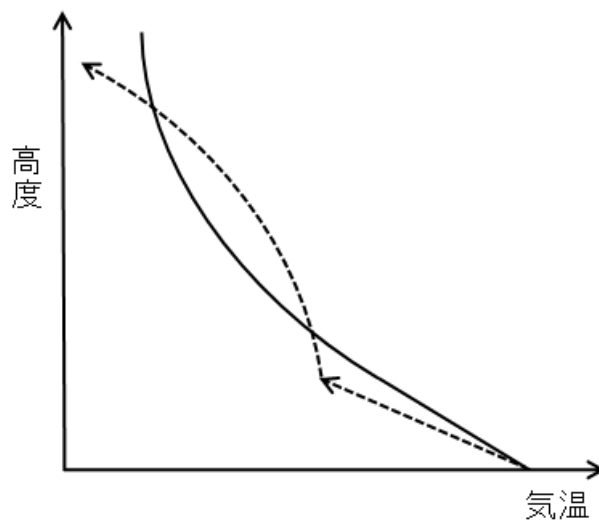


## 気象学概説（2017 年度秋学期） 最終テスト

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 810 hPa、温度 270 K の乾燥空気

2. 下の図は対流圏内の気温の鉛直分布を模式的に示したものである。実線は、環境場の気温の鉛直分布を表している。破線は、地面付近の空気（未飽和だが水蒸気を含む）を断熱的に持ち上げた場合の温度変化を示している。「持ち上げ凝結高度」と「自由対流高度」の位置を図中に分かりやすく示せ。



3. 温室効果と大気の熱収支について、以下の問いに答えよ。

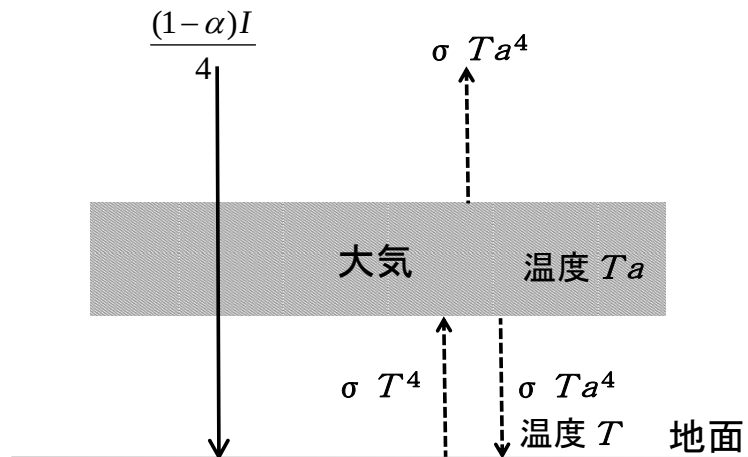
(1) 大気を1層で代表して温室効果を考える。大気は太陽放射に対しては透明だが、地表面からの地球放射を完全に吸収し、また、黒体放射を射出するものとする。太陽定数を  $I$ 、地表面のアルベド（反射率）を  $\alpha$ 、地表面温度を  $T$ 、大気の温度を  $T_a$  とすると、地表面の熱収支は、

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

と書ける。ただし、 $\sigma$  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ゐる。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、 $I$ 、 $\alpha$ 、 $\sigma$  で表せ。計算過程も示すこと。

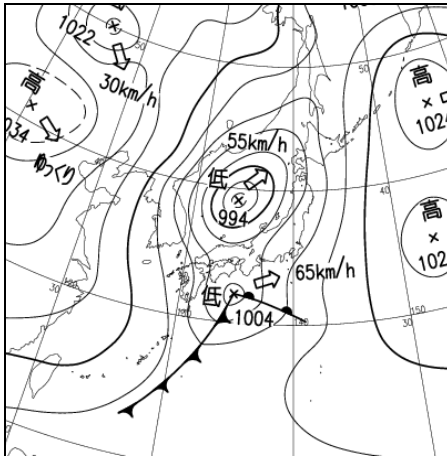


(2) 金星は、強い温室効果により平均表面温度が非常に高い。しかし、有効放射温度は地球よりも低い。金星の有効放射温度が地球よりも低い原因は何か。下の表に載っている要素（有効放射温度以外のひとつ）を指摘しながら簡潔に説明せよ。

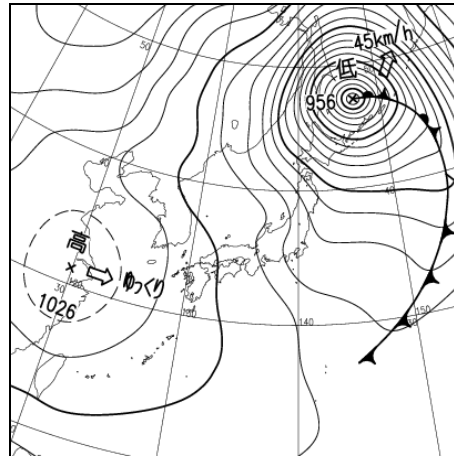
|    | 太陽からの<br>平均距離<br>(天文単位) | 太陽<br>放射<br>(W/m <sup>2</sup> ) | アル<br>ベド | 有効放<br>射温度<br>(°C) | 平均表<br>面温度<br>(°C) | 表面<br>気圧<br>(気圧) | 大気の<br>主成分 |
|----|-------------------------|---------------------------------|----------|--------------------|--------------------|------------------|------------|
| 水星 | 0.39                    | 9100                            | 0.11     | 162                | 170                |                  |            |
| 金星 | 0.72                    | 2600                            | 0.78     | -49                | 460                | 90               | 二酸化炭素      |
| 地球 | 1.00                    | 1370                            | 0.30     | -18                | 15                 | 1                | 窒素、酸素      |
| 火星 | 1.52                    | 580                             | 0.16     | -58                | -40                | 0.006            | 二酸化炭素      |
| 木星 | 5.20                    | 50                              | 0.73     | -185               | -140               |                  | 水素、ヘリウム    |

4. 次のページの2枚の地上天気図は、2017年12月24、25日のものである。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24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。

12月24日21時

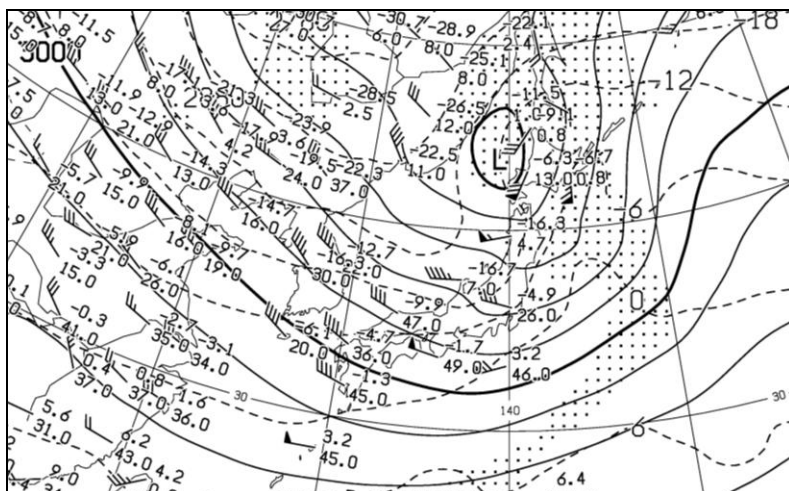


12月25日21時

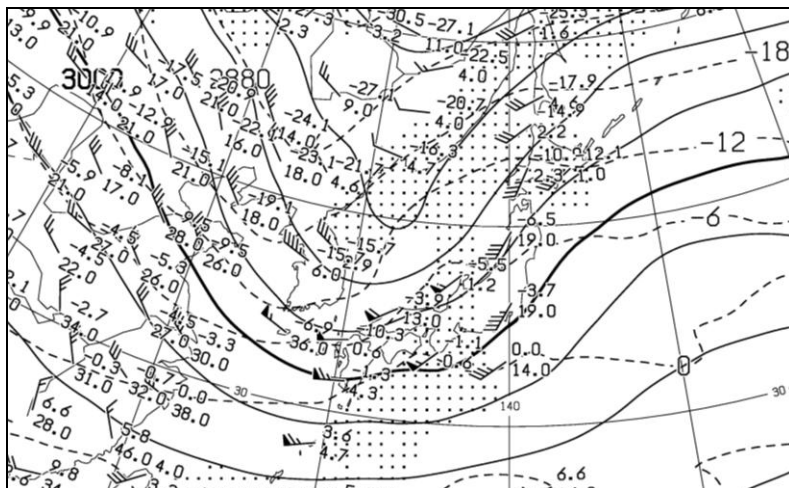


(気象庁による天気図を使用)

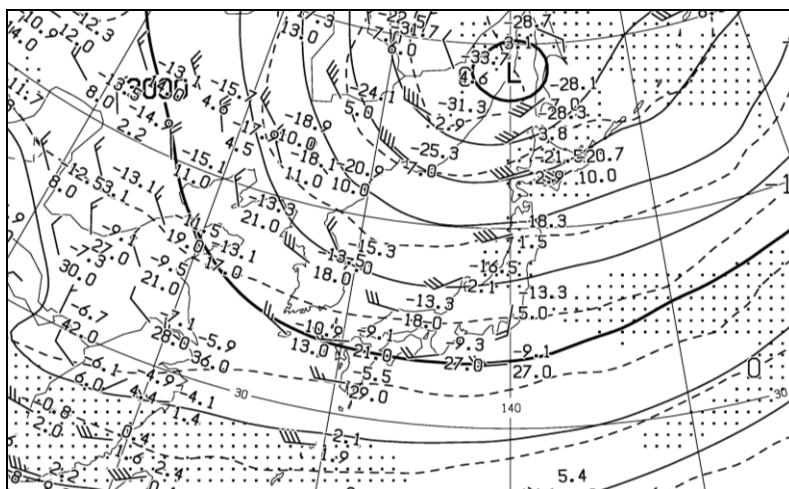
ア



イ

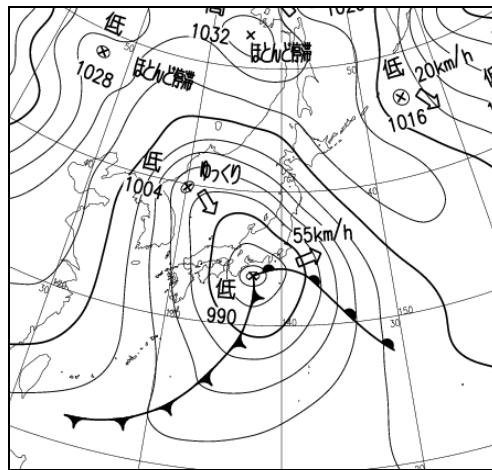


ウ

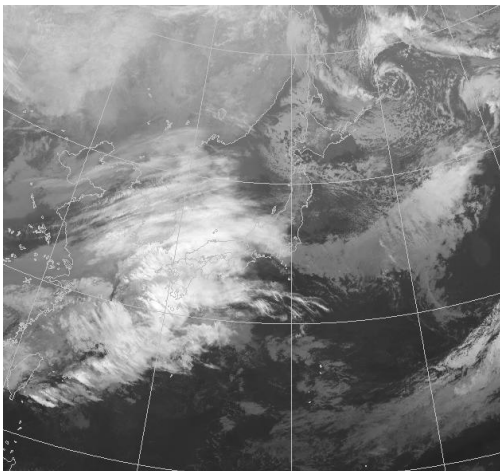


(気象庁による天気図を使用)

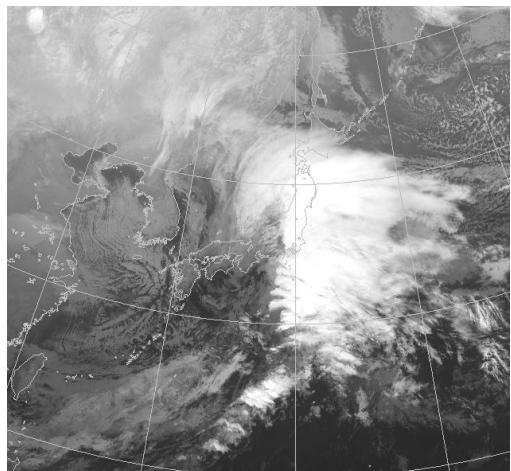
5. 以下の地上天気図は、2016年1月18日の9時のものである。本州南岸を発達中の低気圧が通過している。この時刻における気象衛星による赤外画像は下のカ、キのうちのどちらか。発達する温帯低気圧の東側と西側における鉛直流（上昇気流や下降気流）の分布という観点で、選んだ根拠も簡潔に述べよ。本問では記号選択のみ正解の場合には得点は与えられない。



カ



キ



(気象庁による天気図と衛星画像を使用)

6. 北緯  $30^\circ$  において、気圧勾配の大きさ  $|\nabla p|$  が  $100 \text{ km}$  あたり  $0.84 \text{ hPa}$  であるとする。このとき、地衡風の風速  $V$  は何  $\text{m/s}$  か。有効数字 2 桁で求めよ。地球の自転角速度  $\Omega$  を  $7 \times 10^{-5} / \text{s}$ 、空気の密度  $\rho$  を  $0.8 \text{ kg/m}^3$  とする。地衡風の関係を示す公式の導出も含め、計算過程も示すこと。

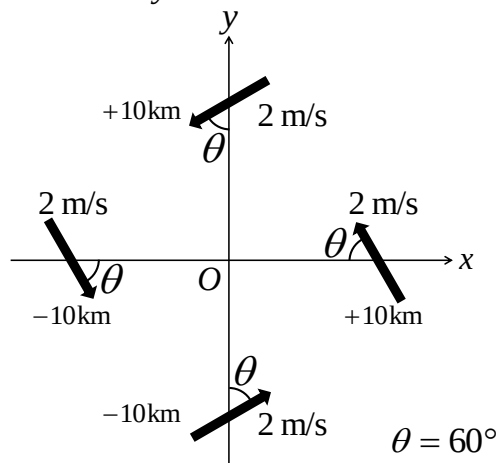
なお、単位質量の空気塊にはたらく気圧傾度力の大きさは、気圧勾配の大きさを密度で割った値に等しい。また、コリオリ力の大きさは、コリオリ係数と風速との積である。コリオリ係数  $f$  は  $f = 2\Omega \sin \phi$  ( $\phi$  は緯度) である。

7. 発散と渦度について、以下の問いに答えよ。計算過程も示すこと。

(1) 以下に示す水平風速場について、水平面上での発散を計算せよ。単位を正しく付して、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、発散  $D$  は

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$

と定義される。 $x$  軸は東向き、 $y$  軸は北向きにとり、 $u$  は東西風、 $v$  は南北風を表す。



(2) (1) と同じ水平風速場について、渦度 (相対渦度) を計算せよ。単位を正しく付して、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、渦度  $\xi$  は

$$\xi = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

と定義される。必要に応じて、 $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = 0.87$  としてよい。

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

ヒント：一般に、

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

である。①について  $\left( \frac{\partial \theta}{\partial T} \right)_p$  と  $\left( \frac{\partial \theta}{\partial p} \right)_T$  を計算し、この式に代入せよ。また、 $y = x^n$  を微分すると  $y' = nx^{n-1}$  である。

(2) (1) において、 $\frac{d\theta}{dz} = 0$  とおき、さらに、静水圧平衡の関係

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \quad \text{②}$$

と、理想気体の状態方程式

$$p = \rho RT \quad \text{③}$$

を用いて、 $\frac{dT}{dz}$  を求めよ ( $C_p$ 、 $g$  で表せ)。ただし、 $\rho$  は密度、 $g$  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。