）とほぼ釣り合っている。太陽放射のうち、波長 $0.3 \mu\text{m}$ より短い $\boxed{\text{イ}}$ 線のほとんどは、主に熱圏の酸素や $\boxed{\text{ウ}}$ 圏のオゾンによって吸収される。現在の地球表面の平均気温は、大気中の水蒸気や二酸化炭素、メタンなどの温室効果ガスによる^(c)温室効果によって約 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ に保たれている。しかし、^(d)人間活動による地球環境への影響が大きな問題となっている。

問1 文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{ウ}}$ にあてはまる最も適当な語を記せ。

問2 下線部(a)の太陽定数は何 kW/m^2 であるか、有効数字2桁で求めよ。ただし、太陽表面の 1 m^2 の面積から1秒間に放出される放射エネルギー量を 6.3 万 kW/m^2 、太陽の半径を 70 万 km 、太陽－地球間の距離を 1.5 億 km とする。解答欄には計算の過程も示せ。

問3 下線部(b)のように、地球に出入りする放射エネルギーが釣り合っている状態のことを何と呼ぶか、その名称を記せ。

問4 下線部(c)の地球大気の温室効果について、太陽放射と地球放射が果たすそれぞれの役割について説明せよ。

問5 下線部(d)に関連して、現在地球上で観測されている現象のうち、人間活動の影響ではなく、自然現象と考えられる事例として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 酸性雨
- ② エルニーニョ現象
- ③ 二酸化炭素の増加
- ④ 南極上空のオゾンホール

第4問

恒星の性質や進化に関する，以下の問い（問1～問5）に答えよ。

問1 恒星のスペクトル型と絶対等級をそれぞれ横軸と縦軸にとった図を $H-R$ 図とよぶ（図3）。次の文章中の空欄 **ア**～**オ** にあてはまる適切な語を記せ。

恒星のスペクトル型と絶対等級を $H-R$ 図上に記入すると，多くの恒星が線①の近くに並ぶことがわかる。これらの恒星を主系列星とよぶ。いっぽう，線①から大きく逸脱する恒星もあり，②で示した領域に位置する恒星を **ア**，③で示した領域に位置する恒星を **イ** とよぶ。恒星のスペクトル型は，M から B に向かって表面温度が **ウ** くなり，表面温度が約 6000 K の太陽はスペクトル型 **エ** に分類される。恒星の絶対等級が同じであれば，表面温度が低いものほど半径が大きく，スペクトル型が同じであれば，絶対等級の値が小さいものほど半径が **オ**。

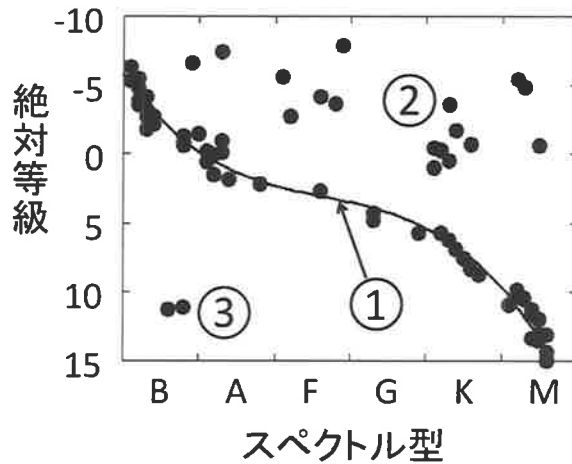


図3

問2 太陽光のスペクトルに見られる特徴を観測することで、我々は太陽大気のエ元素組成を求めることができる。その求め方について説明せよ。

問3 主系列星の光度と質量の間には図4のような関係がみられる（質量光度関係）。この関係を利用して絶対等級が太陽よりも5小さい恒星の質量が太陽の何倍になるかを有効数字1桁で求めよ。解答欄には解答を求める過程も示せ。必要であれば図示してもよい。

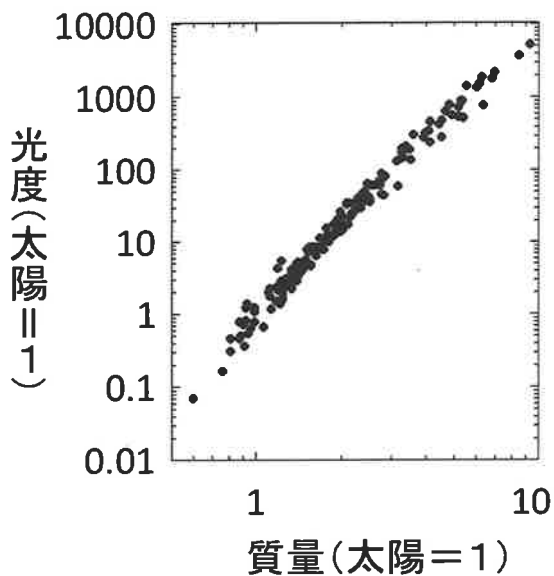


図4

問4 主系列星としての寿命が、質量の大きい恒星ほど短い理由を説明せよ。

問5 恒星に関する次の各文のうち、**適当でないもの**を一つ選び、その番号を解答欄に記入せよ。

- ① 原始星が収縮し、中心の温度が 10^7K を超えると水素の核融合反応が始まる。
- ② 質量が太陽の5倍程度の恒星の中心部では、核融合反応によって鉄までが生成される。
- ③ 質量が太陽の9倍程度の恒星は、進化の最終段階で超新星とよばれる大爆発を起こし、その中心部に中性子星ができる。
- ④ 二つの恒星が、共通重心のまわりを公転している場合、それらの恒星を連星とよぶ。