

平成 30 年 4 月入学 総合研究大学院大学複合科学研究科

極域科学専攻入学者選抜 専門科目（5 年一貫制博士課程）

<注意事項>

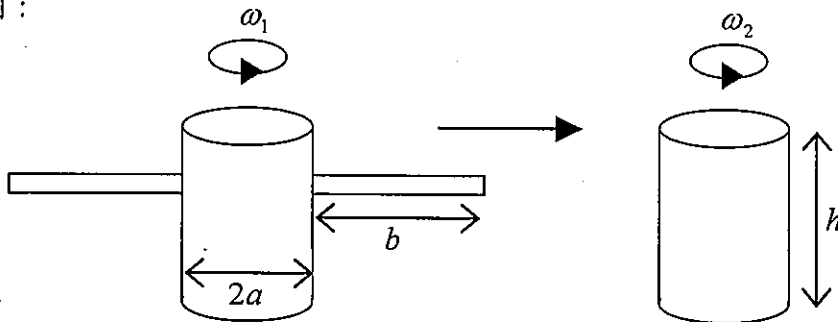
- ・ 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- ・ 試験時間は 120 分です。
- ・ 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- ・ 問題及びページ番号は次のとおりです。計 3 問を選択して解答しなさい。3 問は同一の分野から選択しても、別々の分野から選択しても構いません。
物理学 1 1 ページ、物理学 2 2 ページ、物理学 3 3 ページ
化学 1 4 ページ、化学 2 5 ページ、化学 3 6 ページ
地球科学 1 7、8 ページ、地球科学 2 9 ページ、地球科学 3 10 ページ
生物学 1 11 ページ、生物学 2 12 ページ、生物学 3 13 ページ
- ・ 解答用紙には罫線のもの、白紙のもの、マス目のもの 3 種類がありますが、どれを使用しても構いません。
- ・ 解答用紙がさらに必要な場合には、挙手をして監督者に知らせなさい。
- ・ 試験開始の合図後に、解答用紙の指定の欄に受験番号、氏名及び選択した問題を記入しなさい。解答用紙は 1 問ごとに別に作成しなさい。
- ・ 1 問につき解答用紙が複数枚にわたる場合には、すべての解答用紙に受験番号、氏名及び選択した問題を記入し、さらに、解答用紙右下の所定の欄に、ページ数を記入しなさい（2 枚の場合には、1/2、2/2、3 枚の場合には 1/3、2/3、3/3）。
- ・ 試験中は机の上の見やすい場所に受験票をおきなさい。
- ・ 試験中に机の上におけるのは、受験票の他、黒鉛筆、シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り（手動式のもの）、時計（計時機能だけのもの）です。
- ・ 耳栓は使用できません。
- ・ ハンカチ、ティッシュペーパー、目薬等の使用を希望する者は、監督者に申し出て許可を受けてから使用しなさい。
- ・ 試験時間中は、監督者の指示に従って下さい。従わない場合は退室させることがあります。
- ・ 不正行為と認められた場合は、受験自体を無効とします。
- ・ 試験室に入室してから試験終了までは、試験中の発病又はトイレ等やむを得ない場合を除いて原則として一時退室を認めません。やむを得ない場合には、手を挙げて監督者の指示に従いなさい。一時退室が認められた場合でも、原則として試験時間の延長は認めません。
- ・ 試験終了時間前に解答を終了した場合には退室を認めます。その場合には、手を挙げて監督者の指示に従いなさい。ただし、試験終了 15 分前以降試験終了までの間は、退室を認めません。
- ・ 試験終了 5 分前になったら、終了 5 分前の合図をします。
- ・ 試験終了後、問題冊子、解答用紙を持ち帰ってはいけません。

<物理学 1 >

問題：フィギュアスケートのスピンを考える。

- (1) 腕を伸ばして回転している状態から腕を縮めると回転速度が増す。腕を伸ばした状態の慣性モーメントを I_1 、角速度を ω_1 、腕を縮めた状態の慣性モーメントを I_2 、角速度を ω_2 とするとき、これらに成り立つ関係式を示せ。ただし、氷面との摩擦の効果などは無視できるものとする。
- (2) 簡略化のため、図に示すようにスピンする人を質量 M 、半径 a 、高さ h の円柱（右図）に長さ b 、質量 m の棒が 2 本ついたもの（左図）と考える。円柱が胴体で棒が腕をあらわす。このとき、(1) の I_1 、 I_2 を求めよ。ただし、腕を縮めたときの腕の慣性モーメントは無視できるものとする。
- (3) $b = 3a$ 、 $m = M/14$ とするとき、腕を縮めることで回転の角速度が何倍速くなるかを求めよ。

図：



<物理学 2>

問題：電場 \mathbf{E} 、磁場 \mathbf{B} の中で速度 \mathbf{v} で運動する荷電粒子（質量 m 、電荷 q ）に電磁場から作用する力、ローレンツ力 \mathbf{F} は、以下の式で与えられる。

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (\text{a})$$

以下の問いに答えよ。

(1) まず、電場 \mathbf{E} が無い場合 ($\mathbf{E} = \mathbf{0}$) に、一様な定磁場 \mathbf{B} の中で荷電粒子の運動を考える。速度 \mathbf{v} を、 \mathbf{B} に平行な成分 \mathbf{v}_{\parallel} と垂直な成分 \mathbf{v}_{\perp} に分けて考える。

$$(\mathbf{v} = \mathbf{v}_{\parallel} + \mathbf{v}_{\perp})$$

(ア) \mathbf{B} に平行な成分の運動方程式を書き、その成分の荷電粒子の運動について説明せよ。

(イ) \mathbf{B} に垂直な成分の運動は、等速円運動になる。この円運動の半径、及び、角速度を求めよ。また、等速円運動になる理由を説明せよ。

(ウ) (ア) と (イ) の解を合わせて考えると、陽子と電子の運動は、それぞれどのような運動であるか説明せよ。

(2) 次に、一様な定磁場 \mathbf{B} の中で、 \mathbf{B} の方向に一様な定電場 \mathbf{E} が存在する場合 ($\mathbf{E} = \mathbf{E}_{\parallel} \neq \mathbf{0}$) を考える。このとき、荷電粒子がどのように運動するか説明せよ。

(3) 次に、一様な定磁場 \mathbf{B} の中で、 \mathbf{B} に垂直な方向に一様な定電場 \mathbf{E} が存在する場合 ($\mathbf{E} = \mathbf{E}_{\perp} \neq \mathbf{0}$) を考える。このとき、 \mathbf{B} に垂直な成分の運動方程式を書

け。さらに、 $\mathbf{v}_{\perp} = \mathbf{v}'_{\perp} + \frac{\mathbf{E}_{\perp} \times \mathbf{B}}{B^2}$ とおくことにより、この成分の運動について説明

せよ。(ベクトル解析の公式： $(\mathbf{A} \times \mathbf{B}) \times \mathbf{C} = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{C})\mathbf{B} - (\mathbf{B} \cdot \mathbf{C})\mathbf{A}$ を用いて良い。)

<物理学 3 >

問題：温度 T 、圧力 P の1モルの理想気体について考える。

- (1) 温度が T から $T+dT$ に、圧力が P から $P+dP$ に微小変化する準静的過程を考える。このときのエントロピーの変化 dS を気体定数 R と定積モル比熱 C_v 、および熱力学第1法則を用いてあらわせ。
- (2) (1) で求めた式を用いて、断熱変化における T と P の関係を導け。
- (3) 温度一定の準静的過程で圧力が P_0 から P_1 に変化したとする。このときのエントロピーの変化量を求めよ。
- (4) 圧力一定の準静的過程で温度が T_0 から T_1 に変化したとする。このときのエントロピーの変化量を求めよ。

<化学 1 >

問題： 次の用語から 4 つ選択し、具体例を挙げながら、それぞれ 150 字以内で説明しなさい。

- ・ 魔法数
- ・ 質量欠損
- ・ 永年平衡
- ・ 共有結合結晶
- ・ 共融点
- ・ 配位子

<化学2>

問題1：次の文章の〔 ① 〕～〔 ⑦ 〕の空欄に適切な語句を入れよ。

同位体とは、同じ原子番号を持つ元素の原子の中で〔 ① 〕が異なる核種のことである。その中でも〔 ② 〕同位体のように自発的に崩壊せずに地球上で安定的に存在する同位体を安定同位体という。例えば、水素の安定同位体には、 ^1H と〔 ③ 〕(^1H に対して約0.015%存在)の2種類、酸素のそれには ^{16}O 、 ^{18}O (^{16}O に対して約0.20%存在)そして〔 ④ 〕(^{16}O に対して約0.037%)が確認されている。水は水素原子2つに酸素原子1つが挟まれた構造を持つ分子であるため、水分子を構成する安定同位体は〔 ⑤ 〕種類ある。それら全てが水の安定同位体である。水の安定同位体は水蒸気・水・〔 ⑥ 〕のいずれにも含まれている。その同位体比は水の〔 ⑦ 〕に対して敏感であるため、蒸発・凝結・昇華といった過程で同位体比に変化が生じる。時間・空間的に様々に変化する同位体比は、降水の起源や履歴など水循環過程を解明するための重要な手がかりとなっている。

問題2：水分子を構成する安定同位体の組み合わせを全て書き出し、さらにその中から環境解析によく用いられる水の安定同位体の例を2例示せ。

問題3：ある物質の同位体比が化学反応等の進行と共にどのように変化するかを表す関係としてレイリーの蒸留プロセスが挙げられる。これはどのような関係か、100字程度で説明せよ。

問題4：存在量の少ない安定同位体を含む水分子は、その分子間結合の強さにより、凝結に必要な熱量が通常の水分子と異なる。このことから、地球上の温度環境において気相よりも液相や固相に濃縮される。この関係から推測される地球上の降水の酸素安定同位体の緯度分布はどのようになるかを、以下のキーワードを参考にしながら200字以内で説明せよ。

キーワード：低緯度、蒸発、高緯度、水蒸気、輸送、凝結、重い水分子

<化学3>

問題：海洋の炭酸系を調べるためのパラメーターとして、二酸化炭素分圧、pH、アルカリ度、全炭酸が挙げられる。海洋においてこれらパラメーターがどのようなプロセスによって変動するか、「有機物」、「炭酸カルシウム」という語句を用いて、400字程度で説明しなさい。

5

<地球科学1>

問題：図1の(a)は、現在の海面を基準面として描いた地球表面の高度累積分布曲線（縦軸を高度・深度、横軸にその高さより高い地形の総面積およびその地球表面面積に対する割合）と1000mごとの高度・深度別の棒グラフ（それぞれの高度の範囲の占める面積およびその地球表面面積に対する割合）である。図1(a)のカーブで示すように、地球表面は、高さ0~1000m付近の高度の大陸と、深さ4000~5000m付近の水深の海洋底の2つの平坦面に大別される。また図1(b)は高度累積分布曲線を地表断面と見なして描いた地殻の厚さ分布の概念図である。図1(b)で示す地殻は、大陸部分では大陸地殻、海洋底部分では海洋地殻からなり、それぞれ厚さが異なっている。この図を参照して、以下の問いに答えよ。

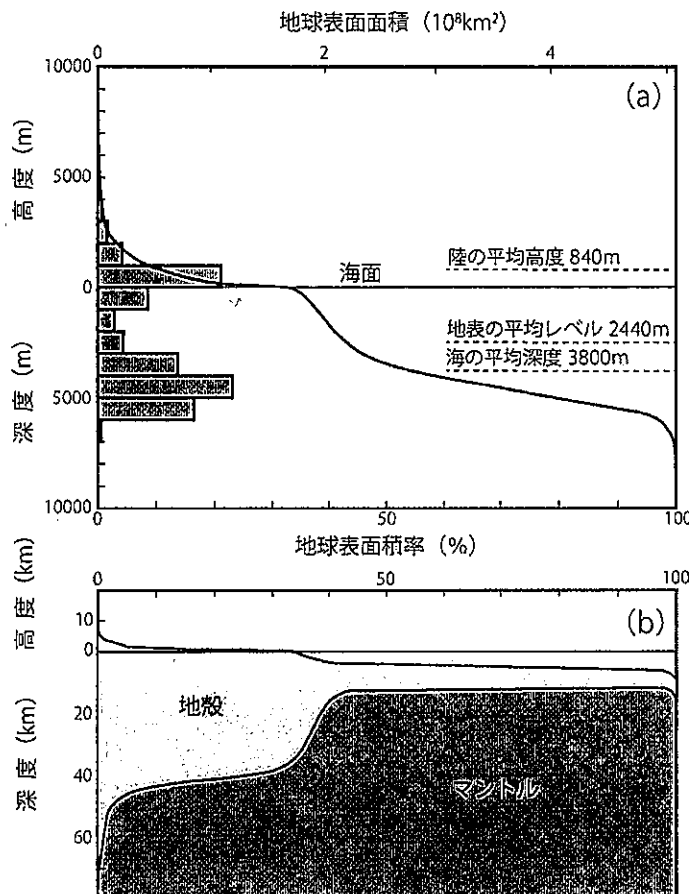


図1

(次ページに続く)

問1) アイソスタシーが成立していると仮定して、以下の数値を用い、海面上からの大陸地殻の高度 F を有効数字2桁で求めよ。計算の考え方がわかる図と途中の計算過程も示すこと。

大陸地殻の平均密度 $\rho_c = 2800\text{kg/m}^3$

海洋地殻の平均密度 $\rho_o = 3000\text{kg/m}^3$

上部マントルの平均密度 $\rho_m = 3300\text{kg/m}^3$

海水の平均密度 $\rho_w = 1000\text{kg/m}^3$

大陸地殻の平均の厚さ $H_c = 30\text{km}$

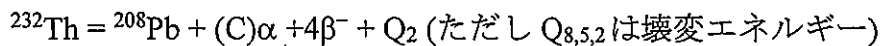
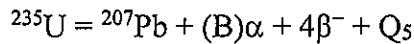
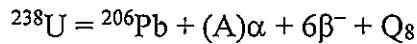
海洋地殻の平均の厚さ $H_o = 7\text{km}$

海底の平均水深（海水の厚さ） $D = 4\text{km}$

問2) 地球史において、海水の厚さ（海水量）と大陸地殻の厚さには、どのような関係性があるかを、「侵食基準面」という言葉を用いて、200字程度で説明せよ。

<地球科学2>

ウランとトリウムは、 α 壊変と β^- 壊変を繰り返し、最終的に安定な鉛に壊変していく。これらは、ウラン系列、アクチニウム系列、トリウム系列として知られている。



問題1 : (A)-(C)に適切な数字を入れなさい。

問題2 : いま、ウランを 2.00 ppm 含む岩石が 1.00 kg ある。1 x 10⁹ 年経過して生成される放射起源ヘリウム量を求めよ。ヘリウムは散逸しないものとする。

ただし ${}^{238}\text{U}$, ${}^{235}\text{U}$, ${}^{232}\text{Th}$ の壊変定数 $\lambda_8, \lambda_5, \lambda_2$ は

$$\lambda_8 = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}, \lambda_5 = 9.8485 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}, \lambda_2 = 4.9475 \times 10^{-11} \text{ yr}^{-1},$$

また、1 mol の ${}^{238}\text{U}$ は 238 g, ${}^{235}\text{U}/{}^{238}\text{U} = 1/137.8$, ${}^{232}\text{Th}/{}^{238}\text{U} = 4$,

$\exp(\lambda t) = 1 + \lambda t$ と近似できるものとする。

${}^{238}\text{U}$, ${}^{235}\text{U}$, ${}^{232}\text{Th}$ からの放射起源 ${}^4\text{He}$ は、それぞれ

$${}^4\text{He} = (\text{A}){}^{238}\text{U}[\exp(\lambda_8 t) - 1]$$

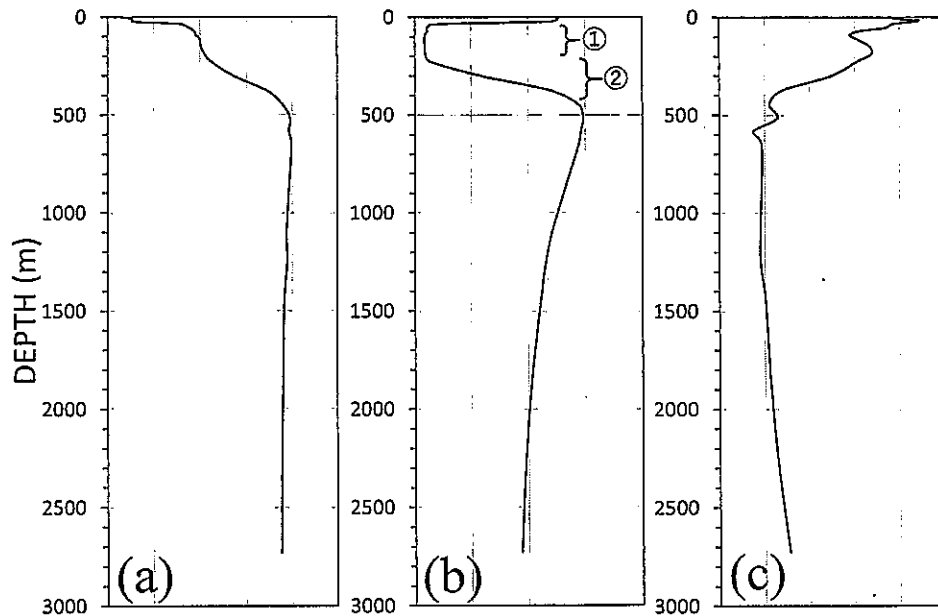
$${}^4\text{He} = (\text{B}){}^{235}\text{U}[\exp(\lambda_5 t) - 1]$$

$${}^4\text{He} = (\text{C}){}^{232}\text{Th}[\exp(\lambda_2 t) - 1] \text{ とあらわされる。}$$

結果だけでなく、途中の計算過程がわかるようにすること。

<地球科学 3>

問題： 下図は夏季に南極大陸付近の海氷縁の一測点で得られた、海面から海底近くまでの海水に関する観測データをグラフに描いたものである。グラフは各深度の値を線で結んだ鉛直分布で、横軸は目盛を記していないが、いずれのグラフも右ほど値が大きくなるように示している。以下の問いに答えよ。



- (1) (a)、(b)、(c) の各グラフは、温度、塩分、溶存酸素量のいずれかのデータを示している。それぞれ、どのデータを示しているか答えよ。
- (2) (b) には、鉛直方向にほぼ一様な層①と、その下に鉛直勾配が比較的大きい層②が見られる。①を形成する水塊、②の層をそれぞれ何と呼ぶか答えよ。また、秋から冬へ季節が進むにつれて、海面から層②に至る深度において生じる過程を海氷形成と関連させて 100 字程度で説明せよ。
- (3) (c) に見られる海底付近の値は、その上層の値よりやや大きくなっている。この理由として考えられることを 100 字程度で説明せよ。
- (4) 海氷が持つ地球科学的な特性や役割を三つ挙げながら、それらと地球上の熱または物質の輸送過程との関連を 200 字程度で説明せよ。

<生物学 1 >

問題：以下に挙げた語句の中から4つを選択し、それぞれについて150字程度で簡潔に、生物学的な説明を与えなさい。

- ・温度係数 (Q10)
- ・テロメア (telomere)
- ・夜光虫 (*Noctiluca scintillans*)
- ・カルビン回路
- ・光呼吸
- ・屈性
- ・フェロモン

<生物学 2>

次の文章を読み、設問に答えよ。

動物は体温に関する体の仕組みにより、大きく と の二種類に分けることができる。 は体温を調整する生理的機構を持たないため、環境温度に応じて体温が幅広く変動する。ただし、その時々環境や状況に応じて最適な体温はおおむね決まっており、行動的適応によって体温を調整するのが一般的である。

一方、 は、環境温度に関わらず、体温をほぼ一定に維持している。熱の主な発生源は であるが、それに加え、様々な生理的、形態的、行動的適応によって体温を調整している。

たとえば、環境温度が下がった場合は、体表部分への血流を減らし（生理的適応）、また体を丸めるなどして（行動的適応）、熱の損失を減らそうとする。それでも体温が維持できない場合は、 を増やし、また をして強制的に熱を発生させる。

逆に、環境温度が上がった場合は、オーバーヒートを起こさないよう、余計な熱を排出しなければならない。まず、体表部分への血流を増やし、体表面からの熱の排出を促進する。それでも不十分な場合は、発汗によって（ヒトやウマなど）、あるいはハアハアと荒い呼吸をすることによって（鳥やイヌなど）、熱を排出する。

また、形態的適応として、ゾウの耳に代表されるような熱排出器官（ラジエーター）を持っている動物も数多くいる。特定の器官が熱排出器官として機能するためには、周りから断熱されていないこと、、 といった条件を満たしている必要がある。

問題 1 : ～ に適切な語句や説明を入れよ。

問題 2 : ゾウの耳以外の、動物の熱排出器官の例を一つ挙げよ。

問題 3 : 大きな動物ほど、発汗によって熱を排出し、小さな動物ほど、荒い呼吸によって熱を排出する傾向がある。発汗、荒い呼吸それぞれのメリット、デメリットを指摘しながら、なぜこのような傾向が見られるのか、200 字程度で考察せよ。

<生物学 3 >

次の文章を読み、設問に答えよ。

ほとんどの脊椎動物には雌雄があり、異性間生殖が行われている。しかし、雌個体単独による単為生殖や、雌雄同体個体による自家生殖といった例外もある。異性間生殖にはメリットがあるものの、同時にデメリットもあるので、常に進化的に安定な戦略になるとは限らないのである。

中央アメリカや南アメリカの沿岸部に生息する魚 *Kryptolebias marmoratus* は、興味深い繁殖生態を持つことが知られている。この種は雌雄同体の個体が大半を占め、多くの場合、自家生殖によって繁殖を行っている。一方、雄個体も確かに存在し、異性間生殖も行われている。適応度を最大化するために、この魚は、自家生殖と異性間生殖を、様々な生物的要因（雄が身近にいるか等）や環境的要因（水温、日射量、食物の豊富さ等）に応じて調節していると予想される。

問題 1：異性間生殖のメリットを一点挙げよ。

問題 2：異性間生殖のデメリットを二点挙げよ。

問題 3：「進化的に安定な戦略」の概念を、100 字程度で説明せよ。

問題 4：雌雄同体の動物の例を、無脊椎動物から二つ挙げよ。

問題 5：雌による単為生殖が行われる例を、脊椎動物から一つ挙げよ。

問題 6：*Kryptolebias marmoratus* による異性間生殖と自家生殖の割合が、どのような環境要因によってどのように変化すると考えられるか。仮説を一つ挙げ、それを検証する方法を 200 字程度で述べよ。