二流近似を用いた
地球大気の放射伝達計算

流体地球物理学教育研究分野

1863426S　田村 笙

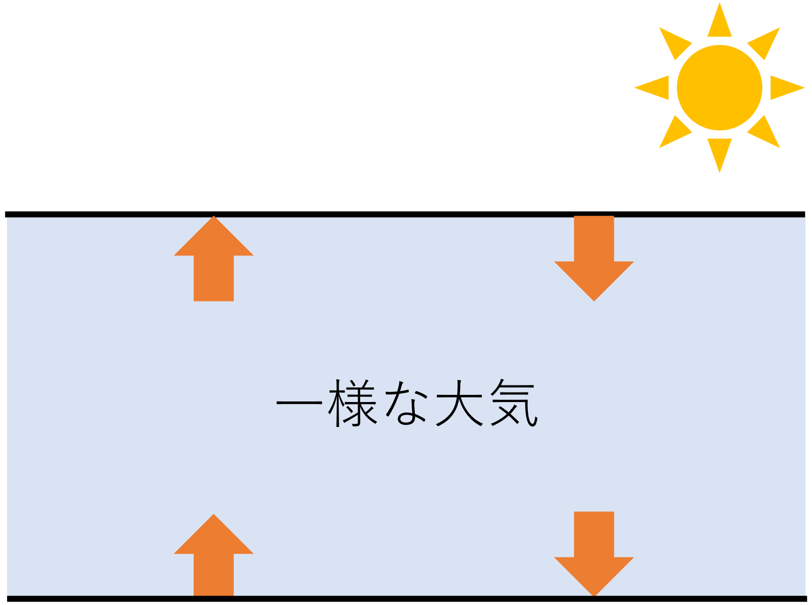
1 研究目的

放射伝達計算を高速に行うための計算式を考え, 検証する

2 計算式

方針

- 光学的特性が一様な大気を仮定
- 太陽放射を想定
- 放射伝達方程式を**二流近似**する.
- 大気上端および下端での上向き, 下向き放射フラックスを計算する.



平行平面大気の放射伝達方程式

$$\mu\frac{\partial I_\nu(\tau,\mu,\phi)}{\partial\tau} = I_\nu(\tau,\mu,\phi) - \frac{\tilde{\omega}_\nu}{2\pi}\int_{-1}^{1}\int_{0}^{2\pi} p_\nu(\mu,\phi;\mu',\phi')I_\nu(\tau,\mu',\phi')\,\mathrm{d}\phi'\,\mathrm{d}\mu' - \frac{\tilde{\omega}_\nu}{2}F_{s\nu}p_\nu(\mu,\phi;-\mu_0,\phi_0)e^{-\tau/\mu_0}$$

$(\mu'\ \phi')$: 散乱の入射方向
(μ_0,ϕ_0):太陽光の入射方向

τ: 光学的深さ
I_ν: 振動数ν~$\nu+\delta\nu$の放射輝度

p_ν: 散乱位相関数
$F_{s\nu}$: 太陽放射フラックス

2 計算式

二流近似

放射伝達方程式を，上向き及び下向き フラックスに関する二つの微分方程式に近似.

二流近似方程式

$$\frac{\mathrm{d}F^+}{\mathrm{d}\tau} = \gamma_1 F^+ - \gamma_2 F^- - S^+$$

$$\frac{\mathrm{d}F^-}{\mathrm{d}\tau} = \gamma_2 F^+ - \gamma_1 F^- + S^-$$

F^+: 上向き放射フラックス
F^-: 下向き放射フラックス
τ: 光学的深さ

2 計算式

放射フラックスの計算式

$$F_{tot}^{+}(\tau) = F^{+}(\tau)$$

$$F_{tot}^{-}(\tau) = F^{-}(\tau) + F_{dir}^{-}(\tau)$$

$$F^{+}(\tau) = k_1 e^{\lambda\tau'} + \Gamma k_2 e^{-\lambda\tau'} + C^{+}(\tau')$$

$$F^{-}(\tau) = \Gamma k_1 e^{\lambda\tau'} + k_2 e^{-\lambda\tau'} + C^{-}(\tau')$$

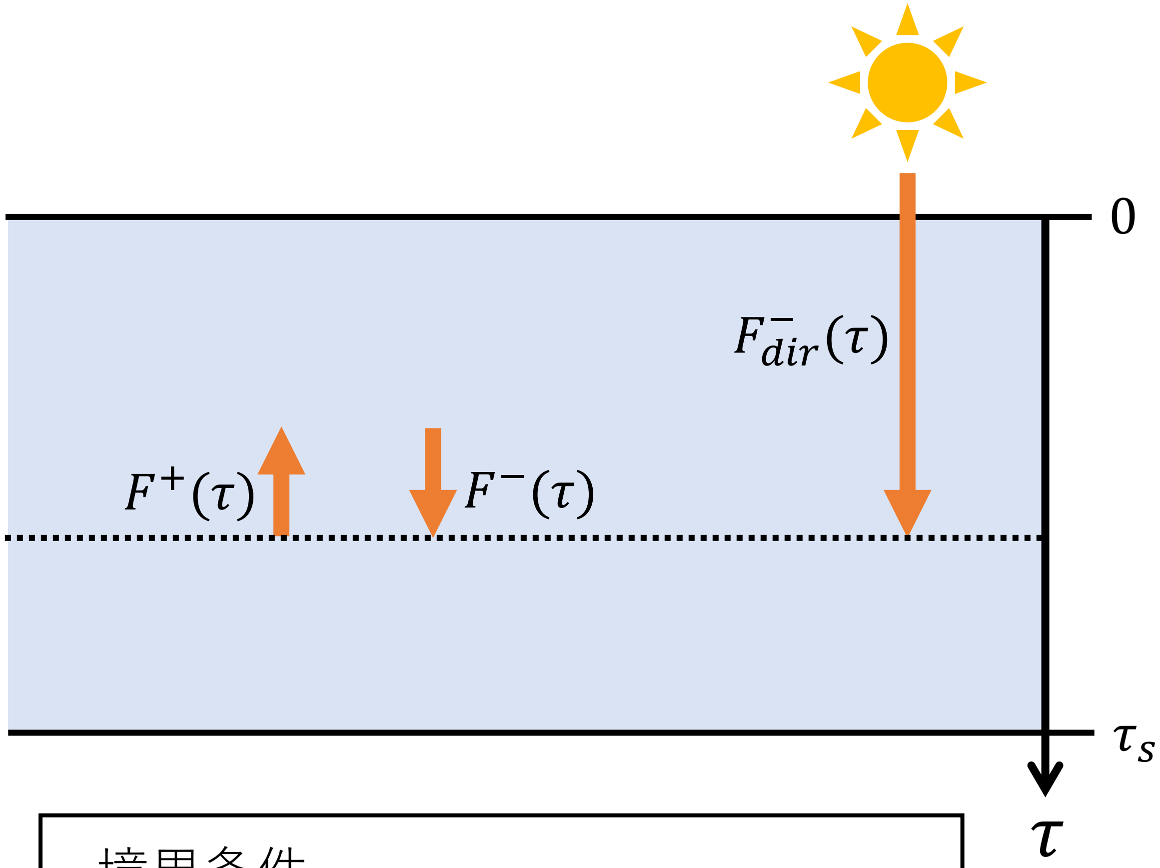
$$F_{dir}^{-}(\tau) = \mu_0 \pi F_s \exp(-\tau/\mu_0)$$

$$\lambda = (\gamma_1^2 - \gamma_2^2)^{1/2}$$

$$\Gamma = \gamma_2/(\gamma_1 + \lambda)$$

$$C^{+}(\tau') = \frac{\tilde{\omega}' \pi F_s \exp(-\tau'/\mu_0)\,[(\gamma_1 - 1/\mu_0)\gamma_3 + \gamma_2\gamma_4]}{\lambda^2 - 1/\mu_0^2}$$

$$C^{-}(\tau') = \frac{\tilde{\omega}' \pi F_s \exp(-\tau'/\mu_0)\,[(\gamma_1 + 1/\mu_0)\gamma_4 + \gamma_2\gamma_3]}{\lambda^2 - 1/\mu_0^2}$$



境界条件

$$F^{+}(\tau_s) = R_{sfc} F_{tot}^{-}(\tau_s)$$

$$F^{-}(0) = 0$$

R_{sfc}: 地表の反射率

計算式の検討

Toon *et al.* (1989) が用いたパラメータ条件について放射フラックスを計算し, 計算結果の正確さを評価する

表 1: 各パターンのパラメータ値

	ヘイズA	ヘイズB	雲A	雲B
太陽天頂角の余弦 μ_0	1	1	1	1
光学的深さ τ	1	1	64	64
一次散乱アルベド $\tilde{\omega}$	1	0.9	1	0.9
非対称因子 g	0.794	0.794	0.848	0.848

全ての事例において $R_{suf} = 0,\ F_s = 1$

計算式の検討

正確さの評価

$$(\text{相対誤差}) = \frac{|X - X_e|}{X_e}$$

X: 計算値
X_e: Toon *et al.* (1989) に示された ‘exact’ な値