

令和 8 年度秋季入試 北海道大学大学院環境科学院  
地球圏科学専攻大気海洋物理学・気候力学コース

筆記試験 出題意図

必答問題

「数学」および「物理学」に関する基礎的な知識と理解力を問う。

選択問題

「数学」、「物理学」、「地球物理学(気象学)」、「地球物理学 (海洋物理学)」、合計 4 問のうちから 1 問を選択し、これらの分野に関する知識と理解力を問う。

## 問題 1：必答問題 解答例

問 1 (a)  $(a, b, c)$

(b)  $a \cos \phi + b e^\phi + c/\phi$

(c)  $(b/\phi - c e^\phi, c \cos \phi - a/\phi, a e^\phi - b \cos \phi)$

問 2 (a)  $e^x(\sin x - \cos x)/2 + C$  ( $C$  は積分定数)

(b)  $V$

問 3  $(e^{-1} + e)/2$

問 4  $y = e^{-x-ix}$

図は、解の実部が  $y = e^{-x} \cos x$  なので、 $y = e^{-x}$  と  $y = \cos x$  を補助線として描き、これらの掛算として概略を図示すればよい。 $\cos$  の 1 周期分くらい、0 となる点 ( $\cos x = 0$ ) および  $y = \pm e^{-x}$  になる点 ( $\cos x = \pm 1$ ) が分かるように示すのが望ましい。

## 問題 2：必答問題 解答例

問 1 (a)  $v = R\omega, a = R\alpha$

(b)  $mg - T = ma, \quad TR = I\alpha$  あるいは  $T = \frac{I}{R^2}a$

(c)  $a = \frac{mg}{m + \frac{I}{R^2}}$

(d) 質量が中心に集中している滑車の方が  $I$  が小さく、加速度が大きい。

問 2 (a) 波長 :  $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ , 周期 :  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , 位相速度 :  $v = \frac{\omega}{k}$ , 進行方向 :  $x$  の正の向き。

(b) 速度:  $\omega A \sin(kx - \omega t)$ , 加速度:  $-\omega^2 A \cos(kx - \omega t)$

(c)  $2A \cos(\Delta kx - \Delta \omega t) \cos(kx - \omega t)$

(d)  $x = 0$  における合成波  $2A \cos(\Delta \omega t) \cos(\omega t)$  を図示すればよい。

(e) 振動数がわずかに異なる 2 つの音波が重ね合わさることで、音の強さが周期的に強弱を繰り返す現象。

### 問題3：選択問題・数学 解答例

問 1  $\lambda_1 = -1, \lambda_2 = -3, P = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, P^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}。$

問 2  $R^2 = \begin{pmatrix} r_1^2 & 0 \\ 0 & r_2^2 \end{pmatrix}$  であり、左辺の成分は  $f(R) = \begin{pmatrix} f(r_1) & 0 \\ 0 & f(r_2) \end{pmatrix}$  となるため、 $f(R) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}$  が成り立つ。

問 3

$$(PRP^{-1})^2 - 5(PRP^{-1}) + 3I = P(R^2 - 5R + 3I)P^{-1} = P(P^{-1}AP)P^{-1} = A$$

問 4  $\lambda_1 = -1, \lambda_2 = -3$  の場合、 $r_1$  は 1 または 4、 $r_2$  は 2 または 3。

従って、 $R$  は、 $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}。$

問 5  $X$  は、 $\begin{pmatrix} 0 & 2 \\ -1 & 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 & 4 \\ -2 & 5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 6 & -4 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 5 & -2 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}。$

## 問題 4：選択問題・物理学 解答例

問 1  $C_p = C_v + R$

問 2 热力学の第一法則および断熱過程であることから

$$C_v dT = -pdV$$

ここで  $pV = RT$  を用いて

$$C_v dT/T = -R dV/V$$

$$\ln T^{C_v} = \ln V^{-R} + c_0 = \ln V^{-(C_p - C_v)} + c_0$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const.}$$

問 3  $Q_H = C_v(T_3 - T_2)$

$$Q_L = C_v(T_4 - T_1)$$

問 4  $\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$

問 5  $\eta = 1 - \frac{1}{e^{\gamma-1}}$

最大体積が 100L、最小体積が 10L のとき、熱効率は 0.5 となる

## 問題 5：選択問題・地球物理学 解答例

### 問 1

- (a) 上空では主に圧力傾度力とコリオリ力がバランスし地衡風が吹いている。圧力傾度力は北向き、コリオリ力は南向きで同じ大きさであり、東向きの風ベクトルが図示できていること。
- (b) 地表近くでは主に圧力傾度力、コリオリ力に加えて摩擦力がバランスし風が吹いている。摩擦力は風ベクトルと逆方向に働き、風ベクトルは大きさが(a)よりも小さく、低圧側にやや傾いたベクトルとして図示できていること。

### 問 2

- (a) 夏季は南風が卓越するため、南海上から暖かく湿った空気が流入しやすい。一方、三陸沖～北海道南海上では寒流（親潮）の影響で海面水温が低い。そのため大気下層が冷却され水蒸気が飽和することにより霧が発生しやすい。
- (b) 2 つの画像を見比べると、雲による太陽光の反射光を反映する可視画像には白い部分があるが、雲頂の温度が反映される赤外画像はほぼ黒である。したがって、雲頂と周囲の温度の差が小さい、低い高度に雲が存在することが分かる。
- (c) 釧路の高層気象観測の結果から、気温と露点は最下層から高度 130 m 程度まで同じであることがわかり、この高度まで霧が発生していたと判断できる。
- (d) 昼にかけて日射が卓越し地表面の気温が上昇する。これにより飽和水蒸気圧が高くなり、霧が消失すると考えられる。

### 問 3

- (a) 有効放射量  $R$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )、時間  $t$  (s)、単位面積あたりの比熱容量  $c$  ( $\text{J}/\text{m}^2/\text{K}$ ) として 1 時間あたりの気温低下は  $Rt/c \sim 3.6$  (K)
- (b) 18 時の気温が  $20^\circ\text{C}$ 、露点温度が  $9^\circ\text{C}$  であったことから、気温が  $11^\circ\text{C}$  低下すると霧が発生する条件となる。(a)の計算から放射による温度低下率は  $3.6$  (K/hour) と見積もられたので、おおよそ 3.1 時間後に露点温度に達する。したがって 21 時過ぎ頃に霧が発生すると考えらえる。

## 問題6：選択問題・地球物理学 解答例

問1：熱は低緯度から高緯度へ運ばれる。低緯度で大気から海に吸収された過剰の熱が、大気へ熱を放出している高緯度の海へ輸送される。(60字)

問2：南大西洋で逆になっている。この海域では、海洋深層循環により、低温の北大西洋深層水が低緯度から高緯度へ運ばれ、それを補償するように暖かい上層の水が低緯度側へ運ばれているから。(86字)

問3：淡水は高緯度から低緯度へ運ばれる。淡水は、大気により蒸発が大きい低緯度から降水が大きい高緯度へ運ばれるが、海洋はそれとバランスするように淡水を高緯度から低緯度へ運ぶから。(85字)

問4：南太平洋で逆になっている。淡水は、蒸発が大きい大西洋から太平洋に降水として運ばれるため、大西洋の方は塩分が高くなる。海洋は、それとバランスするように、淡水を太平洋から大西洋へ南太平洋を介して運ぶ必要があり、南太平洋では低緯度から高緯度の輸送となる。(124字)

問5：南極の氷床が融解することによる淡水供給。近年、南極氷床の融解が加速しており、大陸にあった淡水が海洋に供給されるため、海水準が上昇するという問題が生じつつある。(79字)