

気象学概説（2019 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 300 K の乾燥空気
- イ. 圧力 950 hPa、温度 300 K の乾燥空気
- ウ. 圧力 1000 hPa、温度 300 K の二酸化炭素
- エ. 圧力 1000 hPa、温度 270 K の乾燥空気

2. シリンダーの中に相対湿度が 90%の空気を入れた。常温の環境で以下の操作をしたとき相対湿度が増加するものをすべて選び、記号で答えよ。シリンダー内の空気は未飽和であるとする。記号のみを記せばよい。

- ア. シリンダー内の空気を、断熱的に膨張させる。
- イ. シリンダー内の空気を、断熱的に圧縮する。
- ウ. シリンダー内の空気を、温度を一定に保ちながら膨張させる。
- エ. シリンダー内の空気を、温度を一定に保ちながら圧縮する。
- オ. シリンダー内の空気を、圧力を一定に保ちながら（圧力が一定になるように温度を調整しながら）膨張させる。
- カ. シリンダー内の空気を、圧力を一定に保ちながら（圧力が一定になるように温度を調整しながら）圧縮する。

ヒント：理想気体の状態方程式を考える。膨張すれば密度が低下する。ウでは、温度が一定なので、圧力が低下する。オでは、圧力が一定なので、温度が上昇する。また、飽和水蒸気圧は、温度のみの関数である。

3. 温室効果と大気、地表面の熱収支について、以下の問いに答えよ。計算過程も示すこと。

(1) 大気を1層で代表して温室効果を考える。大気は太陽放射に対しては透明だが、地表面からの地球放射を完全に吸収し、また、黒体放射を射出するものとする。太陽定数を I 、地表面のアルベド（反射率）を α 、地表面温度を T 、大気の温度を T_a とすると、地表面の熱収支は、

$$\frac{1}{4}(1-\alpha)I + \sigma T_a^4 = \sigma T^4 \quad \text{①}$$

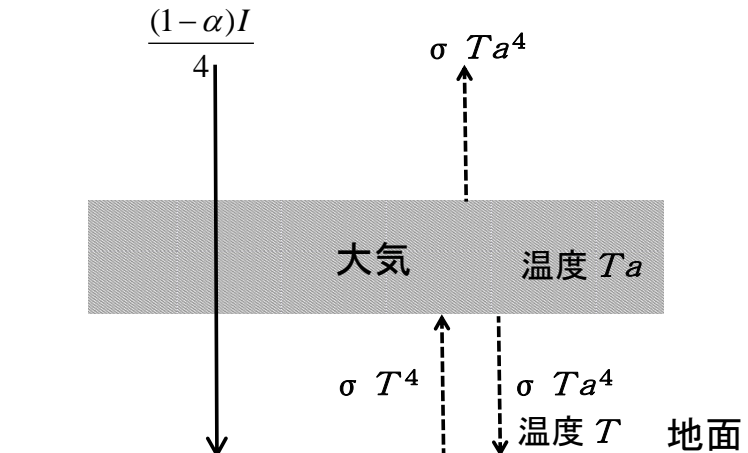
と書ける。ただし、 σ はステファン・ボルツマン定数である。地表面はステファン・ボルツマンの法則にしたがって黒体放射を射出するものとしている。一方、大気の熱収支は、

$$\sigma T^4 = 2\sigma T_a^4 \quad \text{②}$$

と表せる。①、②から、地表面温度 T と大気の温度 T_a を求めよ。ただし、有効放射温度 T_e を

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha)I}{4\sigma}} \quad \text{③}$$

と定義し、 T と T_a を、 I 、 α 、 σ を用いずに T_e で表せ。

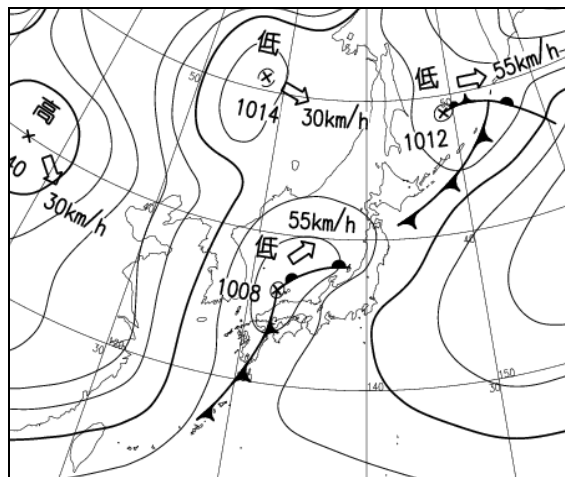


(2) 前問 (1) では、地球全体で平均した熱収支を考えた。太陽放射が真上から入射している場所に限って同じ計算をしたら、 T と T_a はどうなるか。(1) と同様に、 T と T_a を、 I 、 α 、 σ を用いずに③で定義した T_e で表せ。ただし、大気による太陽放射の散乱は無視し、太陽定数 I に等しい太陽放射が地表面に対して真上から入射していると仮定せよ。

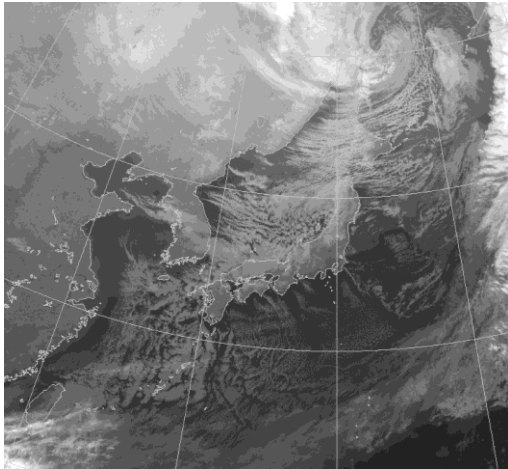
この結果は、仮に地球の自転が非常に遅く、太陽放射が真上から入射している状態が長時間持続した場合、その場所の大気はかなり高温になりうることを示している。

4. 上空で冷却されて凝結した水蒸気は、気温が 0°C 以上の場合、水滴となって雲を形成する。このように水蒸気の凝結によって雲粒が成長していく過程を凝結過程という。凝結過程によって雲粒は直径 0.02 mm 程度まで成長する。それ以後は、おもに併合過程によって成長する。併合過程とはどのようなものか、簡潔に説明せよ。

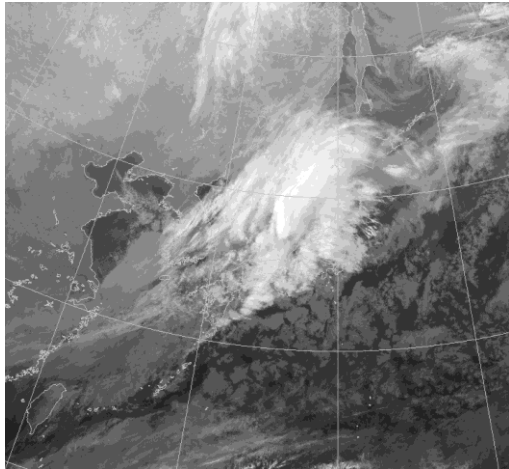
5. 以下の図は、2019年12月2日の3時の地上天気図である。日本海を発達中の低気圧が通過している。この時刻の気象衛星による赤外面像を次のページのア～エの中から選び、記号で答えよ。記号のみを記せばよい。発達中の温帯低気圧の東側と西側における鉛直流（上昇気流や下降気流）の分布に注意せよ。



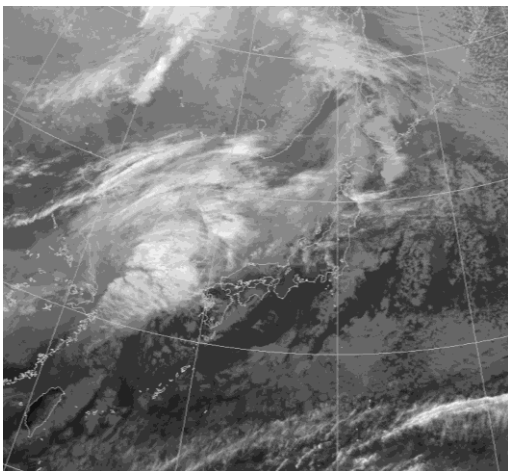
ア



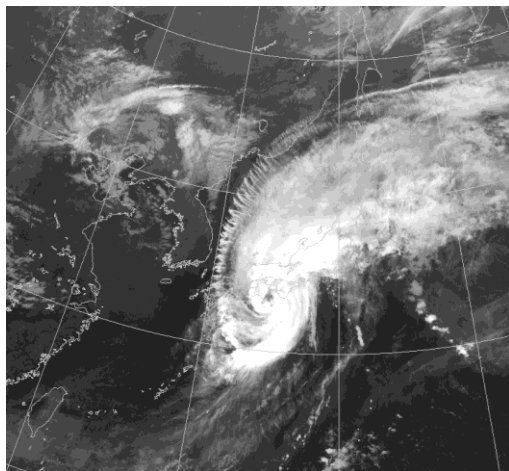
イ



ウ

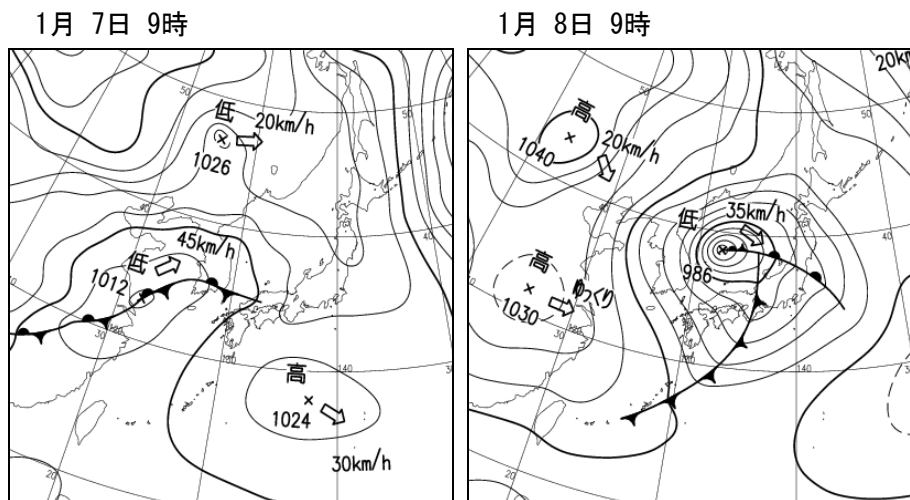


エ



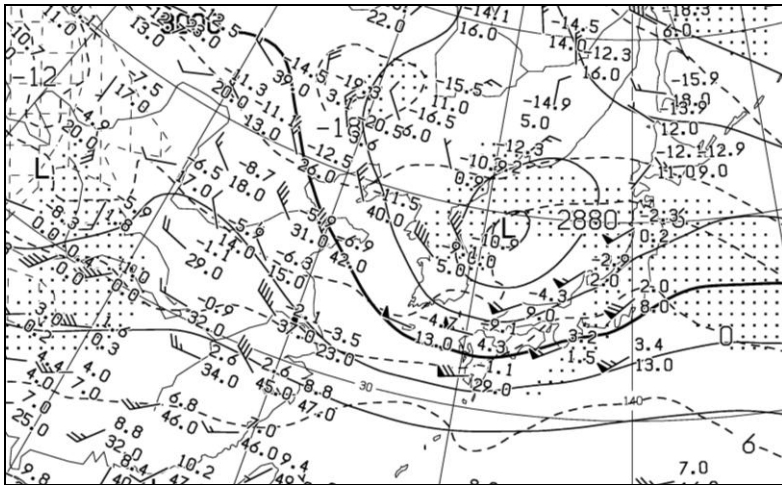
(気象庁による天気図と衛星画像を使用)

6. 次の2枚の地上天気図は、2020年1月7日9時、8日9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(1月7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。

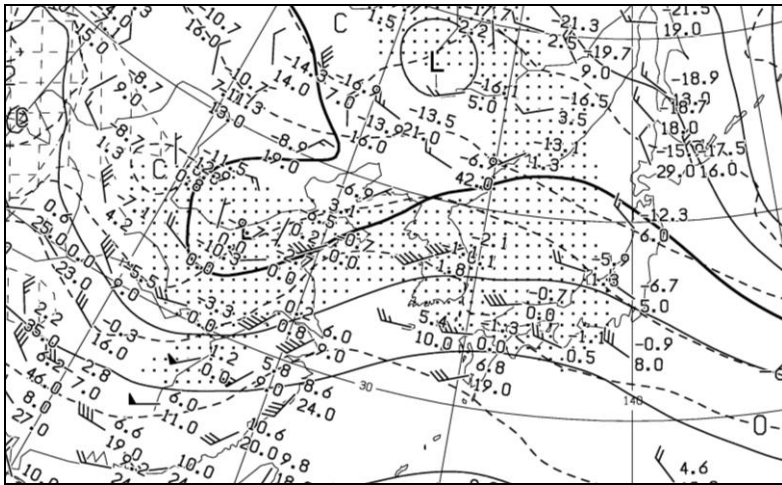


(気象庁による天気図を使用)

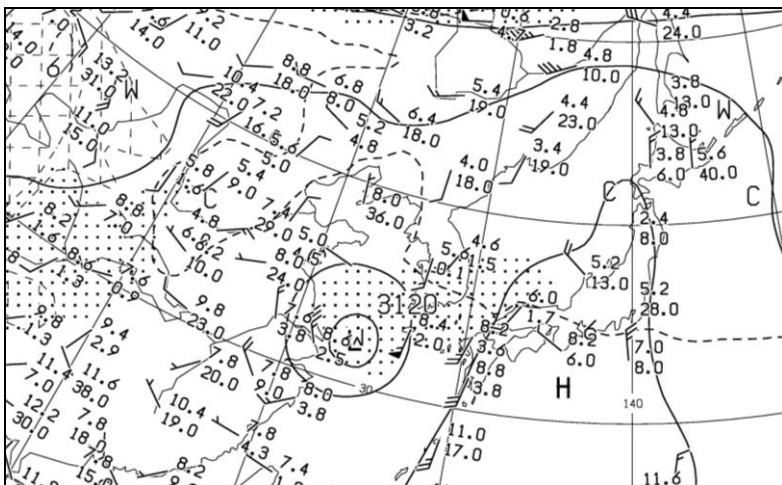
ア



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 40 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、 Ω は自転角速度、 ϕ は緯度) で表される。

(2) 北緯 21° 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 40 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 7×10^{-5} /s、 $\sin 21^\circ = \frac{5}{14}$ とする。計算過程も示すこと。

8. 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) 理想気体とみなせる空気塊について、熱力学方程式を

$$d'Q = C_v dT + p d\alpha \quad \text{①}$$

と書く。ただし、 $d'Q$ は非断熱加熱である。また、 T は温度、 p は圧力、 α は比容（密度の逆数）であり、いずれも正の値をとる。 C_v は空気の定積比熱であり正の定数である。一方、理想気体の状態方程式

$$p\alpha = RT$$

の両辺を微分すると、

$$p d\alpha + \alpha dp = R dT \quad \text{②}$$

が得られる。 R は空気の気体定数である。①、②より、非断熱加熱 $d'Q$ を C_p 、 α 、 dT 、 dp のみを用いて表せ。ただし、 C_p は空気の定圧比熱であって、 $C_p = C_v + R$ である。

(2) (1) の結果において、断熱、つまり $d'Q = 0$ とおいたとき、 $\frac{dT}{dp}$ を求め、 α と C_p のみで表せ。ただし、 $adx - bdy = 0$ ($a \neq 0$) のとき $\frac{dx}{dy} = \frac{b}{a}$ であることを用いてよい。

(3) 静水圧平衡の関係

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

を用いることによって、 $\frac{dT}{dz}$ を求め、 C_p と g のみで表せ。ただし、 g は重力加速度であり、正の定数である。 $\bar{\rho}$ は環境場の空気の密度であるが、空気塊の密度 ρ に等しいとみなしてよい。したがって、 $\alpha\bar{\rho} = 1$ とすることができる。

ヒント：(2) の結果に対して合成関数の微分の公式 $\frac{dz}{dx} = \frac{dz}{dy} \frac{dy}{dx}$ を適用してもよいし、(1) の結果における dp の部分を、 dz を用いた表式に書き替えてもよい。また、符号に注意せよ。