

地球大気における放射伝達の 大気構造依存性に関する考察

流体地球物理学教育研究分野

岩谷菜々子

はじめに

- 放射伝達：惑星気候を定める主要な過程のひとつ
- 目標
 - 地球大気で放射を計算
 - これを用いて大気構造が放射場にもたらす影響について考察
- ここでは
 - 気体による吸収とレイリー散乱を考慮して放射伝達を計算
 - 計算される放射スペクトルと加熱率について考察

使用したモデルの概要

- 惑星大気放射モデル(Takahashi et al., 準備中)
 - ラインバイラインモデル
 - 個々の吸収線を解像
 - 吸収線のデータ(S,v)はHITRAN2012から引用
 - 吸収線形はボイト型を仮定
 - 一般化された二流近似の放射伝達方程式を使用(Toon et al., 1989)
 - 正確だが計算コストが大きい

$$\frac{\partial F_n^+}{\partial \tau_n} = \gamma_{1n} F_n^+ - \gamma_{2n} F_n^- - S_n^+$$

$$\frac{\partial F_n^-}{\partial \tau_n} = \gamma_{2n} F_n^+ - \gamma_{1n} F_n^- - S_n^+$$

?

$$k_\nu = S f(\nu - \nu_0)$$

$$f_\nu(\nu - \nu_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f_L(\nu' - \nu_0) f_D(\nu - \nu') d\nu'$$

$$= \frac{1}{\pi^{3/2}} \frac{\alpha_L}{\alpha_D} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{(\nu' - \nu_0)^2 + \alpha_L^2} \exp\left(-\frac{(\nu - \nu')^2}{\alpha_L^2}\right) d\nu'$$

$$\tau = - \int_{\infty}^z \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L k_{i,l} \rho_i dz - \int_{\infty}^z \sum_{j=1}^N \sigma_j \rho_j dz$$

k: 気体の吸収係数 σ: レイリー散乱係数

地球中緯度の夏季における実験

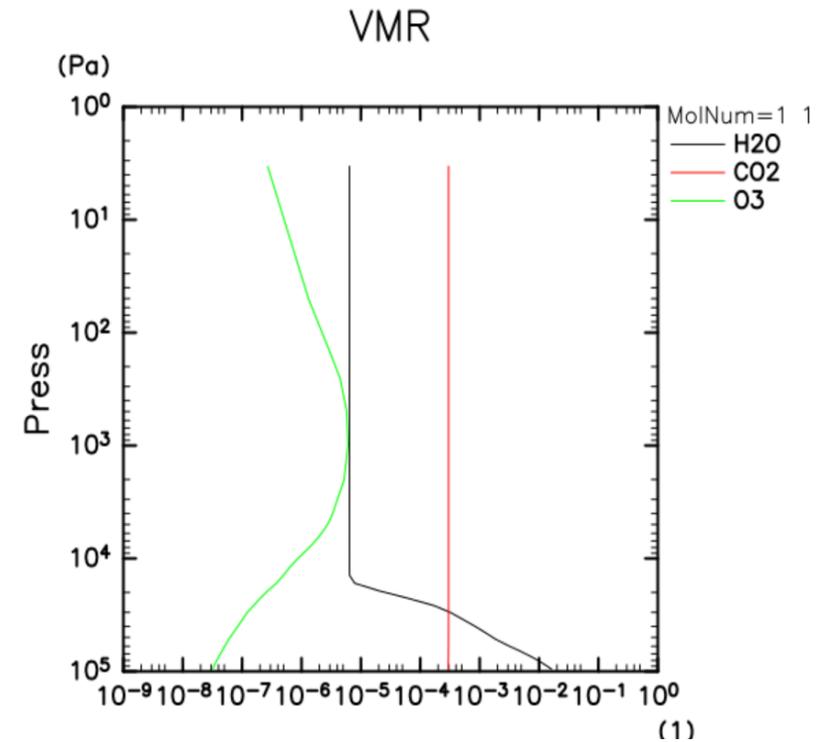
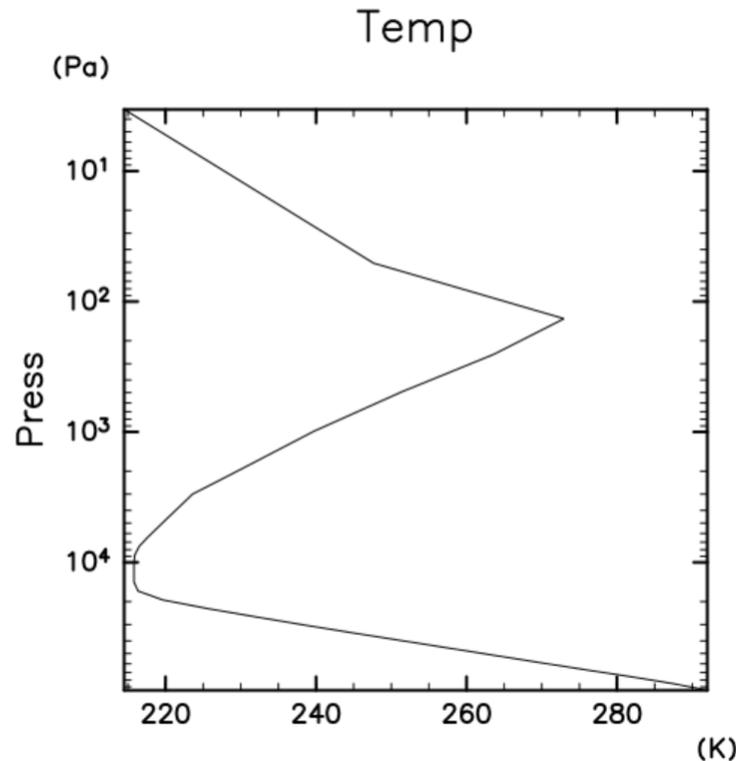
- 計算条件

- 地球中緯度の夏季温度分布(左図)
- 考慮する吸収物質の組成(右図)

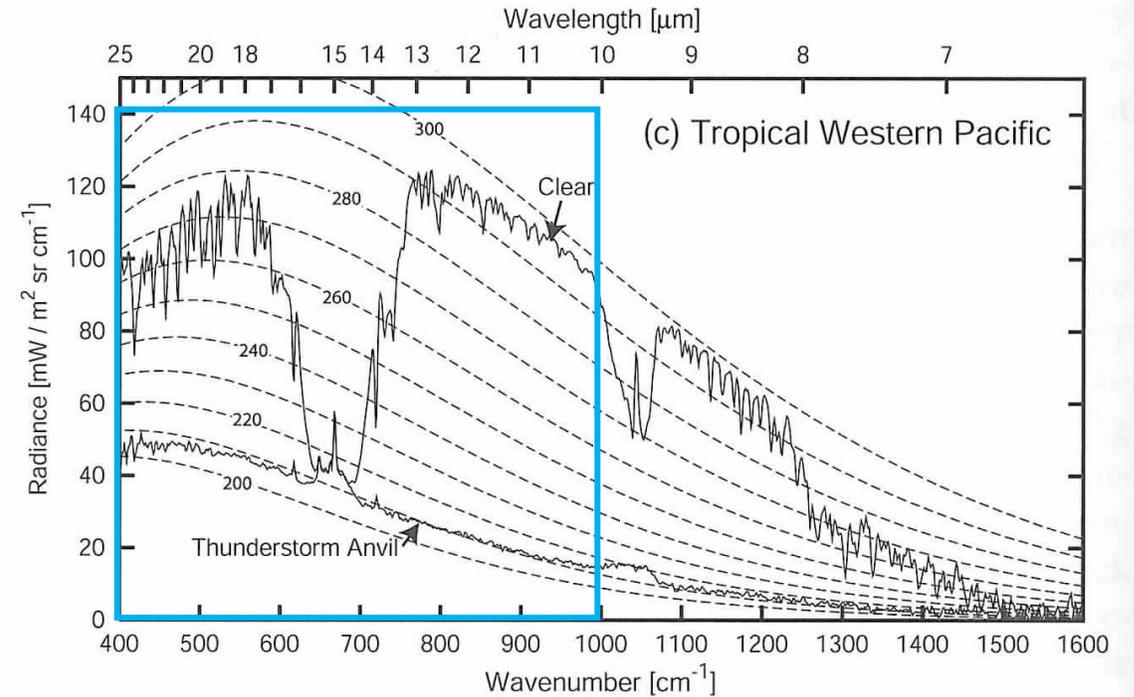
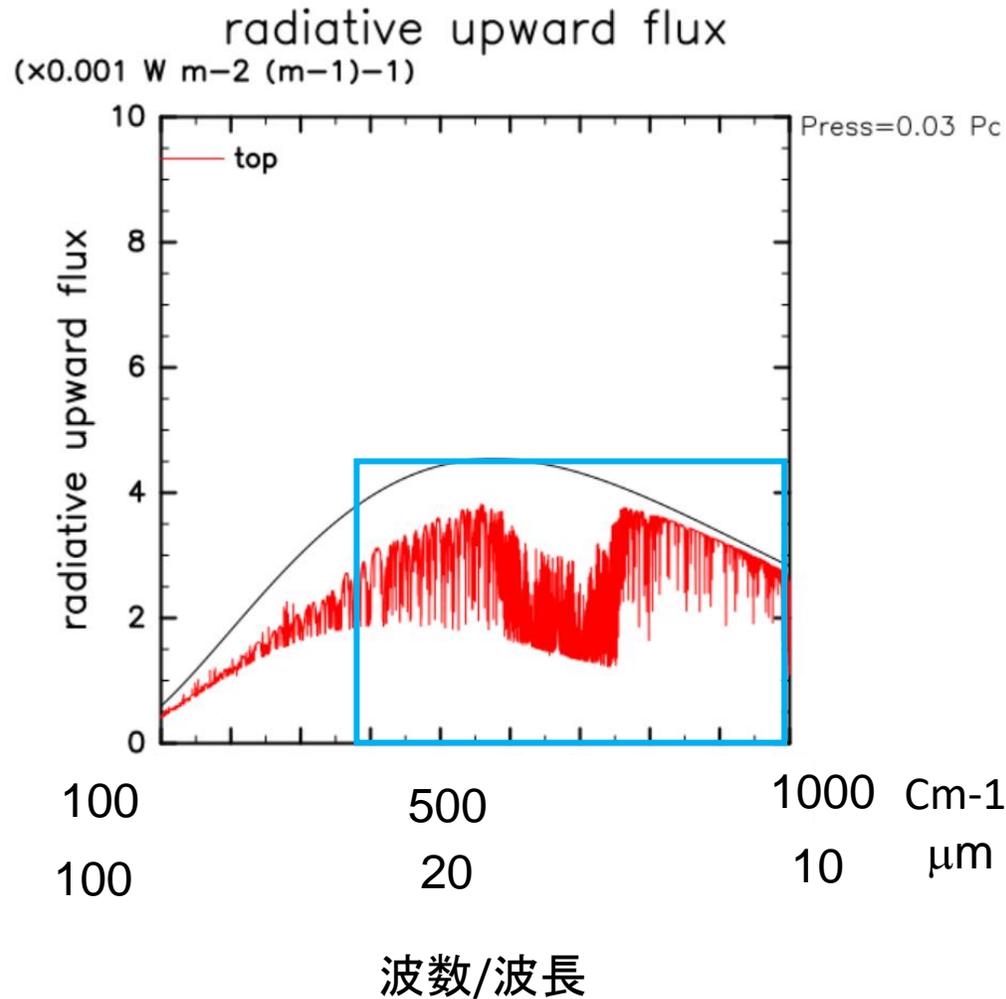
- H₂O
- CO₂
- O₃

- 波数解像度

- 0.01 cm⁻¹



計算された大気上端での上向き放射スペクトル



衛星観測による熱帯西太平洋のスペクトル(Petty ., 2006)

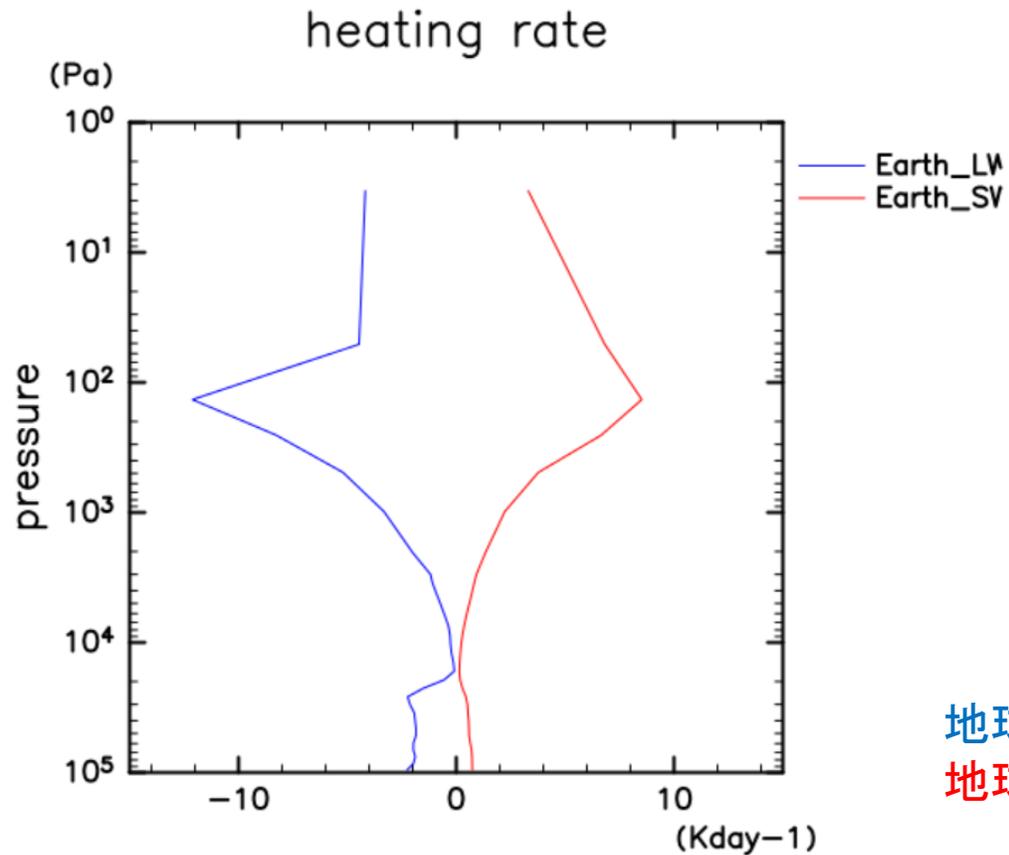
- 観測されているような吸収がみられる

図. 計算された上向き放射スペクトル:

大気上端でのスペクトル(赤線)

地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)

計算された加熱率



- 対流圏

- 長波冷却 ~ 2 K/day
- 短波加熱 ~ 1 K/day

- 成層圏

- 長波冷却 ~ 10 K/day
- 短波加熱 ~ 10 K/day

地球中緯度夏季長波(青線)

地球中緯度夏季短波(赤線)

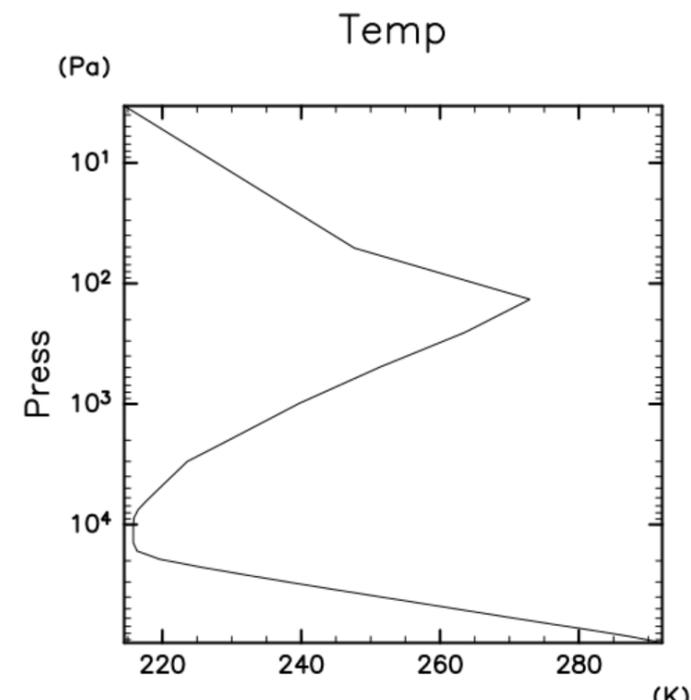
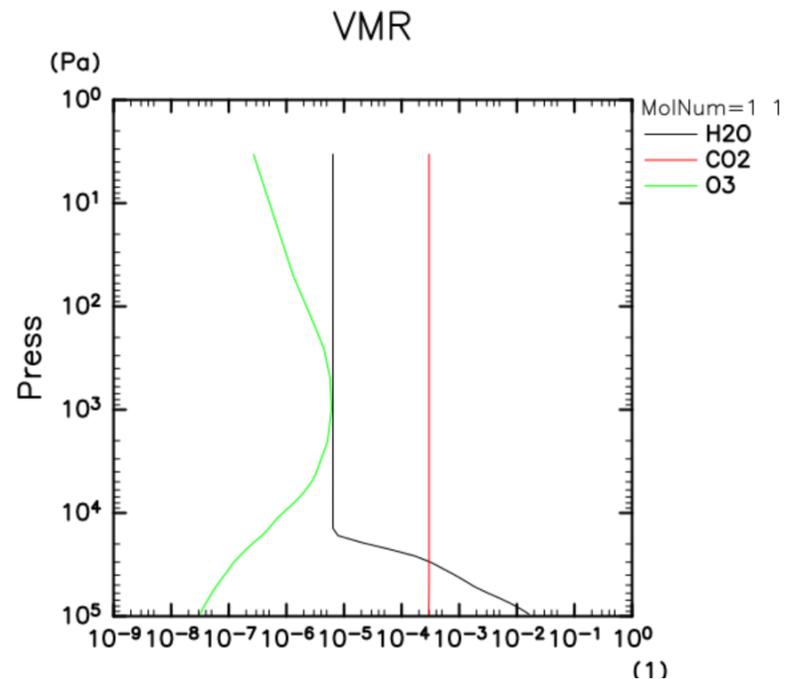
大氣構造變更實驗

- 溫度分布變更實驗

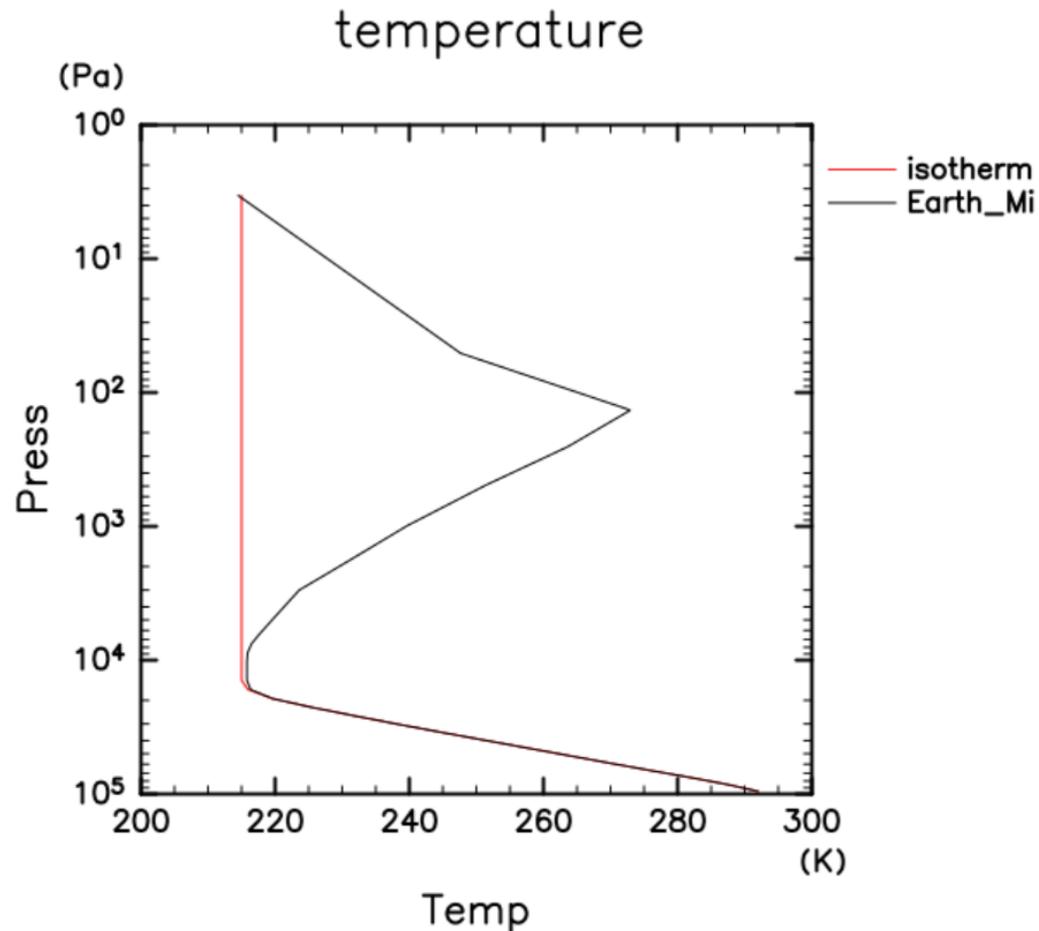
- 成層圈等溫
- 等溫
- 單調減少
- 單調增加

- 吸收物質組成變更實驗

- CO_2
- H_2O
- O_3



成層圏等温大気/問題設定



成層圏での温度を対流圏界面の温度215Kに設定

図 温度分布：
成層圏等温大気(赤線)
地球中緯度夏季(黒)

成層圏等温大気 計算されたスペクトル

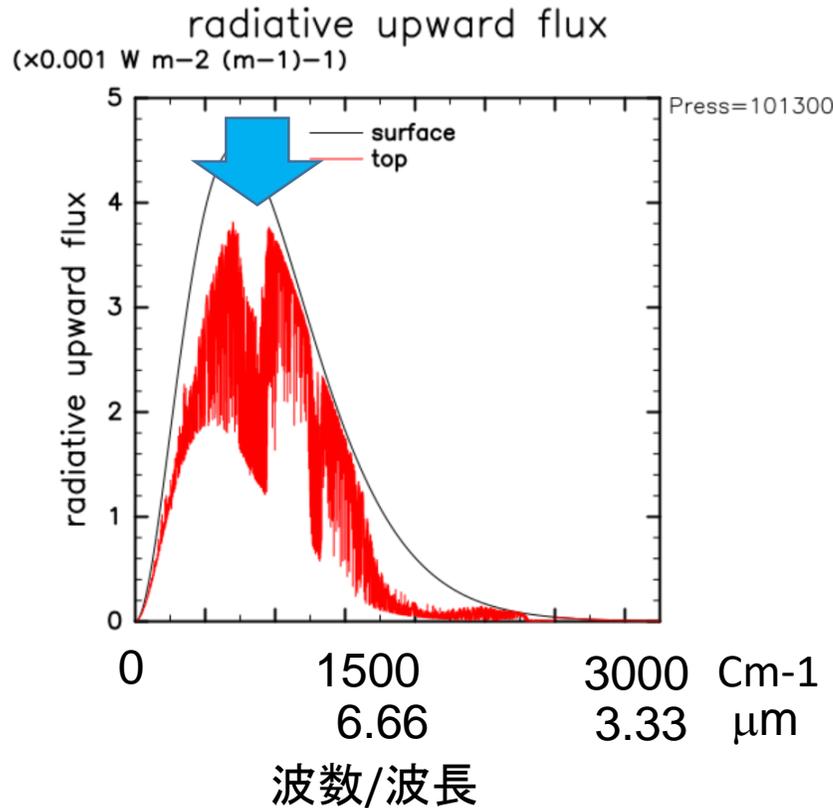


図. 地球中緯度の夏季上向き放射スペクトル:
大気上端でのスペクトル(赤線)
地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)

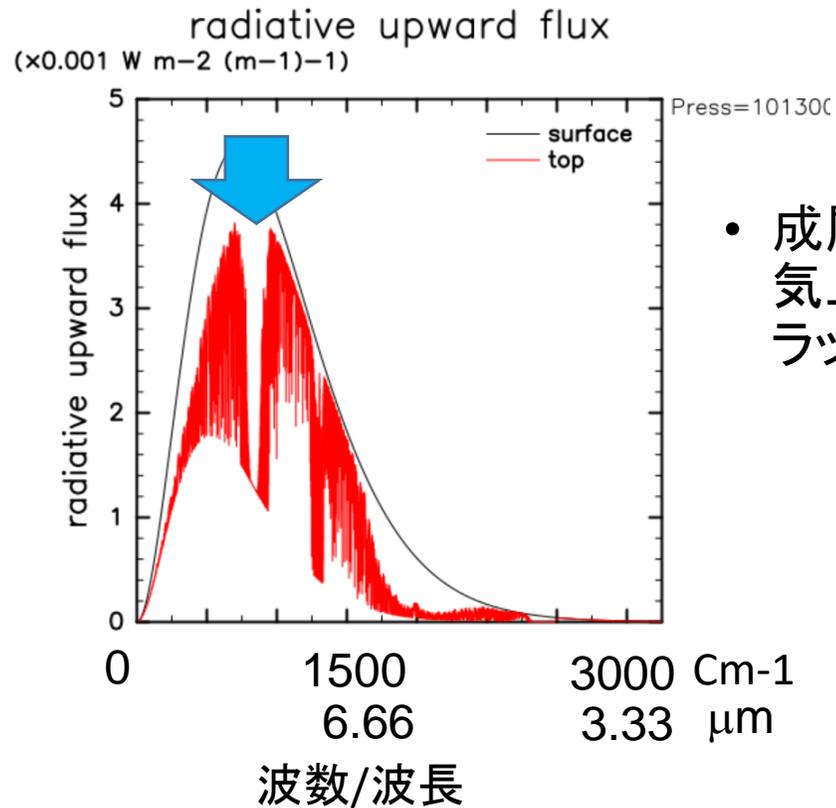
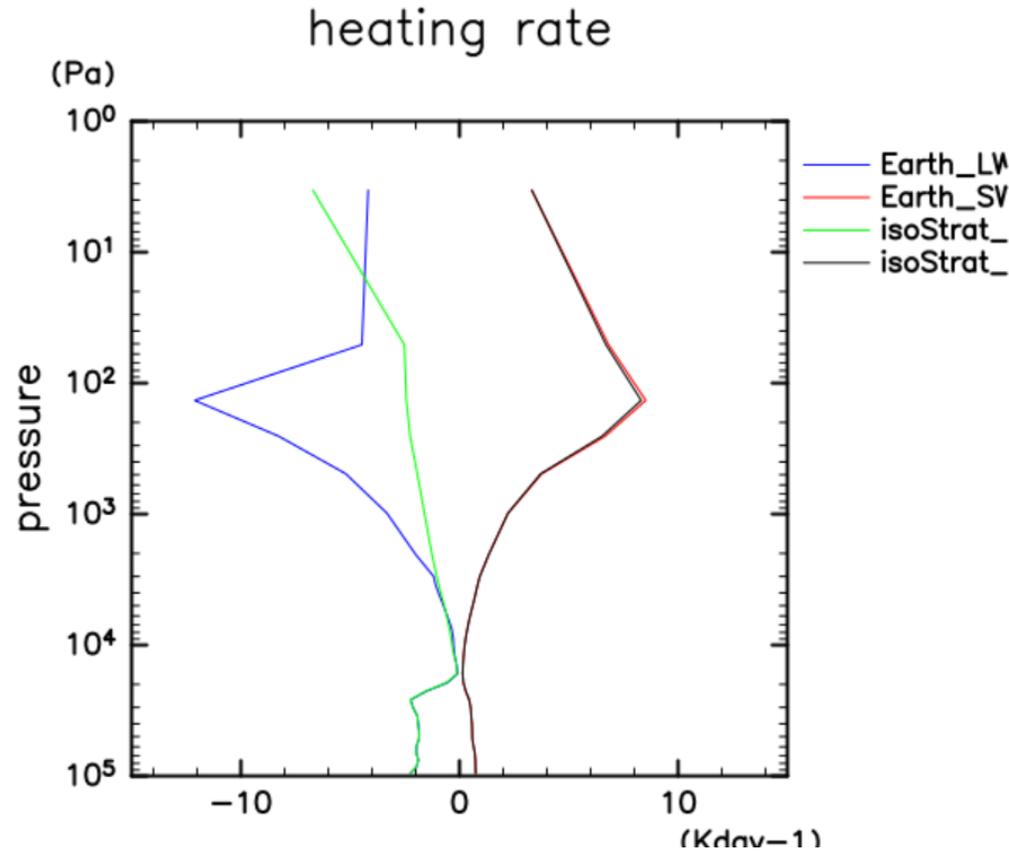


図. 成層圏等温大気上向き放射スペクトル:
大気上端でのスペクトル(赤線)
地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)

- 成層圏が低温になったため, 大気上端の15 μm 付近の放射フラックスが小さくなる.

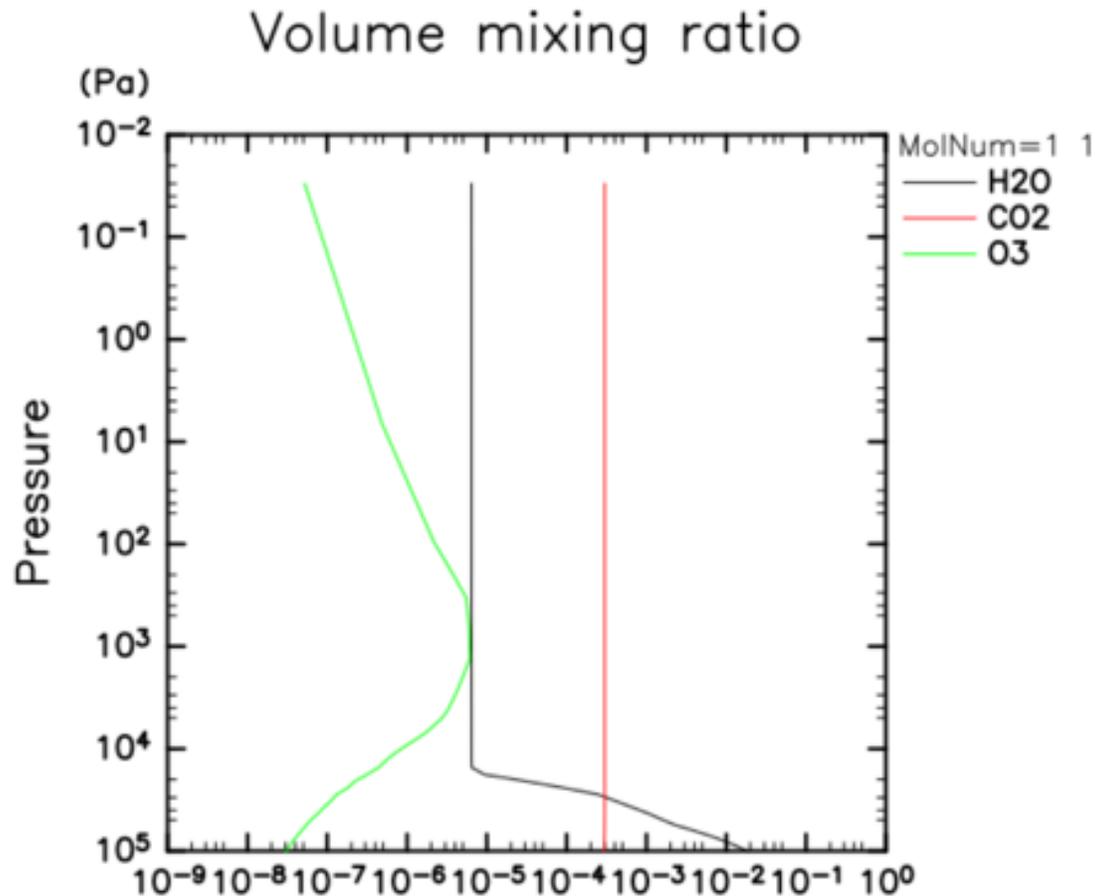
成層圏等温大気 計算された加熱率



- 本来の成層圏よりも低温になっているため、成層圏等温大気のほうでは長波冷却が小さい

地球中緯度夏季長波(青線)
地球中緯度夏季短波(赤線)
成層圏等温大気長波(緑線)
成層圏等温大気短波(黒線)

吸収物質組成変更実験/問題設定



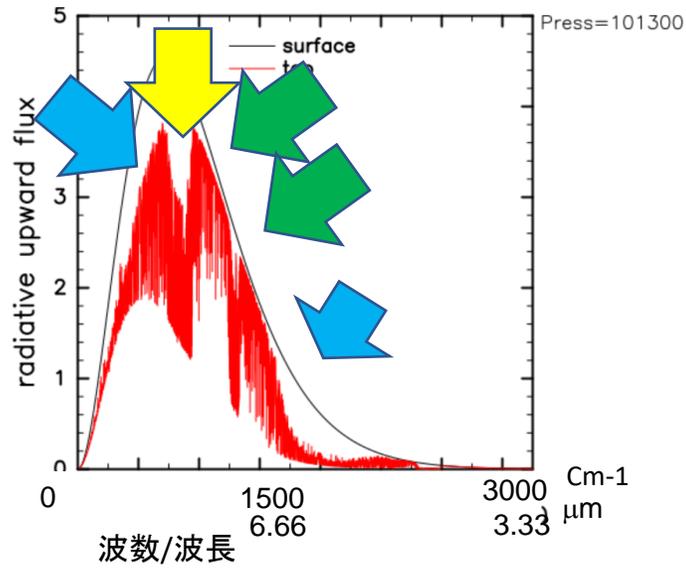
温度構造は地球中緯度の夏季のまま

- H₂O のみ (CO₂, O₃ はゼロ)
- CO₂ のみ (H₂O, O₃ はゼロ)
- O₃ のみ (H₂O, CO₂ はゼロ)

を含む大気として計算
(体積混合比は変更していない)

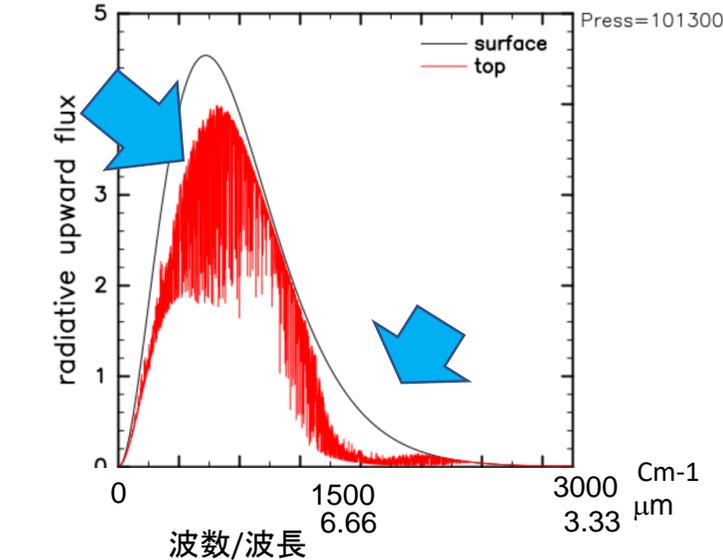
吸収物質組成変更実験 計算されたスペクトル

地球中緯度夏季スペクトル

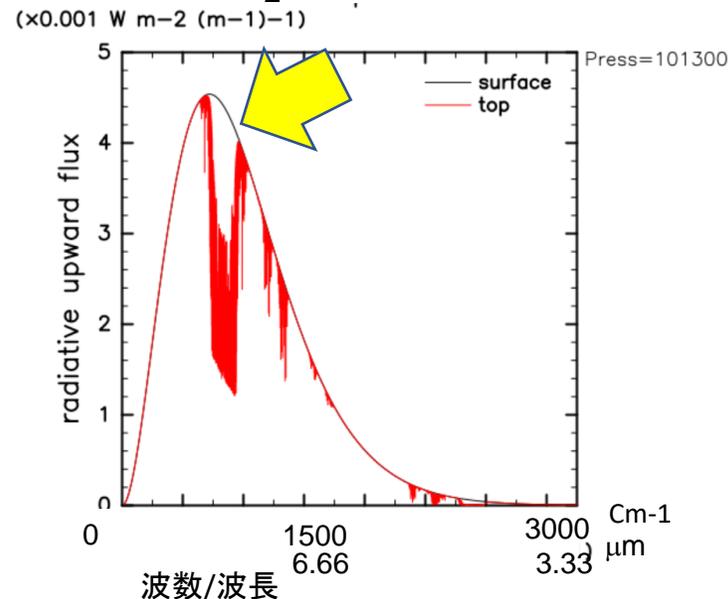


-  H₂O による吸収が見られる
-  CO₂ による吸収が見られる
-  O₃ による吸収が見られる

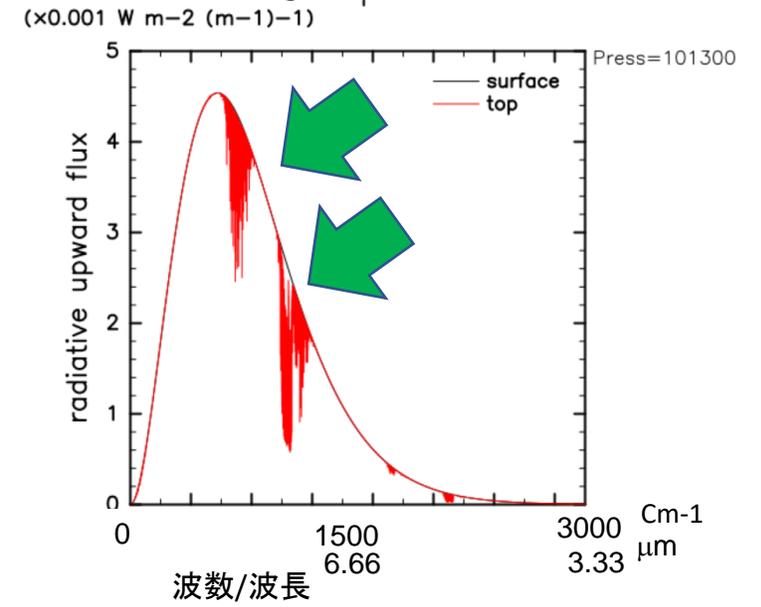
H₂O スペクトル



CO₂ スペクトル



O₃ スペクトル



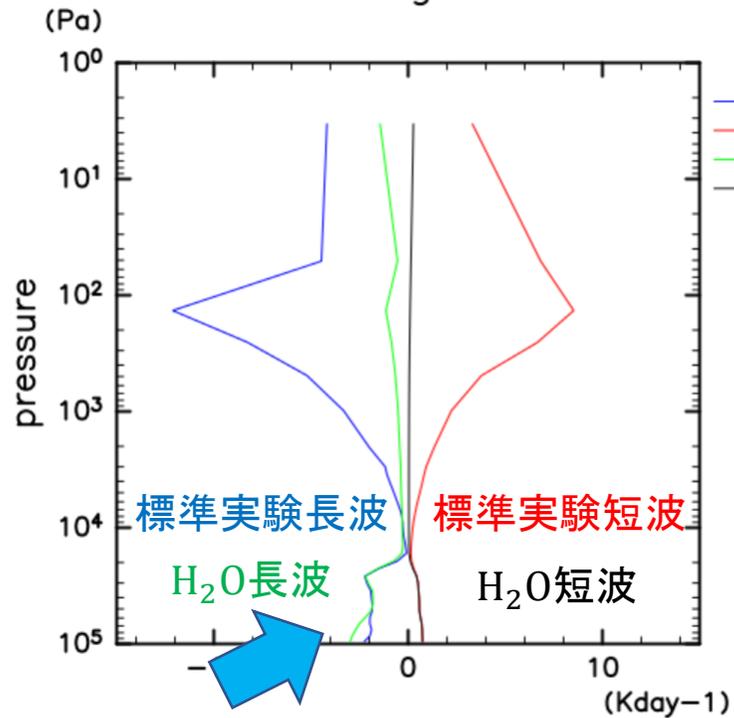
吸収物質組成変更実験 計算された加熱率

H₂O

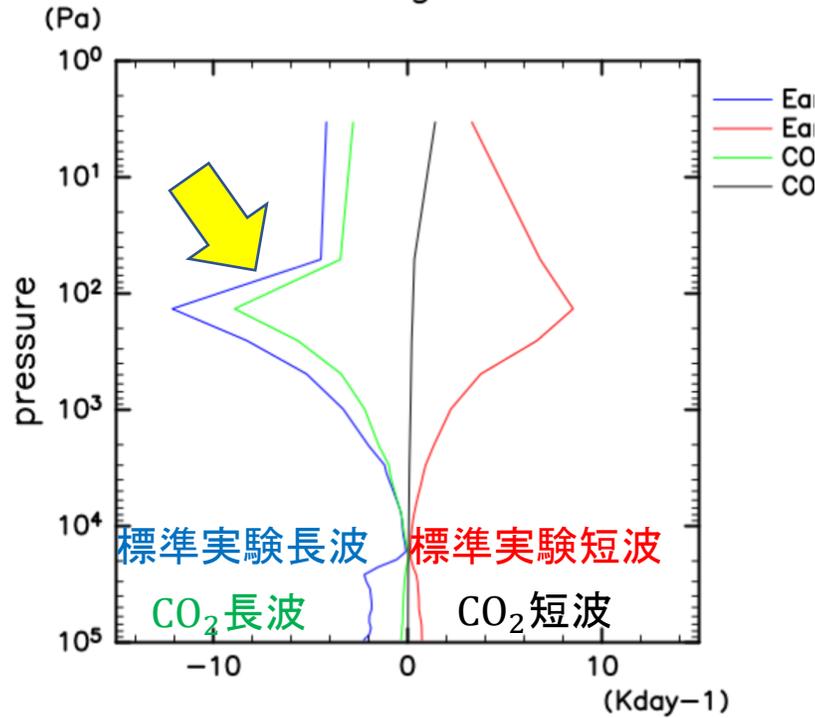
CO₂

O₃

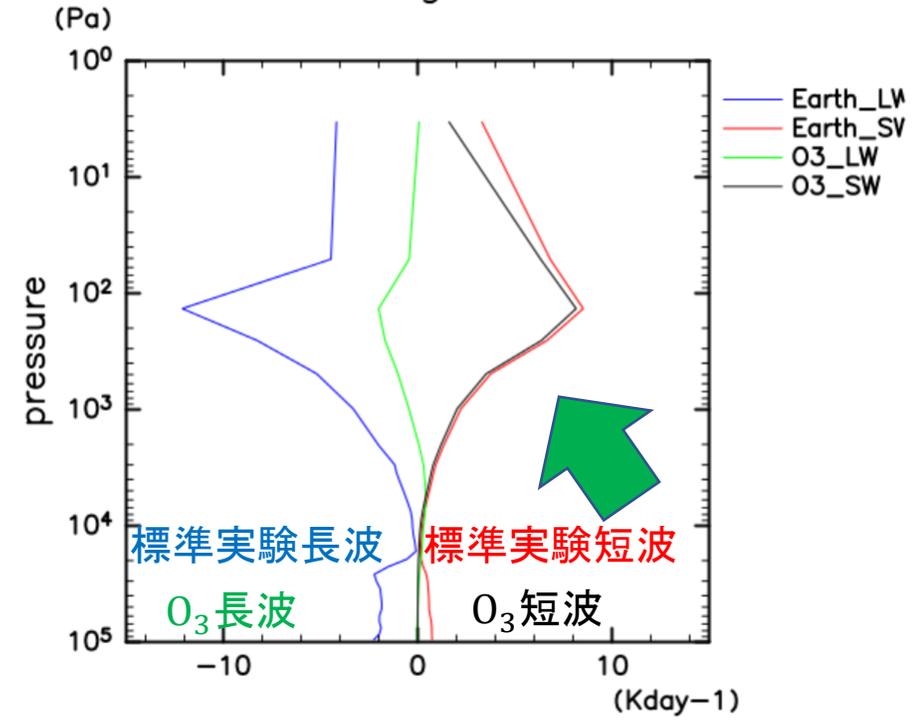
heating rate



heating rate



heating rate



それぞれの成分の主要な加熱冷却高度

H₂O : 対流圏冷却

CO₂ : 成層圏冷却

O₃ : 成層圏加熱

まとめ

地球大気で放射を計算した

– 地球中緯度の夏季の条件を与えると衛星観測されたスペクトルと同様の吸収が見られるスペクトルが得られた

– 温度分布変更実験では

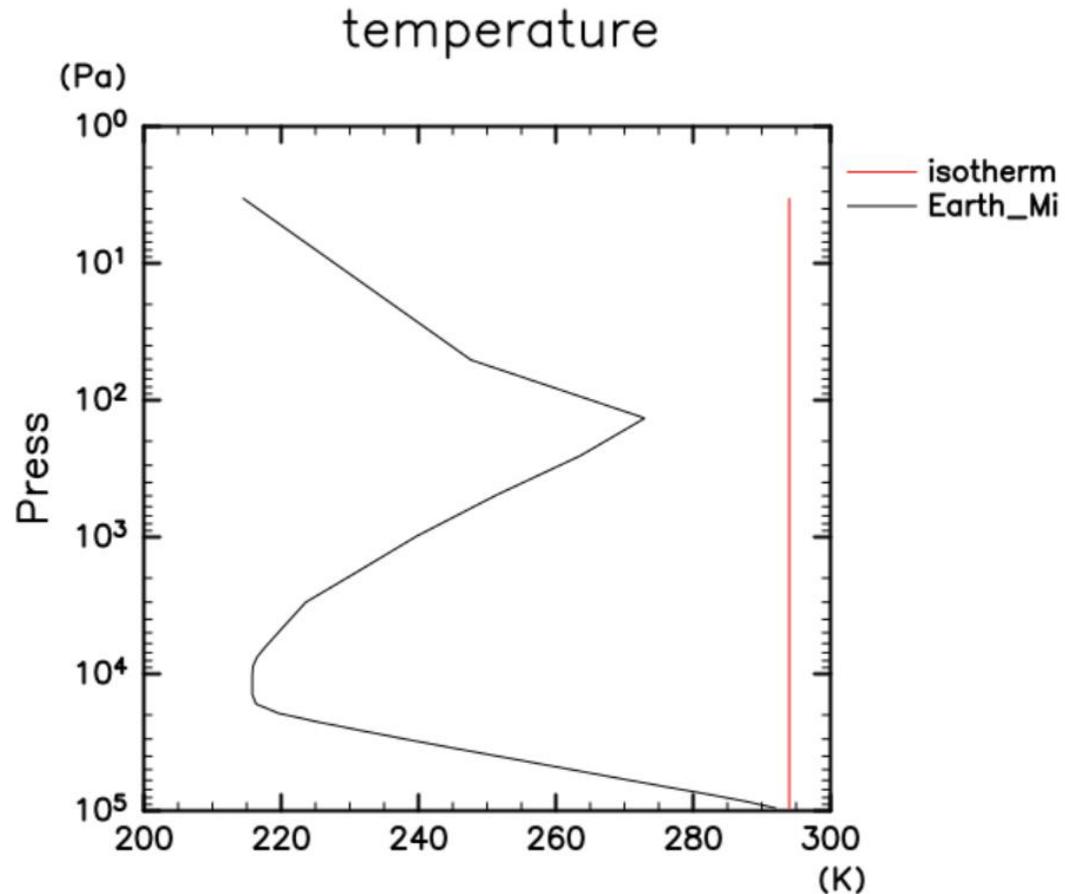
- スペクトルは温度構造に対応した変化が見られた

– 吸収物質組成変更実験では

- それぞれの吸収スペクトルが確認された
- それぞれの組成が異なる高度領域の加熱冷却に寄与していることが確認された

補足資料

等温大気/問題設定



地表面温度 294 K の等温大気に設定した

図 温度分布：
等温大気(赤線)
地球中緯度夏季(黒)

等温大気 計算されたスペクトル

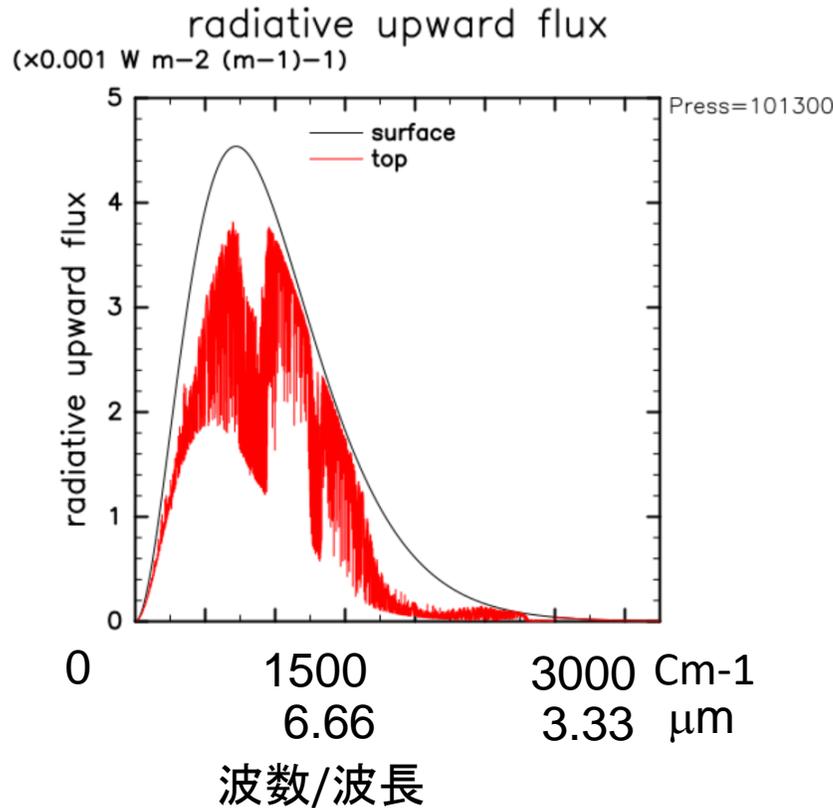


図. 地球中緯度夏季上向き放射スペクトル：
大気上端でのスペクトル(赤線)
地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)

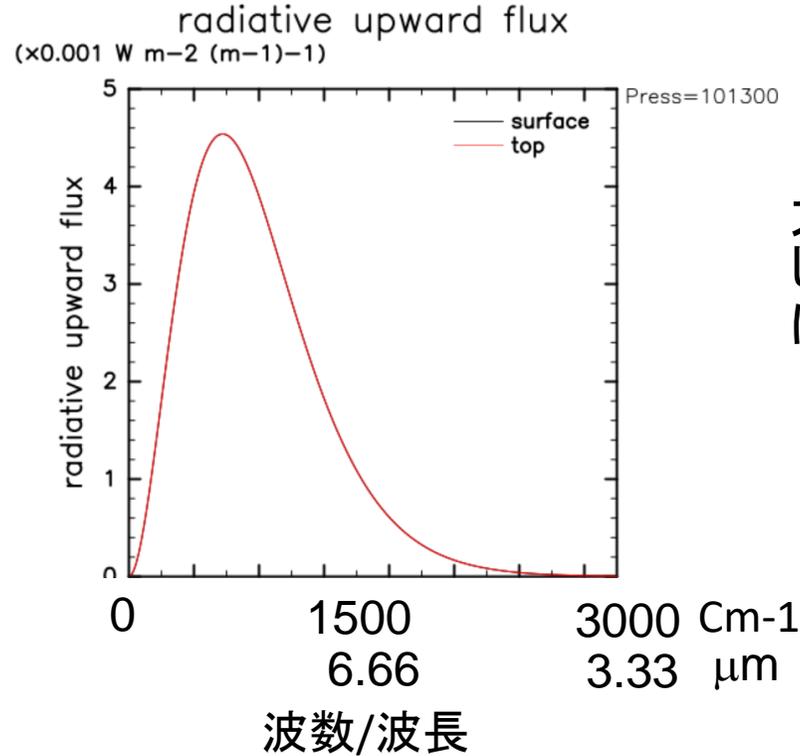
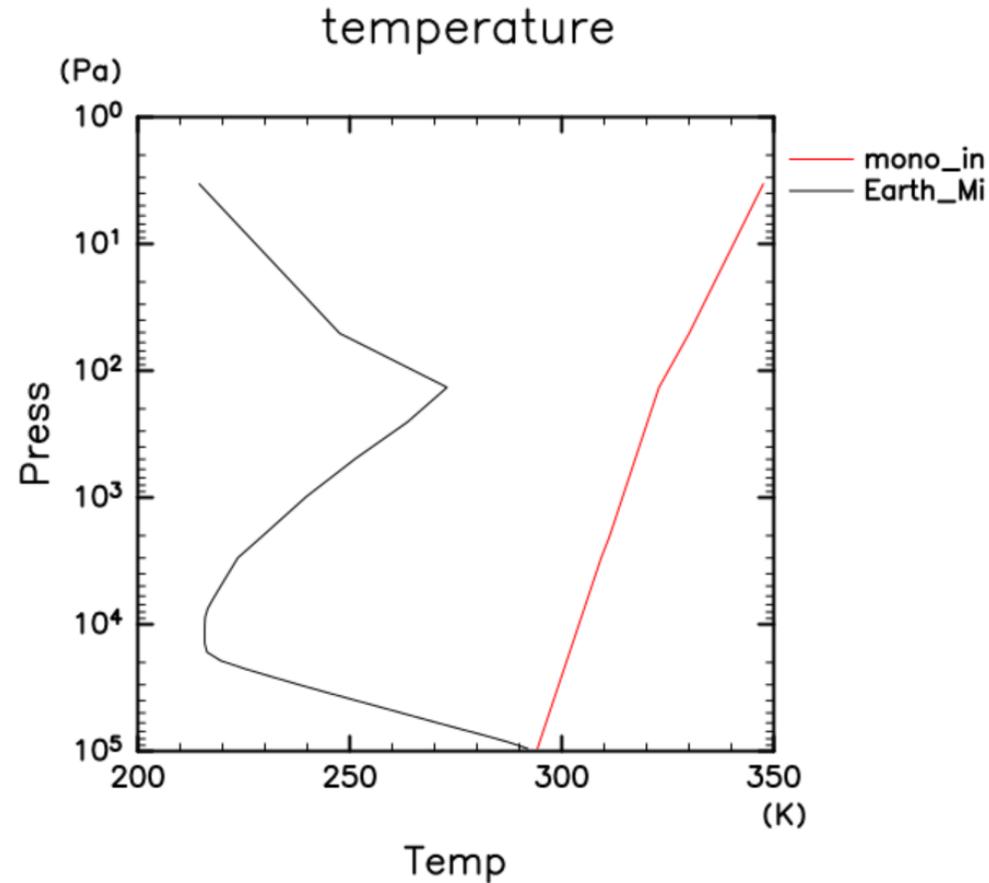


図. 計算された上向き放射スペクトル：
大気上端でのスペクトル(赤線)
地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)

大気上端と地表面での温度が同じであるため、スペクトルも同一になる。

単調増加/問題設定

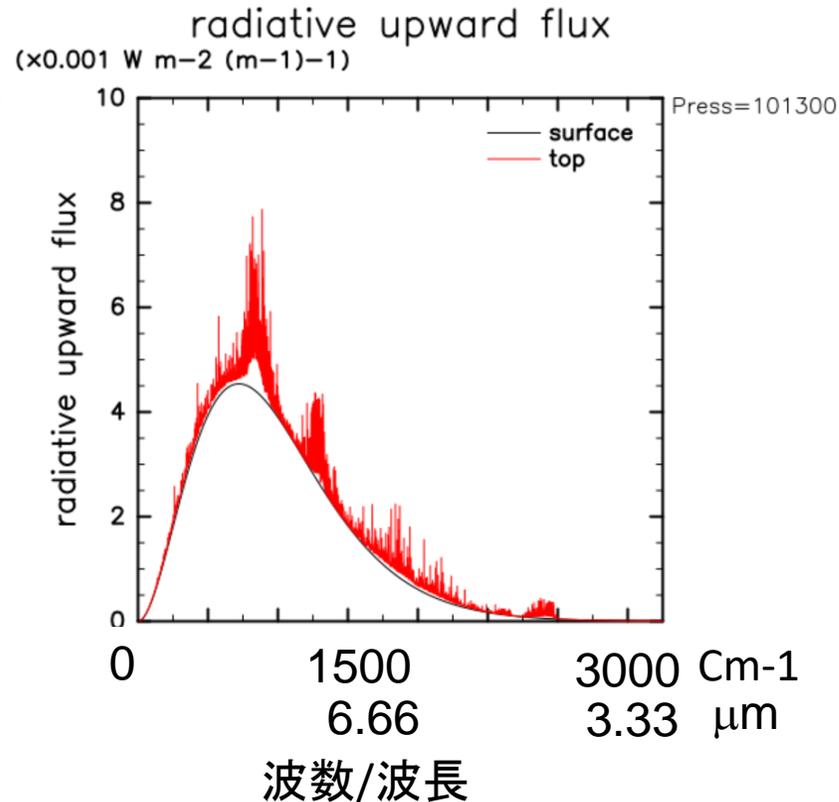
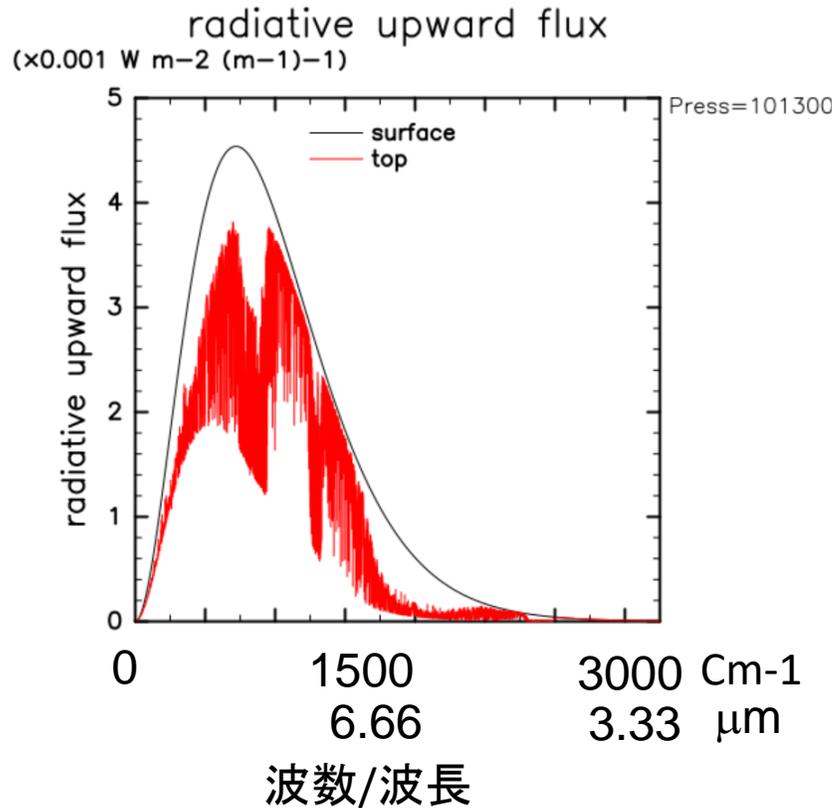


地表面温度 294 K から以下の式に従って高度と共に温度が上昇する大気を想定.

$$T = -10 \log_{10} \frac{p}{1.013 \times 10^5} + 294$$

図 温度分布：
単調増加大気(赤線)
地球中緯度夏季(黒)

単調増加 計算されたスペクトル

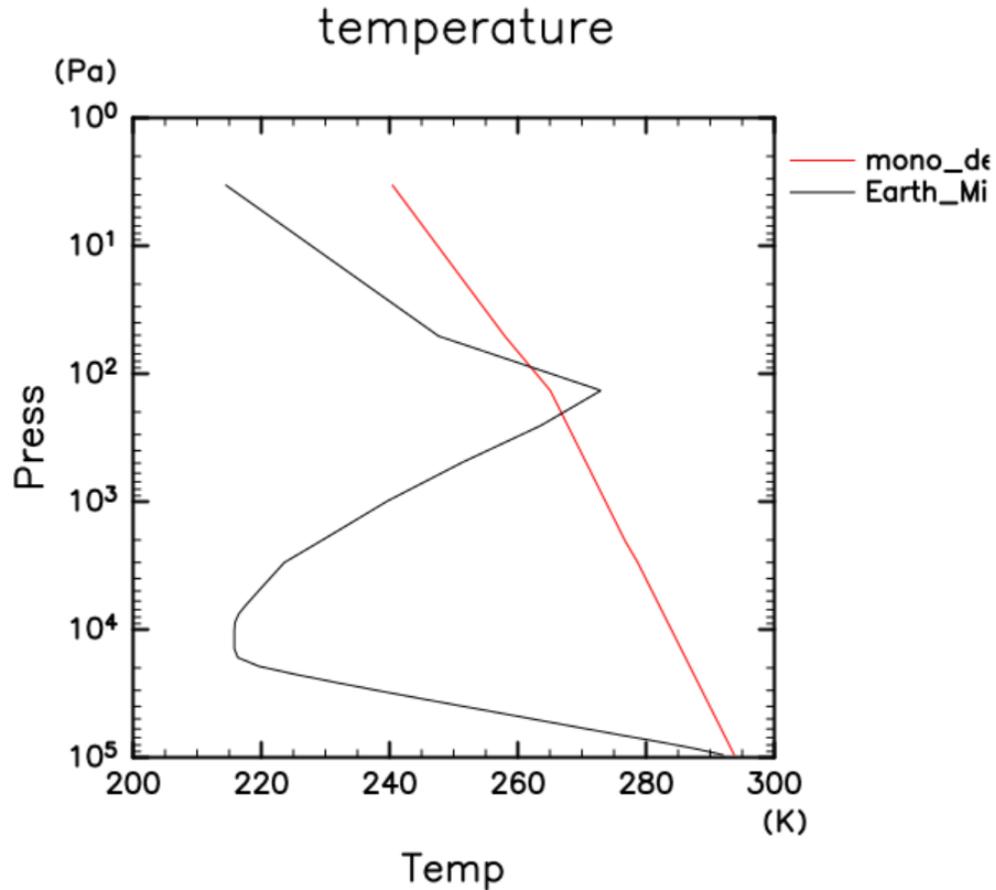


大気上端のほうが地表面より高温であるため、地表面でのスペクトルよりもフラックスは大きい

図. 地球中緯度夏季上向き放射スペクトル：
大気上端でのスペクトル(赤線)
地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)

図. 計算された上向き放射スペクトル：
大気上端でのスペクトル(赤線)
地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)

単調減少/問題設定



地表面温度 294 K から以下の式に従って高度と共に温度が上昇する大気を想定.

$$T = 10 \log_{10} \frac{p}{1.013 \times 10^5} + 294$$

図 温度分布：
単調減少大気(赤線)
地球中緯度夏季(黒)

単調減少 計算されたスペクトル

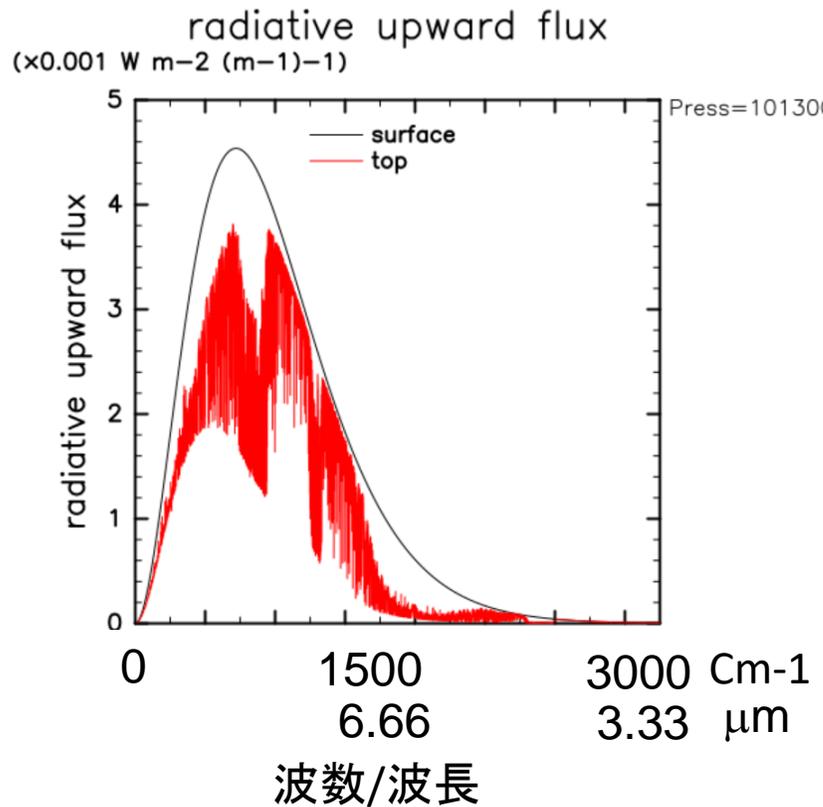


図. 地球中緯度夏季上向き放射スペクトル:
大気上端でのスペクトル(赤線)
地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)

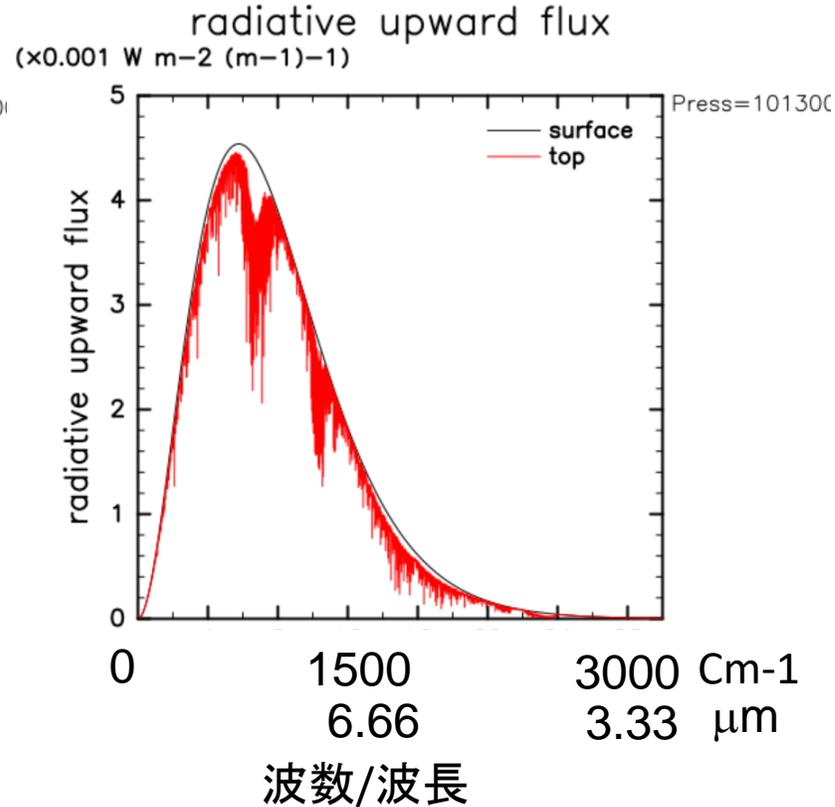


図. 計算された上向き放射スペクトル:
大気上端でのスペクトル(赤線)
地球表面でのスペクトル(294 K 黒体放射, 黒線)