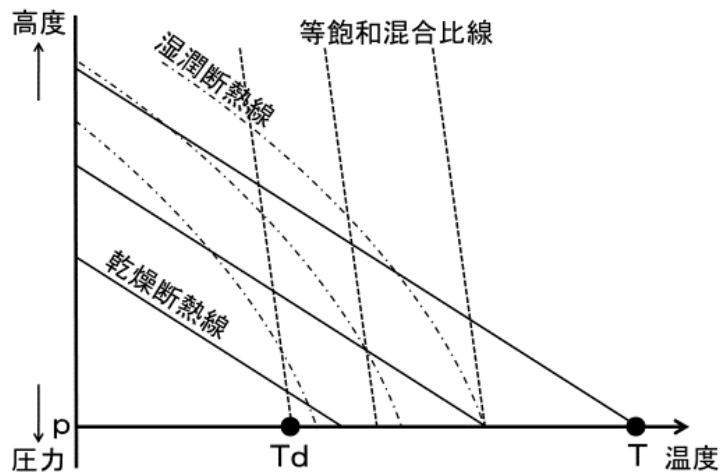


## 気象学概説（2023 年度秋学期） 最終テスト

1. 以下に挙げる 4 種類の気体を、密度の高いものから順に並べ替えよ。ただし、乾燥空気、水蒸気、二酸化炭素は理想気体であると仮定せよ。乾燥空気の平均分子量は 29、水の分子量は 18、二酸化炭素の分子量は 44 とする。考え方も記せ（たとえば、「…だから、アを基準とすると、イの密度はアの密度の○倍、ウの密度は…」というように簡潔に記せばよい）。

- ア. 圧力 500 hPa、温度 300 K の乾燥空気
- イ. 圧力 500 hPa、温度 360 K の乾燥空気
- ウ. 圧力 600 hPa、温度 360 K の水蒸気
- エ. 圧力 600 hPa、温度 300 K の二酸化炭素

2. 露点温度  $T_d$  は、圧力一定という条件で空気を非断熱的に冷却したときに飽和に達して凝結の始まる温度として定義されている。これは、断熱膨張によって空気を冷却したときに凝結の始まる温度  $T_c$  とは異なる。温度  $T$ 、圧力  $p$  の空気を断熱膨張によって飽和に達するまで冷却したときの経路を解答欄のエマグラムに矢印で図示せよ。また  $T_d$  と  $T_c$  のうち値が大きいのはどちらか答えよ。



3. 現代の旅客機においては、気圧の低い高高度を飛行しているときも、客室内の気圧は地上に近い値に保たれている。これは、外気を圧縮して客室に取りこんでいるからである。仮に外気を断熱圧縮して客室に取り込んだら気温は何°Cになるか。旅客機の外気圧を 225 hPa、外気温を  $-57^{\circ}\text{C}$ 、客室内の気圧を 930 hPa とする。ただし、断熱変化においては、以下のように定義される温位  $\theta$  が保存する。

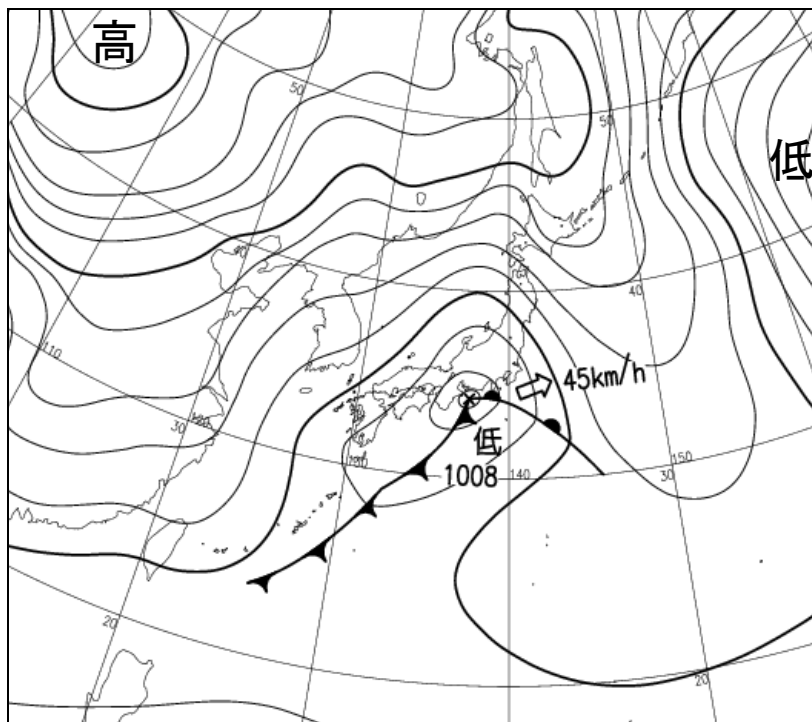
$$\theta = T \left( \frac{p}{p_0} \right)^{-\frac{R}{C_p}} \quad \text{①}$$

ここで、 $T$  は温度（絶対温度）、 $p$  は圧力、 $p_0$  は基準となる圧力であり、 $p_0 = 1000 \text{ hPa}$  である。また、 $R$  は気体定数、 $C_p$  は定圧比熱であるが、 $R/C_p = 2/7$  とする。 $0^{\circ}\text{C}$  は  $273 \text{ K}$  としてよい。必要に応じ、近似式として、 $(225/1000)^{-2/7} = 1.53$ 、 $(930/1000)^{-2/7} = 1.02$  を用いよ。単位は $^{\circ}\text{C}$  とし、有効数字 1 の位までで答えよ。計算過程も示すこと。

4. 北半球中緯度の温帯低気圧のまわりにおける気温と風の分布の特徴として最も適切なものを次のア～カの中からひとつ選び、記号で答えよ。

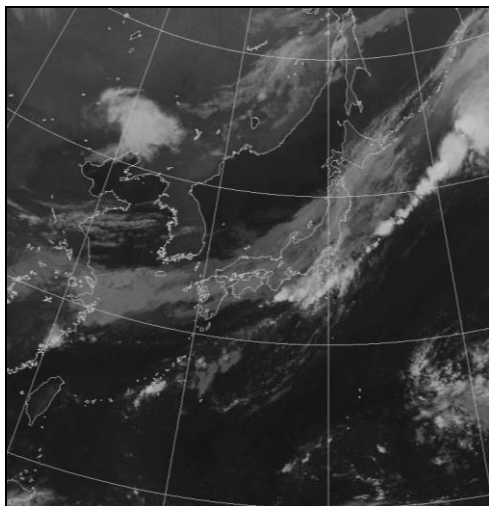
- ア. 気温の高い場所で南よりの風、低い場所で北よりの風が吹いていて、正味で熱を南へ運んでいる。
- イ. 気温の高い場所で南よりの風、低い場所で北よりの風が吹いていて、正味で熱を北へ運んでいる。
- ウ. 気温の高い場所で南よりの風、低い場所で北よりの風が吹いていて、互いの効果を相殺するので正味の南北熱輸送はほぼゼロである。
- エ. 気温の高い場所で北よりの風、低い場所で南よりの風が吹いていて、正味で熱を南へ運んでいる。
- オ. 気温の高い場所で北よりの風、低い場所で南よりの風が吹いていて、正味で熱を北へ運んでいる。
- カ. 気温の高い場所で北よりの風、低い場所で南よりの風が吹いていて、互いの効果を相殺するので正味の南北熱輸送はほぼゼロである。

5. 以下の図は、2024年1月21日9時の地上天気図である。日本列島を発達中の低気圧が通過している。この時刻の気象衛星による赤外画像を次のページのア～エの中から選び、記号で答えよ。また、選んだ根拠を簡潔に述べよ。発達中の温帯低気圧の東側と西側における南北風と鉛直流（上昇気流や下降気流）の分布に注意せよ。本問では記号選択のみ正解の場合には得点は与えられない。

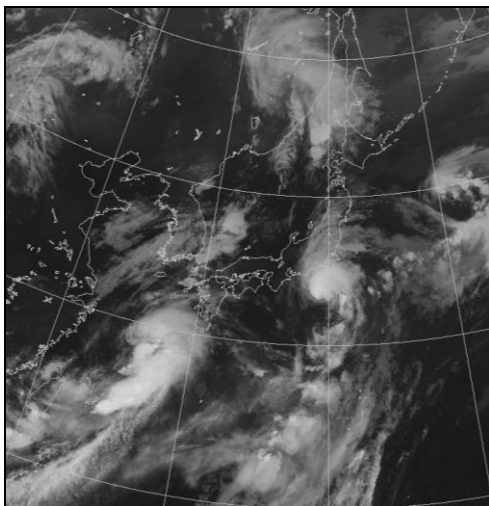


(気象庁による天気図を使用、一部加筆)

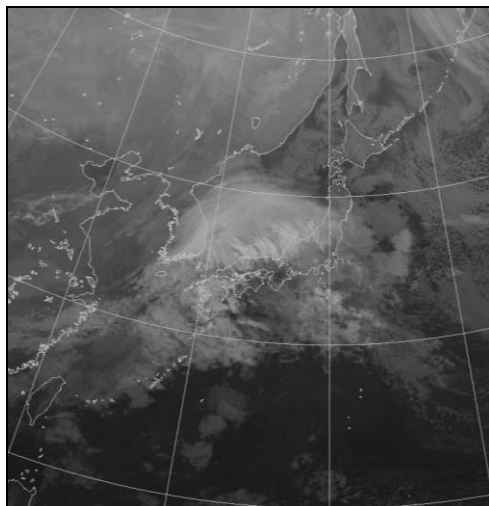
ア



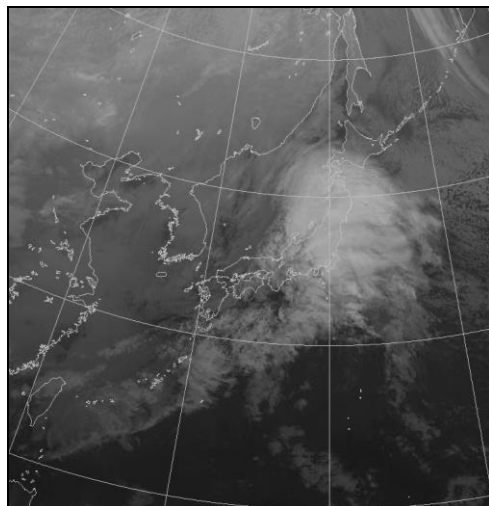
イ



ウ



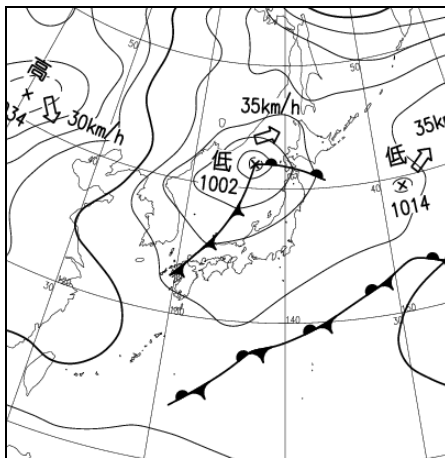
エ



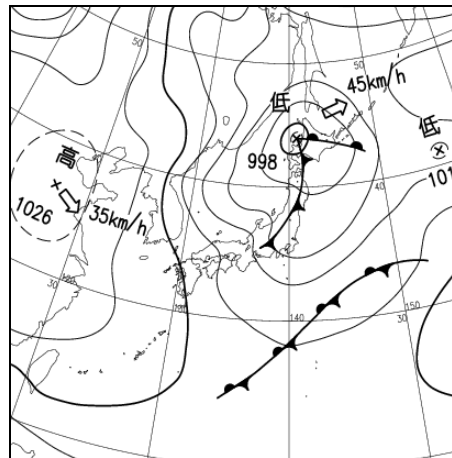
(気象庁による衛星画像を使用)

6. 次の2枚の地上天気図は、2023年11月27日21時、28日9時のものである。日本海を低気圧が発達しながら通過していることがわかる。1番目の地上天気図（11月27日21時）に対応する700 hPa 天気図を次のページのア～ウの中から選べ。700 hPa 天気図においては、実線は等高線、破線は等温線である。また、選んだ根拠となった700 hPa 天気図における (a) 高度場の特徴と (b) 温度場の特徴を、それぞれ簡潔に述べよ。必要に応じ、地上天気図との比較という観点を含めてよい。本問では記号選択のみ正解の場合には得点は与えられない。

11月27日21時

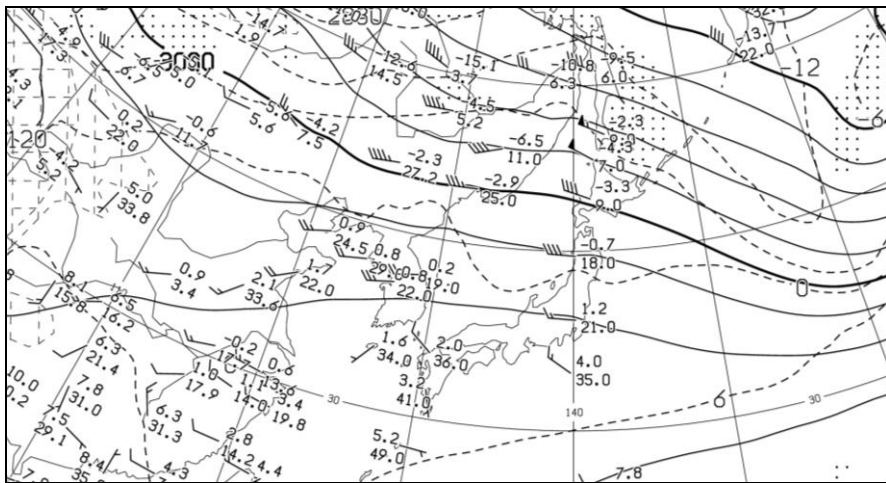


11月28日 9時

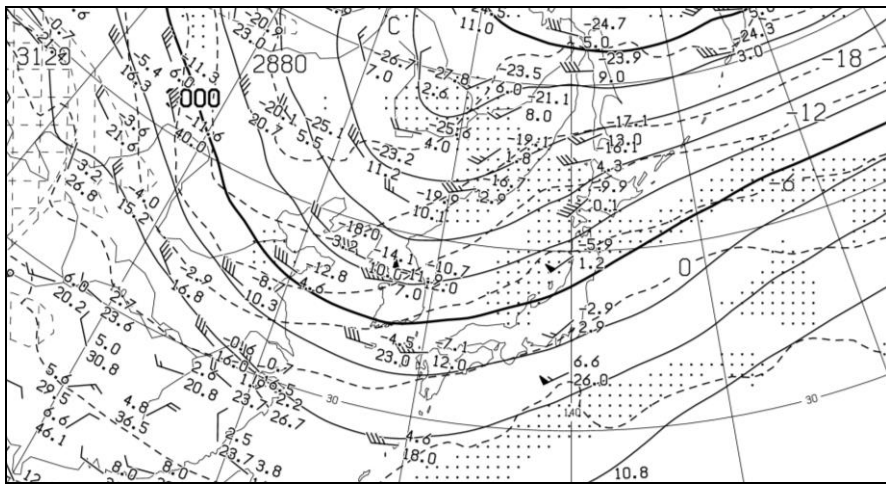


(気象庁による天気図を使用)

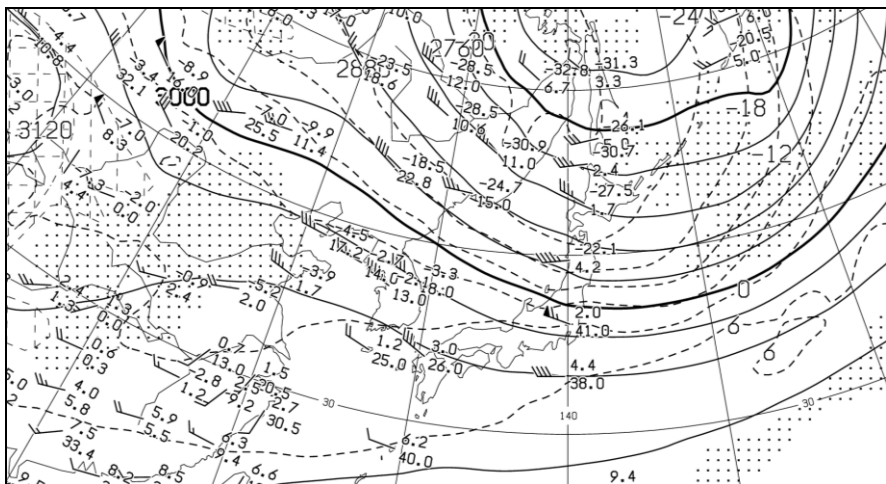
ア



イ



ウ



(気象庁による天気図を使用)

7. 熱帯低気圧の発生、発達に関連して、絶対角運動量に関する以下の問いに答えよ。

(1) 赤道において、渦の中心から 200 km の位置にある空気が、中心のまわりを反時計回りに 1.0 m/s で運動している。この空気が、中心のまわりの絶対角運動量を保存したまま、中心から 50 km の位置まで近づいたら、接線方向（回転方向）の風速は何 m/s になるか、有効数字 2 桁で答えよ。計算過程も示すこと。

なお、絶対角運動量  $L_{abs}$  は、 $L_{abs} = r^2 \Omega \sin \phi + rv$  ( $r$  は中心からの距離、 $v$  は接線方向の風速、 $\Omega$  は自転角速度、 $\phi$  は緯度) で表される。

(2) 北緯  $17^\circ$  において、渦の中心から 200 km の位置にある空気が、中心のまわりを反時計回りに 1.0 m/s で運動している。この空気が、中心のまわりの絶対角運動量を保存したまま、中心から 50 km の位置まで近づいたら、接線方向（回転方向）の風速は何 m/s になるか、有効数字 2 桁で答えよ。地球の自転角速度を  $7 \times 10^{-5}$  /s、 $\sin 17^\circ = \frac{2}{7}$  とする。計算過程も示すこと。

8. 大気の圧力の鉛直方向の変化について、以下の問いに答えよ。計算過程も示すこと。

(1) 静水圧平衡の関係は、

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \quad \text{①}$$

と書くことができる。ここで、 $z$ は高度、 $p$ は圧力、 $\rho$ は密度、 $g$ は重力加速度である。一方、大気を理想気体とみなして、状態方程式を書くと、

$$p = \rho RT \quad \text{②}$$

となる。ただし、 $T$ は温度（絶対温度）、 $R$ は気体定数である。②を用いて、①から $\rho$ を消去し、 $\frac{dp}{dz}$ を $g$ 、 $R$ 、 $p$ 、 $T$ で表せ。 $g$ と $R$ は正の定数であり、また、 $p$ と $T$ は常に正の値をとる。

(2) 前問(1)で得られた微分方程式を解き、 $p$ を $z$ の関数として表せ。積分のときに出てくる任意定数は、 $z=0$ のときに $p=p_0$ となるように定めよ。ただし、温度 $T$ は定数とみなせ。

ヒント：微分方程式の両辺を $p$ で割ってから $z$ で積分せよ。一般に、

$$\int \frac{1}{y} dy = \ln y + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

$$\int \frac{1}{y} \frac{dy}{dx} dx = \ln y + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

である。2番目の方程式において、 $x$ を $z$ に、 $y$ を $p$ に置き換え、前問(1)で得た微分方程式の左辺に適用せよ。 $g$ 、 $R$ 、 $T$ はすべて定数であることにも注意せよ。