# 気象学概説（2015 年度秋学期）
# 最終テスト

１．ヘリウムをつめた体積$V$の風船を考える。風船内のヘリウムの温度、圧力は外気の温度、圧力に等しいとする。外気の密度は$\rho$である。また、外気（空気）の平均分子量は 29、ヘリウムの分子量は 4 である。風船内のヘリウムを除いた、風船本体の質量は$M$である。風船が浮くための$M$の上限値を求めよ。外気（空気）、ヘリウムとも理想気体とみなしてよい。計算過程も示すこと。

２．シリンダーの中に相対湿度が 100%の空気を入れた。常温の環境で以下の操作をしたとき水が凝結するものをすべて選べ。答えのみを記せばよい。

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。

ヒント：ウ、エは断熱ではない。ウでは外部からの加熱、エでは冷却が必要である点に注意せよ。

３．気象衛星による赤外画像について述べた次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

気象衛星による雲画像としては、可視画像や赤外画像がよく用いられる。通常、赤外画像とよばれている雲画像は、地表面や雲から射出される赤外線の輝度温度を測定したものである。雲のない領域では地表面から射出される赤外線が観測されるが、雲のある領域では（A）から射出される赤外線が観測される。このため、雲のある領域のほうが輝度温度は（B）なる。赤外画像では（C）は明瞭に検出されるが、（D）は不明瞭であることが多い。

（１）空欄A、Bに入る語の組み合わせとして適切なものをア～エの中からひとつ選べ。

| | A | B |
|---|---|---|
| ア． | 雲頂 | 高く |
| イ． | 雲頂 | 低く |
| ウ． | 雲底 | 高く |
| エ． | 雲底 | 低く |

（２）空欄C、Dに入る句の組み合わせとして適切なものをカ～ケの中からひとつ選べ。

| | C | D |
|---|---|---|
| カ． | 層雲のような背の低い雲 | 積乱雲のような背の高い雲 |
| キ． | 巻雲のような氷晶でできた雲 | 積乱雲のような背の高い雲 |
| ク． | 層雲のような背の低い雲 | 巻雲のような氷晶でできた雲 |
| ケ． | 積乱雲のような背の高い雲 | 層雲のような背の低い雲 |

４．温室効果と大気の熱収支について、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$\alpha$、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、

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

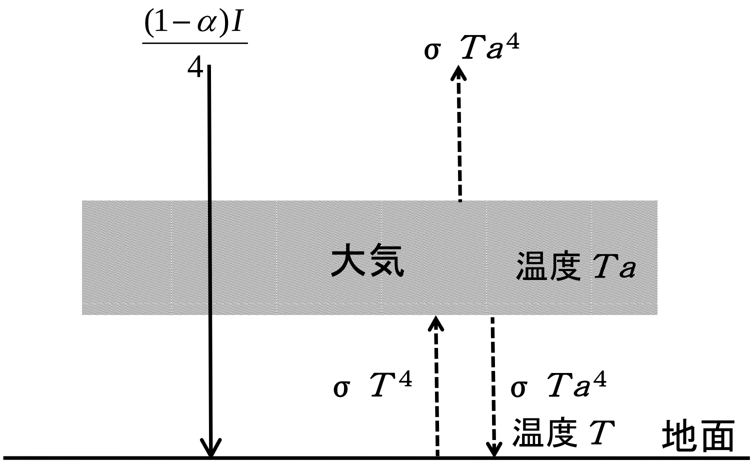
と書ける。ただし、$\sigma$はステファン・ボルツマン定数である。地表面はステファン・ボルツマンの法則にしたがって黒体放射を射出するものとしている。一方、大気の熱収支は、

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

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

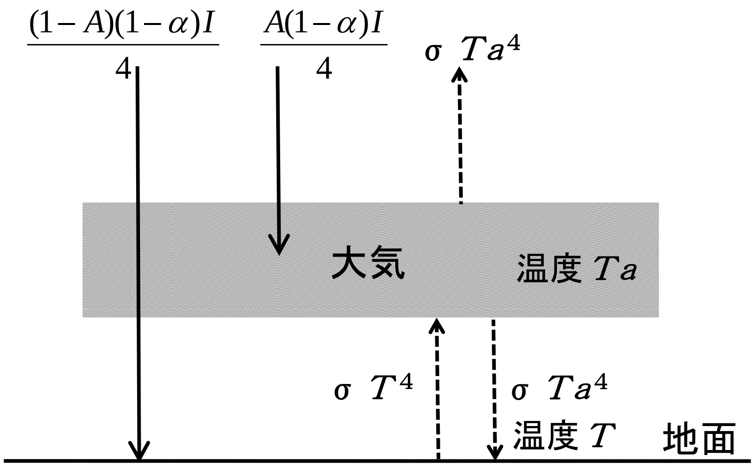
$$T_e=\sqrt[4]{\frac{(1-\alpha)I}{4\sigma}} \quad ③$$

と定義し、$T$と$T_a$を、$I$、$\alpha$、$\sigma$を用いずに$T_e$で表せ。



大気が短波放射に対し透明の場合

（２）次に、大気は短波放射に対して透明ではなく、正味の太陽放射 $\dfrac{(1-\alpha)I}{4}$ のうち、$\dfrac{A(1-\alpha)I}{4}$ を大気が、残り $\dfrac{(1-A)(1-\alpha)I}{4}$ を地表面が吸収するものとする（$0 \le A \le 1$）。$A$ は大気による太陽放射の吸収率である。このとき、①、②と同様に、地表面の熱収支と大気の熱収支を考えることによって $T$ と $T_a$ を求め、$T_e$ と $A$ で表せ。計算過程だけでなく、計算のもととなる、地表面と大気の熱収支の式を明記すること。




大気が短波放射に対し透明でない場合

この結果は、大気の透明度の低下が地表面温度を下げる効果を持つことを示している。$A=0$ のときは、当然、（１）と同じ結果になる。

５．以下の３枚の地上天気図は、東京で大雪が降った 2016 年 1 月 18 日を含む、連続する３日間のものである。本州南岸を通過している低気圧が発達中であることを考慮して、２番目の地上天気図（1 月 18 日 9 時）に対応する 700 hPa 天気図を右のア～ウの中から選べ。700 hPa 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 700 hPa 天気図における（1）高度場の特徴と（2）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。なお、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。

1月17日9時

1月18日9時

1月19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）

６．北緯 10° 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赤道に移動したら、東西風はどうなるか。<u>風向</u>と<u>風速</u>（有効数字２桁）を答えよ。ただし、地球の半径$a$を$6\times10^{6}$ m、自転角速度$\Omega$を$7\times10^{-5}$/s、sin 10° ＝0.174 とする。また、$0.174^{2}=0.030$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。$\phi$は緯度、$u$は東西風（西風が正）である。

７．温度風の関係について、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

$$\Delta p=-\rho g\Delta z \qquad ①$$

と書ける。ただし、$\Delta$z は鉛直方向の微小変位（上向きが正)、$\Delta p$は鉛直方向に$\Delta$z だけ変位したときの気圧の微小変化である。また、$\rho$は密度、$g$は重力加速度である。ここで、理想気体の状態方程式

$$p=\rho RT \qquad ②$$

を用いて①を変形して$\rho$を消去し、$\Delta p$を$g$、$R$、$p$、$T$、$\Delta z$を用いて表せ。ただし、$R$は空気の気体定数、$p$は圧力である。

（２）（１）で求めた$\Delta p$を南北微分せよ。つまり、$\Delta p$を$y$で微分して$\frac{d}{dy}\left(\Delta p\right)$を求めよ。ただし、$g$、$R$、$p$、$T$、$\Delta z$のうち、$y$に依存するのは$T$のみであり、$g$、$R$、$p$、$\Delta z$は$y$に依存しない定数とする。解答は$g$、$R$、$p$、$T$、$\Delta z$、$\frac{dT}{dy}$で表せ。

ヒント：一般に、$T$についての関数$f$と$y$で微分すると、合成関数の微分の公式より、$\frac{df}{dy}=\frac{df}{dT}\frac{dT}{dy}$となる。

（３）南北方向に気圧勾配がある条件での地衡風の関係は

$$-\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dy}-fu=0 \qquad ③$$

と書ける。ただし、$f$ はコリオリ係数、$u$ は東西風（西風が正）である。鉛直方向に $\Delta z$ だけ変位したときの $u$ の微小変化 $\Delta u$ についても③と同様の関係が成り立ち、

$$-\frac{1}{\rho}\frac{d}{dy}(\Delta p)-f\Delta u=0 \qquad ④$$

である。（２）で求めた $\frac{d}{dy}(\Delta p)$ に対して地衡風の関係④を適用することによって、鉛直上向きに $\Delta z$ だけ変位したときの東西風の微小変化 $\Delta u$ を求めよ。理想気体の状態方程式②を用いて、$\Delta u$ を $g$ 、$f$ 、$T$ 、$\Delta z$ 、$\frac{dT}{dy}$ で表せ（$\rho$ 、$R$ 、$p$ を用いないで表せ)。この関係は北半球中緯度において、北に行くほど温度が低くなっているとき（$\frac{dT}{dy}<0$ のとき)、鉛直上方へ行くほど東西風 $u$ が大きくなる（$\Delta u>0$ ）という温度風の関係を表している。