

受 験 番 号					

氏 名	

2024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：2023年9月30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（8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問は物理学分野、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等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)  $x$  は実数とする。  $f(x) = x^{p-1}(1-x)^{q-1}$  とし、  $F(p, q) = \int_0^1 f(x)dx$  と定義する。

ここで  $p > 0, q > 0$  は実数である。このとき、以下の問 (1a)~(1e) に答えよ。

(1a)  $p = q = \frac{3}{2}$  のとき、  $f(x)$  の  $0 \leq x \leq 1$  における最大値を求めよ。

(1b)  $F(p, q)$  の定義は広義積分である。この広義積分が収束することを証明せよ。

(1c)  $pF(p, q+1) = qF(p+1, q)$  を証明せよ。

(1d)  $F(p+1, q) = \frac{p}{p+q}F(p, q)$  を証明せよ。

(1e)  $\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{F(p+2, 2)}{F(p, 2)}$  を求めよ。

(2) 実数の集合  $R$  上の  $n$  次数ベクトル空間  $R^n$  について以下考える。  $A, B$  を  $n$  次 (実) 正方行列とする。  $A$  の転置行列を  ${}^tA$  で表す。このとき、  ${}^t(AB) = B{}^tA$  が成り立つ。  $A$  が対称行列とは、  ${}^tA = A$  を満たすときをいう。  $n$  次数ベクトル  $\mathbf{x} = (x_i)$  と  $\mathbf{y} = (y_i)$  との内積  $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  は、

$$(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i = {}^t\mathbf{x}\mathbf{y}$$

で定義される。また、  $A[\mathbf{x}] = {}^t\mathbf{x}A\mathbf{x}$  と定義する。

さて、  $A$  を  $n$  次対称行列、  $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$  を  $n$  次数ベクトル、  $\lambda$  を実数とする。そして、

$$A[\mathbf{x}_1] = 0, (A\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = 1$$

が成り立つとする。このとき、以下の問 (2a)~(2d) に答えよ。

(2a)  $(A\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2 + \lambda\mathbf{x}_1)$  の値を求めよ。

(2b)  $A[\mathbf{x}_2 + \lambda\mathbf{x}_1]$  の値を  $A[\mathbf{x}_2]$  と  $\lambda$  を使って表せ。

(2c)  $(A\mathbf{x}_1, \mathbf{y}) = 1$  かつ  $A[\mathbf{y}] = 0$  となる  $n$  次数ベクトル  $\mathbf{y}$  を  $\mathbf{x}_1$  と  $\mathbf{x}_2$  の線型結合の形で表せ。

(2d)  $n > 1$  とし、  $\mathbf{x}_1$  を第1列、前問で求めた  $\mathbf{y}$  を第2列とする  $n$  次正方行列を  $P$  とする。  ${}^tPAP$  の (1, 1) 成分、(1, 2) 成分、(2, 1) 成分、(2, 2) 成分をそれぞれ求めよ。

以上

## 第2問 (天文学分野)

以下の問(1)~(5)のすべてに答えよ。解答には問題番号(1)~(5)を明記すること。

- (1) 太陽などの星の可視光分光(スペクトル)観測をすると、連続光の中にさまざまな吸収線が検出される。これらの吸収線が形成されるメカニズムを説明せよ。その際、必要であれば図を用いて説明してもよい。
- (2) オリオン星雲のような散光星雲では、ほとんどの領域のガスが電離されている。そのため、可視光分光(スペクトル)観測をすると、さまざまな輝線が検出される。可視光帯で最も強く放射される輝線のひとつは水素原子の放射する $H\alpha$ 輝線である。この $H\alpha$ 輝線が形成されるメカニズムを説明せよ。その際、必要であれば図を用いて説明してもよい。
- (3) 太陽系近傍の星々の可視光測光観測と可視光分光(スペクトル)観測を行い、測光観測から得られた星の総質量と分光観測から得られた観測した領域の力学的質量を比較すると、有意に力学的質量の方が大きいことが分かる。この観測結果は“見えない質量”があるということで大きな問題になった(ミッシング・マス問題)。この問題をどのように解決したらよいか説明せよ。
- (4) 銀河系や円盤銀河(渦巻銀河)の回転を調べると、バルジ部分は剛体回転的な振る舞いを示すが、その外側の円盤部では回転速度がほぼ一定の値をとることがわかっている。この特徴のため、銀河系や円盤銀河(渦巻銀河)の回転曲線は「フラット回転曲線」と呼ばれている。この「フラット回転曲線」をどのように解決したらよいか説明せよ。
- (5) 私たちの住む宇宙は約138億年前に誕生したと考えられており、ビッグバン宇宙論という枠組みで理解されている。ビッグバン宇宙論が広く受け入れられているのは、観測的証拠があるからである。その証拠は「宇宙マイクロ波背景放射」と呼ばれるものである。「宇宙マイクロ波背景放射」の観測的性質を説明し、それがなぜビッグバン宇宙論の観測的証拠になるか説明せよ。

以上

### 第3問 (物理学分野)

以下の問(1)~(4)のすべてに答えよ。必要な物理量を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。解答には問題番号(1a)~(4d)を明記すること。

(1) 半径  $R$ 、長さ  $L$ 、質量  $M$  の中空円筒が、斜面上を初速度ゼロで滑らずに転がり落ちる運動を考える。円筒の厚みは無視する。斜面は平面で、水平面からの傾斜角は  $\theta$  である。以下の問(1a)~(1e)に答えよ。

(1a) 円筒の重心速度が  $v$  である瞬間を考える。この瞬間の、円筒の中心軸の周りの回転角速度  $\omega$  を求めよ。「滑らずに転がる」条件に注意せよ。

(1b) 円筒の中心軸の周りの回転角速度が  $\omega$  である瞬間、回転運動のエネルギーは  $\frac{1}{2}I\omega^2$  で与えられる。 $I$  は、円筒の中心軸の周りのモーメントである。 $I$  の値を求めよ。

(1c) 円筒の運動エネルギーは、並進運動と回転運動のエネルギーの和となる。円筒の重心速度が  $v$  である瞬間の、それぞれの値を求めよ。

(1d) 円筒の重心が、斜面に沿って距離  $d$  だけ移動した瞬間の、重心速度  $v_d$  を求めよ。

(1e) 円筒の半径  $R$  が小さくなると、 $v_d$  の値はどうなるか？

(2) 熱力学について、以下の問(2a)~(2c)に答えよ。

(2a) 物質量が変化しない系(閉鎖系)の準静的過程に対し、内部エネルギー  $U$  の微小変化は

$$dU = \square dS - \square dV$$

で与えられる。この関係式は、しばしば「熱力学の基本方程式」と呼ばれる。ここで、 $S$  はエントロピー、 $V$  は体積である。空欄には、温度  $T$ 、圧力  $P$ 、物質(モル数)  $n$  のいずれかが当てはまる。これらを正しく当てはめ、熱力学の基本方程式を完成させよ。

(2b)  $n$  モルの単原子分子理想気体からなる系のエントロピーを求めよ。気体定数を  $R$  とせよ。

(2c)  $n$  モルの単原子分子理想気体の体積が、断熱的な真空膨張によって2倍になった。この過程でのエントロピー変化を求めよ。

(3) 電磁場について、以下の問(3a)~(3c)に答えよ。

(3a) 真空中の電荷および電流密度が作る電場  $E$  と磁場  $B$  は、以下の4つのマクスウェル方程式で記述される。

$$\begin{aligned}\nabla \cdot E &= \frac{1}{\epsilon_0} \square, & \nabla \cdot B &= \square \\ \nabla \times E &= -\square, & \nabla \times B &= \mu_0 \left( \square + \epsilon_0 \square \right)\end{aligned}$$

空欄には、電荷密度  $\rho$ 、電流密度  $j$ 、電場の時間微分  $\frac{\partial E}{\partial t}$ 、磁場の時間微分  $\frac{\partial B}{\partial t}$  および0のいずれかが当てはまる。これらを正しく当てはめてマクスウェル方程式を完成させ、各方程式の物理的意味を説明せよ。

- (3b) 真空中の光速  $c = 299792458 \text{m/s}$  を2乗すると  $c^2 = 89875517873681764 \text{m}^2/\text{s}^2$  となる。一方、クーロン力の定数は  $k = 8.987552 \times 10^9 \text{V}^2/\text{N}$  である。これらの数値の間の関係を、マクスウェル方程式と関連付けて説明せよ。
- (3c) 真空中のマクスウェル方程式は、物質中ではどのように修正すべきか。4つの式それぞれについて簡潔に説明せよ。

(4) 電子による光の散乱で、散乱光の波長が入射光の波長より長くなる現象をコンプトン効果という。コンプトンは光の粒子説にもとづき、この散乱過程を電子と光の粒子(光子)の弾性衝突として扱った。これについて、以下の問(4a)~(4d)に答えよ。プランク定数を  $h$ 、光の振動数を  $\nu$  とすると、波長  $\lambda$  は光速  $c$  を使って  $\lambda = c/\nu$  と書ける。また、衝突直後の電子の速さを  $v$  とする。 $v$  は光速  $c$  に比べて小さく、非相対論的近似を適用できるものとする。電子質量を  $m$  とする。

- (4a) エネルギー ( $E = h\nu$ )、運動量の大きさ ( $p = E/c$ ) を持つ光子が、静止した電子に衝突すると考える。衝突の前後における光子と電子のエネルギーの和にエネルギー保存則を適用し、光の波長  $\lambda$  が衝突後に長くなることを示せ。
- (4b) 衝突後に光子が進む向きが、入射の向きに対して反時計回りになす角を  $\theta$  とする。これに対し、衝突後に電子が進む向きは時計回りに角  $\phi$  であった。運動量保存則を用いて、2つの角度  $\theta$  と  $\phi$  の間の関係を示せ。電子の速さ  $v$  はそのまま用いてよい。
- (4c) 衝突によって、電子が受け取るエネルギーが最大になる場合の  $\theta$  の値はいくらか? また、その場合の電子のエネルギーを求めよ。
- (4d) 衝突前後での、光子の波長の変化量を考える。この変化量の最大値を求めよ。

以上

#### 第4問 (化学分野)

以下の問(1)~(3)のすべてに答えよ。解答には問題番号(1a)~(3c)を明記すること。

(1) 元素と周期表に関する以下の問(1a)~(1c)に答えよ。

- (1a) ArとKの天然存在比が最も大きい同位体は ${}^{40}_{18}\text{Ar}$ ,  ${}^{39}_{19}\text{K}$ である。それぞれの原子番号、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、これらの原子のうち常磁性を示すものをすべて挙げよ。  
(i)  ${}_{4}\text{Be}$ , (ii)  ${}_{6}\text{C}$ , (iii)  ${}_{18}\text{Ar}$ , (iv)  ${}_{20}\text{Ca}$

(2) 等温等圧条件下の空中窒素固定反応  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$  に関する以下の問(2a)~(2c)に答えよ。

- (2a) 空中窒素固定反応の化学平衡は低温条件でより生成物側に偏ることが知られている。このことに基づき、この反応の反応エンタルピーおよび反応エントロピーの正負をそれぞれ答えよ。
- (2b) 空中窒素固定反応におけるエントロピー変化を反応式に基づいて定性的に説明せよ。
- (2c) 空中窒素固定反応は化学平衡の観点からは低温条件で行うのが望ましいが、実際には低温条件では反応は進行しない。この理由とそれを克服するために必要な物質の総称を答えよ。

(3) 網膜に存在するレチナールの光吸収に関する以下の問(3a)~(3c)に答えよ。

- (3a)  $\text{sp}^2$ 炭素が単結合と二重結合とで交互に連なる部分構造を $\pi$ 共役系と呼ぶ。 $\pi$ 電子はこの $\pi$ 共役系に沿って非局在化し、一次元の箱の中の電子の問題としてモデル化することができる。一次元の箱の中の電子が取りうるエネルギー準位は、量子数を $n$ 、箱の長さを $L$ 、電子質量を $m$ 、プランク定数を $h$ として

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

で与えられるが、これを長さ $L$ の一次元の箱に閉じ込められた電子のド・ブロイ波の観点から導け。

- (3b) レチナールの $\pi$ 共役系には12個の電子が含まれる。最高占有準位および最低占有準位の量子数をそれぞれ答えよ。
- (3c) レチナールの共役系の長さが1.54 nmであるとして、(3b)で答えたレチナールの励起に対応する光子のエネルギー(単位はeV、有効数字は1桁)を求めよ。ただし、上式の定数部分 $h^2/8m$ は、 $0.377 \text{ eV} \cdot \text{nm}^2$ であることを用いてよい。

以上

## 第5問（生命・生態分野）

以下の問(1), (2)に答えよ。解答には問題番号(1a)~(2e)を明記すること。

(1) 以下の問(1a)~(1d)に答えよ。

- (1a) 味噌, 醤油, 日本酒の製造において, 麹菌と酵母は欠かせない微生物である。これらの菌類はその製造においてどのような役割を担っているのか。具体的にどのような物質を分解したり, 合成したりするのかを含めて説明せよ。
- (1b) 麹菌や酵母といった菌類は, 生態系における物質循環の中で分解者と呼ばれる場合がある。これらの菌類は, どのような性質をもつために分解者と呼ばれるのか。どのようなものを分解し, その結果何を生成するのか, そして, その生成物は生態系における物質循環の中で, どのような生物にどのように利用されるのかという点から説明せよ。
- (1c) 味噌, 醤油, 日本酒の製造の過程で, 麹菌や酵母が行っていることは, 代謝という生物全般に見られる現象の一部である。この代謝とはどのような現象か。その生体内で担う役割やシステムとしての特徴を含めて説明せよ。
- (1d) 生物は, 代謝を行う際に酵素を用いる。微生物を利用して特定の酵素を大量に合成するには, どのような方法が適切か。利用する微生物と具体的な方法について説明せよ。

(2) 以下の問(2a)~(2e)に答えよ。

- (2a) 2023年3月に日本国政府が閣議決定した新しい生物多様性国家戦略においても言及されている「30by30目標」とは何か, 説明せよ。
- (2b) エコロジカル・ネットワークが生物多様性の維持のために有効である, という考え方がある。なぜそのような考えられるのか, エコロジカル・ネットワークの意味とともに説明せよ。
- (2c) 人間が意識して形成した生物生息場所を, ビオトープと呼ぶことがある。しかしこれはこの言葉の本来の意味ではない。ビオトープという言葉の本来の意味を説明せよ。
- (2d) 今日, 地球上の生物多様性が危機に瀕していると考えられている。今日において生物多様性が損なわれている理由として, どのようなものが指摘されているか。4つ以上挙げよ。
- (2e) 生態学的な現象としての攪乱はどのようなものであるか, 自然界における例を1つ以上挙げながら説明せよ。

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200字以内で答えよ。解答には問題番号(1)~(10)を明記すること。

- (1) 天体の平均密度に注目して、太陽系の惑星を分類せよ。
- (2) 炭素質コンドライトと太陽系の平均元素存在度の関係について説明せよ。
- (3) 地球内部（地表面から地球中心まで）の構成物質の分布を説明せよ。
- (4) 地球のプレートテクトニクスに関わる、沈み込み帯を経由した物質循環について説明せよ。
- (5) 部分融解とはどのような現象か説明せよ。また部分融解と花こう岩マグマ生成の関係を説明せよ。
- (6) 100万年程度の時間スケールで、大気中の二酸化炭素を固体地球に固定する過程について説明せよ。
- (7) 地球を巡る大気大循環の原動力について説明せよ。
- (8) 地球を巡る海洋大循環について説明せよ。
- (9) 収束境界、発散境界、およびホットスポットの、それぞれの場所における地震の特徴を説明せよ。
- (10) 地球の歴史において数千万年から数億年の間隔で繰り返し発生した現象を2つ挙げ、その概略を説明せよ。

以上