気象学概説（2013 年度秋学期）
最終テスト

１．体積比でみた大気の組成が次の表のとおりであると仮定する。このとき、質量比でみた大気の組成を計算せよ。単位は%、有効数字は１の位まででで答えよ。窒素の分子量は 28、酸素の分子量は 32 とする。窒素、酸素とも理想気体であると仮定せよ。計算過程も示すこと。

成分	体積比[%]	質量比[%]
窒素	80	
酸素	20	

２．シリンダの中に閉じ込めた空気の体積を断熱的に変えたとき、変化しない物理量を以下の語群からすべて選べ。ただし、空気は水蒸気を含むが未飽和であるとする。なお、比湿は、空気の密度に対する水蒸気の密度の比、混合比は乾燥空気の密度に対する水蒸気の密度の比である。答えのみを示せばよい。

相対湿度　　比湿　　混合比　　水蒸気圧

３．温室効果について、以下の問いに答えよ。計算過程も示すこと。

（１）はじめに、温室効果を考慮しないで地表面温度を考える。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 とすると、太陽放射と地球放射とのつりあいは、

$$\frac{1}{4}(1-\alpha)I = \sigma T^4 \qquad ①$$

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。①から、地表面温度T を求めると、

$$T = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha)I}{4\sigma}} \qquad ②$$

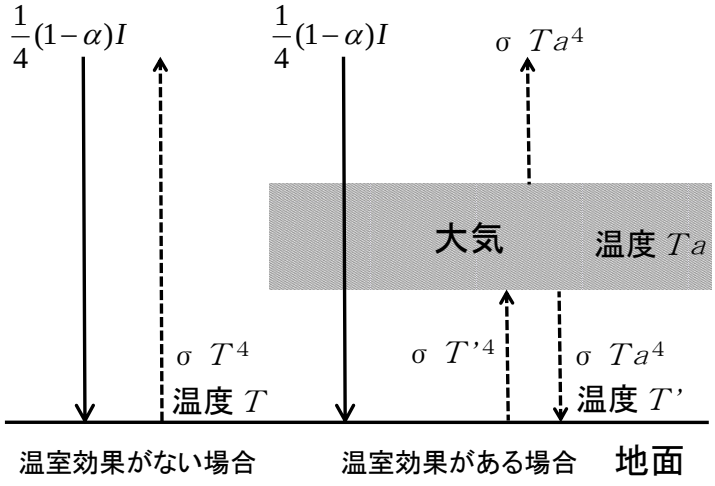
となる。この温度を有効放射温度という。次に、温室効果を考慮して地表面温度T'を計算する。ここでは大気を１層で代表する。大気は太陽放射に対しては透明だが、地表面からの地球放射を完全に吸収し、また、黒体放射を射出するものとする。このとき、地表面の熱収支は、

$$\frac{1}{4}(1-\alpha)I + \sigma {T_a}^4 = \sigma T'^4 \qquad ③$$

と書ける。ただし、T_aは大気の温度である。一方、大気の熱収支は、

$$\sigma T'^4 = 2\sigma {T_a}^4 \qquad ④$$

と表せる。③、④から、T_aを消去して地表面温度T'を求め、I、α、σで表せ。



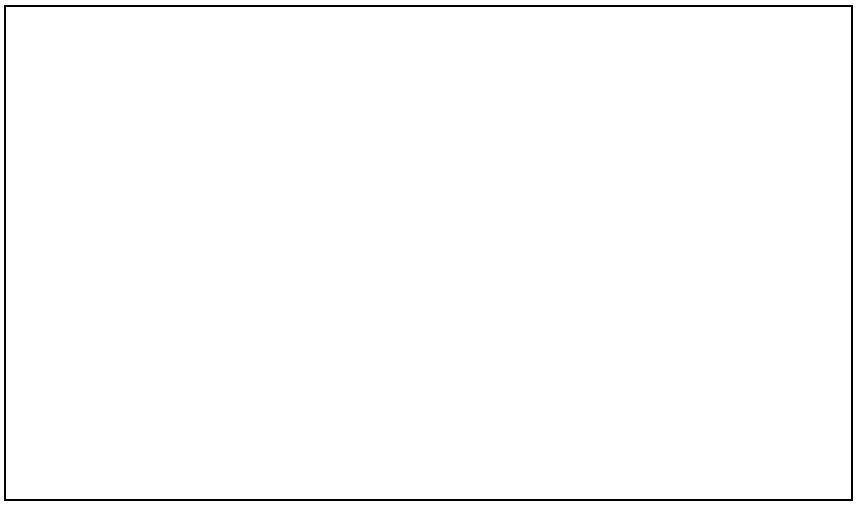
（２）有効放射温度Tが2.6×10^2 Kであるとする。このとき、<u>$T'-T$の値</u>を求めよ。単位はK、有効数字は２桁で答えよ。$\sqrt[4]{2}=1.19$とする。

４．温度風の関係について述べた次の文章の空欄Ａ～Ｄに入る語の組み合わせとして適切なものをア～オの中からひとつ選べ。答えのみを示せばよい。北半球ではなく南半球についての設問であることに注意せよ。

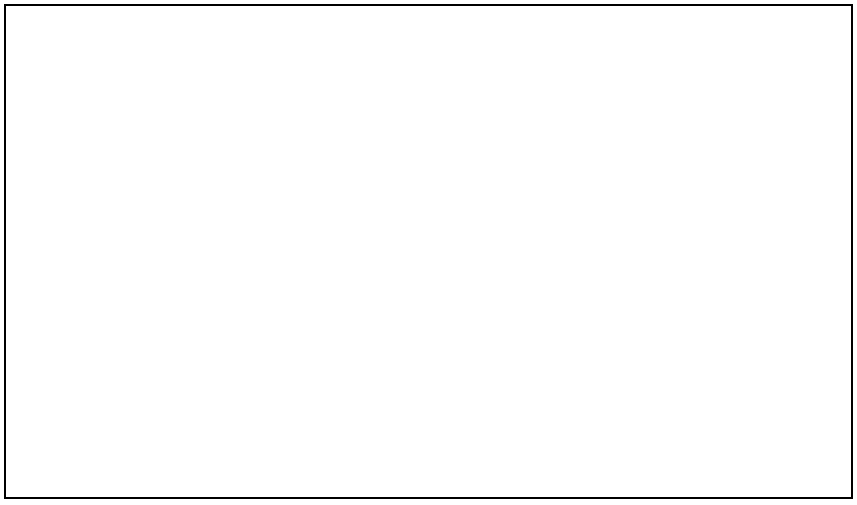
南半球中緯度域の対流圏においては、一般的な傾向として、同じ気圧面では南のほうが気温は低い。低温な空気のほうが密度は大きいので、ある気圧面で等圧面高度の南北勾配がなかったとしても、それより上層では南ほど等圧面高度が（　A　）なる。このため、上層ほど（　B　）向きの気圧傾度力がより強くはたらく。一方、南半球ではコリオリ力は風速ベクトルに対して直角（　C　）向きにはたらく。このため、気圧傾度力とコリオリ力がつりあうためには、上空ほど（　D　）風がより強く吹くことになる。

	A	B	C	D
ア.	低く	南	左	西
イ.	低く	南	右	東
ウ.	高く	北	左	東
エ.	高く	北	右	西
オ.	高く	北	右	東

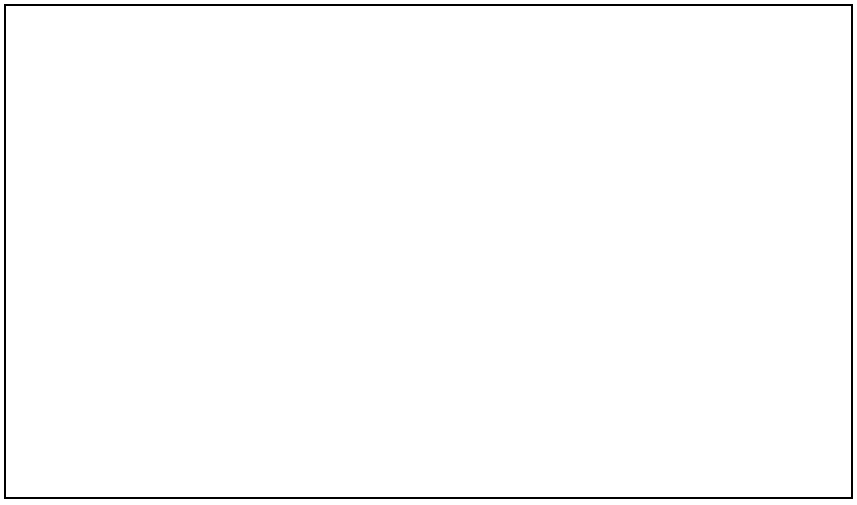
５．次の図は 2014 年 2 月 8 日 21 時の地上天気図である。本州の南岸を発達中の温帯低気圧が通過している。このときの「850hPa 気温・風、700hPa 鉛直流解析図」をア～ウの中から選び、記号で答えよ。また、判断の根拠となった、気温分布の特徴と鉛直流の特徴を簡潔に述べよ。



ア



イ



ウ

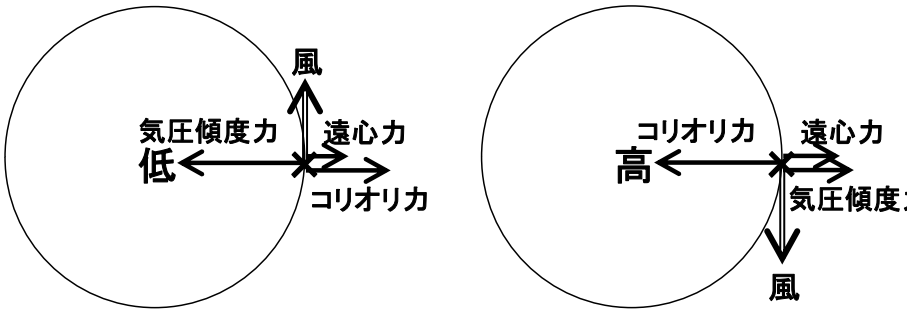
850hPa 気温・風、
700hPa 鉛直流解析図
太実線は等温線
（3℃ごと）
細線は鉛直流（hPa/h）
上昇流域に網かけ

（北海道放送のウェブサイトより）

６．赤道において東西風が 0 m/s であるとする。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 14° に移動したら、東西風はどうなるか。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 6×10^{6} m、自転角速度 Ω を 7×10^{-5} /s、cos 14° ＝0.97 とする。また、$\frac{1}{0.97}-0.97=0.061$ 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、$L=a\cos\phi\left(a\Omega\cos\phi+u\right)$ と書ける。ϕ は緯度、u は東西風である。

７．北半球において、図のような軸対称な低気圧や高気圧のまわりで気圧傾度力とコリオリ力、遠心力のつりあいを考える。



低気圧（高気圧）の中心からの距離を r、気圧を p、風速を v（反時計回りの場合を正）とすると、３つの力のつりあいは、

$$-\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dr}+fv+\frac{v^2}{r}=0 \qquad ①$$

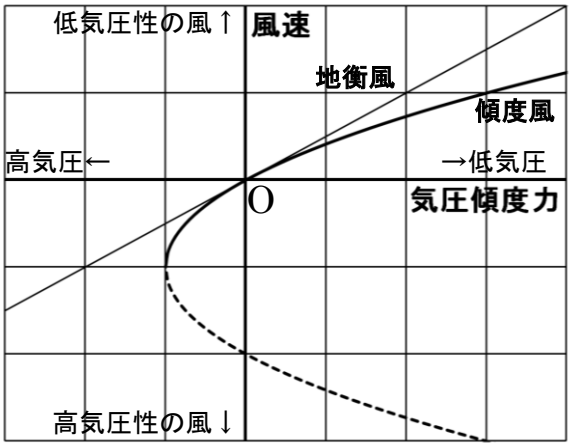
と書ける。左辺第 1 項は気圧傾度力、第 2 項はコリオリ力、第 3 項は遠心力を表している。ただし、f はコリオリ係数、ρ は空気の密度であり、いずれも正の定数とする。ここで、

$$F=\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dr} \qquad ②$$

とおけば、①を

$$F=fv+\frac{v^2}{r} \qquad ③$$

と表すことができる。F が正のときは低気圧、負のときは高気圧に対応する。このことについて以下の問いに答えよ。計算過程も示すこと。



（1）②において、v が実数という条件のもとで、F の最小値 $F_{\min}$ と、F が最小値 $F_{\min}$ をとるときの v の値を求め、それぞれ f と r で表せ。符号に注意せよ。

ヒント：F が最小値をとるのは低気圧ではなく高気圧のときである。

（2）（1）で求めた $F_{\min}$ は r（≥ 0）の関数になっている。ここで、すべての r（≥ 0）について、$F(r)$ が最小値 $F_{\min}(r)$ をとるとする。このときの p の値を p_c とおくと、②より、

$$\frac{dp_c}{dr} = \rho F_{\min} \quad （r \geq 0）$$ ④

が成り立つ。④を r について積分することによって p_c を r の関数として求めよ。ただし、$r = 0$ で $p_c = p_0$ とする。解答は f、r、ρ、p_0 で表せ。

（3）（2）の条件のもとで、中心における気圧と中心から 500 km の地点における気圧との差（の絶対値）を計算せよ。単位は hPa、有効数字は 1 桁で答えよ。ただし、$f = 1\times10^{-4}$ /s、$\rho = 1\text{kg/m}^3$ とする。