

## 専門科目 [気象環境学]

No. 1

下記の 6 問の中から 4 問選択して解答せよ。(25 点×4 問 = 100 点)

1. 大気中の力の釣り合いに関する次の文章で、空欄 A~O を埋める語句を語群から選択して答えよ。

地表面の摩擦や熱的な影響を受けない自由大気中の水平規模の大きな流れは、ほぼ (A) と (B) の釣り合う地衡風平衡にある。このような流れの地表面付近では、(A) と (B) に加え、(C) が働くため、等圧線を横切る流れが生じる。渦運動の場合は、水平規模が大きくても、曲率や風速が大きいと (D) を無視することはできず、(A) と (B)、(D) が釣り合う傾度風平衡が成り立つ。なお、中緯度では高緯度側が低温で低緯度側が高温となるため南北の温度差は大きくなる。南北に温度差があれば、上空で南北の (E) が大きくなり、北半球では (B) は (F) から (G) に作用する。地球の自転は (H) から (I) に回転しているので北半球では、(A) は (B) の方向に対して (J) 向きに働き、必然的に風は西風(偏西風)となる。低気圧の渦の回転方向は (K) となる。南半球では、(A) は (B) の方向に対して (L) 向きに働き、低気圧の渦の回転方向は (M) となる。一方、竜巻などの小さな渦では、(A) は重要ではなくなり、渦の回転方向は決まっていない。また、(N) 保存則により、渦の中心から近いほど、風速は (O) なる。

### [語群]

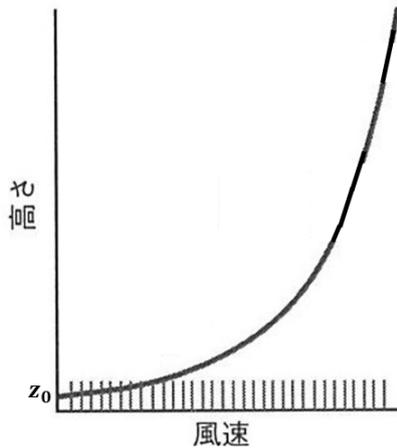
摩擦力, 時計回り, 反時計回り, 遠心力, 気圧傾度力, コリオリ力, 右, 左, 上, 下, 重力, 温度, 熱収支, 質量, エネルギー, 角運動量, 大きく, 小さく, 東, 西, 南, 北, 気圧差

2. 地表面の熱収支式は主に、正味放射量 ( $R_n$ ), 顕熱輸送量 ( $H$ ), 潜熱輸送量 ( $IE$ ), 地中熱流量 ( $G$ ) で構成される。
  - (1) 地表面の熱収支式を  $R_n$ ,  $H$ ,  $IE$ ,  $G$  を用いて記せ。
  - (2) ボーエン比  $\beta$  を (1) の必要な構成要素を用いて定義せよ。
  - (3) ボーエン比  $\beta$  が既知である場合に、 $IE$  と  $H$  はそれぞれ、 $R_n$ ,  $G$ ,  $\beta$  を用いてどのような式で表せられるかを記せ。
  - (4) ボーエン比の気温依存性とは何かを説明せよ。
  - (5) 水面蒸発量(潜熱輸送量)は、日本の北側(たとえば、北海道)と日本の南側(たとえば、九州)では、どちらが大きいのかその主な要因をボーエン比の気温依存性の観点を含めて答えよ。

## 専門科目 [気象環境学]

No. 2

3. 地表面において風速と高さとの関係は下の図と式のように対数法則があることが知られる。



$$\bar{U} = \frac{U^*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0}$$

$\bar{U}$  は高さ  $z$  (m) の平均風速 ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $U^*$  は摩擦速度 ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\kappa$  はカルマン定数  $\approx 0.4$ ,  $z_0$  は粗度長 (m) (左図の指数関数の曲線の外挿で風速を  $0 \text{ m s}^{-1}$  とみなせる高さ)

- (1) 春先の北海道では、耕したばかりの裸地の農地において、風の強い条件では土粒子が飛散して舞い、その結果、発芽したばかりの作物に土粒子が当たり、損傷する風害を生じていた。そこで、ある農家は以下の図のように、平坦であった農地を凹凸状にして、風害を防止することを考えた。なぜ、農地を凹凸状にすると風害が防止できるのか、風速の対数法則を踏まえて説明せよ。

平坦な畑の地面



凸凹にした畑の地面



- (2) 粗度長  $z_0$  が  $0.001 \text{ m}$  の農地で高さ  $10 \text{ m}$  の風速 ( $\bar{U}_{10}$ ) が  $10 \text{ m s}^{-1}$  のとき、高さ  $0.02 \text{ m}$  の風速を計算過程も示して求めよ (高さ  $0.02 \text{ m}$  は発芽した芽の高さに相当)。なお、 $\ln \frac{10}{0.001} = 9.2$ ,  $\ln \frac{0.02}{0.001} = 3.0$  として計算せよ。

## 専門科目 [気象環境学]

No. 3

- (3) 高さ 0.02 m の風速が  $3 \text{ m s}^{-1}$  の以上のときに土粒子が飛び始めて、発芽したばかりの作物を損傷する。粗度長  $z_0$  を 0.002 m, 0.003 m, 0.004 m, 0.005 m の場合のそれぞれにおいて、高さ 10 m の風速 ( $\bar{U}_{10}$ ) が  $10 \text{ m s}^{-1}$  のとき、高さ 0.02 m の風速を求めて、粗度長  $z_0$  が 0.001 m, 0.002 m, 0.003 m, 0.004 m, 0.005 m の中で風速  $3 \text{ m s}^{-1}$  以下にするための必要最小限の粗度長を求めよ。なお、 $\ln \frac{10}{0.002} = 8.5$ ,  $\ln \frac{0.02}{0.002} = 2.3$ ,  $\ln \frac{10}{0.003} = 8.1$ ,  $\ln \frac{0.02}{0.003} = 1.9$ ,  $\ln \frac{10}{0.004} = 7.8$ ,  $\ln \frac{0.02}{0.004} = 1.6$ ,  $\ln \frac{10}{0.005} = 7.6$ ,  $\ln \frac{0.02}{0.005} = 1.4$  として計算せよ。

## 専門科目 [気象環境学]

No. 4

### 4. 非公開

[非公開理由] 本設問を広く公開すると、設問で使用した問題文章が著作権侵害の観点から問題が発生する可能性があるため、非公開とする。

## 専門科目 [気象環境学]

No. 5

5. ある放射環境下におかれた個葉が、気温  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度  $60\%$ 、葉温  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、水蒸気輸送に対する葉コンダクタンス  $0.2\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  で定常状態にあった。以下の問いに答えよ。なお、気温  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  および  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  における飽和水蒸気圧をそれぞれ  $30\text{ hPa}$  および  $35\text{ hPa}$ 、大気圧を  $1000\text{ hPa}$ 、蒸発潜熱を  $44\text{ kJ mol}^{-1}$ 、空気の体積熱容量を  $1200\text{ J m}^{-3}\text{ K}^{-1}$ 、および空気のモル体積を  $0.022\text{ m}^3\text{ mol}^{-1}$  とする。解答の際には、計算過程を記すとともに、解は単位も併せて示すこと。
- (1) 蒸散速度を求めよ。
  - (2) 葉面における潜熱フラックスを求めよ。
  - (3) 水蒸気輸送に対する気孔コンダクタンスが  $0.3\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  であるとき、水蒸気輸送に対する葉面境界層コンダクタンスを求めよ。
  - (4) 仮に、気孔が完全に閉鎖して気孔コンダクタンスが  $0\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  になったとき、葉温が  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  に上昇した。このとき、葉が吸収している放射エネルギーを、葉の熱収支に基づいて求めよ。なお、(3) で求めた葉面境界層コンダクタンスには変化はなく、熱輸送に対するコンダクタンスは水蒸気輸送に対するコンダクタンスの値に  $0.9$  を乗じたものとする。また、葉が代謝などの生命活動に使うエネルギーは無視できるものとする。

## 専門科目 [気象環境学]

No. 6

6. 非公開

[非公開理由] 本設問を広く公開すると、設問で使用した図が著作権侵害の観点から問題が発生する可能性があるため、非公開とする。

専門科目 [気象環境学] 解答例

1.

- (A) コリオリ力 (B) 気圧傾度力 (C) 摩擦力 (D) 遠心力 (E) 気圧差 (F) 南 (G) 北 (H) 西 (I) 東 (J) 右 (K) 反時計周り (L) 左 (M) 時計回り (N) 角運動量 (O) 大きく

2.

(1)  $R_n = H + LE + G$

(2)  $\beta = \frac{H}{LE}$

(3)  $LE = \frac{R_n - G}{(1 + \beta)}$   $H = \frac{\beta(R_n - G)}{(1 + \beta)}$

(4) ボーエン比は気温が高くなるほど小さくなるという性質がある。これは気温が上昇すると大気中の含みうる飽和水蒸気量（圧）、さらに増大する傾向にあるため、気温上昇に伴う顕熱輸送量の増加よりも、潜熱輸送量の増加程度の方が大きいからである。

(5) 九州の方が水面蒸発量（潜熱輸送量）は大きい。気温が高いほど、ボーエン比は小さくなり、与えられた正味放射量  $R_n$  と地中熱流量の差のエネルギーの多くは潜熱輸送量として使われるからである。

3.

(1) 地面は平坦で一樣より、凸凹した方が風に対して抵抗する摩擦力が強く働く。したがって地面付近の風速が減じて風害を防止できる効果を持つ。風速の対数分布則では、地表面粗度を増大させる意味となる。

(2)  $10 \times 3 / 9.2 = 3.26 \text{ m s}^{-1}$

(3) 粗度長 0.002 m では風速  $2.7 \text{ m s}^{-1}$  粗度長 0.003 m では風速  $2.4 \text{ m s}^{-1}$  粗度長 0.004 m では風速  $2.1 \text{ m s}^{-1}$  粗度長 0.005 m では風速  $1.8 \text{ m s}^{-1}$  となり、粗度長 0.002 m が必要最小限の粗度である。

4. 問題文非公開

5.

(1) 葉内の水蒸気濃度 :  $35/1000 = 0.035 \text{ mol mol}^{-1}$

大気の水蒸気濃度 :  $25 \times 60 / 100 / 1000 = 0.015 \text{ mol mol}^{-1}$

したがって、蒸散速度は

$Tr = 0.2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \times (0.035 - 0.015 \text{ mol mol}^{-1}) = 0.004 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

(2) 潜熱フラックスは、 $\lambda Tr = 44 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1} \times 0.004 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 176 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 176 \text{ W m}^{-2}$

(3)  $g_L = \frac{gs ga}{gs + ga} = \frac{0.3 ga}{0.3 + ga} = 0.2$  よって  $ga = 0.6 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

(4) 葉面における熱収支は次のように表せる :  $Q_R = Q_H + Q_E + Q_M$

ここで、 $Q_R$  : 葉に入射する放射エネルギー、 $Q_H$  : 顕熱、 $Q_E$  : 潜熱、 $Q_M$  : 植物の生命活動に使われるエネルギーである。気孔コンダクタンスがゼロなので、蒸散速度もゼロになり  $Q_E = 0$ 、また問題文より  $Q_M$  も無視できるので、 $Q_R = Q_H$  となる。

葉温が  $33^\circ\text{C}$  のときの顕熱フラックス  $Q_H$  は

$Q_H = C_p \rho \times 2gaH(T_L - T_a) = 1200 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1} \times 0.022 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1} \times 2 \times 0.6 \times 0.9 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \times (33 - 25 \text{ K})$   
 $= 228.1 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 228.1 \text{ W m}^{-2}$

したがって，葉に入射する放射エネルギー  $Q_R = 228.1 \text{ W m}^{-2}$

6. 問題文非公開

## 専門科目〔気象環境学〕出題意図

1. 気象環境学分野で研究するために必要な気象学のうち、基礎的な大気の力学と運動に関する知識を問う。
2. 気象環境学分野で研究するために必要な気象学のうち、基礎的な地表面の熱収支に関する知識を問う。
3. 気象環境学分野で研究するために必要な農業気象学のうち、基礎的な風速と高さの対数法則に関する知識を問う。
4. 〔問題文非公開〕気象環境学分野で研究するために必要な農業気象学のうち、応用的な降水と農業気象災害に関する知識を問う。
5. 気象環境学分野で研究するために必要な園芸環境工学のうち、応用的な葉面における熱収支・ガス交換特性に関する知識を問う。
6. 〔問題文非公開〕気象環境学分野で研究するために必要な園芸環境工学のうち、応用的な純光合成速度の環境応答に関する知識を問う。