

原始火星における CO₂氷雲の散乱温室効果: line by line 法による検討

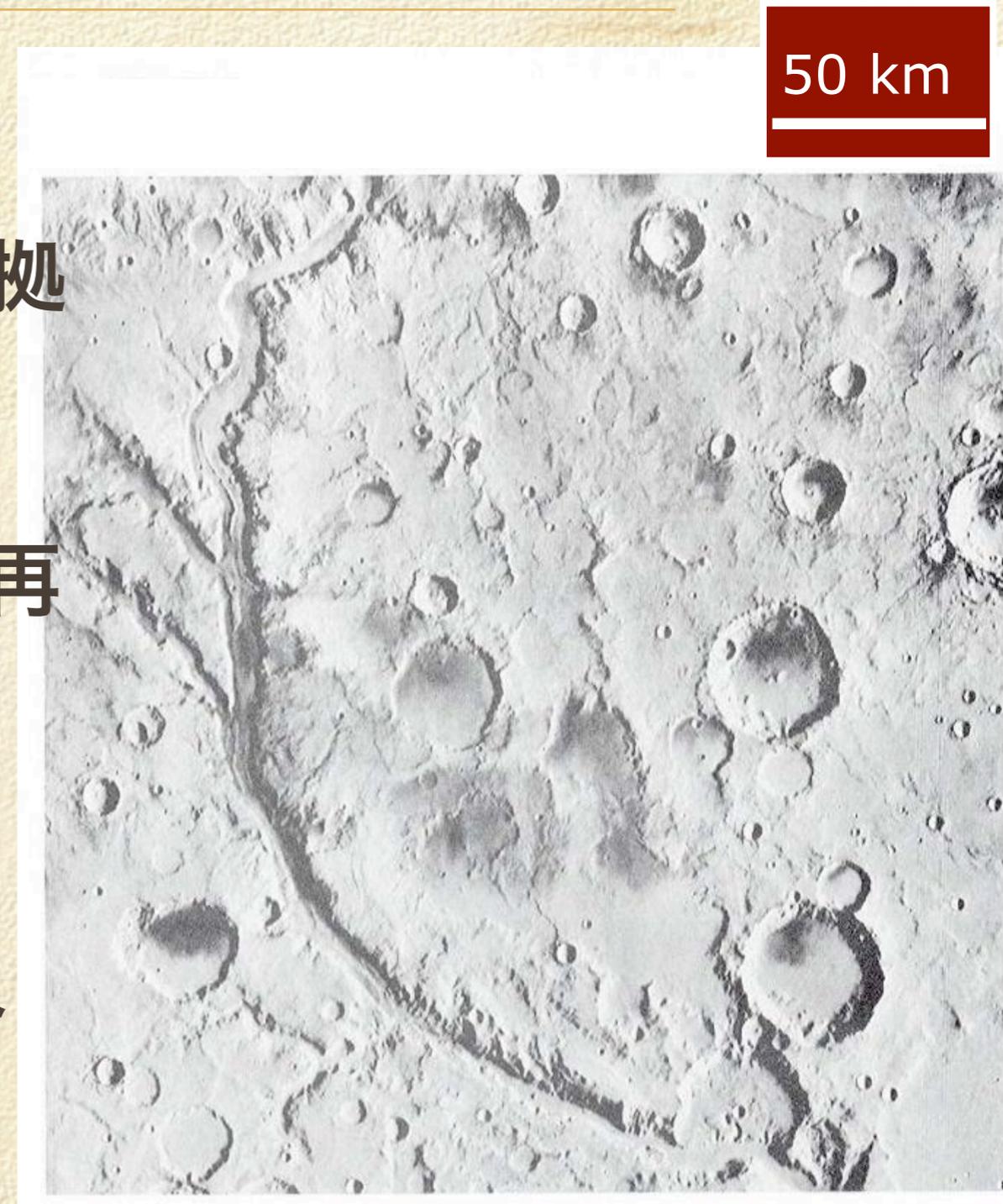
*光田 千紘 (北大・理・地惑)

横畠 徳太 (国立環境研究所)

倉本 圭 (北大・理・地惑)

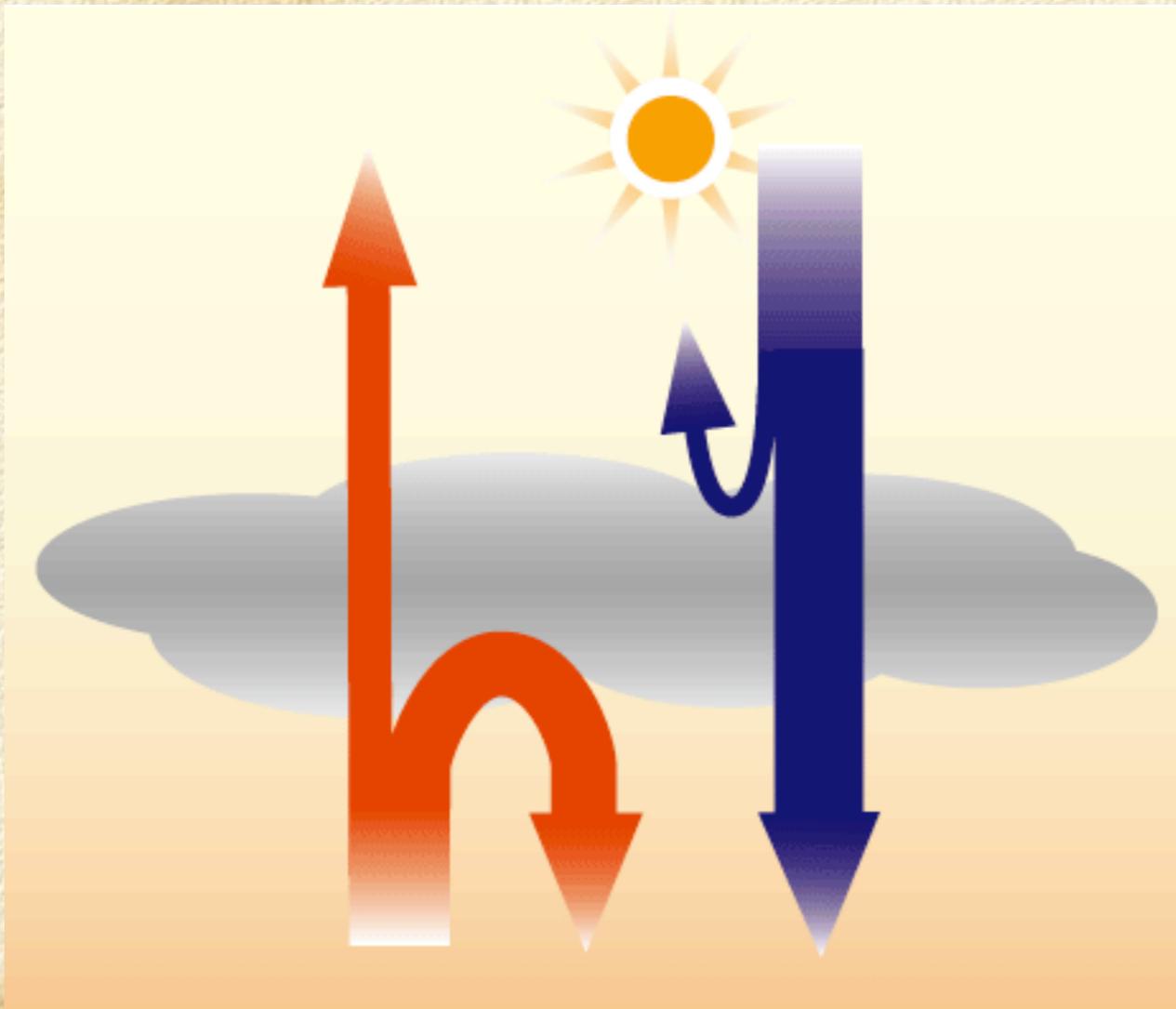
過去の火星(38億年前)

- 温暖湿潤な気候だった
 - 水が安定に存在した地形的証拠
- CO₂-H₂O 大気で温暖な気候が再現できるか?
- 太陽光度：現在の 0.75 倍
- 大気上層でCO₂ 凝結：暴走冷却状態へ (Kasting 1991)



バレーネットワーク

散乱温室効果



赤外放射反射 > 太陽放射反射

散乱温室効果

- 地表面温度
 - 雲の赤外放射透過量
- 雲の安定性
 - 雲の赤外放射吸収量

赤外放射入射量を詳細に見積もることが重要

バンドモデルでしか大気赤外放射伝達を評価されていない

ランダムモデルの問題点

- 地球大気を想定してパラメタリゼーションされている

- CO₂ 大気, 高圧大気に外挿可能?

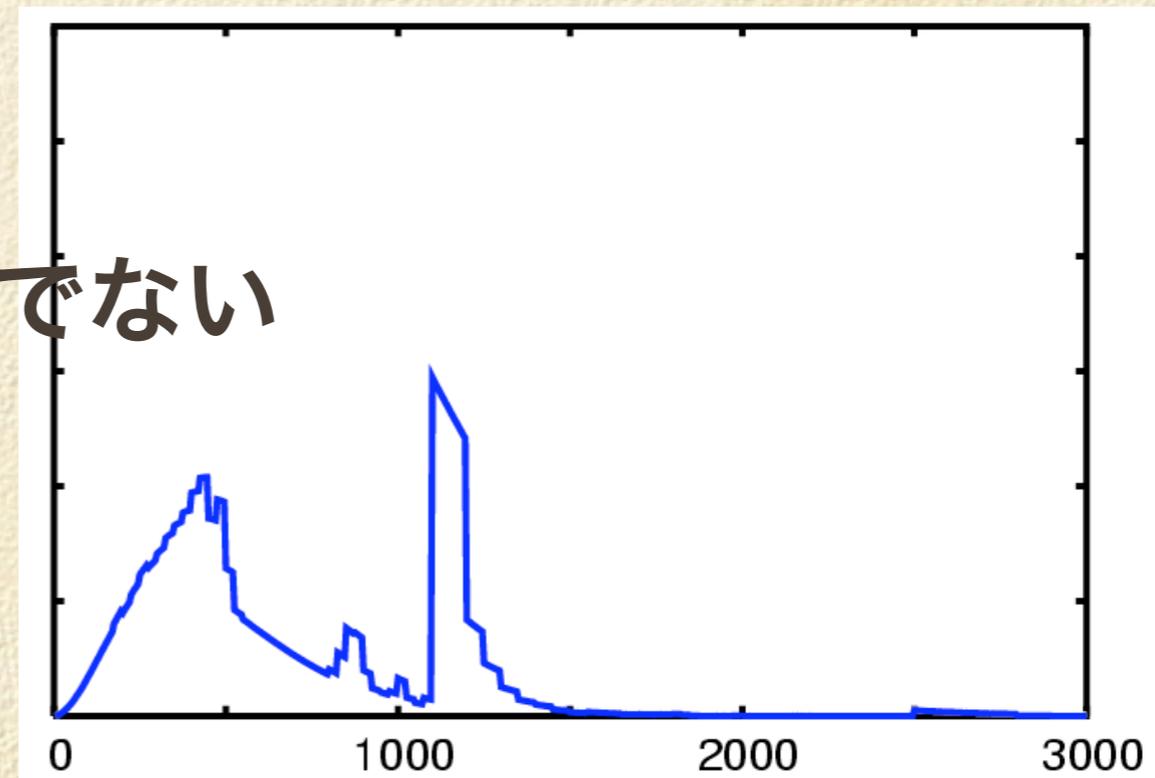
ランダムモデルで計算された
雲への赤外入射スペクトル
横軸：波数 [cm⁻¹]

- 波数(波長)解像度が変更できない

- 雲の解像度よりも粗い

- 分子種を増やすことが容易でない

- CO₂, H₂O, O₃ のみ



Line by line 法の利点

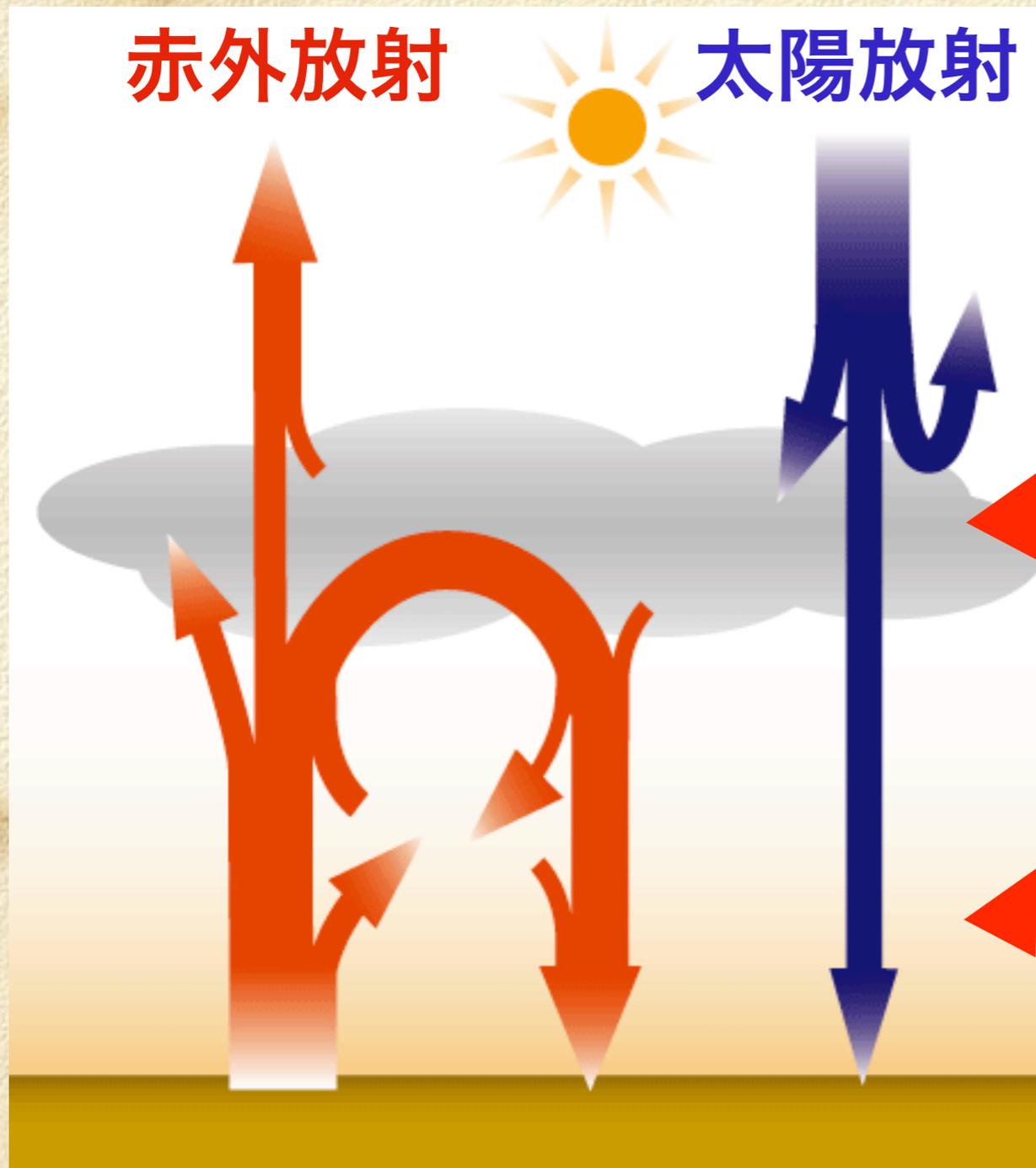
- 素過程に最も忠実な放射伝達計算法
- 拡張性が高い
 - 任意の波数(波長)解像度で計算可能
 - 多数の分子種についてデータベースが存在
 - HITRAN 2000

本研究の目的

- line by line 法を用いて雲への赤外放射入射量を詳細に求める。
 - ランダムモデルとの比較
 - 雲の安定性, 温室効果のより詳細な評価

鉛直一次元放射モデル

* 太陽放射入射は全球年平均値
太陽光度は現在値の 0.75 倍



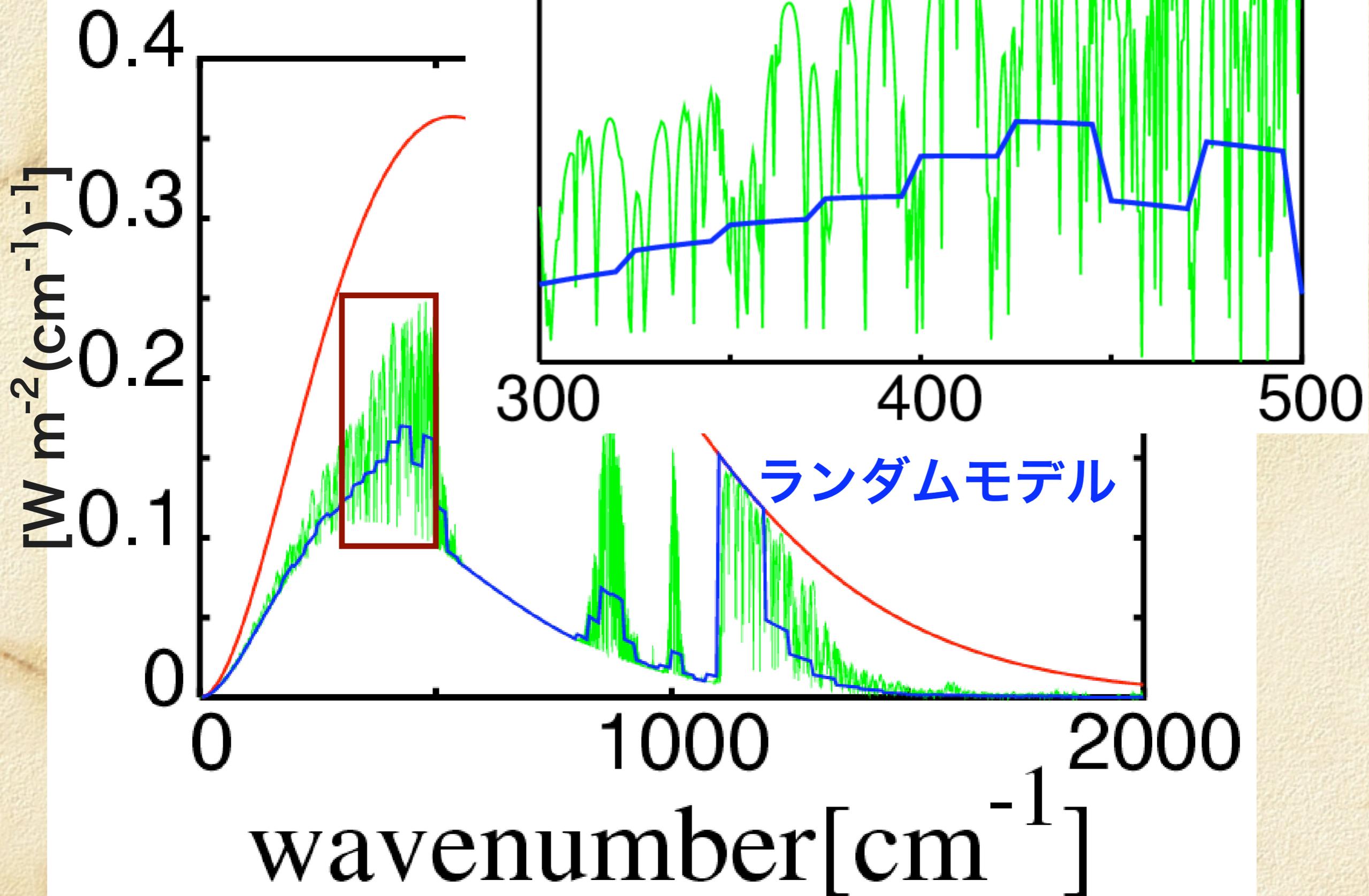
δ -エディントン近似
吸収/散乱(赤外/太陽)
* ミー理論(球形粒子を仮定)
CO₂復素屈折率(Warren, 1986)

二方向近似
吸収(赤外のみ)
* Line by Line 法
* ランダムモデル

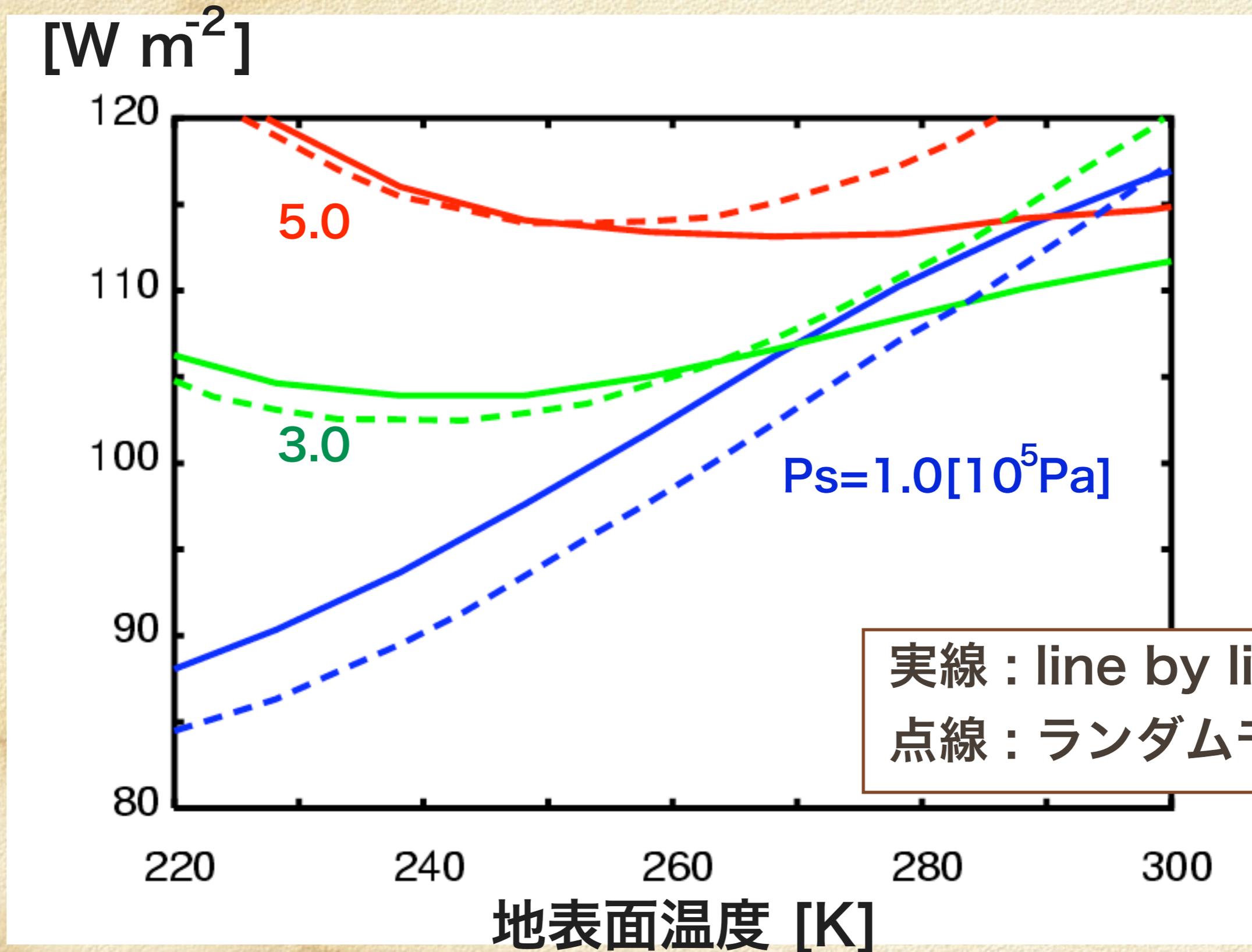
LBL 法 とランダムモデル

	line by line 法	ランダムモデル
吸収線形	フォークト線形 (衝突&ドップラー効果)	ローレンツ線形 (衝突効果)
近似法	なし (ただし 25cm^{-1} cut off)	強吸収近似
波数解像度	0.5 cm^{-1}	25 cm^{-1}
パラメータ	HITRAN2000	Houghton(2002)

赤外入射



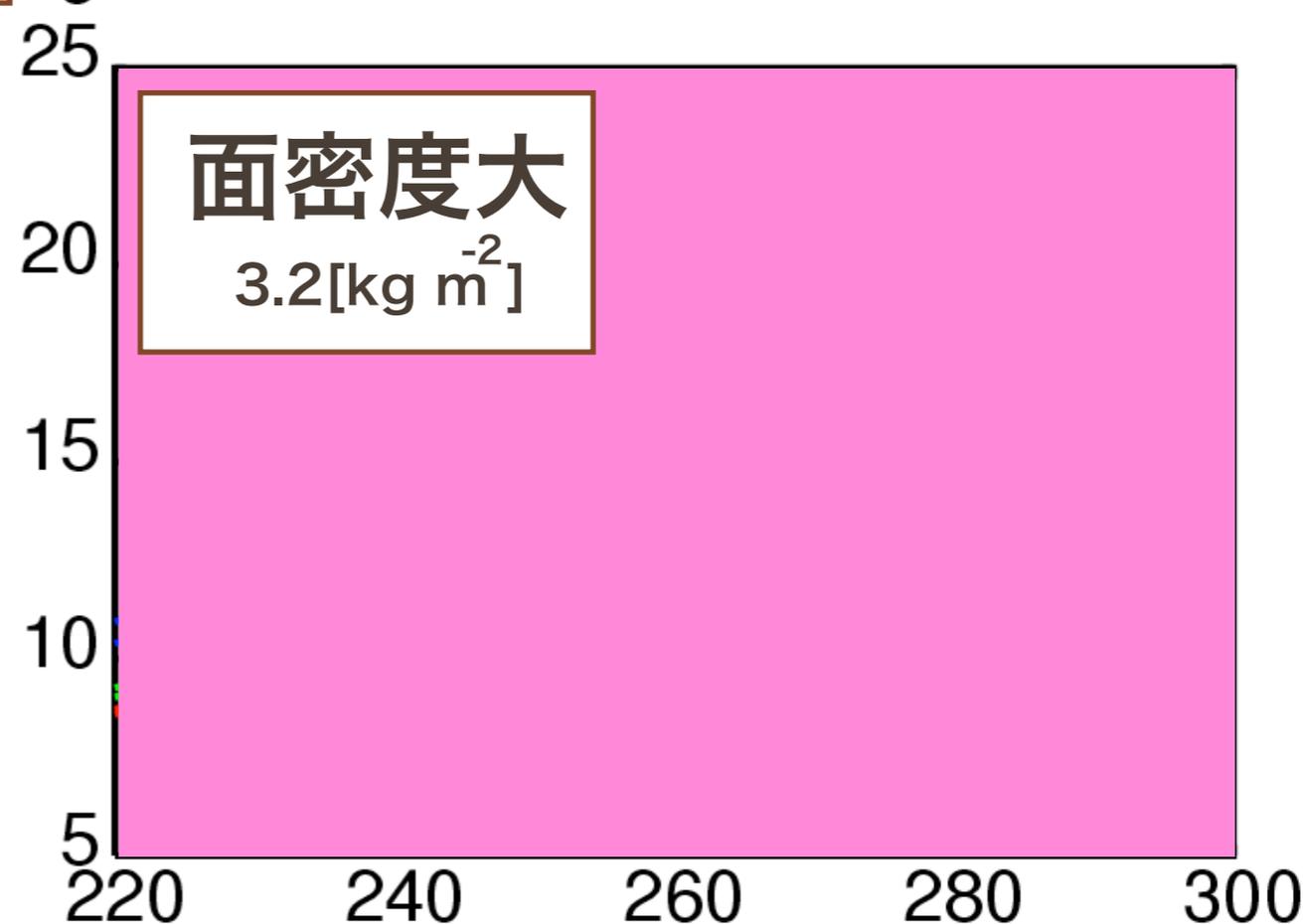
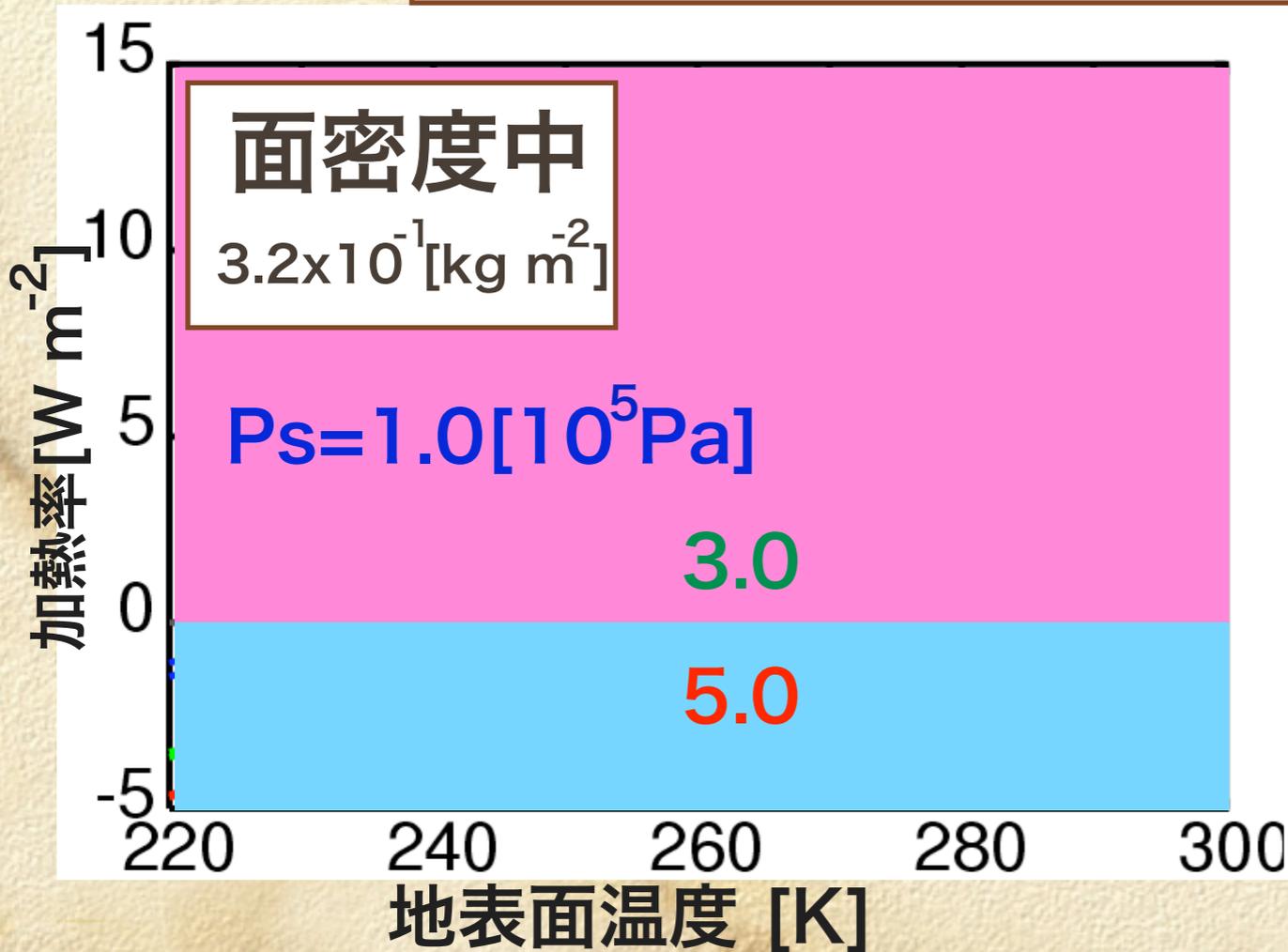
赤外放射の入射フラックス



雲の安定条件

LBLの方が安定に存在できる状態が狭まる。

実線：line by line 法
点線：ランダムモデル



加熱率
[W m⁻²]

10
0
-10

地表温度 [K]

300
280
260
240
220

0.001

0.01

0.1

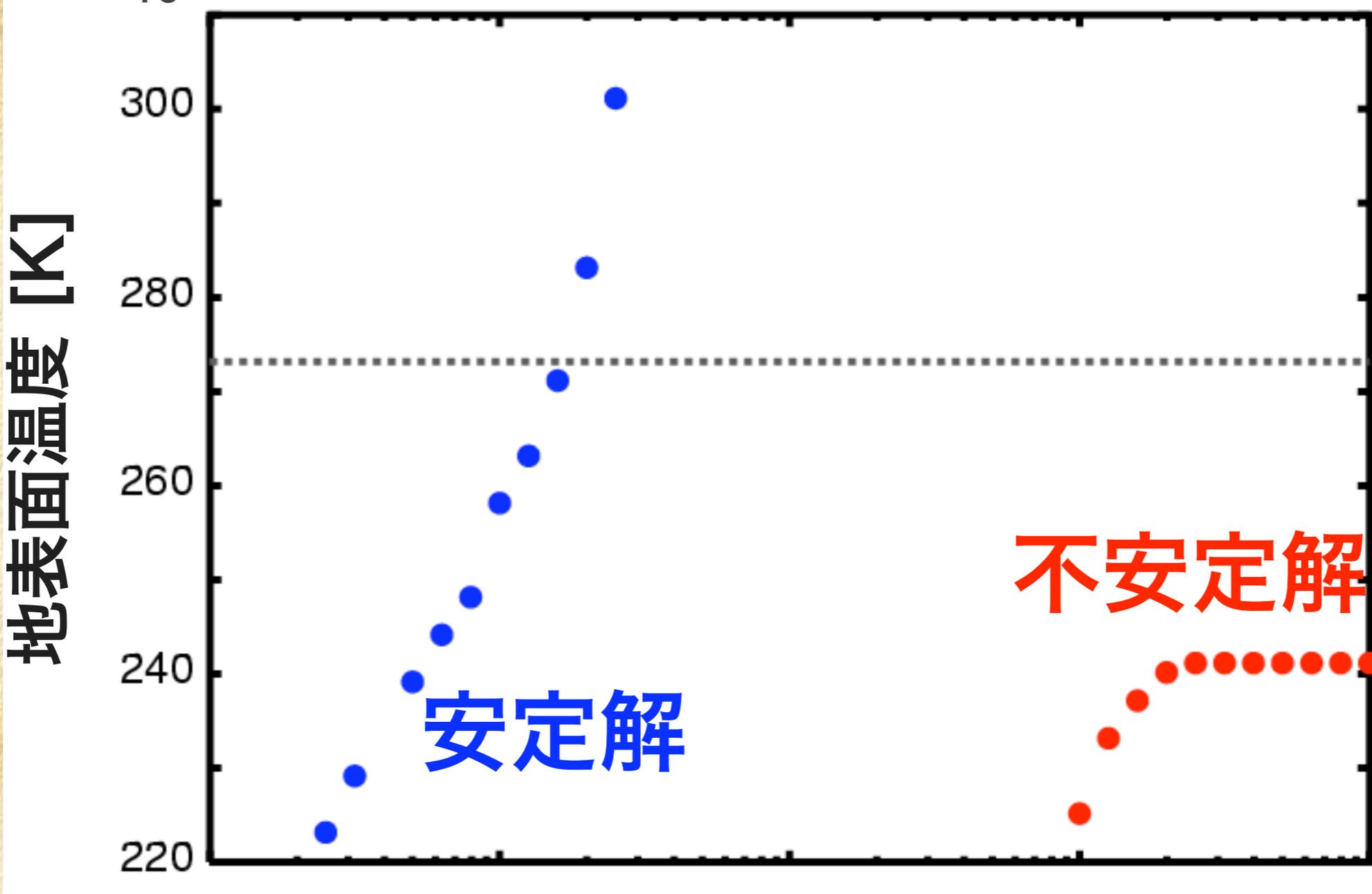
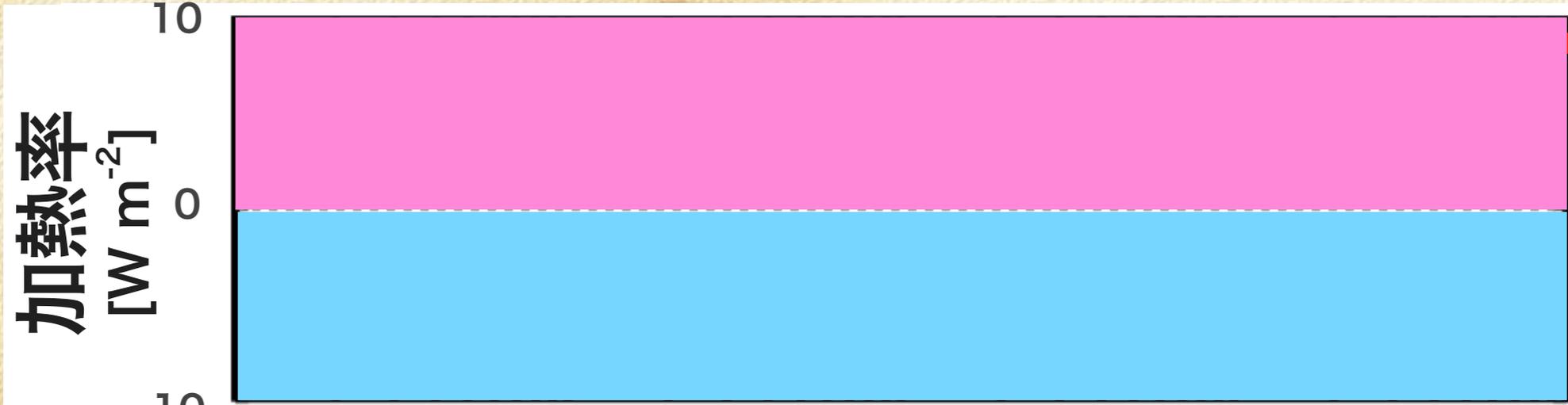
1

10

面密度 [kg m⁻²]

安定解

不安定解



0.001

0.01

0.1

1

10

まとめ

- line by line 法を用いて詳細に大気下層の赤外放射伝達を解き, 散乱温室効果の再検討を行った.
 - ランダムモデルと比較すると, 加熱率はやや大きくなる.
 - 地表面気圧 10^5 [Pa] の場合には, 面密度 0.02 [kg m^{-2}] 程度で温暖湿潤な気候
 - 雲も蒸発せずに存在可能

参考文献

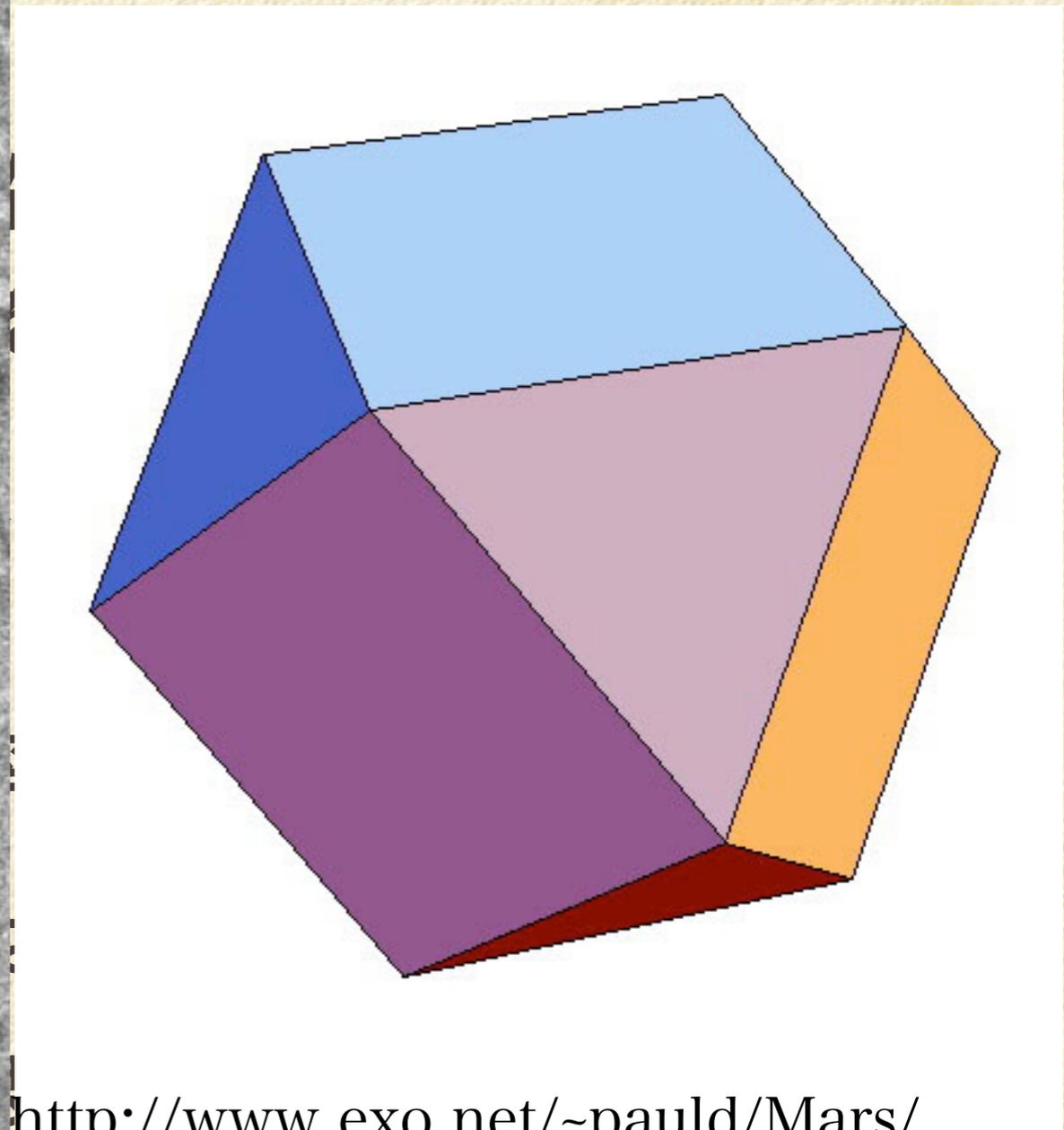
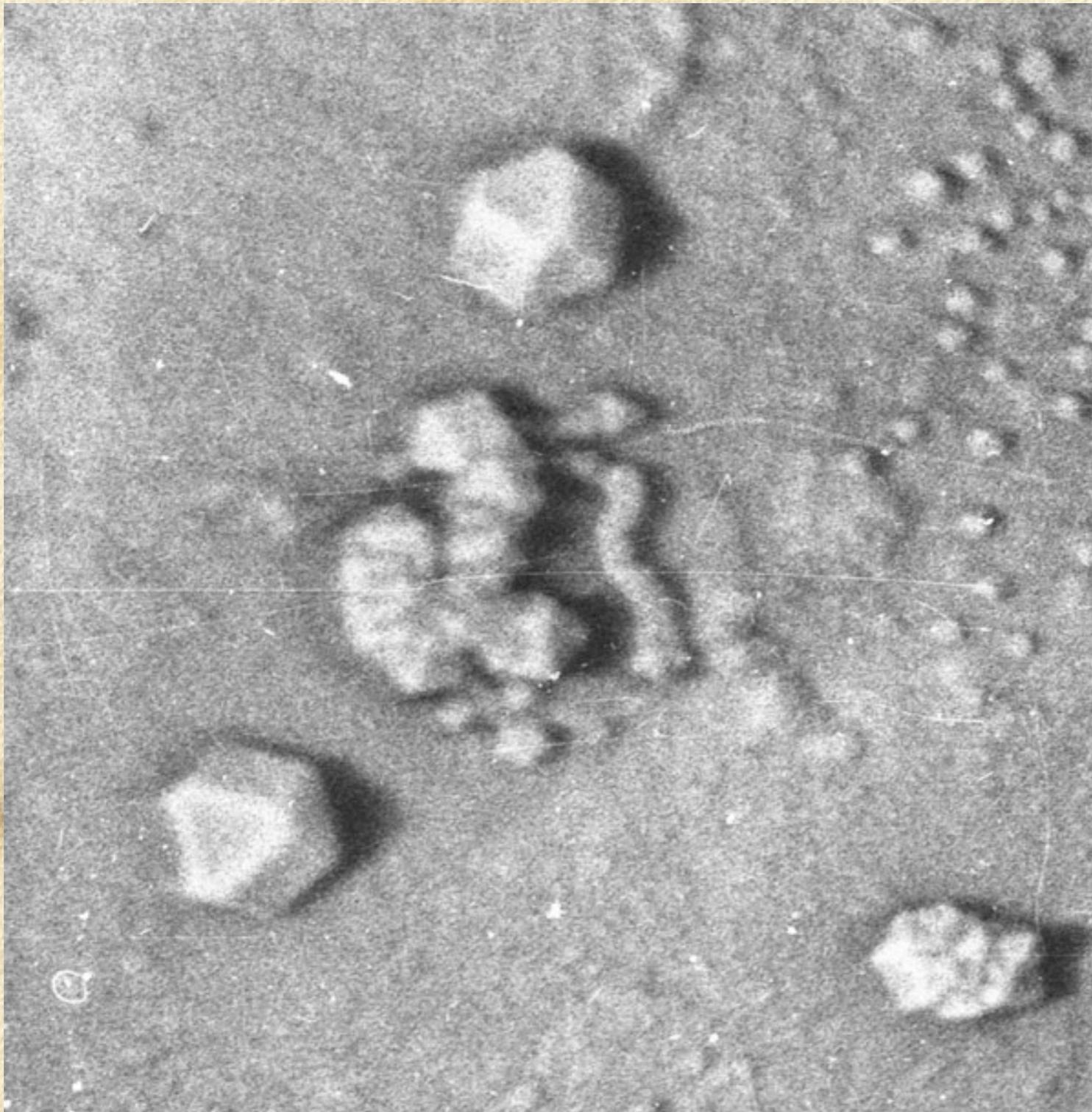
- Houghton J. 2002 : The Physics of Atmospheres third edition, Cambridge Univ. Press.,pp320
- NASA/JPL Planetary Photojournal, <http://photojournal.jpl.nasa.gov/>
- Kasting J. F.,1991 : CO₂ condensation and the climate of early mars, *Icarus*, Vol. 94, pp. 1-13
- Pierrehumbert R. T. and Erlick C., 1998 : On the scattering greenhouse effect of CO₂ ice cloud, *J. Atmos. Sci.*, Vol.55, pp.1987-1903
- Yokohata T., Kosugita K., Odaka M. and Kuramot K., 2002 : Radiative absorption by CO₂ ice cloud on early mars: Implication on the stability and greenhouse effect of clouds, *Proceedings of 35th ISAS Lunar and Planetary Science Conference*, pp.13--16
- Warren, S. G. 1986 : Optical constraints of carbon dioxide ice, *Appl. Opt*, VOL.25,pp.2650-2674

Future study

- 平衡時の地表面温度のパラメータスタディ
 - 特に圧力依存性
- 雲層の気体, 成層圏の吸収, 射出
- 雲層の鉛直構造

APPENDIX

二酸化炭素の結晶構造



<http://www.exo.net/~pauld/Mars/4snowflakes/cuboctahedronrh400.jpeg>

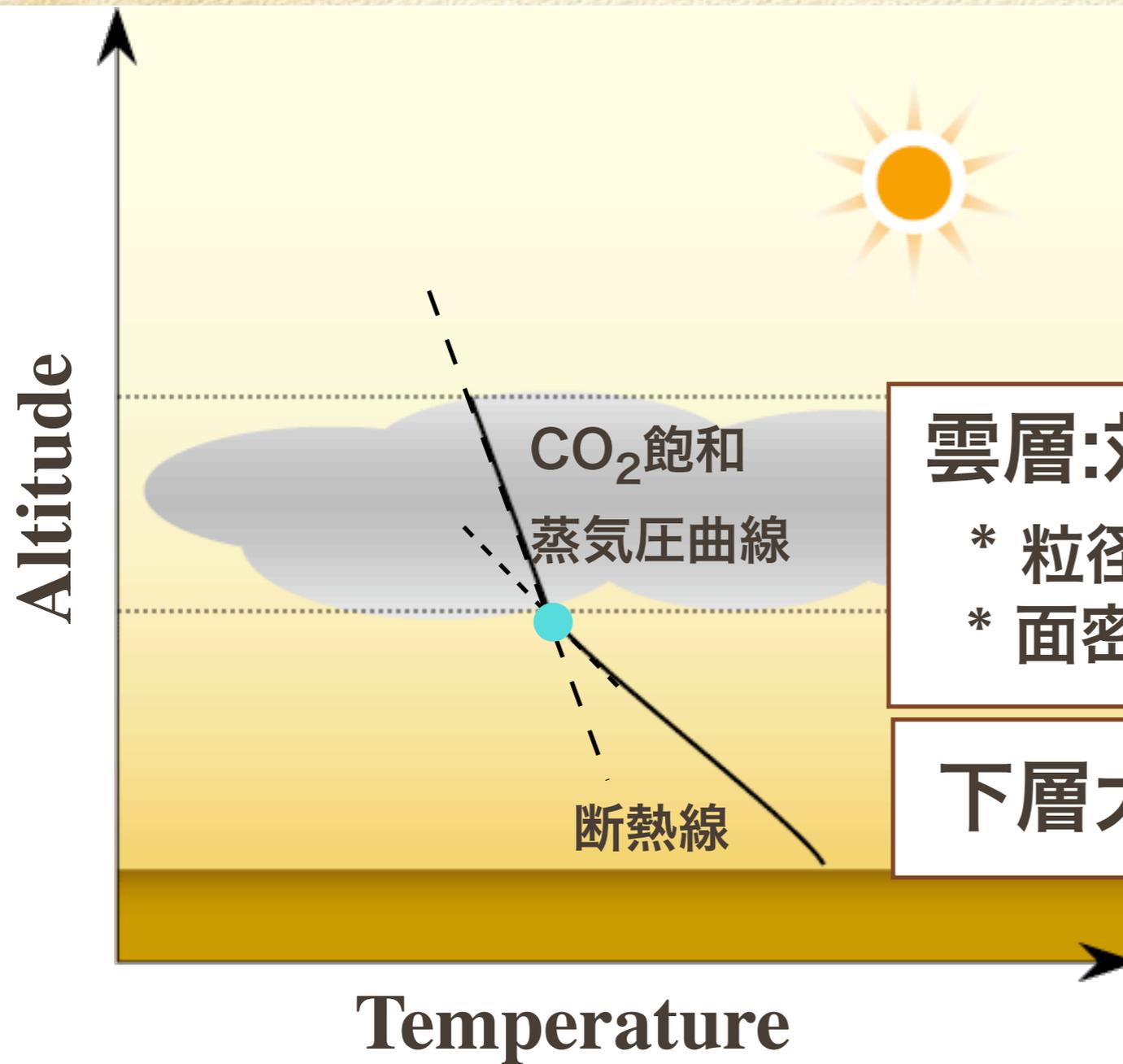
<http://www.exo.net/~pauld/Mars/4snowflakes/snowflakes200.jpeg>

モデル設定

* 太陽放射入射は全球年平均値
太陽光度は現在値の 0.75 倍

■ 大気成分

1. CO_2
2. $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$



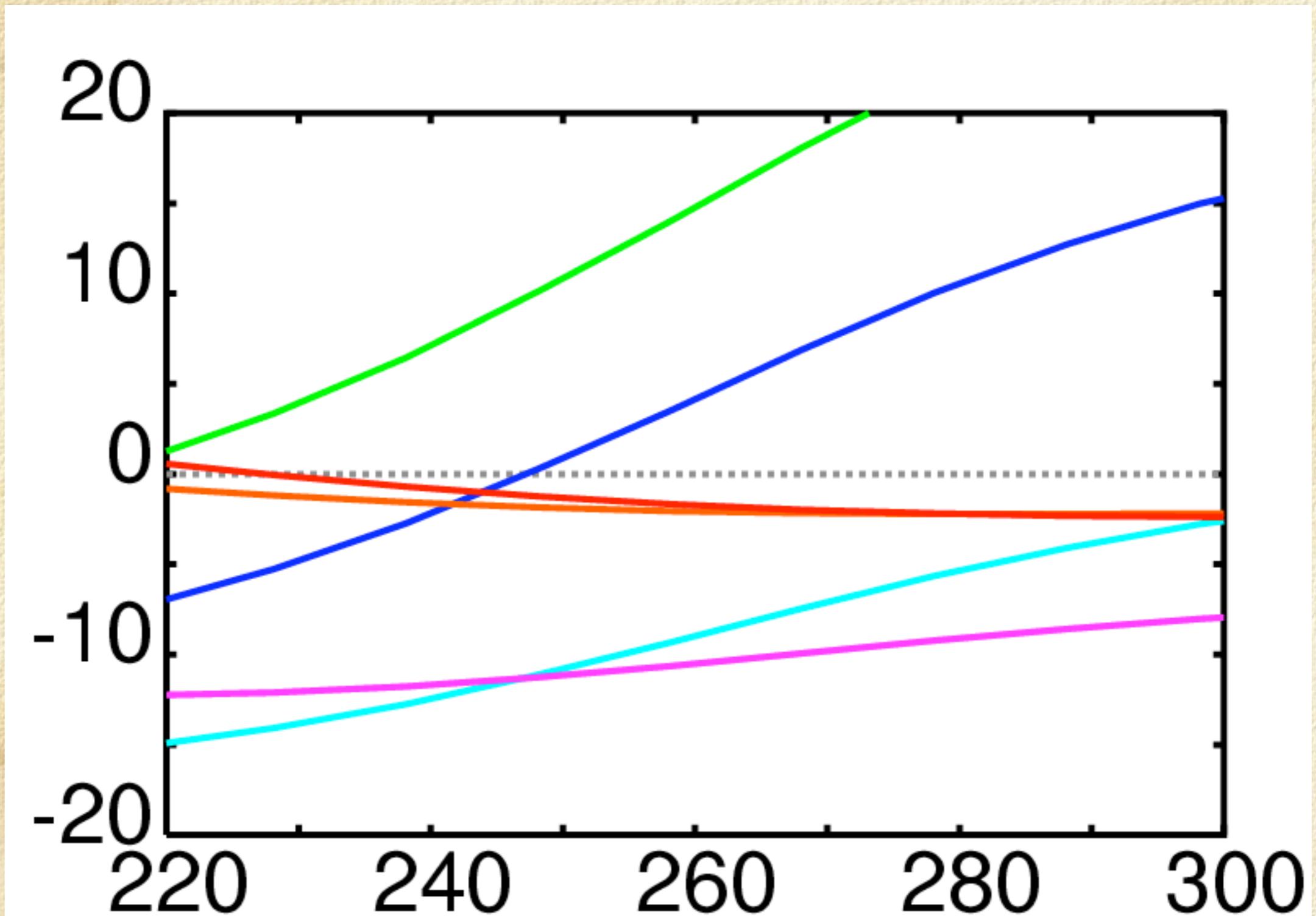
雲層:対流平衡(CO_2 湿潤断熱減率)

* 粒径: $10\mu\text{m}$ (温室効果最大)

* 面密度: パラメータ(3通り)

下層大気:対流平衡(断熱減率)

正味射出量(雲上端, $P_s = 1$ [atm])



惑星正味射出量变化/地表面温度

