

気象学概説（2021 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、乾燥空気と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、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 1000 hPa、温度 270 K の乾燥空気
- イ. 圧力 950 hPa、温度 270 K の乾燥空気
- ウ. 圧力 1000 hPa、温度 300 K の乾燥空気
- エ. 圧力 1000 hPa、温度 270 K の二酸化炭素

2. シリンダーの中に相対湿度が 50%の空気を入れた。通常の実験室の環境下で、シリンダー内の空気を断熱膨張させた。水蒸気の凝結は起こらないものとする。このとき、シリンダー内で次の 4 つの物理量の変化を調べ、増加する物理量、減少する物理量、変化しない物理量の 3 つに分類した。

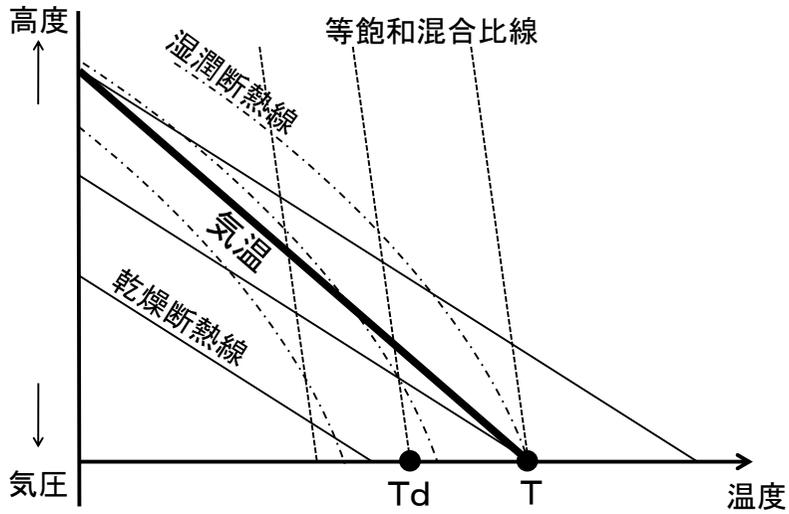
(全) 圧力 水蒸気圧 相対湿度 混合比

(1) 減少する物理量をすべて挙げよ。答えのみを記せばよい。

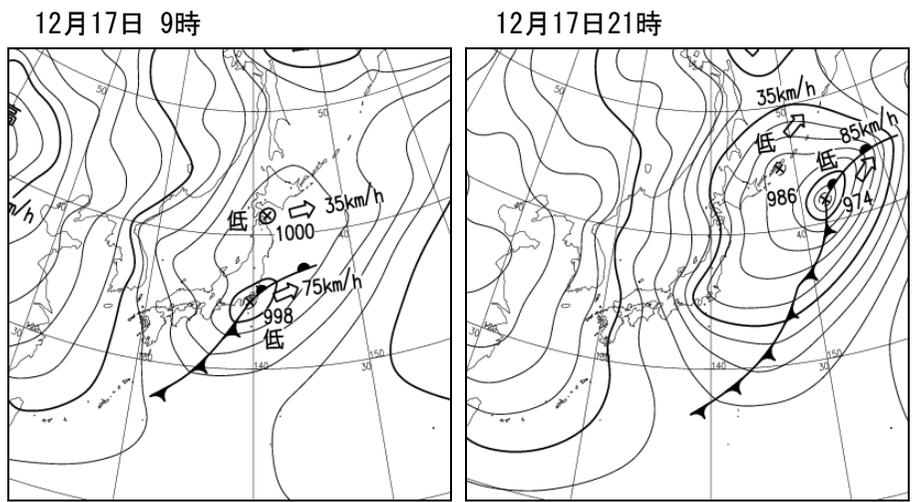
ヒント：これは中学校の理科の教科書に載っているような典型的な実験操作である。(全) 圧力、相対湿度の変化は常識的に判断できる。混合比とは、単位質量の乾燥空気に含まれる水蒸気の質量のことである。空気に新たに水蒸気を加えたり、水蒸気を取り去ったりはしていない点に注意せよ。

(2) 断熱膨張ではなく、温度を一定に保って膨張させた場合に、減少する物理量をすべて挙げよ。答えのみを記せばよい。

3. 下のエマグラムには、地上での気温（ T ）と露点温度（ T_d ）、および気温の高度分布が記入されている。地上の空気塊を断熱的に持ち上げた場合の温度変化を解答欄のエマグラムに実線で描き入れよ。また、解答欄のエマグラム中に「自由対流高度」と「持ち上げ凝結高度」を示せ。

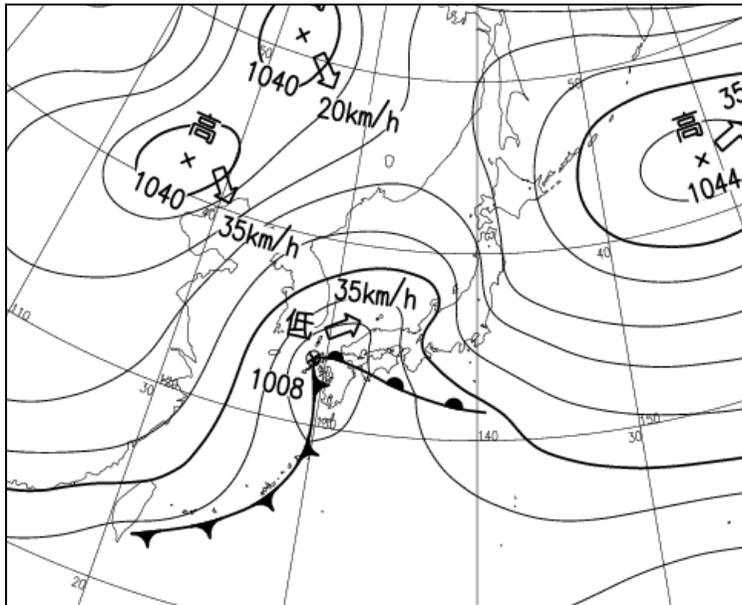


4. 次の2枚の地上天気図は、2021年12月17日9時、21時のものである。日本付近を低気圧が発達しながら通過していることがわかる。1番目の地上天気図(12月17日9時)に対応する700hPa天気図を次のページのア～ウの中から選べ。700hPa天気図においては、実線は等高度線、破線は等温線である。また、選んだ根拠となった700hPa天気図における^(a)高度場の特徴と^(b)温度場の特徴を、それぞれ簡潔に述べよ。必要に応じ、地上天気図との比較という観点を含めてよい。本問では記号選択のみ正解の場合には得点は与えられない。



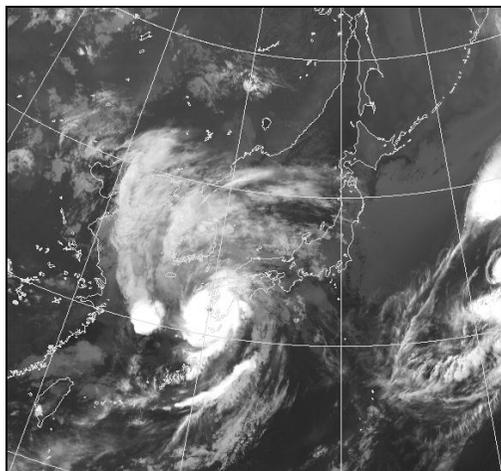
(気象庁による天気図を使用)

5. 以下の図は、ある年の3月8日の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面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。

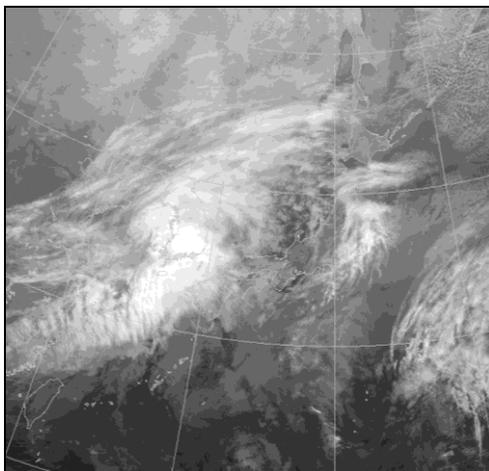


(気象庁による天気図を使用)

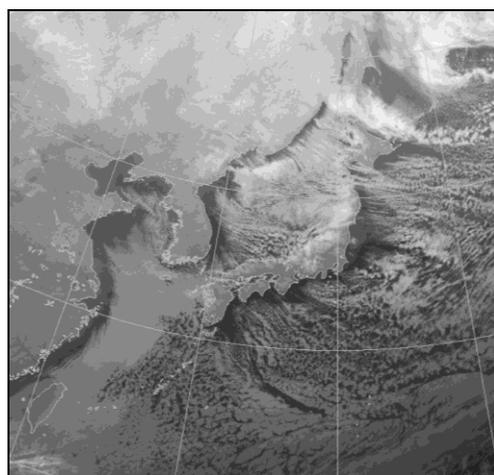
ア



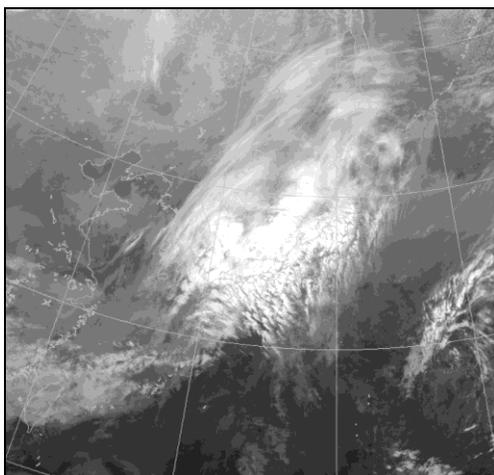
イ



ウ



エ



(気象庁による衛星画像を使用)

6. 北緯 30° において、気圧勾配の大きさ $|\nabla p|$ が 100 km あたり 1.05 hPa であるとする。このとき、地衡風の風速 V は何 m/s か。有効数字 2 桁で求めよ。地球の自転角速度 Ω を $7 \times 10^{-5} / \text{s}$ 、空気の密度 ρ を 0.6 kg/m^3 とする。地衡風の関係を示す公式の導出を含め、計算過程も示すこと。

なお、単位質量の空気塊にはたらく気圧傾度力の大きさは、気圧勾配の大きさを密度で割った値に等しい。また、コリオリ力の大きさは、コリオリ係数と風速との積である。コリオリ係数 f は $f = 2\Omega \sin \phi$ (ϕ は緯度) である。

7. 赤道において東西風が 0 m/s であるとする。仮にこの空気塊が地球の自転軸まわりの角運動量を保存したまま北緯 30° に移動したら、東西風はどうか。風向と風速 (有効数字 2 桁) を答えよ。ただし、地球の半径 a を $6 \times 10^6 \text{ m}$ 、自転角速度 Ω を $7 \times 10^{-5} / \text{s}$ とする。 $\sqrt{3} = 1.73$ としてよい。計算過程も示すこと。

ヒント：地球の自転軸まわりの角運動量は、 $L = a \cos \phi (a\Omega \cos \phi + u)$ と書ける。 ϕ は緯度、 u は東西風 (西風が正) である。この問題では、角運動量保存則のもとで、ハドレー循環によって形成することのできる亜熱帯ジェット気流の上限を評価している。

8. 温位と乾燥断熱減率について、以下の問いに答えよ。計算過程も示すこと。

(1) 温位 θ は

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

と定義される。ただし、 T は気温、 p は気圧、 p_0 は基準となる気圧である。また、 R は乾燥空気の気体定数、 C_p は定圧比熱である。気温 T が気

圧 p の関数であることに注意して (p_0 、 R 、 C_p は p によらない正の定数である)、 θ を p で微分し、 $\frac{d\theta}{dp}$ を求めよ (T 、 p 、 p_0 、 R 、 C_p 、 $\frac{dT}{dp}$ で表せ)。

ヒント：一般に、

$$\frac{d\theta}{dp} = \left(\frac{\partial\theta}{\partial T} \right)_p \frac{dT}{dp} + \left(\frac{\partial\theta}{\partial p} \right)_T$$

である。また、 $y = x^n$ を微分すると $y' = nx^{n-1}$ である。

(2) (1) において、 $\frac{d\theta}{dp} = 0$ とおき、理想気体の状態方程式

$$p = \rho RT \quad \text{②}$$

を用いて、 $\frac{dT}{dp}$ を求めよ (C_p 、 ρ で表せ)。ただし、 ρ は密度である。

(3) (2) において、静水圧平衡の関係

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \quad \text{③}$$

を用いて、 $\frac{dT}{dz}$ を求めよ (C_p 、 g で表せ)。ただし、 z は高度、 g は重力加速度である。符号に注意して解答せよ。

参考までに、地球の対流圏では、 $C_p = 1004 \text{ J/kg K}$ 、 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ であり、乾燥断熱減率は 1000 m あたり 10 K 程度であることが知られている。