

受験番号						氏名	

2022年度  
 放送大学大学院修士課程  
 文化科学研究科 文化科学専攻  
**自然環境科学プログラム**  
 筆記試験問題

試験日：2021年10月2日（土）

試験時間：9時30分～11時30分

**注意事項**

1. 試験開始の合図があるまで、この試験問題冊子は開かないでください。
2. 解答には、黒鉛筆かシャープペンシルを使用してください。
3. 配付されるものは、「試験問題冊子1冊」、「解答用紙5枚」及び「下書き用紙5枚」です。追加配付はしません。
4. 試験開始の合図の後、試験問題冊子を確認してください。試験問題冊子は、表紙、白紙、問題（11ページ）の順に綴じられています。試験問題冊子、解答用紙及び下書き用紙に落丁・過不足のある場合、あるいは印刷が不鮮明な場合には、手を挙げて試験監督員の指示に従ってください。
5. 試験問題冊子の所定欄に、受験番号及び氏名を記入してください。
6. 解答用紙は、「大問題（試験問題冊子に第1問、第2問…と表示されています。）」ごとに使用し、解答用紙の所定欄に、プログラム名、氏名、受験番号並びに「大問題」番号及び「大問題」ごとに何枚目であるかを、解答用紙別に必ず記入してください。  
 小問題及び選択問題を解答する際の番号等は、解答用紙のマス目の左側の「小問題番号等記入スペース」に記入してください。  
 なお、問題文中に別途記入方法の指示がある場合はそちらに従ってください。
7. 解答用紙1枚につき、800字まで記入することができます。解答用紙5枚のうち、自然環境科学プログラムは5枚以内で解答してください。指定された字数に従って解答してください。
8. 試験問題冊子、解答用紙及び下書き用紙を綴じているホチキス針をはずしたり、中身を破り取ったりしてはいけません。
9. 試験問題冊子、解答用紙及び下書き用紙は試験終了後に回収します。試験問題冊子及び下書き用紙に解答を記入しても採点の対象にはなりませんので、必ず解答用紙に解答を記入してください。
10. 試験時間は2時間です。試験開始後40分を経過した後は、試験問題冊子、解答用紙及び下書き用紙を試験監督員に提出した上で、退室してもかまいません。ただし、試験終了5分前以降は退室できません。

## 自然環境科学プログラム 筆記試験問題

次ページ以降に示した第1問から第6問までの問題から、出願時に提出した研究計画に最も近いと考えられる分野に対応するものを一つだけ選び、その問題に解答せよ。問題のなかに複数の小問題がある場合には、全ての小問題に解答すること。各問題の分野は、第1問は数理科学分野、第2問は天文学分野、第3問は物理分野、第4問は化学分野、第5問は生命・生態分野、第6問は地球科学分野である。

なお解答にあたっては、下の注意事項をよく読み、その指示に従うこと。

### 注意事項

- (1) 解答用紙には、受験番号記入欄の下に「第□問」と印刷されている。この□の中に、選択した問題の番号（1から6のいずれか）を、必ず記入すること。
- (2) 解答する問題のなかにさらに複数の小問題がある場合には、どの小問題への解答であるかを、たとえば(2a)のように、小問題の記号を使って明示すること。
- (3) 記述問題に解答の字数制限が明記されている場合は、その指示を守ること。

## 第1問 (数理科学分野)

以下の問(1), (2)に答えよ。なお、解答は結果だけを述べるのではなく、途中の推論や計算過程も必ず述べること。解答は問(1), (2)ごとに解答用紙1枚(裏も使用可)に記入すること。

(1)  $x, t (\neq 0)$  を実数とする。関数  $f(x, t) = \frac{te^{xt}}{e^t - 1}$  について、以下の問(1a)~(1d)に答えよ。

(1a)  $\lim_{t \rightarrow 0} f(x, t)$  を求めよ。

(1b)  $g(t) = f(0, t) + \frac{1}{2}t$  は偶関数であることを証明せよ。

(1c) 偏導関数  $\frac{\partial f(x, t)}{\partial x}, \frac{\partial f(x, t)}{\partial t}$  を求めよ。

(1d)  $\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\partial f(x, t)}{\partial t}$  を求めよ。

(2) 実数の集合  $R$  上の  $n$  次ベクトル空間  $R^n$  について以下考える。 $n$  次ベクトル  $\mathbf{x}$  と  $\mathbf{y}$  との内積を  $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  で表し、 $(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = 0$  のとき、 $\mathbf{x}$  と  $\mathbf{y}$  は直交するという。 $R^n$  の部分空間  $W$  において、 $W$  の直交補空間  $W^\perp$  を

$$W^\perp = \{\mathbf{y} \mid \text{すべての } \mathbf{x} \in W \text{ において } (\mathbf{x}, \mathbf{y}) = 0\}$$

で定義する。

次に、 $V$  を  $R^n$  の  $(n-1)$  次元部分空間とし、 $V^\perp$  はベクトル  $\mathbf{a}$  で生成されるものとする。また、 $A$  を単位行列でない  $n$  次直交行列とする。従ってベクトルの内積は  $A$  による積で変わらない。さらに、

$$\text{すべての } \mathbf{x} \in V \text{ において } Ax = \mathbf{x}$$

を満たすものとする。以上を前提にして、以下の問(2a)~(2e)に答えよ。

(2a) 任意の  $\mathbf{y} \in V^\perp$  において、 $A\mathbf{y} \in V^\perp$  を証明せよ。

(2b) 任意の  $\mathbf{y} \in V^\perp$  において、 $A\mathbf{y} = -\mathbf{y}$  を証明せよ。

(2c)  $R^n$  の要素  $\mathbf{x}$  において、 $\mathbf{x} = \mathbf{x}_1 + \mathbf{x}_2$ 、ただし  $\mathbf{x}_1 \in V, \mathbf{x}_2 \in V^\perp$  としたとき、

$$\mathbf{x}_2 = \frac{(\mathbf{a}, \mathbf{x})}{(\mathbf{a}, \mathbf{a})}\mathbf{a}$$

(2d)  $R^n$  の要素  $\mathbf{x}$  において、 $A\mathbf{x} = \mathbf{x} - \frac{2(\mathbf{x}, \mathbf{a})}{(\mathbf{a}, \mathbf{a})}\mathbf{a}$  を証明せよ。

(2e)  $\mathbf{b} \in R^n$  を零でないベクトルとし、 $\mathbf{b}$  で生成される部分空間を  $W$  とする。また、 $B$  を単位行列ではない  $n$  次直交行列とし、 $R^n$  の任意の要素  $\mathbf{x}$  において、

$$B\mathbf{x} = \mathbf{x} - \frac{2(\mathbf{x}, \mathbf{b})}{(\mathbf{b}, \mathbf{b})}\mathbf{b}$$

を満たすものとする。このとき、 $\mathbf{x} \in W, \mathbf{y} \in W^\perp$  において、 $B\mathbf{x}, B\mathbf{y}$  をそれぞれ求めよ。

以上

## 第2問（天文学分野）

以下の問(1)～(3)のすべてに答えよ。

- (1) 天文学では我々の日常感覚とはかけ離れた大きな距離を取り扱う。そのため、メートルやキロメートルなどの単位を使わずに、大きな距離を取り扱うための単位を導入して、天体まで、あるいは天体間の距離を議論することが多い。(1a) から (1c) の問い合わせに答えよ。
- (1a) 1天文単位の定義を述べよ。またその距離を有効数字2桁で記せ。
- (1b) 1光年の定義を述べよ。またその距離を有効数字2桁で記せ。
- (1c) 1パーセク (pc) の定義を述べよ。その際、図を用いて説明してもよい。また、その距離を有効数字3桁で記せ。
- (2) 天文学では天体の明るさを等級で表すことが多い。(2a) から (2d) の問い合わせに答えよ。
- (2a) 見かけの等級（ここでは、記号としては  $m$  を用いる）について説明せよ。
- (2b) 絶対等級（ここでは、記号としては  $M$  を用いる）について説明せよ。
- (2c) ある天体までの距離を  $d$  パーセクとする。この距離  $d$  を用いると、見かけの等級 ( $m$ ) と絶対等級 ( $M$ ) の関係はどのように表されるか説明せよ。
- (2d) 見かけの等級を測定するとき、さまざまな天体の見かけの等級を客観的に比較できるように、ある波長帯の光を透過するフィルターを用いて観測する。現在ではさまざまなフィルター・システムが用意され、観測に供されている。例えば、ジョンソンのフィルターシステムでは青い波長帯と赤い波長帯のフィルターはそれぞれ B (blue) バンドと R (red) バンド・フィルターと呼ばれる。これらのフィルターを用いて測定された見かけの等級はそれぞれ  $B$  と  $R$  で表される（測

定値なのでイタリックで表される)。

B バンドと R バンド・フィルターによる等級の差は天体の色を反映している。天体の色は天体の物理的性質（温度やスペクトル [連続光のみならず、輝線や吸収線の情報も含まれている]）を調べる際の指標になるので、実際の観測ではよく利用されている。

ここで、2 個の星を B バンドと R バンド・フィルターを用いて観測したとしよう。得られた 2 個の星の色はそれぞれ、 $B - R = 0.5$  等と 0.9 等であった。どちらの星が赤いか説明せよ。

(3) 恒星のエネルギーの源泉は恒星の中心部で発生している熱核融合である。

(3a) から (3f) の問い合わせに答えよ。

(3a) 太陽は主系列星と呼ばれる恒星に分類されている。ヘルツシュブルング・ラッセル図 (HR 図) を用いて、主系列星について説明せよ。

(3b) 主系列星で発生している熱核融合は何と呼ばれる反応か。

(3c) (3b) の反応について説明せよ。

(3d) 太陽より質量が大きく、中心部の温度が約 1400 万 K を超えると、(3b) とは異なるモードの熱核融合が起こるようになる。この熱核融合は何と呼ばれる反応か。

(3e) (3d) の反応について説明せよ。

(3f) 太陽の表面温度は約 6000 K である。太陽と同じ質量を持つ恒星は、中心部で発生した熱核融合で得られたエネルギーをどのように利用して、ある表面温度の恒星として輝いているか説明せよ (なお、太陽の表面温度の値 [6000 K] を説明する必要はない)。

以上

### 第3問（物理分野）

以下の問(1)~(4)のすべてに答えよ。必要な物理量が与えられていない場合は、定義を明示した上で使用すること。図を用いて定義してもよい。

- (1) 滑らかな水平面上に3枚の同じ円板A, B, Cを置く。円板の質量は $m$ , 半径は $a$ である。図1(a)のように円板Aは一定速度 $v_0$ で進行し、円板B, Cと同時に弾性衝突する。衝突前、円板BとCの中心は距離 $b$  ( $b > 2a$ )だけ離れている。図1(b)のように、円板B, Cは円板Aとぞれぞれの中心を結ぶ直線の向きに散乱される。この衝突現象について以下の問(1a)から(1c)に答えよ。

- (1a) 衝突の前後で、運動量の総和が保存する理由を説明せよ。また、運動量保存則を式で表せ。  
(1b) 衝突の前後での、力学的エネルギー保存則を式で表せ。  
(1c) 衝突後に円板Aは静止した。このようなことが起きるためには、 $b$ を $a$ の何倍に設定すればよいか。

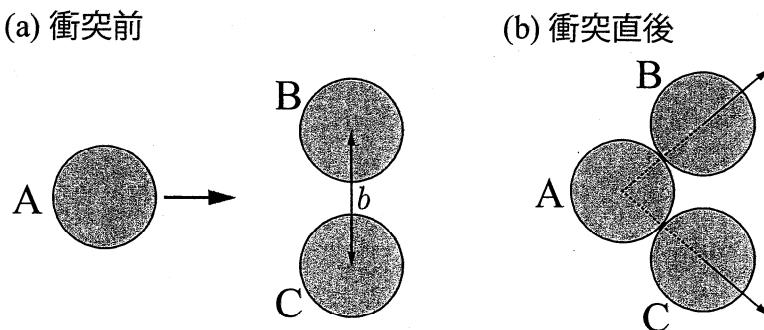


図1

- (2)  $x$  軸上の無限に長い直線状導線に、正の向きに定常電流  $I$  が流れている。真空の透磁率を  $\mu_0$  とする。以下の問(2a)から(2d)に答えよ。
- (2a) 導線から距離  $r$  離れた点での磁場の向きを図示し、その強さ  $B$  を  $r$  の関数として求めなさい。導線の太さ（断面積）は無視できるものとする。
- (2b) 図2の様に、 $xy$  平面上に、 $x$  方向に  $a$ 、 $y$  方向に  $b$  の長さをもつ長方形の閉回路を、回路の底辺と導線の距離が  $d$  となるように置く（図2）。この回路を貫く磁束  $\Phi$  を計算せよ。
- (2c) 時刻  $t = 0$  で回路が図2の位置にあるとする。その後、回路を一定の速さ  $v$  で  $y$  方向に動かす。このとき回路には誘導電流  $I'$  が生じる。この誘導電流の向きを図示せよ。また誘導電流の強さを時間  $t$  の関数として求めよ。
- (2d) 回路を一定の速さで動かしつづけるために、回路に加えなければならない力の大きさ  $F(t)$  を時間  $t$  の関数として求めよ。

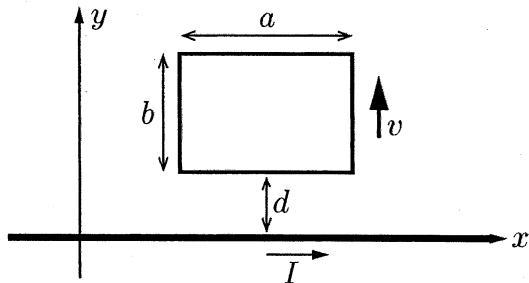


図2

- (3)  $x$  軸の負の領域を、一定の運動エネルギー  $K$  を持つて正の向きに進行する粒子がある。 $x \leq 0$  でのポテンシャルはゼロであるが、 $x > 0$  の領域には一定のポテンシャル  $V_0$  ( $V_0$  は正の定数) が存在する。この粒子の運動について、以下の問(3a)と(3b)に答えよ。
- (3a) 粒子の運動を古典力学で扱う場合、 $x = 0$  での透過、反射について述べよ。 $K$  と  $V_0$  の大小によって場合分けすること。
- (3b) 粒子の運動を量子力学で扱う場合、 $x = 0$  での透過、反射について述べよ。 $K$  と  $V_0$  の大小によって場合分けすること。

- (4) PV図上で、3つの熱平衡状態1, 2, 3を断熱線A, 等温線B, 等積線Cで結ぶサイクルを考える(図3)。この熱機関の作業物質は1モルの理想気体であり、状態方程式は  $PV = RT$  である( $R$ は気体定数である)。この過程について、以下の問(4a)から(4d)に答えよ。

必要であれば、関係式

$$dU = TdS - PdV$$

を用いてよい。ここで  $U$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $P$ ,  $V$  は、それぞれ気体の内部エネルギー、絶対温度、エントロピー、圧力、体積を表す。 $C_V$  は定積モル比熱である。また、1モルの理想気体の内部エネルギーは

$$U = C_V T + U_0$$

( $U_0$ は定数)で与えられる。状態1, 2, 3での絶対温度を  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ 、エントロピーを  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ 、体積を  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3 = V_1$ と、それぞれ表す。

- (4a)  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ の大小関係を等式または不等式で表せ。
- (4b)  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ の大小関係を等式または不等式で表せ。
- (4c)  $V_2/V_1 = 10$ のとき、 $T_1/T_3$ を有効数字2桁で計算せよ。作業物質の定圧モル比熱と定積モル比熱の比は  $\gamma = C_p/C_V = 1.4$ とする。数値の計算で必要であれば  $0.1^{0.4} = 0.40$ を用いよ。
- (4d) 等積過程Cは、作業物質を温度  $T_1$ の熱浴と接触させることで進行する。この過程で、作業物質が熱浴から得る熱量  $Q$ を  $T_1$ ,  $T_2$ を含む式で表せ。また、作業物質が熱浴から得るエントロピー  $\Delta S$ と、熱浴が失うエントロピー  $\Delta S' = Q/T_1$ の大小関係を熱力学第2法則を使って説明せよ。

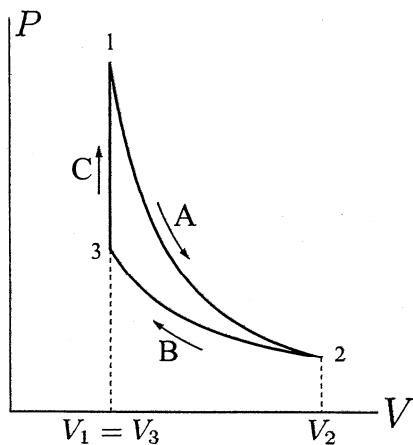


図3

以上

## 第4問（化学分野）

以下の問(1)～(3)のすべてに答えよ。

(1) 元素と周期表に関する以下の問(1a)～(1c)に答えよ。

(1a) NiとCoの天然存在比が最も大きい同位体は $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{59}\text{Co}$ である。それの中性原子の電子数, 中性子数を答えよ。また, 両同位体の質量の大小関係を答えよ。

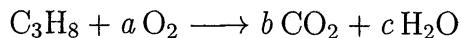
(1b) 周期表における元素の順序(原子番号)が何によって決められているかを, その基準が妥当だと考えられる理由とともに答えよ。

(1c) 次の原子の電子配置を示せ(磁気量子数の異なる軌道は区別しなくてよい)。また, 化学的に類似した性質を示す原子の組を答えよ。

- (i)  ${}^3\text{Li}$ , (ii)  ${}^7\text{N}$ , (iii)  ${}^{15}\text{P}$ , (iv)  ${}^{20}\text{Ca}$

(2) 炭化水素の燃焼に関して以下の問(2a)～(2c)に答えよ。

(2a)  $\text{C}_3\text{H}_8$ が完全燃焼するとして, 以下の反応式中のa～cを決定せよ。



(2b)  $\text{C}_3\text{H}_8$ の標準燃焼熱は,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ の標準生成熱から求めることができる。このような計算の根拠を与える法則の名称を答えよ。また, この法則が成り立つのは, エンタルピーがどのような量であることによるか併せて答えよ。

(2c) 常温常圧の $\text{C}_3\text{H}_8$ は $\text{O}_2$ との混合のみでは燃焼反応を示さない。終状態の方が安定であるのに反応がただちに開始されないのはなぜか答えよ。

(3) 赤外線による分子振動の観測に関する以下の問(3a)～(3c)に答えよ。

(3a) 振動エネルギー準位間隔を $\Delta E$ としたとき, 対応する状態間遷移において吸収される電磁波の波長 $\lambda$ を光速 $c$ , プランク定数 $h$ を用いて表せ。

(3b) 分子振動の準位間隔は, しばしばエネルギーを $ch$ で割った波数で表現される。赤外線の波長を $1\text{ }\mu\text{m}$ から $1000\text{ }\mu\text{m}$ として, 赤外線の吸収に対応する準位間隔のエネルギーの範囲を波数( $\text{cm}^{-1}$ )で示せ。

(3c) 月面における $\text{H}_2\text{O}$ の存在をより確かなものとする成層圏赤外線天文台を用いた研究成果が報告された。これは $6\text{ }\mu\text{m}$ 領域のスペクトルの測定が $\text{H}_2\text{O}$ とROH(RはH以外の任意の基)を区別しうることに基づいている。なぜのようなことが可能なのか, 以下に示す $\text{H}_2\text{O}$ の基準振動と対応する振動波数に基づいて議論せよ。



以上

## 第5問（生命・生態分野）

以下の問(1), (2)のすべての質問に答えよ。解答には問題番号(1a)～(2c)を付すこと。

(1) 以下の問(1a)～(1d)に答えよ。

- (1a) DNAとRNAの相違点について、構造や細胞内での役割に着目して説明せよ。
- (1b) 細胞内にあるRNAとして、メッセンジャーRNA (mRNA), リボソームRNA (rRNA), トランスクアーナ (tRNA) がよく知られている。それぞれのRNAの特徴と細胞内でのたらきについて説明せよ。
- (1c) 地球上での生命誕生に関する有力な仮説のひとつにRNAワールド仮説がある。RNAワールド仮説はどのような仮説で、どのような点で有力視されているのか、RNAの特徴と関連付けて説明せよ。
- (1d) 様々な生物のリボソームRNA遺伝子の塩基配列を決定することによって、生物の系統関係を知ることができる。このように遺伝情報を用いて生物の系統関係を推定する利点について、例をあげて説明せよ。

(2) 以下の問(2a)～(2c)に答えよ。

- (2a) 日本で身近な鳥の一つにスズメがある。10年ほど前に、スズメの個体数が減少している可能性を指摘する論文が発表されて以降、その生息状況が改めて注目されている。都市域においても、建築物や人為的構造物のあり方の変化が、スズメの個体数の減少につながる可能性があると考えられている。どんな変化がどのようにしてスズメの個体数の減少を引き起こすと考えられるのか、スズメの生態を踏まえつつ200字程度で説明せよ。
- (2b) 最近、日本各地の里山において、竹林が拡大している。竹林が拡大している理由として考えられることと、竹林が拡大することで生じ得る問題について、合わせて400字程度で説明せよ。

(2c) 近年問題になっている生物多様性の危機には、人間の活動が深く関わっているとされる。生物多様性の減少を引き起こしたとされる人間活動や人間活動のあり方の変化について、人間活動のできるだけ様々な側面に触れつつ、400字程度で説明せよ。

以上

## 第6問（地球科学分野）

以下の問(1)～(10)のすべてに、それぞれ150字以内で答えよ。

解答には(1)～(10)の問題番号を明記すること。

- (1) 火星の表面にかつて液体の水が存在したことを示唆する証拠について説明せよ。
- (2) 太陽系の平均元素存在度について説明せよ。
- (3) 地球内部で、地震波速度が最も急激に変化する境界について説明せよ。
- (4) 沈み込むプレートが地表からマントルに運搬する物質について説明せよ。
- (5) 部分融解とはどのような現象か説明せよ。また部分融解と火成岩の多様性の関係を説明せよ。
- (6) 陸の風化と大気中の二酸化炭素量の関係について説明せよ。
- (7) 海洋の風成循環とは何か説明せよ。
- (8) 地球を巡る大気大循環の原動力について説明せよ。
- (9) 地球内部の温度構造とマントルの岩石の融点の関係を説明せよ。
- (10) 地球の歴史において、数万年から10万年程度の間隔で繰り返し発生した現象を1つ挙げ、その概略を説明せよ。

以上