

2020年度 名古屋大学大学院環境学研究科
地球環境科学専攻 大気水圏科学系
博士前期課程 普通入試 筆記試験問題

【専門科目】

(注意事項)

- (1) 解答開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはならない。
- (2) この問題冊子は、専門科目に関するものである。問題部分は19頁ある。
- (3) 下記の7科目のうちから2科目を選択し、解答しなさい。
・地球環境学 ・地球物理学 ・地球化学 ・物理学 ・化学 ・生物学 ・数学
- (4) 解答用紙は問題冊子とは別に配布する。
- (5) 解答用紙は各科目につき2枚ずつあり、「化学」の問題2専用の解答用紙(1枚)と併せて合計5枚が綴じられている。「地球環境学」・「物理学」・「生物学」については、問題ごとに別の解答用紙を使用すること。
- (6) 解答用紙は所定の枚数以上を使用してもかまわない。配布された解答用紙では不足する場合、監督者まで申し出ること。
- (7) 解答用紙のすべてに受験番号および科目を記入すること(氏名は記入しない)。
- (8) 解答には黒の鉛筆かシャープペンシルの使用を推奨する。
- (9) 試験に際して、監督者が配付する電卓を使用してもよい。
- (10) 携帯電話を含むすべての電子機器(時計および配布する電卓を除く)の電源を切ってカバン等にしまうこと。身につけていてはいけない。
- (11) 試験時間は13時30分から16時30分までである(開始後30分までは入室可)。
- (12) 試験中に気分が悪くなるなど、必要な場合は監督者に申し出ること。
- (13) 試験問題の内容に関する質問は一切受け付けない。
- (14) 試験終了後、問題冊子は持ち帰ってよい。

・選択した2科目を○で囲みなさい。

地球環境学	地球物理学	地球化学	物理学
化学	生物学	数学	

・下欄に受験番号と提出する解答用紙の枚数を記入し、この表紙を問題冊子から取り外して、解答用紙の上に重ねて提出しなさい。

受験番号		提出する解答用紙の枚数	枚
------	--	-------------	---

問題訂正（地球物理学）：

問題 5 問 2

問題文一行目「問 1 を利用して,」を

問題文二行目「この時の黒潮の流速を,」の前に移動。

地球環境学

以下の問題 1～問題 2 を全て解答しなさい。

問題 1 地球温暖化に伴う氷の融解などによって、今後数百年間に起こる海水準の上昇が懸念されているが、次頁の図 1、2 に示すように海域毎の海水準の変動パターンは複雑である。海水準の変動に関する以下の問 1～4 に答えなさい。

問 1 過去 100 年間に地球の平均海水準は約 15 cm 上昇した。地球上に存在する以下の A～D の 4 つの種類の氷の中で、その融解が過去 100 年間の平均海水準の変化に、相対的に「大きく寄与したもの」と「寄与していないもの」を、それぞれ 1 つずつ選び、その理由と共に述べなさい。ここでは、「氷の融解による太陽光反射率（アルベド）の減少が温暖化を加速し、他の種類の氷の融解を促した可能性」などの「間接的な寄与」は考えないものとする。（それぞれ 100 字程度）

- A. 北極海の海氷
- B. 南極大陸の氷床
- C. グリーンランドの氷床
- D. 南極大陸とグリーンランドの氷床以外の山岳氷河

問 2 今後数百年間に、温暖化が地球の平均海水準を上昇させるプロセスの中には、氷の融解以外に大きな役割を果たすものがある。そのプロセスが今後の海水準変化に与える影響の見通しも含めて、そのプロセスについて説明しなさい。（100 字程度）

問 3 次頁の図 1 のように、人工衛星で観測された近年（1993～2012 年）の海水準の上昇率は地球上の海域毎にさまざまであり、東太平洋では小さく、西太平洋では大きい。これには大気海洋循環系の変動が関わっており、北米の San Francisco と南米の Antofagasta および西太平洋の Pago Pago の潮位計のデータには、太平洋の東と西の間で海水面がシーソーのように数年ごとに上下するエルニーニョ・南方振動（ENSO）の影響もみられる。1982～83 年と 1997～98 年が顕著なエルニーニョの年であったことを考慮して、Antofagasta と Pago Pago の潮位計のデータを、図 2 の A～D の 4 つの中から、それぞれ 1 つずつ選び、その理由を述べなさい。（あわせて 150 字程度）

問4 沿岸の潮位計で観測される海水準の変化は、実際には、海面高度の変化から陸面高度の変化を引いた相対海水準の変化に対応している。Manila では沿岸陸域での地下水の過剰な汲み上げが、Stockholm では最終氷期に存在していたスカンジナビア氷床の融解と消失が、それぞれの陸面高度の長期的な変化に影響している。Manila と Stockholm の潮位計のデータを、図2のA~Dの4つの中から、それぞれ1つずつ選び、その理由を述べなさい。(あわせて150字程度)

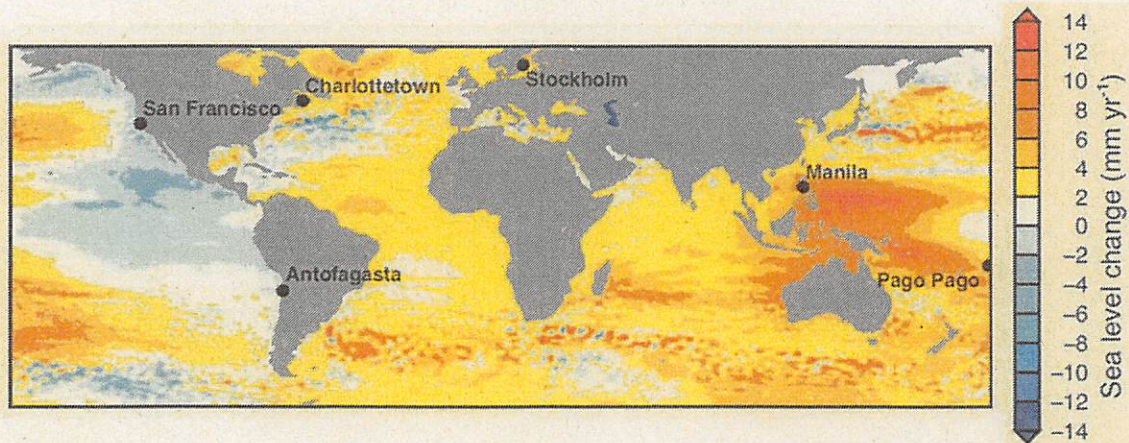


図1 1993年から2012年の間に人工衛星を使って測定された世界の海水準の平均変化速度の分布[IPCC WG1 (2013) FAQ13.1 Fig.1より]。(図中の6つの地点は、図2の潮位計のデータが取得された地点を示す)

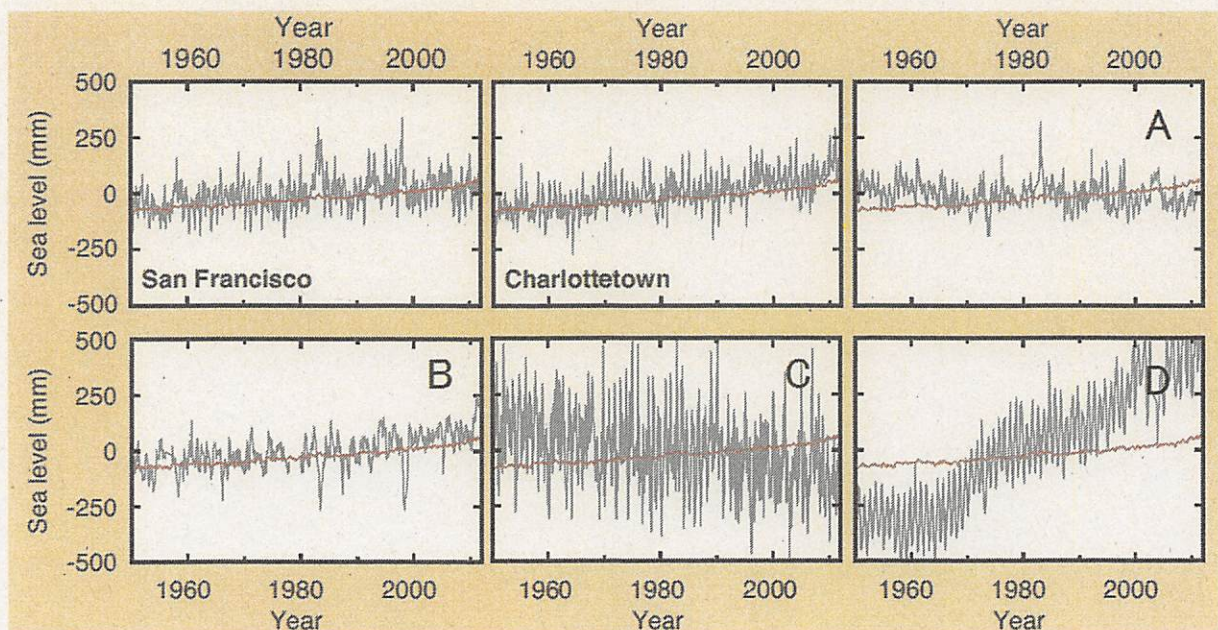


図2 世界の6地点(図1参照)で観測された潮位計による相対海水準の変化[IPCC WG1 (2013) FAQ13.1 Fig.1より]。図中の赤線は、地球全体で平均した海水準の変化を示す。潮位計のデータにみられる一年周期の規則的な変動は、海水準の季節変動に対応しているので、ここでは考慮しなくて良いものとする。

問題2 国連気候変動枠組条約に関連した地球の炭素循環の推計においては、人為的に排出される二酸化炭素の発生源として化石燃料の燃焼と土地利用変化の二つが考えられている。また気候変動対策に関する国際的な取り決めとして、2015年12月に国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）においてパリ協定が合意された。これらのことについて以下の問1～4に答えなさい。

問1 人為的な二酸化炭素の発生源のうち、土地利用変化による二酸化炭素排出とはどのようなものか。例をあげて50字程度で答えなさい。

問2 石炭火力発電所の排気に含まれる二酸化炭素は人為的な排出として計上されるが、木質バイオマス発電所の排気に含まれる二酸化炭素は計上されない。その理由を150字程度で説明しなさい。

問3 パリ協定では「今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と人為的な吸収源による除去量との間の均衡を達成する」とされた（第4条）。この目標を達成するためには具体的にどのような方策をとればよいか。考えられる方策をその実現可能性や技術的・社会的課題にも言及しながら200字程度で論じなさい。

問4 パリ協定では気候変動に対する対策として緩和策と適応策を進めていくことが定められている。緩和策とは人為的な温室効果ガスの排出を抑制し吸収源による吸収を増加させるなどして気候変動の進行を遅らせる方策である。では適応策とは何か、例をあげて150字程度で説明しなさい。

地球物理学

以下の問題 1～問題 5 を全て解答しなさい。また、導出過程も示しなさい。

問題 1 図 1 のように 1 つの薄い層で代表させた水平一様な等温大気を考える。この大気の放射平衡状態における気層の温度 T_a (K) および地表面温度 T_g (K) を有効数字 3 桁で求めなさい。ただし、気層の上端における日射量 I は、気層において 10% が吸収され、地表面において残りの 90% が全て吸収され反射はないものとする。また、気層と地表面において、赤外放射は 100% 吸収されるものとする。なお、ステファン・ボルツマン定数は $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ であり、 $I = 240 \text{ W m}^{-2}$ とする。

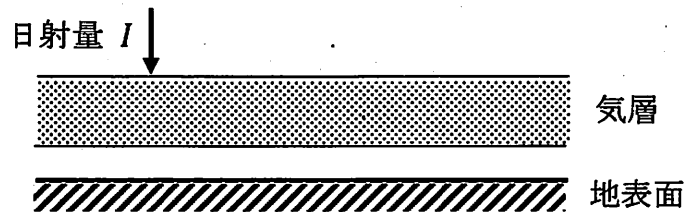


図 1

問題 2 以下の問 1～問 2 を解答しなさい。

問 1 ある空気塊の温位 θ は、

$$\theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{R_d/C_p}$$

と表すことができる。ここで、 T は気圧 p における気温、 R_d は乾燥空気の気体定数、 C_p は定圧比熱、 p_0 は標準気圧である。乾燥断熱変化をしている空気塊では温位が保存されることを示しなさい。

問 2 乾燥大気の静的安定性に関して、「安定」、「不安定」のそれぞれの状態について温位の高度分布例を図示し、その理由を説明しなさい。

問題3 以下の問1～問2を解答しなさい。

問1 大気中における水滴の終端落下速度（重力と抵抗力がつり合う速度）は水滴の大きさにより異なる。これは空気が粘性を持っているためであり、球形を仮定したときに水滴が受ける抵抗力は、 $6\pi\eta rv$ と表すことができる。ここで η は空気の粘性係数、 r は水滴の半径、 v は水滴の終端落下速度である。水滴を球形と仮定したときの終端落下速度を求める式を示しなさい。水の密度を ρ 、重力加速度の大きさを g とする。

問2 問1を利用して、水滴の半径が 0.02 mm のときの終端落下速度を有効数字2桁で求めなさい。ただし、空気の粘性係数を $1.8 \times 10^{-5}\text{ N s m}^{-2}$ とし、重力加速度の大きさを 9.8 m s^{-2} とする。また、水の密度は $1.0 \times 10^3\text{ kg m}^{-3}$ とする。

問題4 以下の問1～問2を解答しなさい。

問1 海洋において水平方向に圧力傾度がない状態での水塊の運動を考えると、水塊は水平面内の円運動をする。これを慣性振動と呼ぶ。慣性振動時における力のつり合いの式を示しなさい。ただし、水塊の速度を v （時計回りを正とする）、回転半径を r 、コリオリパラメータを f とする。

問2 問1を利用して、北緯30度における慣性振動の周期を有効数字3桁で求めなさい。ただし、 $f = 2\Omega\sin\phi$ （ Ω は地球の自転の角速度、 ϕ は緯度）である。

問題5 以下の問1～問2を解答しなさい。

問1 海洋において、水平距離 Δx に対して海面の高度が Δh だけ高くなる傾いた海面を考える。静水圧のみを考慮し、単位体積の海水に対する水平方向の圧力傾度力 F を、 Δx および Δh を用いて示しなさい。ただし、海水の密度を ρ 、重力加速度の大きさを g として用いること。

問2 問1を利用して、日本近海の北緯30度において、黒潮の流れに直交する方向の海面高度の差が水平距離 100 km につき 1 m であったとする。この時の黒潮の流速を、地衡流を仮定して、有効数字2桁で求めなさい。ただし、コリオリパラメータ $f = 2\Omega\sin\phi$ （ Ω は地球の自転の角速度、 ϕ は緯度）とし、重力加速度の大きさを 9.8 m s^{-2} とする。

地球化学

以下の問題 1～問題 3 を全て解答しなさい。なお、数値を求める問題では、解答用紙に導出過程も示しなさい。

問題 1 以下の①～⑥に示す大気中の気体成分に関して、問 1～問 5 に答えなさい。

ただし、問題文中の濃度とは、水蒸気を除いた乾燥大気中における体積混合比を指し、単位として用いられる ppm は 10^{-6} を指す。

① Ar ② CH₄ ③ CO₂ ④ N₂ ⑤ O₂ ⑥ CCl₂F₂

問 1 対流圏大気中の He の平均濃度は 5.2 ppm である。現在の対流圏大気中における各成分の平均濃度を He と比較した時、He よりも平均濃度が高い成分をすべて選び、番号で答えなさい。

問 2 問 1 の He の平均濃度を用いて、25 °C の乾燥した対流圏大気 1 m³ 中に含まれる He の総質量 g を有効数字 2 桁で求めなさい。ただし、この乾燥大気の圧力は 10^5 N m^{-2} とする。また、必要であれば、以下の値を用いなさい。He の原子量：4.0、気体定数： $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 。なお、He は理想気体として良い。

問 3 現在の地球大気中における各成分の平均濃度を、太古代（40 億年前から 25 億年前まで）の地球大気中における平均濃度と比較した時、太古代よりも減少していると思われる成分の一つを選び、番号で答えなさい。また減少した理由を 50 字以内で説明しなさい。

問 4 ③の CO₂ は赤外放射活性気体（温室効果気体）として知られている。CO₂ 以外の赤外放射活性気体をすべて選び、番号で答えなさい。

問 5 1987 年に採択されたモントリオール議定書によって工業的な製造が禁止された成分をすべて選び、番号で答えなさい。また製造が禁止された理由を 50 字以内で説明しなさい。

問題2 以下の①～⑥に示す海水中の溶存成分に関して、問1～問5に答えなさい。

① Cl^- ② Mn^{2+} ③ HCO_3^- ④ NO_3^- ⑤ O_2 ⑥ Ca^{2+}

問1 主要溶存成分に分類される成分を三つ選び、番号で答えなさい。

問2 栄養塩に分類され、各海域におけるその濃度や供給速度が一次生産量の大小に直結する成分をすべて選び、番号で答えなさい。

問3 一般の外洋海水中では不安定で、深度によらずほとんど溶存していない成分を一つ選び、番号で答えなさい。

問4 表面水と深層水で濃度を比較すると、深層水の方が一般に低い濃度を示す成分を一つ選び、番号で答えなさい。またこのような鉛直的に不均一な分布が生じる理由を100字以内で説明しなさい。

問5 温暖な亜熱帯海域の表面水と寒冷な亜寒帯海域の表面水で濃度を比較すると、亜熱帯海域の方が一般に低い濃度を示す成分を一つ選び、番号で答えなさい。またこのような水平的に不均一な分布が生じる理由を100字以内で説明しなさい。

問題 3 ある発電所が爆発事故を起こし、その周辺の半径 10 km 圏内（地表はすべて土壌で覆われている）が立ち入り規制区域となった。事故発生から 30 年経過したところで規制区域内に立ち入り、ある 10 cm 四方の範囲の土壌を丸ごと採取して分析したところ、 ^{134}Cs の放射能は 0.010 Bq、 ^{137}Cs の放射能は 160 Bq であることが明らかになった。 ^{134}Cs や ^{137}Cs はすべて爆発事故発生時に発電所から放出され、ただちに土壌に沈着したものであり、さらに、最初に沈着した場所からそれ以外の場所やリザーバー（地下水や地下深部、規制区域外など）への移行や流出はすべて無視できるものと仮定して、以下の問 1 ～問 5 に答えなさい。なお、Bq は放射性物質が 1 秒間に崩壊する原子の個数を表し、 ^{134}Cs の半減期は 2.0 年、 ^{137}Cs の半減期は 30 年、アボガドロ定数は 6.02×10^{23} とする。

問 1 同じ土壌試料から ^{90}Sr も検出された。 ^{90}Sr もすべて爆発事故で発電所から放出されたものとする、この発電所ではどのような元素を含む物質を原料とし、どのような種類の反応を用いて発電が行われていたと考えられるか。あわせて 50 字以内で説明しなさい。

問 2 この土壌試料の ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能は、爆発事故発生直後はどのくらいあったと考えられるか。それぞれ有効数字 2 桁で求めなさい。またその時の ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比（ $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比）も、有効数字 2 桁で求めなさい。

問 3 この土壌試料の ^{137}Cs の放射能が 10 Bq になるまであと何年かかるか。今回の観測時から起算した年数を、有効数字 2 桁で求めなさい。

問 4 今回の観測時にこの土壌試料中に含まれていた ^{134}Cs と ^{137}Cs の総 mol 量を、それぞれ有効数字 2 桁で求めなさい。

問 5 爆発事故で放出された ^{134}Cs と ^{137}Cs は規制区域内に均一に沈着し、かつ規制区域外への沈着は無視できるものと仮定して、爆発事故で放出された ^{134}Cs と ^{137}Cs の総 mol 量を、それぞれ有効数字 2 桁で求めなさい。

物理学

以下の問題1～問題2を、それぞれ別の解答用紙に分けて、全て解答しなさい。

問題1 図1のように、鉛直下向きの一様な重力場（重力加速度の大きさ g ）のもとで、質量 m 、半径 a の密度一様な円柱を、水平から角度 θ をなす斜面上におき、時刻 $t=0$ で静かに手を離す。円柱は斜面に沿って下向きに進むものとし、その距離を x とする（円柱の回転軸は常に図1の紙面に垂直とする）。円柱については、その回転軸周りの慣性モーメントを I とし、重心の速度を v 、回転角速度を ω とする。また、円柱と斜面との間に働く摩擦力を f とし、転がり摩擦は無視できるものとする。以下の問1～問4に答えなさい。

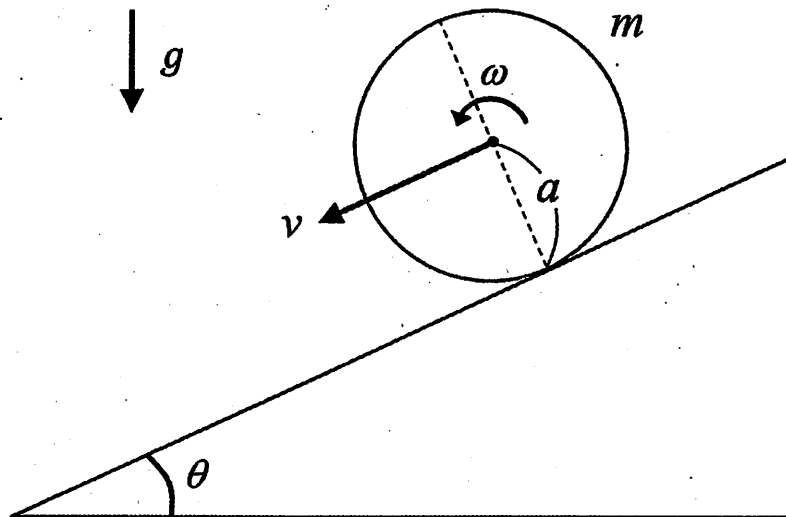


図1

問1 円柱の慣性モーメントは、 $I = \frac{ma^2}{2}$ となることを示しなさい。

問2 円柱が斜面を滑らずに、転がり落ちる場合について、以下の(1)～(6)の問いに答えなさい。

- (1) 円柱の重心の、斜面に沿った方向の運動方程式を、 m 、 v 、 f 、 θ 、 g を用いて書きなさい。
- (2) 円柱の回転の運動方程式を、 I 、 ω 、 f 、 a を用いて書きなさい。
- (3) 円柱の重心の速度 v と回転角速度 ω の関係を示しなさい。
- (4) 時刻 t における円柱の重心の速度 v 、進んだ距離 x 、回転角速度 ω を求めなさい。ただし、円柱の慣性モーメント I には問1の表記を用いること。
- (5) 円柱の力学的エネルギーが保存することを示しなさい。

(6) 摩擦力 f を, m , θ , g を用いて書きなさい.

問3 θ がある角度 θ_1 より大きくなると,円柱は滑りながら転がり落ちるようになる.
この角度 θ_1 を用い, 円柱と斜面の間の静止摩擦係数 μ を表しなさい.

問4 円柱が滑りながら, 転がり落ちる場合 ($\theta > \theta_1$) について, 以下の(1), (2)の問いに答えなさい.

(1) 円柱の重心の, 斜面に沿った方向の運動方程式, および回転の運動方程式をそれぞれ書きなさい. ただし, 円柱と斜面の間の動摩擦係数を μ' とする.

(2) この場合, 円柱の力学的エネルギーは保存しない. なぜ保存しないのか, 理由を述べなさい.

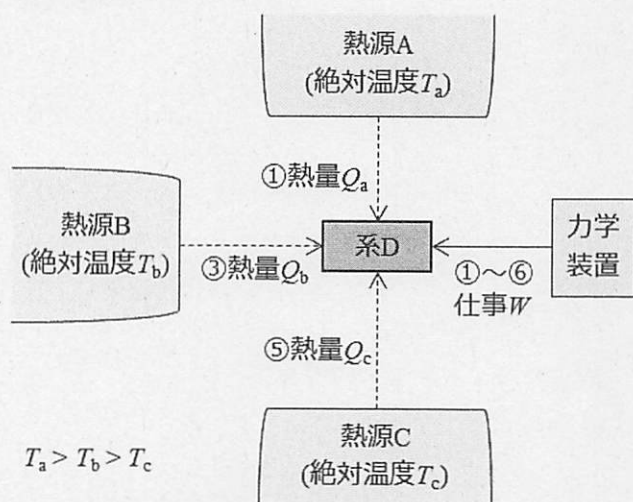
問題 2 図 2(a)のように絶対温度 T_a , T_b , T_c ($T_a > T_b > T_c$) の 3つの熱源 A, B, C と熱のやり取りおよび、力学装置と仕事のやり取りをする系を考え、これを系 D と呼ぶことにする。初期状態での系 D の温度を T_a , エントロピーを S_0 , 内部エネルギーを U_0 とし、以下の①～⑥の熱力学操作をこの順で行う (図 2(b))。

- ① 系 D を熱源 A と熱的に接触させた状態で力学装置を用いて系 D に対して準静的に仕事を行い、系 D のエントロピーを S_1 に変化させる。
- ② 系 D への熱の出入りを遮断して力学装置を用いて系 D に対して準静的に仕事を行い、系 D の温度を T_b に変化させる。
- ③ 系 D を熱源 B と熱的に接触させた状態で力学装置を用いて系 D に対して準静的に仕事を行い、系 D のエントロピーを S_2 に変化させる。
- ④ 系 D への熱の出入りを遮断して力学装置を用いて系 D に対して準静的に仕事を行い、系 D の温度を T_c に変化させる。
- ⑤ 系 D を熱源 C と熱的に接触させた状態で力学装置を用いて系 D に対して準静的に仕事を行い、系 D のエントロピーを S_3 に変化させる。
- ⑥ 系 D への熱の出入りを遮断して力学装置を用いて系 D に対して準静的に仕事を行い、系 D の温度を T_a に変化させる。

操作①③⑤では準静的等温過程, ②④⑥では準静的断熱過程が実現される。

⑥の操作後の系 D の内部エネルギーを U_f とする。各操作で系 D が熱源 A, B, C から受け取った熱量をそれぞれ Q_a , Q_b , Q_c とし、全操作①～⑥を通して系 D が力学装置からなされた仕事の総和を W とする。これらの熱量や仕事は負の値を取る場合もある。熱源の温度変化は無視でき、 Q_a , Q_b , Q_c , W 以外の熱や仕事のやり取りは存在しないものとする。以下の問 1 ～問 4 に答えなさい。

(a) 全体図



(b) 系 D の状態変化

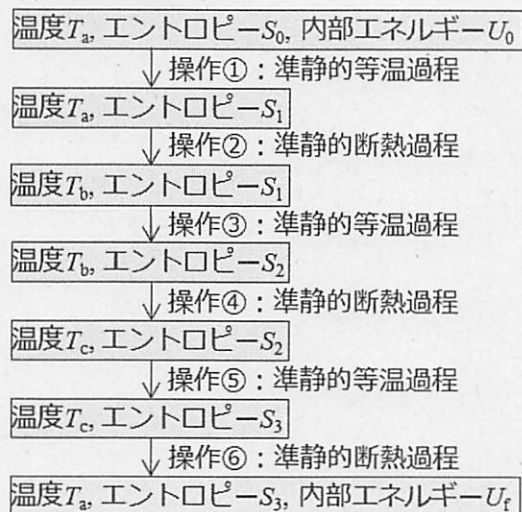


図 2

問1 熱力学第1法則に基づき、①～⑥の熱力学操作全体を通した系Dの内部エネルギー変化 $U_f - U_0$ を Q_a , Q_b , Q_c , W を用いて表しなさい。

問2 ①～⑥の熱力学操作全体を通した系Dのエントロピー変化 $S_3 - S_0$ を Q_a , Q_b , Q_c , T_a , T_b , T_c を用いて表しなさい。

問3 $Q_a < 0$, $Q_b > 0$, $Q_c < 0$, $W = 0$, $S_0 = S_3$ とした場合、①～⑥の熱力学操作全体の結果として系Dが熱源Bから熱量 Q_b を受け取って熱源AとCに分配したことになる。このときの Q_a と Q_c をそれぞれ Q_b , T_a , T_b , T_c を用いて表しなさい。なお問1, 問2の答えを用いて良い。

問4 $Q_a \geq 0$, $Q_b \geq 0$ (ただし $Q_a + Q_b \neq 0$) とし、 $Q_c < 0$, $W < 0$, $S_0 = S_3$ とした場合、系Dは熱源A, Bから熱を受け取って熱源Cに放熱するとともに力学装置に対して仕事をする熱機関と見なせる。この熱機関の効率を求めるために以下の2つのサイクルを考える。まず $Q_a > 0$, $Q_b = 0$ として①～⑥の熱力学操作を1サイクル行う。これをサイクル1と呼び、その効率を η_1 とする。次に $Q_a = 0$, $Q_b > 0$ として①～⑥の熱力学操作を1サイクル行う。これをサイクル2と呼び、その効率を η_2 とする。(1)～(3)の問いに答えなさい。

(1) η_1 および η_2 を T_a , T_b , T_c を用いて表しなさい。

(2) サイクル1とサイクル2を合わせて系Dが力学装置に対して行った仕事の総和 W^{total} を Q_a , Q_b , η_1 , η_2 を用いて表しなさい。

(3) 以上の結果を用いることにより、この熱機関を $Q_b = 2Q_a$ として動かしたときの効率 η を T_a , T_b , T_c を用いて表しなさい。

化学

以下の問題 1 ～問題 3 を全て解答しなさい。

問題 1 25°C, 1 atm での二酸化炭素 (CO₂) の水への溶解度は 0.029 mol dm⁻³ である。また、25°C での炭酸 (H₂CO₃) の第一解離定数 K_1 , 第二解離定数 K_2 はそれぞれ 4.3×10^{-7} , 5.6×10^{-11} である。水の自己解離定数を $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ として、以下の問 1 ～問 3 に答えなさい。

問 1 H₂CO₃ のイオン平衡をあらわす 2 段階の化学反応式を書きなさい。

問 2 25°C, 1 atm での CO₂ に飽和した水溶液における, (1) HCO₃⁻ の濃度, (2) pH を, それぞれ有効数字 2 桁で求めなさい。

問 3 モル分率 3.0×10^{-4} の CO₂ を含む 25°C, 1 atm の空気と平衡状態にある水の pH を有効数字 2 桁で求めなさい。

問題 2 物質 A についての n 次の分解反応の速度は, A の濃度を $[A]$ [mol dm⁻³], 反応速度定数を k [mol⁽¹⁻ⁿ⁾ dm³⁽ⁿ⁻¹⁾ s⁻¹] とするとき, 下記の式[1]で表すことができる。

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^n \quad [1]$$

このことを用いて, 以下の問 1 ～問 3 に答えなさい。計算の過程や根拠を示すこと。

問 1 物質 A の分解反応で, 最初の存在量の 20% が分解するのに 100 秒を要した。

A の 60% が分解するのに要する時間を, この分解反応が (1) 零次反応, (2) 一次反応, (3) 二次反応, のそれぞれの場合について, 有効数字 2 桁で求めなさい。

問 2 五酸化二窒素 (N₂O₅) の気相での熱分解反応:



について, 反応開始後の N₂O₅ の濃度の時間変化を測定したところ, 温度 65°C で以下の表 1 のような結果が得られた。

表 1 温度 65°C における N₂O₅ 濃度の時間変化

経過時間 [s]	0	50	100	150	225	350	510	650	800
N ₂ O ₅ [mol dm ⁻³]	3.80	3.24	2.63	2.13	1.55	0.92	0.47	0.26	0.14

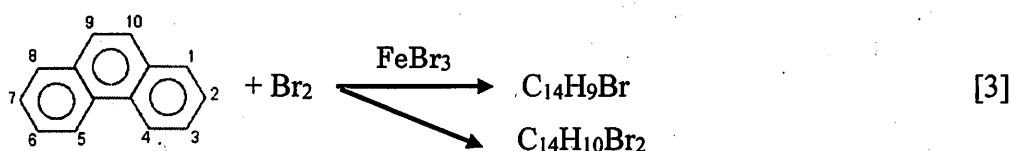
この結果から, 熱分解反応[2]の反応次数を推定し, 65°C における反応速度定数

k を有効数字 2 桁で求めなさい。なお、解答には専用用紙の片対数グラフを用いなさい。

- 問 3 反応[2]の活性化エネルギー E_a が 94 kJ mol^{-1} であるとき、反応速度と温度に関するアレニウスの式が成り立つと仮定して、温度 45°C での反応[2]の反応速度定数を有効数字 2 桁で求めなさい。気体定数 R は $8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ とする。

問題 3 有機反応に関する以下の文章を読み、以下の問 1 ～問 3 に答えなさい。

臭化第二鉄 (FeBr_3) の存在下でフェナントレン ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}$) に臭素 (Br_2) を反応させると、下記の反応式[3]に示すように、求電子反応によって、臭素置換体および少量の臭素付加体が得られる。



- 問 1 反応[3]における FeBr_3 の働きについて述べなさい。化学反応式や図を用いてよい。
- 問 2 フェナントレンの共鳴構造 5 種を全て、ケクレ構造式 (単結合を"—", 二重結合を"—" で表す) を用いて書きなさい。
- 問 3 共鳴構造から判断して、 Br が最も置換もしくは付加しやすい位置 2 か所を、反応式[3]のフェナントレンの構造式に記された炭素原子の番号で答えなさい。

生物学

以下の問題 1～問題 2 を、それぞれ別の解答用紙を用いて、全て解答しなさい。

問題 1 有性生殖に関する次の文を読んで、以下の問 1～問 4 に答えなさい。

有性生殖では配偶子同士の接合や受精が行われるが、配偶子生成の過程には減数分裂が関わっている。減数分裂では、第一減数分裂と第二減数分裂と呼ばれる連続した細胞分裂が行われる。第一減数分裂では、まず同じ遺伝形質を支配する遺伝子を担う (①) 染色体が対合する。この際、(①) 染色体の一部に (②) が起こって断片が交換されることがある。つぎに、(①) 染色体対が整列し分離する。このとき、体細胞分裂とは異なり、(③) 染色分体は接着したまま一对として移動する。その後、通常は (④) 分裂が起こり、第一減数分裂が終了する。第二減数分裂は体細胞分裂と基本的に同じだが、染色体 (⑤) をしていない一倍体細胞で分裂が始まるところが体細胞分裂と異なる。第二減数分裂では、(③) 染色分体の (⑥) が分離し、各対の (③) 染色分体が細胞の対極へ移動する。その後、通常は (④) 分裂が生じる。

有性生殖する生物の性決定には、性染色体に位置する遺伝子が関わっていることがある。ただし、(1)性決定に関与しない遺伝子も性染色体上に位置することがある。性染色体上に位置する遺伝子を (⑦) 遺伝子と呼ぶ。

多くの動物は有性生殖する。有性生殖する動物の中には、オスとメスで生殖器以外の形態やサイズが大きく異なるものがある。このような差異を (⑧) と呼ぶ。(⑧) の例には、(2)カブトムシのオスが大きな角を持つことや、クジャクのオスがメスに比べて目立つ色彩の羽を持つことなどが挙げられる。

問 1 上記の①～⑧に入る語句を下記の枠内から選びなさい。

性的二型、伴性、姉妹、セントロメア、細胞質、複製、減少、交差、相同、接合、有性、性的対立、分裂、細胞壁

問 2 減数分裂では、配偶子の間に遺伝的多様性を生む現象が通常 2 回起こる。この 2 回の現象はどのようなものか、説明しなさい。(それぞれ 100 字以内)

問3 下線部(1)のような遺伝子の中には、遺伝性の血友病を引き起こすものがある。いま仮に、血友病患者ではない両親から生まれた男子が遺伝性の血友病を発症したとする。この両親から生まれた別の男子が遺伝性の血友病を発症する確率を答え、そのような確率になる根拠を書きなさい。(200字以内)

問4 下線部(2)に挙げたカブトムシの大きな角とクジャクの目立つ色彩の羽は、それぞれどのような理由で進化したと考えられるか。性選択の観点から説明しなさい。(それぞれ100字以内)

問題2 生物の種間相互作用について、以下の問1～問3に答えなさい。

問1 種間の相互作用には、(a)両種の個体の生存と繁殖にとって有益である場合と、(b)一方には有益であるがもう一方には有害である場合などがある。

- (1) (a), (b)それぞれを何と呼ぶか、用語をひとつずつ書きなさい。
- (2) それぞれについて例となる生物名を挙げて説明しなさい。(200字以内)

問2 真核生物の細胞内には、ある種の原核生物が起源であると考えられる小器官がある。

- (1) その名前をひとつあげ、その機能を説明しなさい。(100字以内)
- (2) この小器官が原核生物を起源とすると考えられる根拠を説明しなさい。(150字以内)

問3 Paine は1960年代に、岩礁海岸の潮間帯で、岩に付着している生物群集を調べた。主要な捕食者であるヒトデを取り除くと、イガイが増加し、フジツボなどが減少した。

- (1) この実験から考えられる種間相互作用について、「競争」、「空間資源」、「競争排除」のすべての語を用いて説明しなさい。(250字以内)
- (2) この例におけるヒトデのような生態系に大きな影響を与える種を何と呼ぶか書き、優占種との違いを説明しなさい。(150字以内)

数学

以下の問題 1～問題 5 を全て解答しなさい。答案には計算過程も書きなさい。

問題 1 次の行列 A について、以下の問 1～問 3 を解答しなさい。

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

問 1 A^n を求めなさい。ただし、 n は正の整数とする。

問 2 A の逆行列を求めなさい。

問 3 A の固有値と固有ベクトルを求めなさい。

問題 2 次の定積分の値を求めなさい。

問 1 $\int_0^1 \frac{dx}{x^2+1}$

問 2 $\int_0^{\pi/2} x^2 \sin x \, dx$

問題 3 次の常微分方程式を与えられた条件の下に解きなさい。

問 1 $\frac{d^2 y}{dx^2} + 4 \frac{dy}{dx} + 3y = 4e^{-x}$, ただし、 $x=0$ で、 $y=0$, $\frac{dy}{dx}=2$ とする。

問 2
$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 3y \\ \frac{dy}{dt} = x - z, \\ \frac{dz}{dt} = -y \end{cases} \quad \text{ただし、} t=0 \text{ で、} (x, y, z) = \left(3, 0, \frac{1}{3}\right) \text{ とする。}$$

問題 4 実数値関数 $f(x)$ のフーリエ変換を

$$F(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \exp(-ikx) dx$$

と定義する. ここで, i は虚数単位, k は任意の実数とする. また, $\exp(s) = e^s$ は指数関数である. $f(x) = \exp(-x^2)$ として以下の問 1 と問 2 を解答しなさい.

問 1 $\frac{dF}{dk} = -\frac{k}{2}F$ となることを示しなさい.

問 2 $F(k)$ を求めなさい.

問題 5. 範囲 $(-\infty, +\infty)$ の実数値をとる確率変数 x に対して, 平均が 0, 分散が σ^2 の正規分布 (ガウス分布) に従う確率密度関数 $f(x)$ は

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

と与えられる. ここで, $\exp(s) = e^s$ は指数関数である. また, 誤差関数 $\operatorname{erf}(\xi)$ は, ξ を任意の 0 以上の実数として

$$\operatorname{erf}(\xi) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\xi \exp(-t^2) dt$$

と定義される. このとき確率密度関数 $f(x)$ に従う確率変数 x が 99% の確率で含まれる範囲が $|x| \leq X$ であるとして, X の値を定める方程式を, 誤差関数 erf を用いて表しなさい. ただし, 方程式を X について陽に解く必要はない.