

鉛直 1 次元放射対流平衡モデルによる 灰色大気の温度構造に関する考察

1253431s 松田 幸樹 (地球および惑星大気科学研究室)

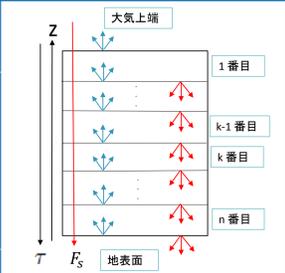
はじめに

地球大気の鉛直温度構造を知ることは、多くの大気現象を知る第一歩である。本研究では、対流圏に着目し、単純化した鉛直 1 次元放射

対流平衡モデルを用いて、灰色大気の鉛直温度構造を示し、考察した。

モデル

- 平行平面大気の近似：大気を平板状の気層とみなす
- 静水圧近似：重力と圧力傾度力が釣り合っているとみなす
- 非散乱大気：散乱のない吸収大気を考える
- 局所熱力学平衡：各気層において熱力学平衡が成立
- 灰色大気：吸収係数が波長によらず一定
- 吸収気体の混合比は高度によらず一定
- 大気は太陽放射に対して透明
- 地球表面の熱容量はゼロ
- 地球表面でのアルベドはゼロ
- 大気上端からの下向き長波放射はない



平衡条件

- 温度変化率が $10^{-4} \text{ K day}^{-1}$ となったとき

放射のみの影響を考えた鉛直温度構造

■ 支配方程式

□ 放射伝達方程式

$$\frac{2}{3} \frac{dF^\uparrow}{d\tau} = F^\uparrow - \pi B(T) \quad (\text{上向き})$$
$$-\frac{2}{3} \frac{dF^\downarrow}{d\tau} = F^\downarrow - \pi B(T) \quad (\text{下向き})$$

□ 地表面における熱収支の式

$$F_s + F_n^\downarrow = \sigma T_G^4$$

□ 大気温度の時間発展の式

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{rad}} = -\frac{1}{c_p \rho_a} \left(\frac{\partial F^{\text{net}}}{\partial z}\right)$$

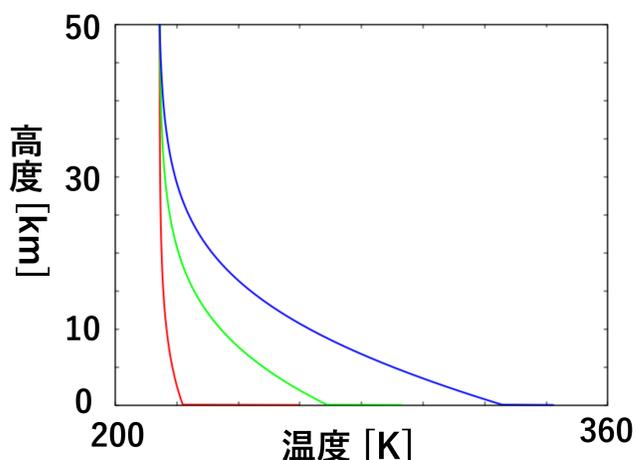
F^\uparrow : 上向き長波放射フラックス
 F^\downarrow : 下向き長波放射フラックス
 τ : 光学的厚さ
 $B(T)$: プランク関数
 F_s : 正味太陽放射フラックス
 F_n^\downarrow : 大気最下層での下向き長波放射フラックス
 σ : ステファンボルツマン定数
 T_G : 地表面温度
 T : 気層の温度
 c_p : 定圧比熱
 ρ_a : 密度
 $F^{\text{net}} = F^\uparrow - F^\downarrow$

■ 計算結果

初期温度を 170 K とし、時間発展させた。以下の図は三種類の吸収係数を用いて計算した灰色大気の放射平衡温度分布である。吸収係数 k は、

- $k = 1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$
- $k = 1.25 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$
- $k = 3.75 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$

の三種類を用いた。



- 吸収係数の値によらず、大気上端の温度は一定である
- 大気最下端の温度と地表面温度の間に不連続がみられ、不安定である

↓
対流の発生

放射と対流の影響を考えた鉛直温度構造

■ 支配方程式

□ 放射伝達方程式

□ 地表面における熱収支の式

$$F_s + F_n^\downarrow = \sigma T_G^4 + F_{\text{conv}}$$

□ 二層間の熱エネルギー保存式

$$\int_{p_2}^{p_1} \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{rad, conv}} \frac{c_p}{g} dp = \int_{p_2}^{p_1} \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_{\text{rad}} \frac{c_p}{g} dp + F_{\text{conv}}$$

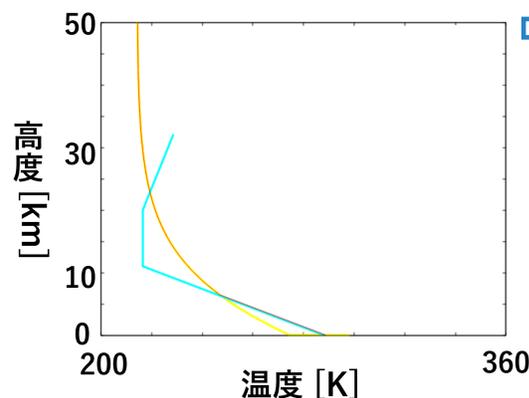
(ただし、 F_{conv} は大気最下層を考える場合のみ考慮する)

□ 気温減率の式

$$\frac{dT}{dz} = -\Gamma$$

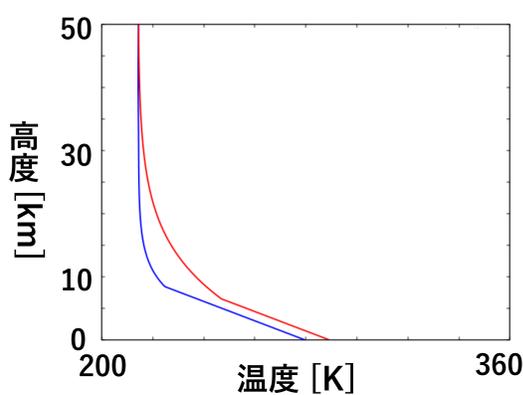
Γ : 気温減率
 F_{conv} : 対流フラックス

■ 計算結果



- 国際民間航空機関(ICAO)標準大気(国立天文台, 2015)と吸収係数 $k = 1.43 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ (光学的厚さ 1.15)のときの温度分布の比較

— ICAO 標準大気
— 放射だけを考えた温度構造
— 放射と対流を考えた温度構造



- 吸収係数を $k = 1.43 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, 地表面での光学的厚さを 1.15 としたとき、混合比を高度によらず一定とした場合と、高度に依存した関数を混合比に与えた場合との比較

— 混合比が高度によらず一定の場合
— 混合比を高度により変化させた場合

考察, 結論

ICAO 標準大気と、混合比と吸収係数を高度によらず一定とした場合の放射対流平衡温度構造の対流圏界面高度には差がみられる。この原因の一つは、吸収係数と混合比が高度に依存しない、という点にあると考えられる。そこで、混合比を高度によって変化させると、混合比が高度によらず一定とした場合に比べて、対流圏界面

高度が高くなった。実際の大気では、混合比だけでなく吸収係数も高度によって変化しており、また、非灰色であり、大規模循環の影響を受けている。今後は、吸収係数を高度によって変化させた場合について考察したい。

参考文献

- 浅野正二, 2010: 大気放射学の基礎, 朝倉書店
- 国立天文台 編, 2015: 理科年表, 丸善出版
- S Manabe, R F. Strickler, 1964: Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Convective Adjustment

- 本田秀次, 1983: 気象学のプロムナード 16 高層の大気, 東京出版
- G B. Rybicki, A P. Lightman, 2004: Radiative Processes in Astrophysics, WILEY-VCH
- John Houghton, 2002: The Physics of Atmospheres Third Edition, CAMBRIDGE