

# 南北一次元エネルギーバランスモデルを用いた地球の地表面温度分布の考察

流体地球物理学教育研究分野 1303414S 塩尻 千里

## はじめに

地球の地表面の温度は低緯度から高緯度に行くにつれて下がり、およそ緯度 60 度で水の凝結温度を下回る(図 0)。地球の地表面温度分布は、様々な要因が関わるエネルギーのやり取りの結果として実現している。

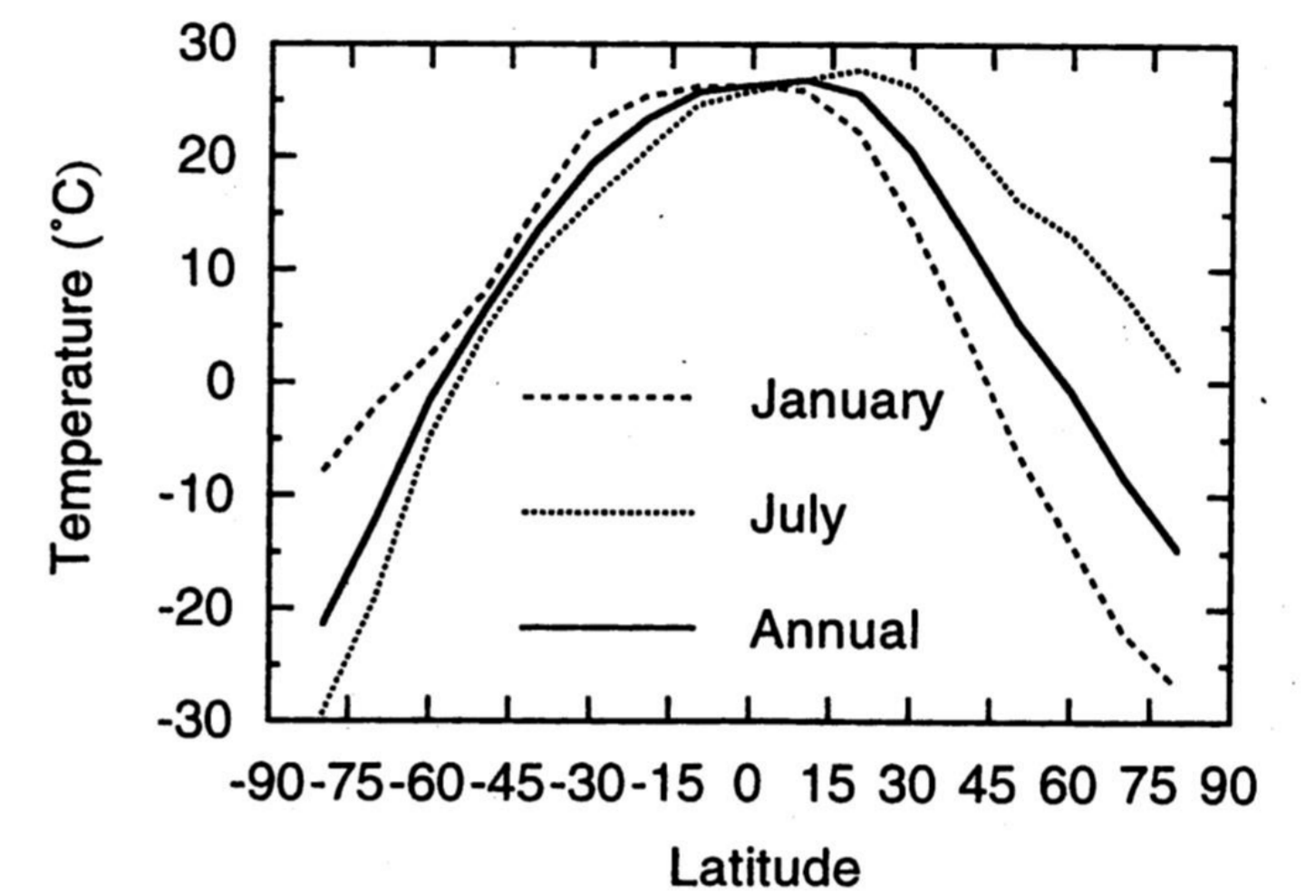


図0: 地球の年平均の地表面温度分布(Hartmann, 1994)

## 研究内容

- アルベドの温度依存性, 南北熱輸送を考慮した, 南北一次元エネルギーバランスモデルを作成
- 作成したモデルを用いて, 地球の特徴を捉えた地表面温度分布を求める
- 地表が氷に覆われる境界の緯度(氷線緯度)の初期温度・太陽定数依存性を調べる

## 南北一次元エネルギーバランスモデル

■ 赤道に対して南北対称と仮定

■ 支配方程式

$$Q_s(x)(1 - \alpha) - I + \frac{\partial}{\partial x} \left( D(1 - x^2) \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} \right) = 0$$

■  $x = \sin \varphi$  ( $\varphi$ は緯度)

■ 地球放射

$$I = A + BT$$

(A, B は定数)

■ 境界条件

$$\frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = \frac{\partial T(1, t)}{\partial x} = 0$$

$T(x, t)$ : 地表面温度  
 $Q_s(x)$ : 年平均の太陽放射  
 $\alpha$ : アルベド  
 $I$ : 地球放射  
 $D$ : 拡散係数  
 $C$ : 熱容量

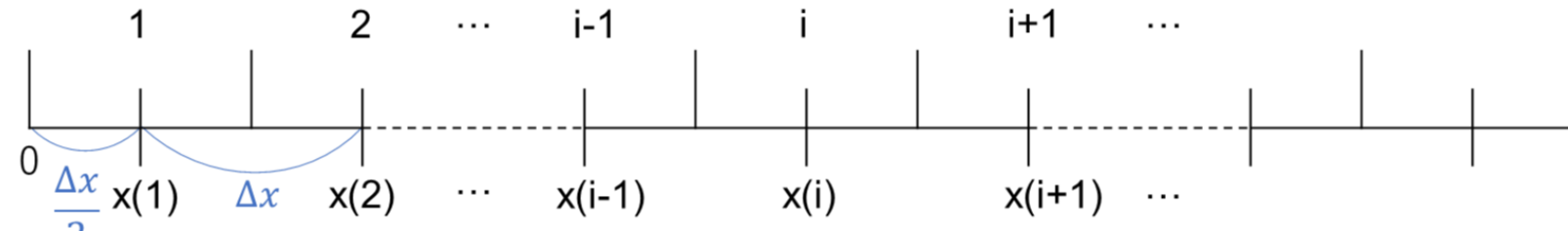
■ 計算方法

■ 支配方程式を時間発展問題に拡張し, 定常状態を求める

$$C \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = Q_s(x)(1 - \alpha) - I + \frac{\partial}{\partial x} \left( D(1 - x^2) \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} \right)$$

■ 支配方程式を有限差分法で離散化

■ 赤道から極までを微小領域  $\Delta x$  に分割



## 使用パラメータ

■ 熱容量

$$C = 1.0 \text{ JK}^{-1}\text{m}^{-2}$$

■ 拡散係数

$$D = 0.20 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-2}$$

■ アルベド

$$\alpha = \begin{cases} 0.60 & (T < 263 \text{ K}) \\ 0.25 & (T \geq 263 \text{ K}) \end{cases}$$

■ 地球放射の定数

$$A = 211.1 \text{ Wm}^{-2}$$

$$B = 1.55 \text{ Wm}^{-2}(\text{°C})^{-1}$$

■ 格子点数 500

## 実験 1: 太陽定数 $1367 \text{ Wm}^{-2}$

地球における太陽定数  $1367 \text{ Wm}^{-2}$  を与えて地表面温度分布を調べる

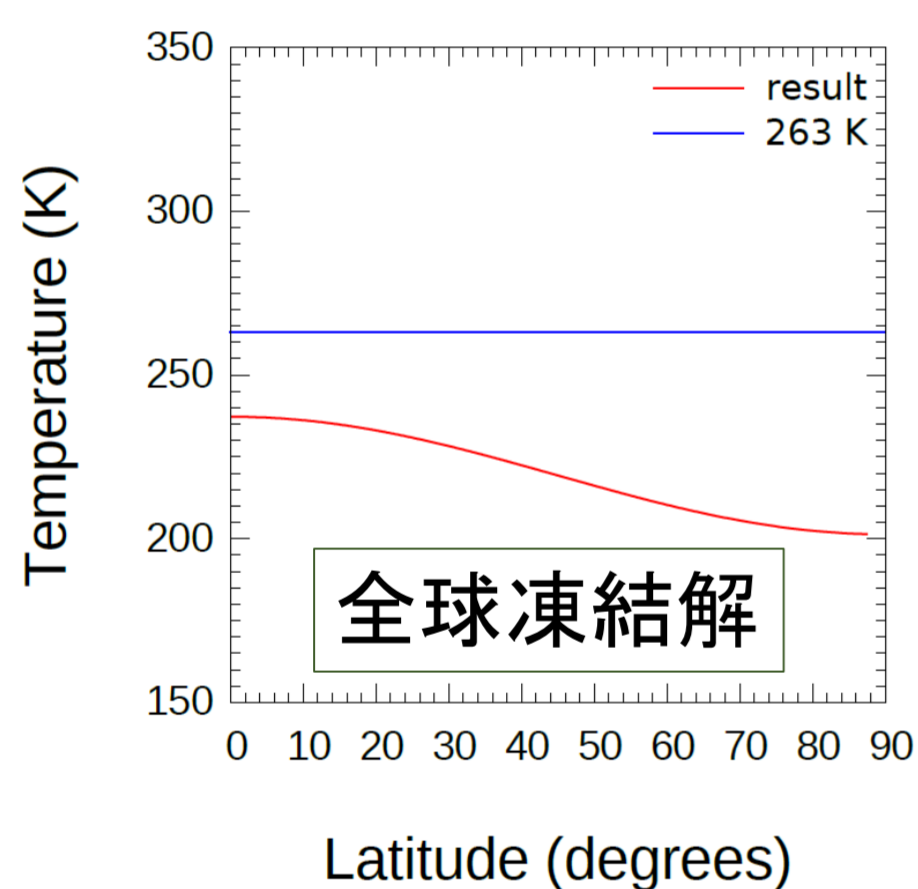


図1.1: 初期温度 250 K

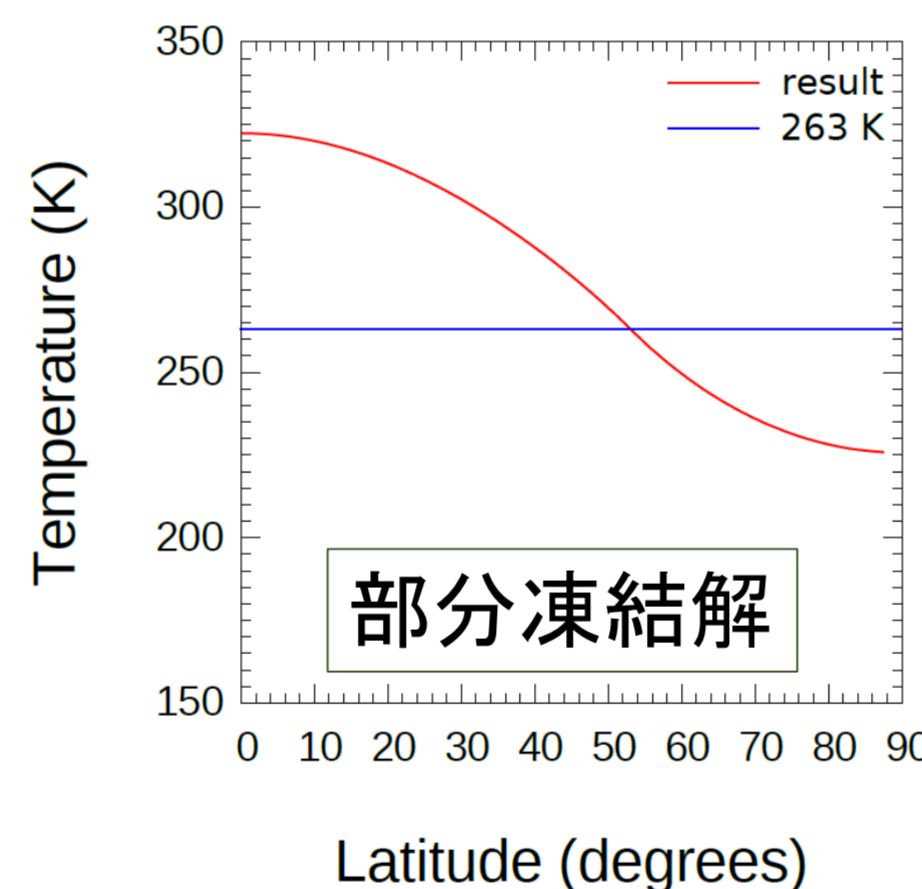


図1.2: 初期温度 280 K

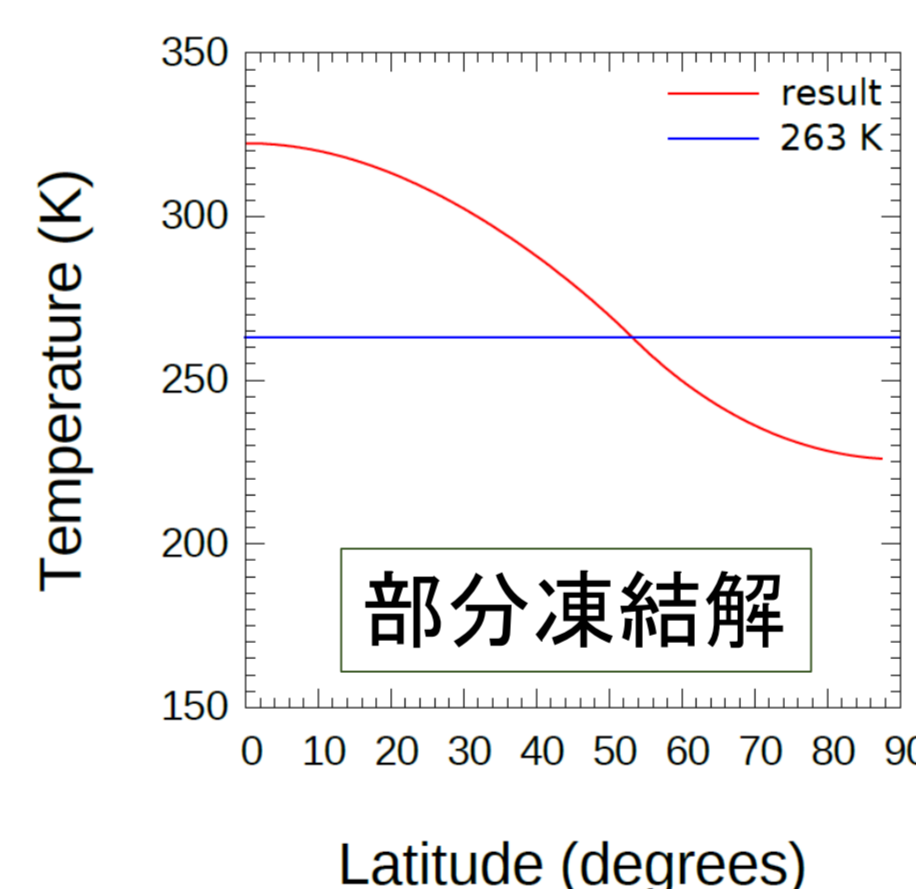


図1.3: 初期温度 310 K

■ 初期温度が 280 K, 310 K の場合, 緯度約 53 度で凝結温度を下回る(図 1.2, 1.3)

⇒地球の地表面温度分布の大まかな特徴を表現

■ 初期温度が 250 K の場合, 全ての緯度で凝結温度を下回る(図 1.1)

⇒地表面温度分布は初期温度に依存, 2つの解

## 実験 3: 氷線緯度

氷に覆われる境界の緯度(氷線緯度)の初期温度・太陽定数依存性を調べる

太陽定数:  $1100 \text{ Wm}^{-2} - 1900 \text{ Wm}^{-2}$   
 ( $10 \text{ Wm}^{-2}$  刻み)

初期温度: 250 K - 330 K (10 K 刻み)

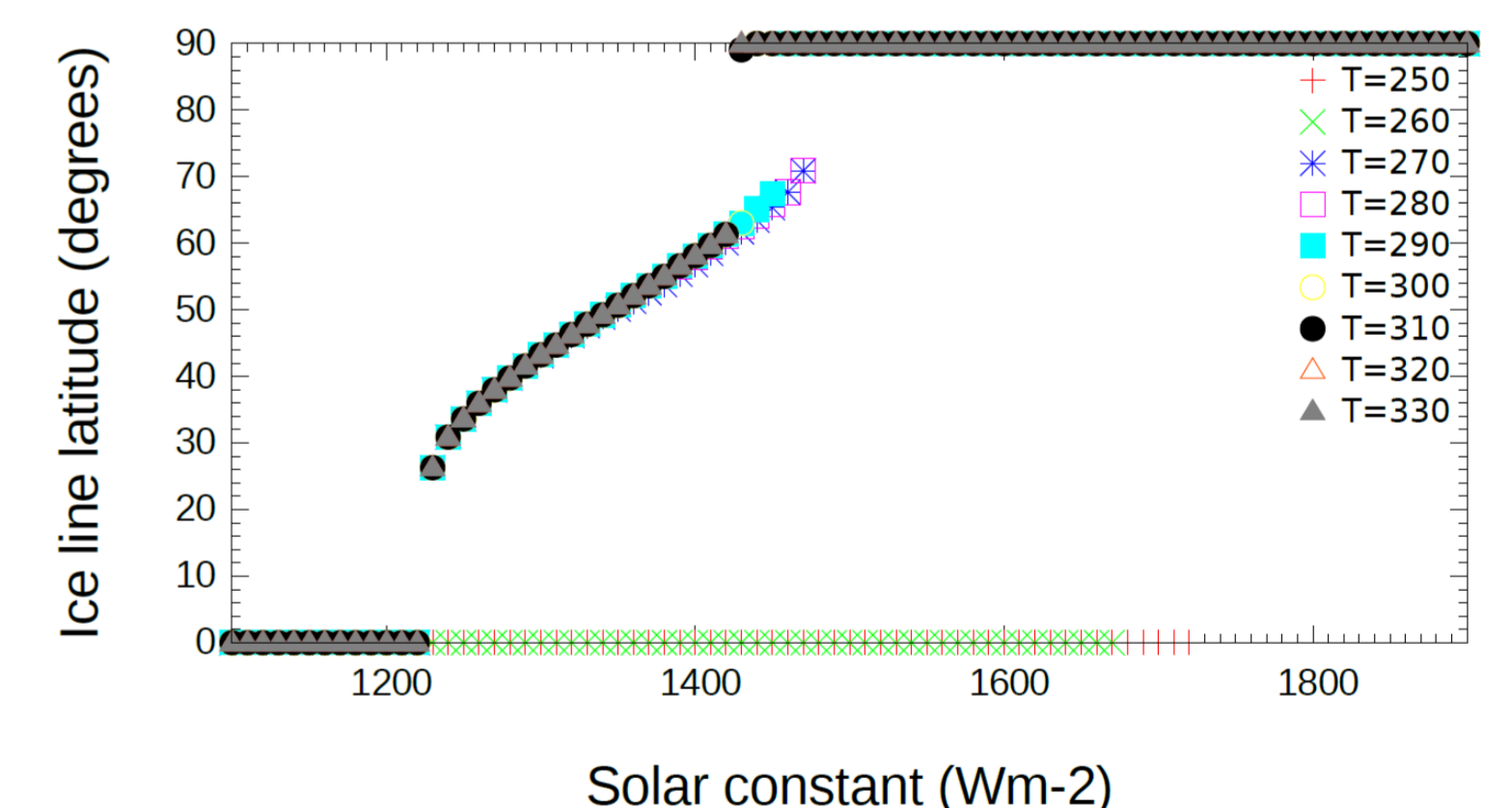


図3: 氷線緯度の初期温度・太陽定数依存性

■ 赤道にある解は全球凍結解, 極にある解は氷なし解, 他の緯度にある解は部分凍結解を示す

■ 太陽定数によって解の数は異なる

- 解 1 つ:  $1100 - 1200, 1700 - 1900$
- 解 2 つ:  $1200 - 1400, 1500 - 1700$
- 解 3 つ:  $1400 - 1500$  ( $\text{Wm}^{-2}$ )

■ 氷線緯度が 0 度~約 25 度, 約 70 度~約 90 度となる解は存在しない

- その領域の解は不安定解だと考えられる
- 今回用いたモデルでは不安定解を得ることはできなかった

## 実験 2: 太陽定数 $1450 \text{ Wm}^{-2}$

実験 1 より大きな太陽定数を与えて地表面温度分布を調べる

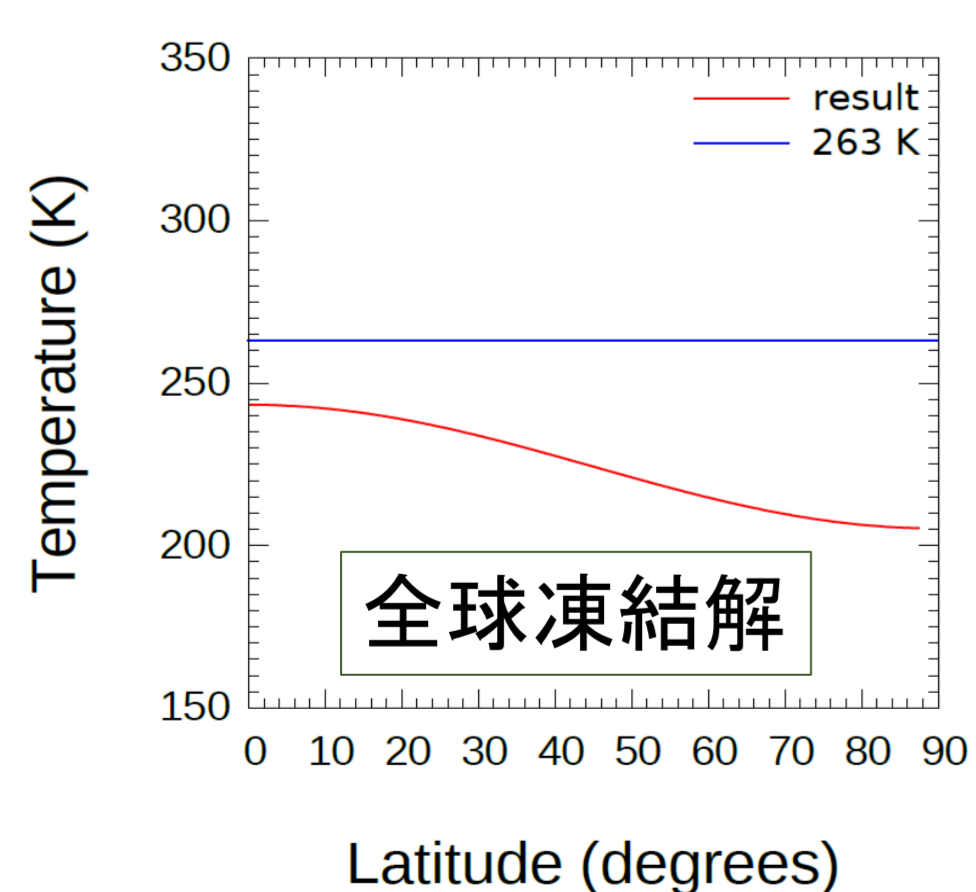


図2.1: 初期温度 250 K

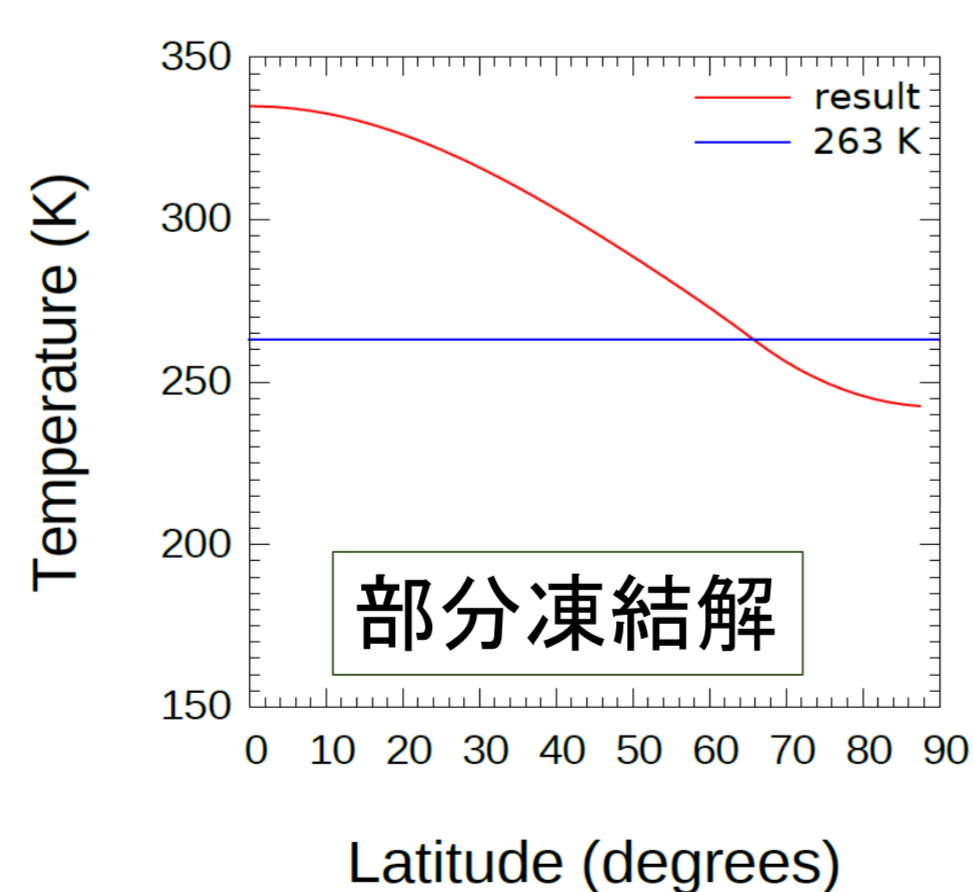


図2.2: 初期温度 280 K

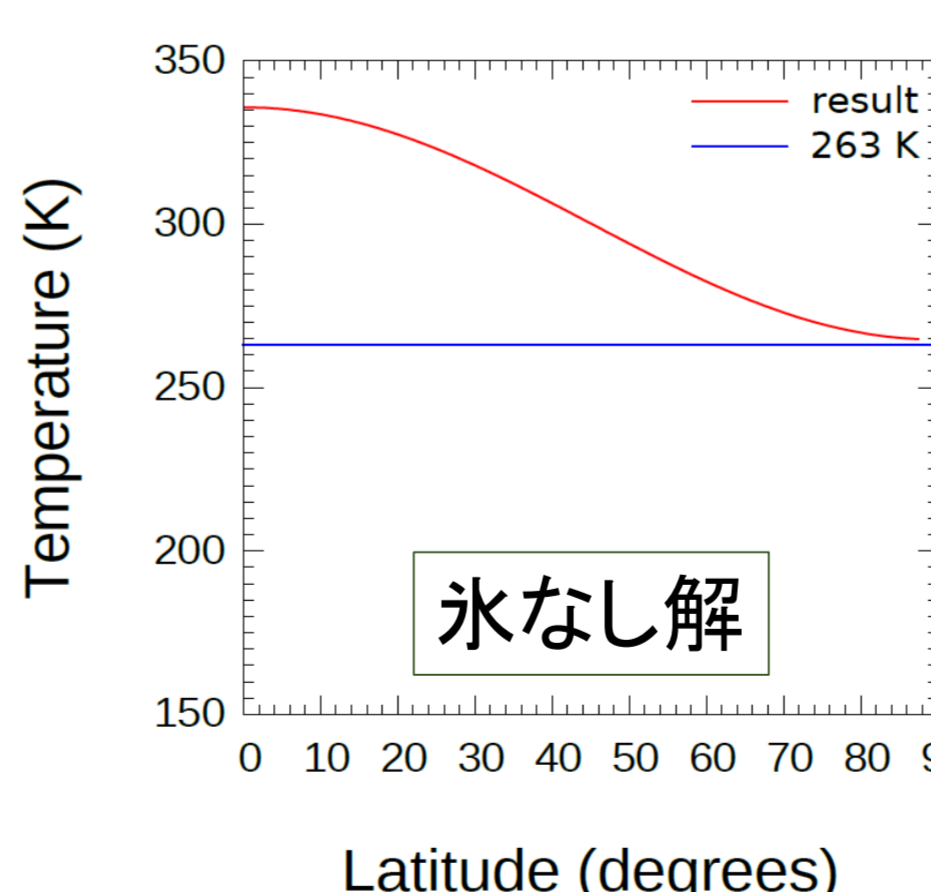


図2.3: 初期温度 310 K

■ 全球凍結解・部分凍結解に加え, 全ての緯度で凝結温度を上回る氷なし解(図 2.3)が得られた

⇒3つの解

■ 異なる太陽定数を与えた結果, 実験 1 とは解の数が異なる

## 参考文献

- Hartmann, D. L., 1994: Global Physical Climatology, Academic Press, 411 pp
- Lindzen, R. S., 1990: Dynamics in Atmospheric Physics, CAMBRIDGE, 310 pp

- Williams, D. M. and J. F. Kasting, 1997: Habitable Planets with High Obliquities, Icarus, 129, 254-267.
- 安田延壽, 1994: 基礎大気科学, 朝倉書店, 204 pp.