

令和 7 年度 特色 入 試 問 題

《 総 合 人 間 学 部 》

理系総合問題

100 点 満 点

(注 意)

1. 問題冊子および解答冊子は係員の指示があるまで開かないこと。
2. 問題は全部で 3 題ある (1 ページから 8 ページ)。
3. 解答冊子は全部で 2 冊ある。それぞれの解答冊子は表紙のほかに 6 ページ, 8 ページある。
4. 試験開始後, それぞれの解答冊子の表紙所定欄に受験番号・氏名をはっきり記入すること。
表紙には, これら以外のことを書いてはならない。
5. 解答は問題ごとに指定された解答冊子の解答用ページに書くこと。ただし, 続き方をはっきり示して同じ解答冊子の下書き用ページに解答の続きを書いてもよい。この場合に限って下書き用ページに書かれているものを解答の一部として採点する。それ以外の場合, 下書き用ページは採点の対象としない。
6. 解答のための下書き, 計算などは, 特に指示のない限り, 下書き用ページに書くこと。
7. 解答に関係のないことを書いた答案は無効にすることがある。
8. 解答冊子は, どのページも切り離してはならない。
9. 問題冊子は持ち帰ってもよいが, 解答冊子は持ち帰ってはならない。

I

(25 点)

次の不等式を証明せよ。

$$1 + \frac{11}{1111} < \left(1 + \frac{1}{1111}\right)^{11} < 1 + \frac{12}{1111}$$

II

(25 点)

 D を連立不等式

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq 1 \\ 0 \leq y \leq x^2 - 4x + 3 \end{cases}$$

の表す領域とする。3 点 $A(a, 0)$, $B(0, b)$, $C(c, c^2 - 4c + 3)$ を三角形 ABC が領域 D に含まれるように動かすとき、三角形 ABC の面積が最大となるような a, b, c の値を求めよ。

III

(50 点)

以下の問 1～問 4 に答えよ。必要であれば式や図を用いてもよい。解答用の欄に書き切れない場合は、下書き用の欄に記入してもよい。ただしその場合は、解答のつながりがわかるように明示すること。

- 問 1 14 族元素のうち結晶 Si または Ge を基本組成とした半導体は、図 1 のようなダイヤモンド構造をとり、太陽電池などの基本材料である。ダイヤモンド構造では、1 つの原子に結合している 4 つの原子の中心を直線で結ぶと正四面体になる。この構造に関する以下の (1), (2) に答えよ。解答欄には、計算過程も示すこと。アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, $\sqrt{2} \doteq 1.41$, $\sqrt{3} \doteq 1.73$ を用いてもよい。

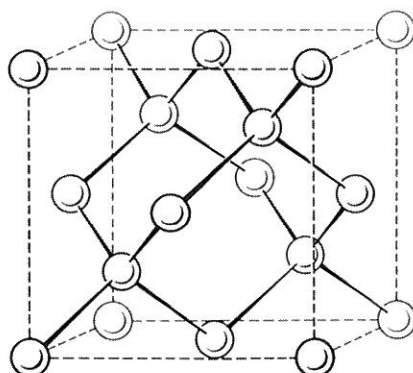


図 1 ダイヤモンド構造の単位格子

- (1) 結晶 Si の立方体単位格子の一辺 a は 0.543 nm である。Si-Si 結合距離 d を有効数字 3 桁で求めよ。
- (2) C, Si の原子量はそれぞれ 12, 28 であり、ダイヤモンドにおける C-C 結合距離は 0.154 nm である。ダイヤモンドと結晶 Si の密度比を有効数字 2 桁で求めよ。 $1.54^3 \doteq 3.7$ を用いてもよい。

問2 次の文章を読み、下線部の問に答えよ。

ある種の海洋に生育する動物プランクトンは、昼間は深さ数百メートルの深層で活動し、夜間に水面近くに浮上して捕食する特性をもつ。この行動は日周鉛直移動といわれている。このような動物プランクトンの行動特性には、特定の波長の光を吸収して機能を発揮するような光受容体分子が重要な働きをしていると考えられている。動物プランクトンの脳を構成する神経細胞は、静止状態において、神経細胞内の電位（膜電位）は細胞外に比べて負（マイナス）になっていることが知られており、膜電位が逆転して正（プラス）の特定のしきい値を越えると、活動電位を発生して興奮する。上述の光受容体分子は、動物プランクトンの脳に存在しており、光を吸収して神経細胞を興奮させることで、日周期の深層へ向かう遊泳行動を引き起こすことが知られている。この時、光受容体分子はどのような波長の光を感知して、細胞内のどのような分子メカニズムによって神経細胞の興奮を引き起こしていると推察されるか、記述せよ。なお、動物プランクトンの脳における神経細胞内外の主要なイオン濃度は、表1の値であるとする。図2は、海水の単位深さあたりの光透過率スペクトルを示している。細胞膜は、イオンをほぼ完全に透過させないが、図3にあるように、細胞膜にはチャネルやポンプと呼ばれる膜輸送タンパク質が存在し、それぞれ特定の種類のイオンの出入口となっていることが知られている。また、チャネルは細胞内外の濃度勾配に従ったイオン輸送のみを可能にするが、ポンプは濃度勾配に逆らった輸送も可能であることが知られている。

表1 静止状態にある神経細胞内外の主要なイオン濃度

イオン	細胞内の濃度 (mM)	細胞外の濃度 (mM)
Na ⁺	10	1.5×10^2
K ⁺	1.4×10^2	5.0
Mg ²⁺	0.50	1.5
Ca ²⁺	1.0×10^{-4}	1.5
H ⁺	7.0×10^{-5}	4.0×10^{-5}
Cl ⁻	10	1.1×10^2

単位：mM(ミリモラー) = 1.0×10^{-3} mol/L

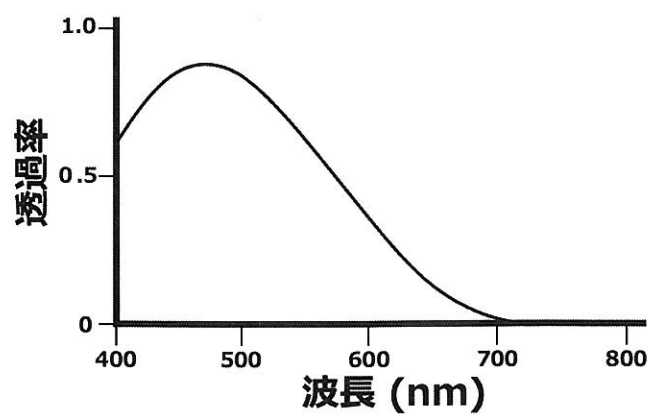


図 2

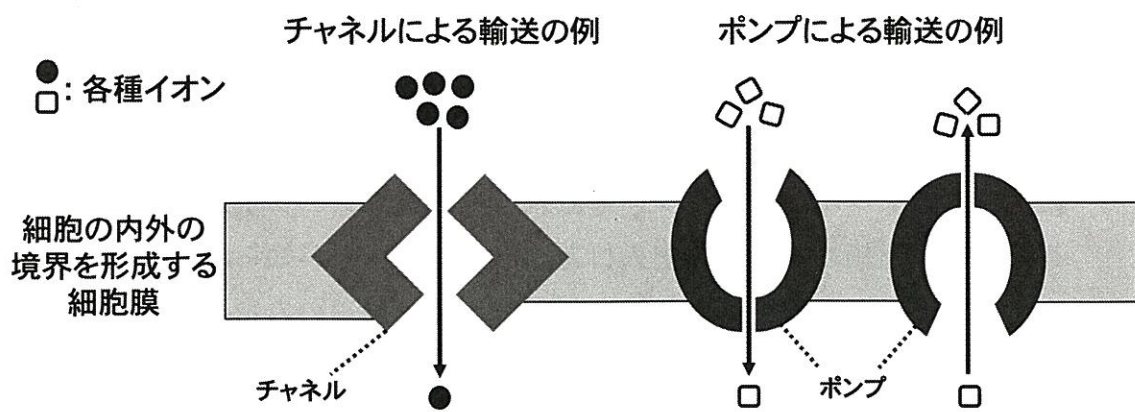


図 3

問3 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

人類の月での持続的な活動を目指すアルテミス計画がNASAより提案され、近い将来、我が国の宇宙飛行士が月で活動する日が実現する。月では、宇宙飛行士が居住区外で活動する場合、質量120キログラム以上の船外宇宙服を着用して、地球の6分の1の重力加速度のもとでの歩行移動が必要となる。地球上と比較して月面での歩行は不安定であり、転倒リスクは高い。さらに、月は地球と比較して地形の起伏が大きいことから、月面で宇宙飛行士が船外活動を行うことは極めて危険である。月面での転倒は、宇宙飛行士の生命に関わる深刻な問題である。それゆえ、月面環境下で安定かつ効率的な船外活動を可能とするヒト型二足歩行ロボットの開発が喫緊の課題であろう。

問 下線部に関して、ヒトの筋肉に相当する動力源はモーターである。筋肉の動的特性である「力-速度関係」は図4Aのような曲線になる。筋肉の力学的パワー（仕事率）を図4Aから求めると、筋肉が発揮できる力の最大値（最大筋力）の約0.35を発揮しているとき、力学的パワーは極大値をとる（図4Bの破線）。力学的パワーが大きいということは、エネルギーを多く消費していることを意味している。筋肉が最大筋力を発揮している場合、速度はゼロとなり、力学的パワーもゼロとなる。エネルギー消費は力学的パワーと正比例関係にあるため、筋肉が最大筋力を発揮しているときはエネルギー消費もゼロになると考えられる。しかし、筋肉は力を発揮する際、熱という形でエネルギーを産生する（図4Bの実線と破線の差分）ことが実験的に明らかになっている。つまり、筋肉全体のエネルギー発生率を求める際には、「力学的パワー」と「熱」という2つの要素を考慮に入れる必要がある。モーターの「力-速度関係」は筋肉とは異なる（図4C）。モーターが発揮できる力の最大値の0.5を発揮しているとき、力学的パワーは極大値をとる（図4Dの破線）。モーターの力とエネルギー発生率（力学的パワーと熱の和）は、筋肉と異なり正の直線関係にある（図4Dの実線）。

二足歩行ロボットは、骨組みと関節で構成されるリンク機構で歩行し、関節は質量の大きなモーターにより駆動される。足関節（足首）にもモーターが必要なため、ヒトに比べ末端部の質量が極端に大きく

なる。二足歩行ロボットの進歩はめざましいが、現時点において、月面環境下でヒト型二足歩行ロボットは船外活動を長時間行うことができないと考えられている。その理由を、動力源の力とエネルギー発生率との関係から説明せよ。

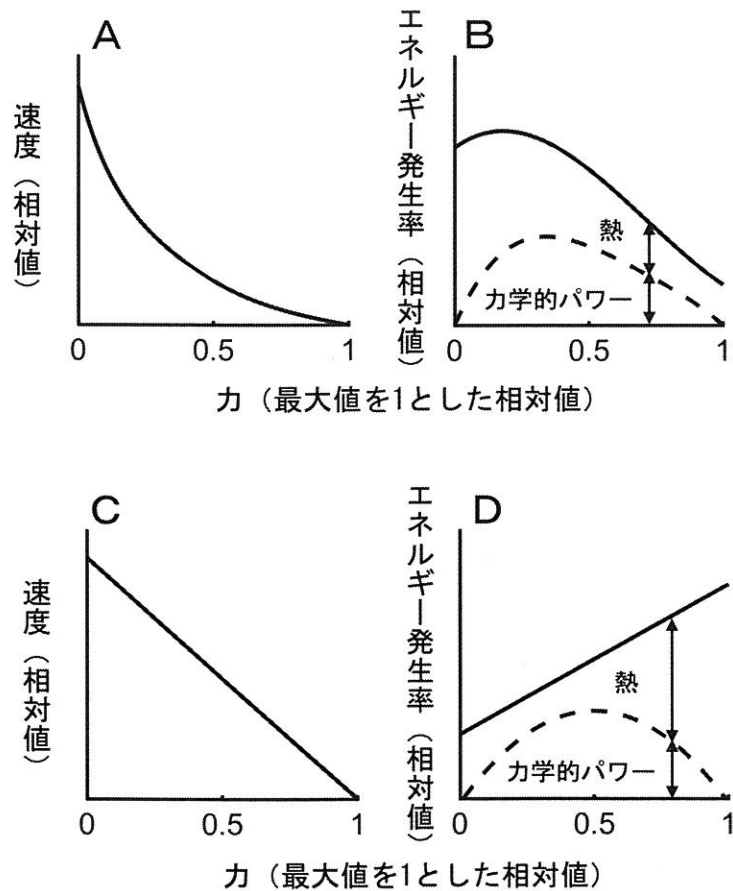


図4 A：筋肉の「力-速度関係」、B：筋肉の「力-エネルギー発生率関係」
C：モーターの「力-速度関係」、D：モーターの「力-エネルギー発生率関係」

問 4 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

地球の海は、46 億年前に地球が誕生した後、少なくとも数億年以内に形成され、現在まで存在し続けてきたと考えられている。海水量を支配している主な要因には、海水の蒸発と降水とのバランスに加えて、プレートテクトニクスを介した地球内部と表層との間の水循環がある。海溝からマントルへと沈み込んでいくプレートには、プレートを構成する岩石が海水と反応して形成された含水鉱物が含まれている。含水鉱物とは、その結晶構造の中にヒドロキシ基 (OH) や H_2O 分子を含む鉱物のことである。プレート内の含水鉱物の大部分は、深さ数百キロメートル以浅で分解して液体の水を放出する。放出された水の大半は、鉱物中や鉱物粒子間に不純物や微小な液体相として固定され、マントル対流によって数億年の時間をかけてマントル全体へと広がっていく。一方、マントル物質が溶融してマグマが生成される場では、溶融するマントル物質中の水分（含水鉱物中に固定された分も含む）の大部分がマグマに溶け込む。マグマがマントル中を上昇して地表付近に近づくと、マグマから水分が、液体の水あるいは水蒸気となって分離し、表層に放出される。放出された液体の水や水蒸気は、河川水や降水となってやがて海へと運ばれる。

問 単位時間あたりにプレートによって地球内部に運ばれる水の質量が、単位時間あたりにマグマから表層に放出される水の質量とほぼ等しく、かつ、どちらも一定にある状態を初期状態とする。この状態がしばらく続いた後、ある時代にプレートの移動速度が変化し、単位時間あたりにプレートによって地球内部に運ばれる水の質量が減少していき、数億年後に最初の値の半分程度になったところで再び一定になったとすると、海水の質量は、初期状態から時代とともにどのように変化すると考えられるか、説明せよ。ただし、単位時間あたりに生成されるマグマの質量は、マントル物質中の水分濃度と正の相関があるものとする。また、海水の蒸発と降水の影響は考えなくてよい。