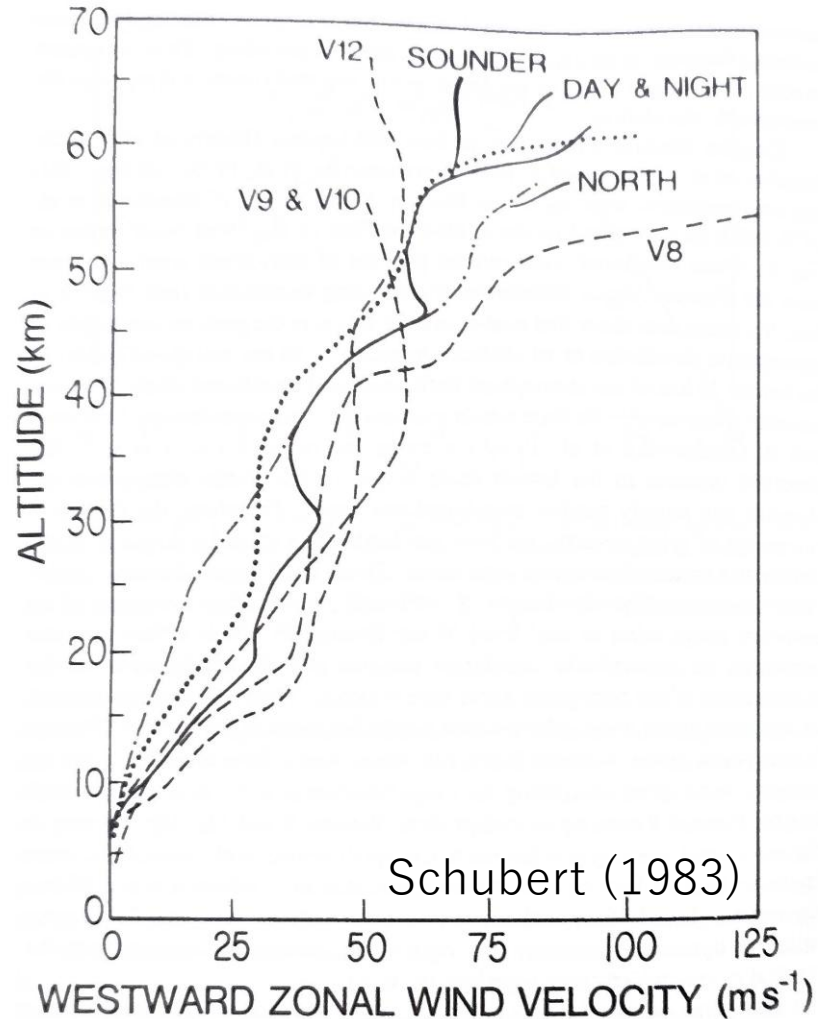


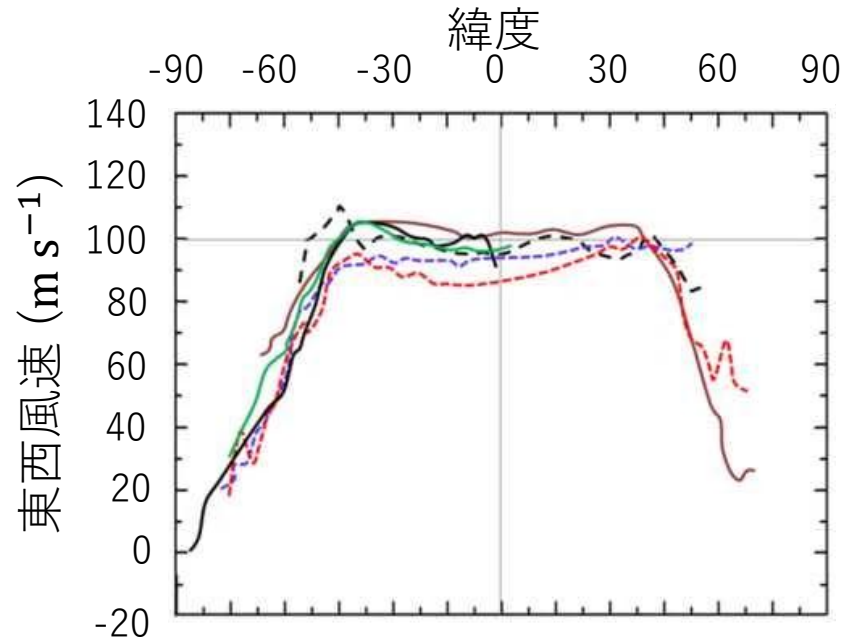
大気大循環モデルを用いた 金星大気大循環の 鉛直粘性依存性に 関する研究

理学研究科 惑星学専攻
流体地球物理学教育研究分野
服部蒼紀

金星のスーパーローテーション



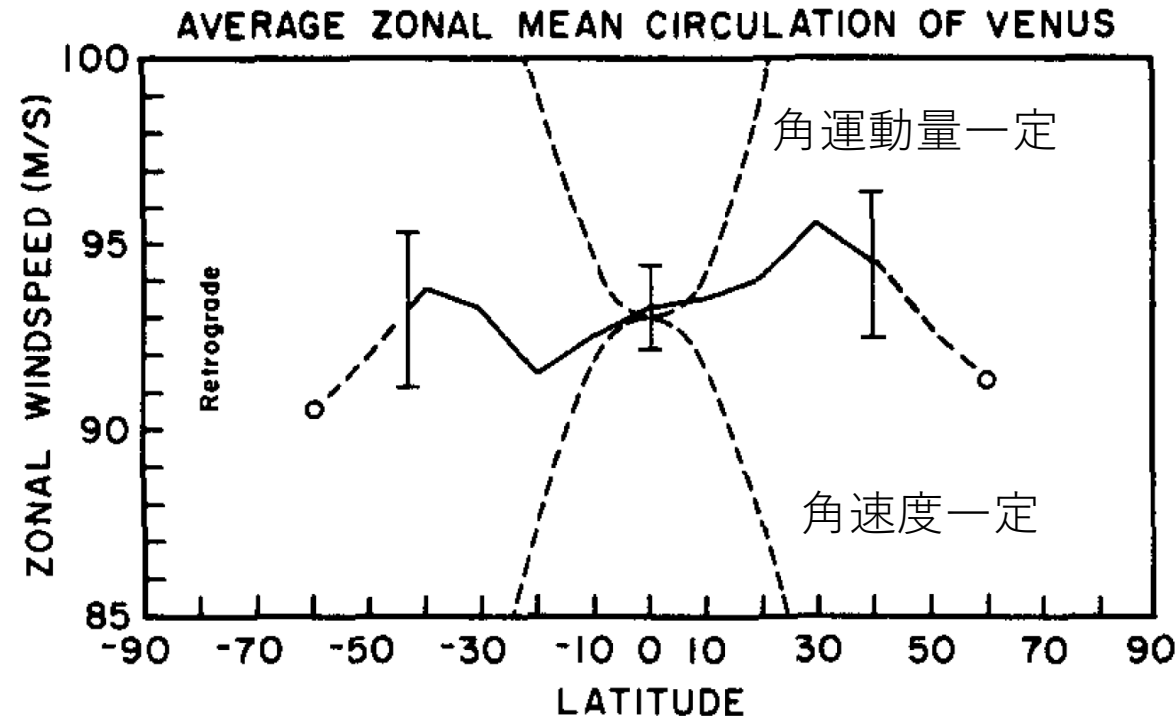
- 高度とともに東西風速は増加
 - ◆ 地表近く $\sim 0 \text{ m/s}$
 - ◆ 高度 65 km 付近 $\sim 100 \text{ m/s}$
- 幅広なジェット
 - ◆ 緯度 ± 50 度以内はほぼ等速



Sánchez-Lavega et al.
(2017) を改変

角運動量から見たスーパーローテーション

角運動量
 $u \cdot a \cos \varphi$

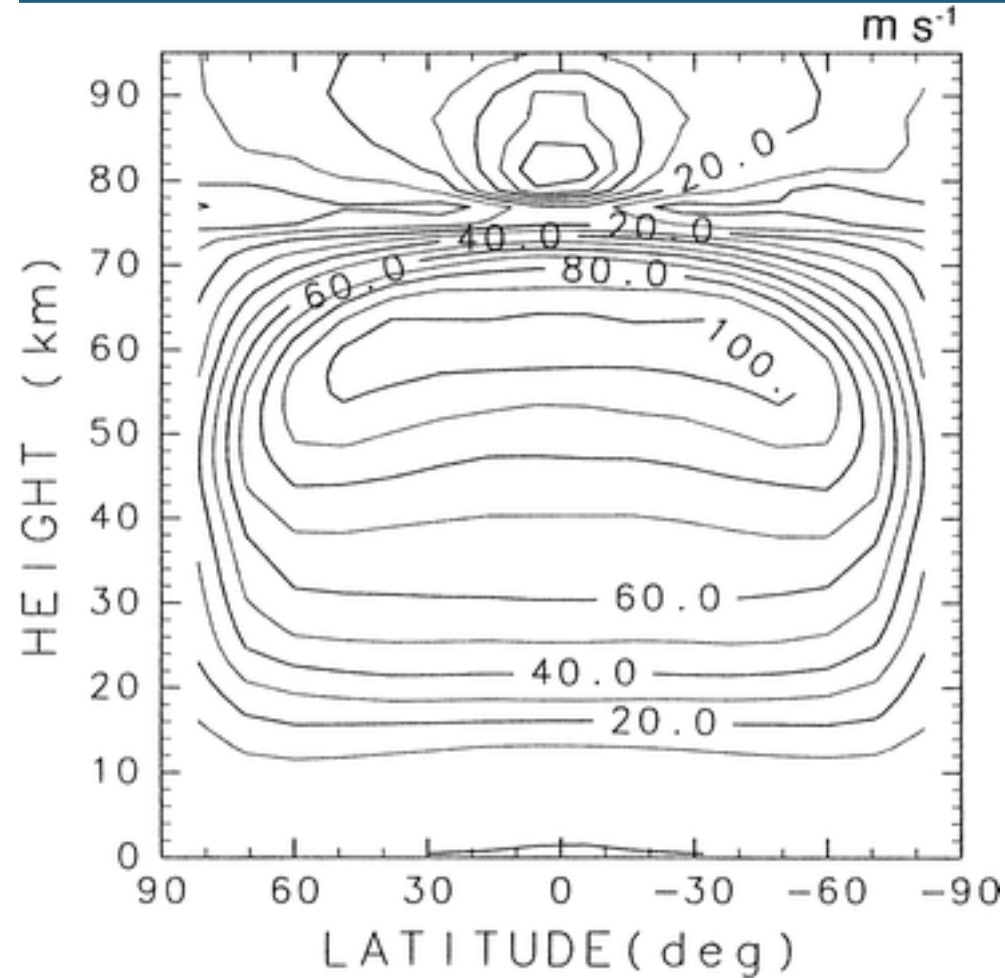


Rossow et al. (1990)

各半球 1 セルの子午面循環
➤ 等角運動量の風速分布
水平粘性
➤ 等角速度の分布

粘性の源となる波や渦の正体は不明
◆ 水平粘性はある程度強い
◆ 鉛直粘性は弱い

大気大循環モデルを用いた実験 (1)



Yamamoto and Takahashi (2003)

➤大気大循環モデル CCSR/NIES AGCM 5.4

◆太陽放射

■加熱の強さは観測の約 40 倍

◆赤外放射

■ニュートン冷却

◆鉛直粘性

■ $0.15 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

➤観測に似た東西風速を得た

◆100 m/s を超える東西風

◆高度とともに東西風速が増加

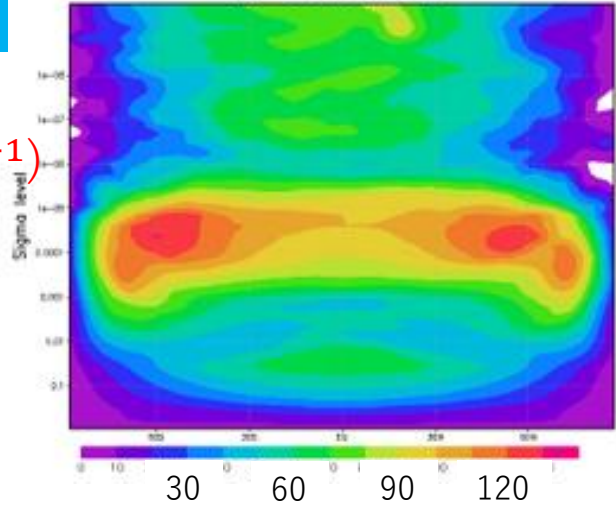
◆低緯度から中緯度で速度差が小さい

大気大循環モデルを用いた実験 (2)

$$\sigma \equiv \frac{p}{p_s}$$

東西平均東西風

(a) 1500 Earth years

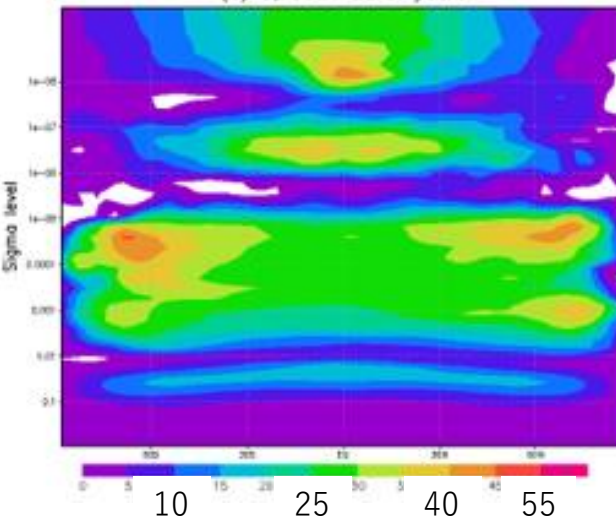


鉛直粘性: 弱
($0.0015 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

~65 km

~30 km

(a)V3: 3000 Earth years



鉛直粘性: 強
($0.03 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

~65 km

~30 km

Sugimoto et al. (2019)

➤金星大気大循環モデル AFES-Venus

◆太陽放射

■現実的な加熱の強さ

◆赤外放射

■ニュートン冷却

◆鉛直粘性

■ 0.0015 から $0.15 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

➤観測に近い太陽放射加熱でも、
スーパーローテーションを再現

◆ただし鉛直粘性は
弱くならない

本研究

- Yamamoto and Takahashi 2003 の実験設定を用い
鉛直粘性の強さを変更する
 - ◆ 異なるモデル設定でも, 東西風の鉛直粘性依存性が共通して現れるか?
 - ◆ 鉛直粘性によって金星大気の大気大循環 (東西風・子午面循環) はどのように変化するのか?

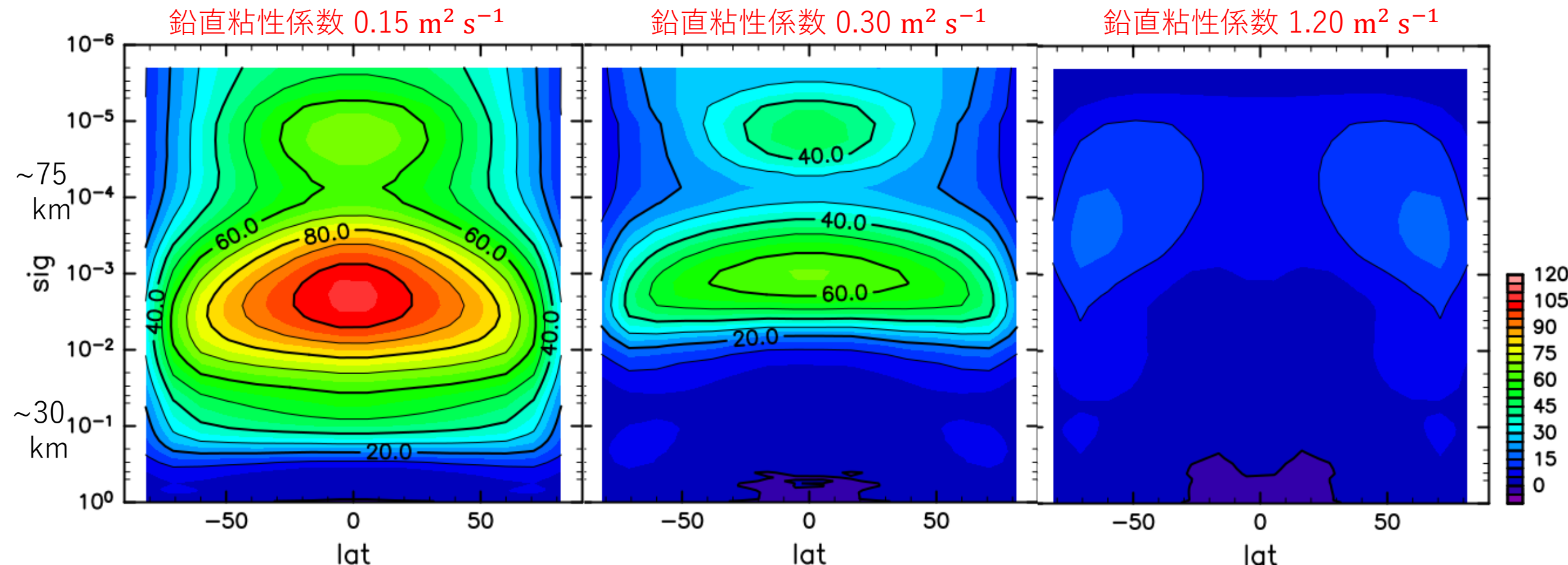
実験設定

大気大循環モデル DCPAM

- ◆空間解像度: T10L50 (YT03)
- ◆時間解像度: 22.5 分
- ◆太陽放射: 東西一様 (YT03)
- ◆赤外放射: ニュートン冷却 (YT03)
- ◆地表摩擦: レイリー摩擦 (YT03)
- ◆水平粘性: 4 次の超粘性 (YT03)
- ◆鉛直粘性:
0.075, 0.15 (YT03), 0.3, 0.6,
1.2, 2.4, 9.6, 19.2 $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
- ◆初期値: 静止等温大気 (400K)
- ◆積分期間: 420,000 地球日
- ◆解析期間: 410,000 – 420,000 地球日

パラメタ	値
惑星半径	6,052.0 km
重力加速度	8.90 m s^{-2}
自転角速度	$-2.993 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$
気体定数	$189 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
定圧比熱	$837 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
平均分子量	44 g mol^{-1}
全球平均地表気圧	$90 \times 10^5 \text{ Pa}$
スポンジ層の時定数	30 地球日 (最小)
水平粘性の時定数	40 地球日 (最大波数)
レイリー摩擦の時定数	30 地球日 (最下層のみ)

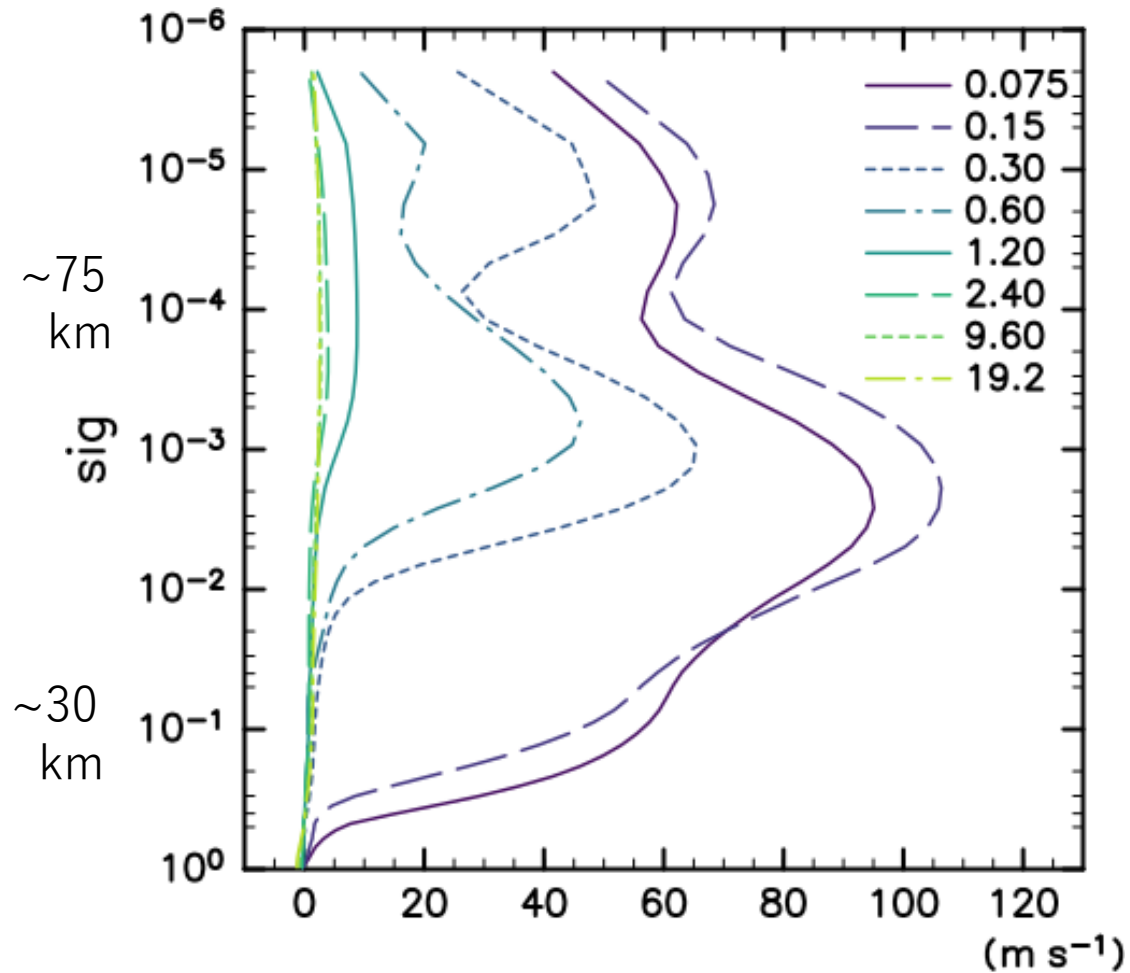
東西風速の子午面分布



➤ 鉛直粘性係数が大きい実験ほど、東西風速は大気全体で弱くなる。

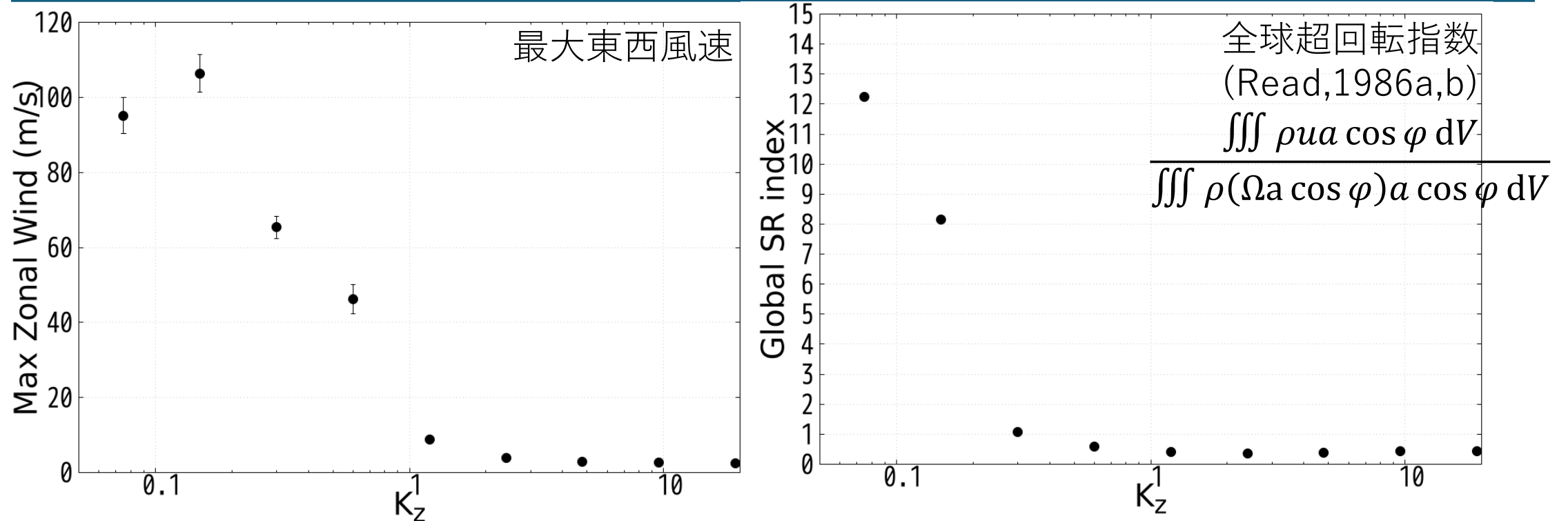
◆ Sugimoto et al. (2019) と同様の傾向

東西風の鉛直構造



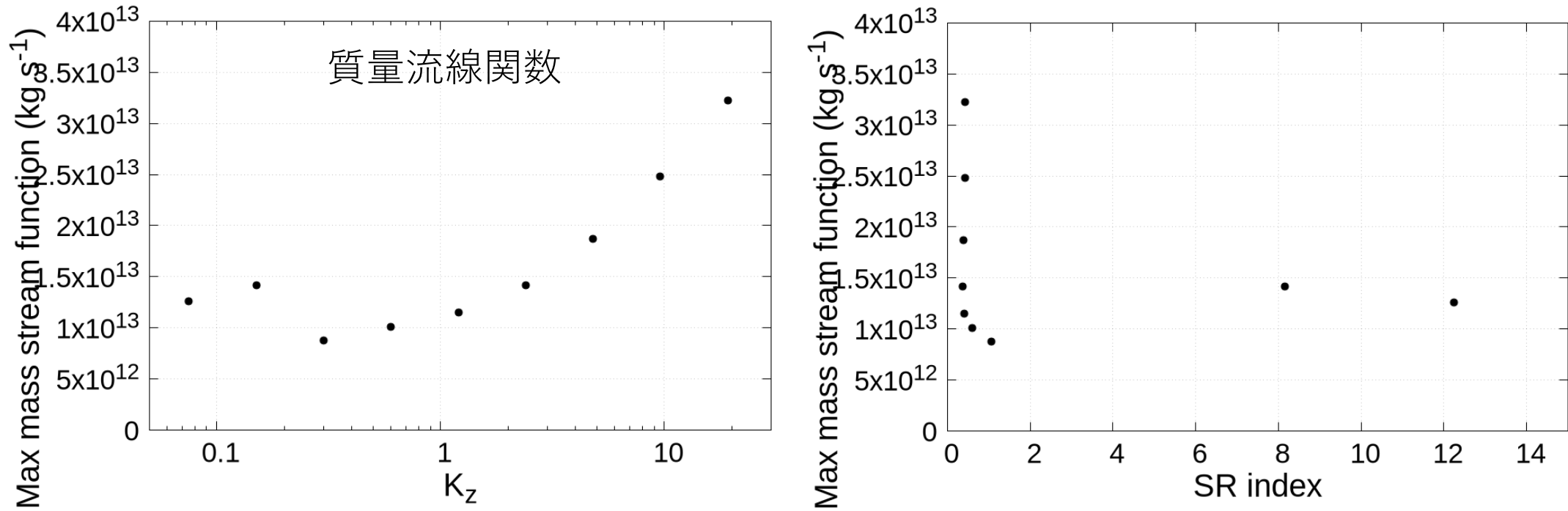
- 鉛直粘性係数が大きい実験ほど地表近くの風速が小さい領域が上空へ広がる
- 風速ほぼゼロの層の厚さと鉛直粘性係数の関係は簡単ではない

最大東西風速と全球超回転指数



- 最大東西風速: 概ね鉛直粘性係数が大きくなると遅くなる
- 全球超回転指数: 鉛直粘性が弱い 2 つとそれ以外, 2 つのグループに分かれる

全球超回転指数と子午面循環の強さ



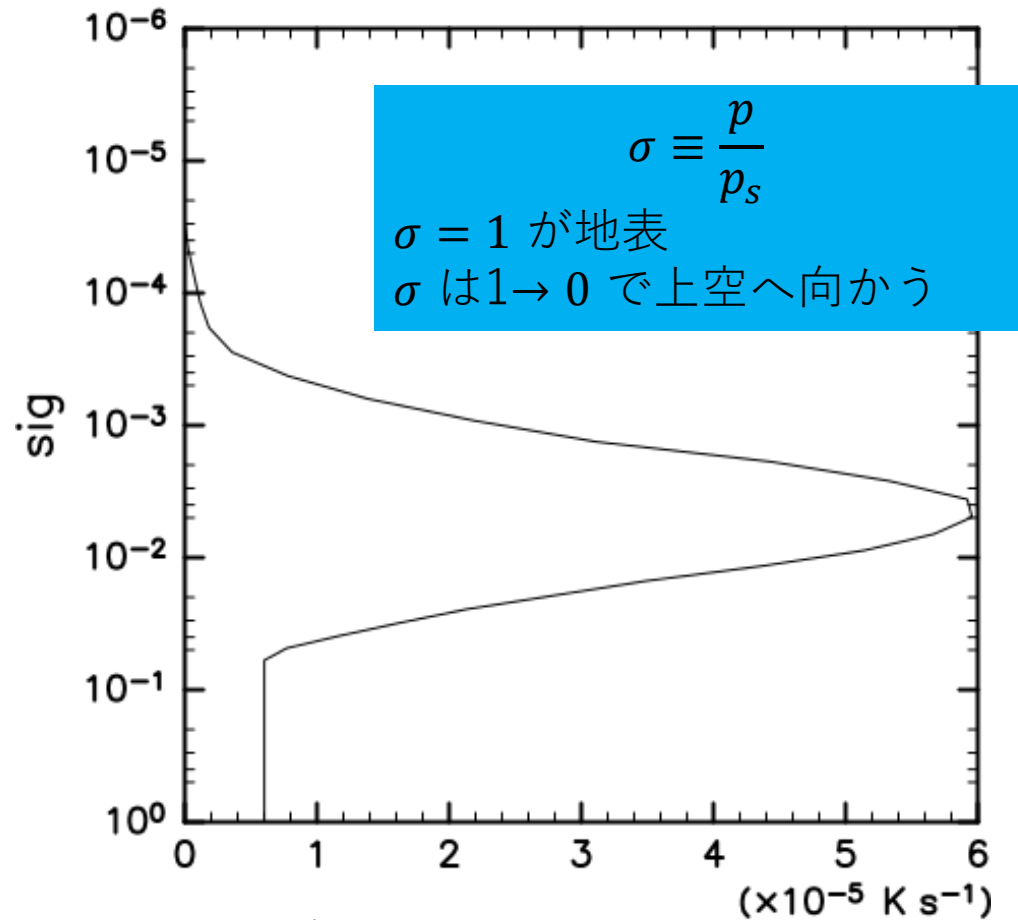
- 子午面質量流線関数の最大値～子午面循環の強さ
 - ◆ 鉛直粘性が弱い 2 つとそれ以外, 2 つのグループに分かれる

まとめ

- 大気大循環モデル DCPAM を用いて Yamamoto and Takahashi (2003) の設定で, 鉛直粘性係数 $0.075\text{-}19.2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ の実験を行なった
- 東西風
 - ◆ 概ね, 鉛直粘性係数が高いほど最大東西風速は小さい
 - ◆ Sugimoto et al. (2019) と共通する鉛直粘性依存性
 - ◆ 鉛直粘性によって, ジェットの緯度分布と風速の鉛直構造も変化
- 全球超回転指数
 - ◆ 鉛直粘性が弱い 2 実験と, それ以外の 2 つのグループに分かれる
- 子午面循環
 - ◆ 子午面質量流線関数の最大値も, 鉛直粘性が弱い 2 実験とそれ以外で異なる振る舞い
 - ◆ 全球超回転指数と明瞭な相関は見られない

太陽放射加熱

(Yamamoto and Takahashi, 2003)



全球平均太陽放射加熱率の
鉛直分布 (Q_0)

➤緯度方向は $\cos^{7/5} \varphi$ に比例する.
(Yamamoto and Takahashi, 2006)

➤モデルの太陽放射加熱フラックス

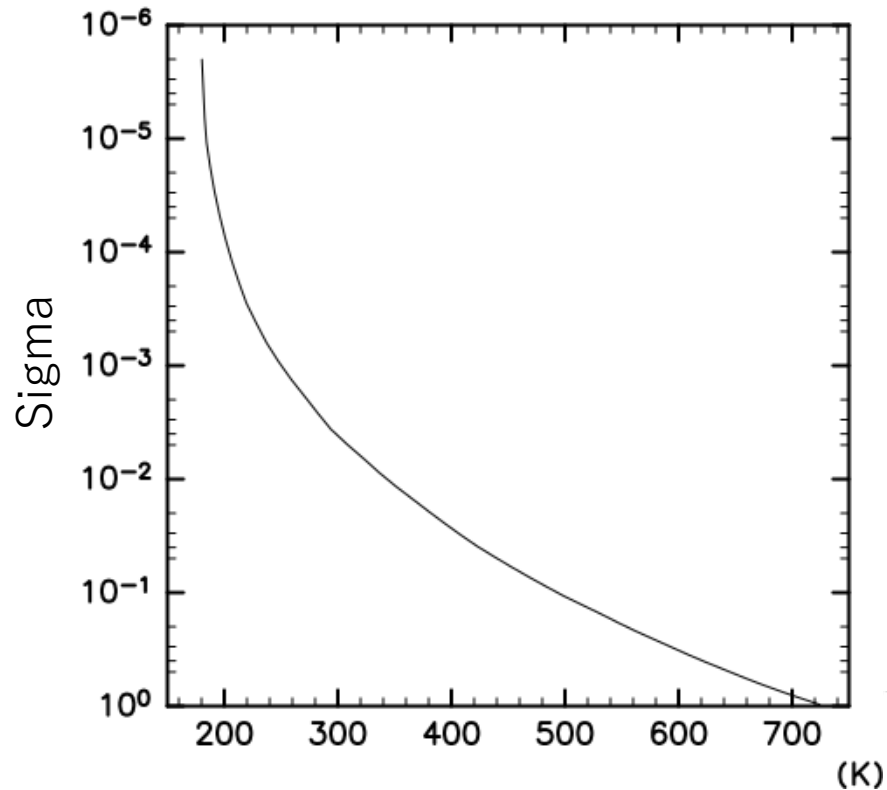
$$F = \int_0^\infty \rho c_p Q dz \approx 5900 \text{ W m}^{-2}$$

➤実際の金星の吸収する太陽加熱
フラックス 150 W m^{-2}

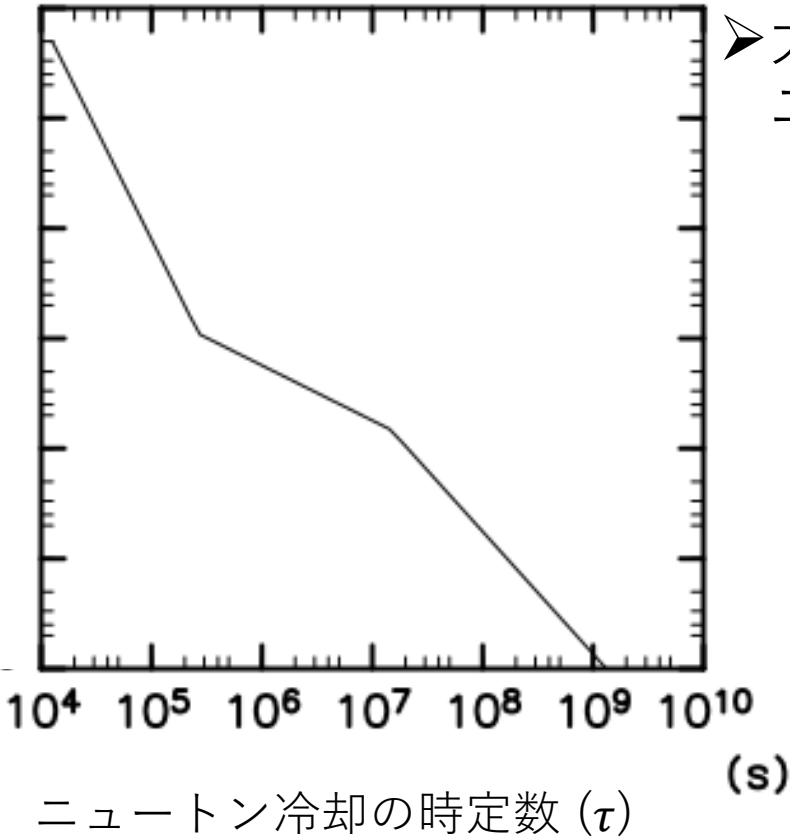
$$F = \frac{1 - A}{4} \times (\text{太陽定数})$$

赤外放射冷却

(Yamamoto and Takahashi, 2003)



緩和先の温度場(T_0)
全球平均太陽放射加熱率の
とき放射平衡となる



ニュートン冷却の時定数 (τ)

➤ 大気密度を反映した
ニュートン冷却の時定数

ニュートン冷却

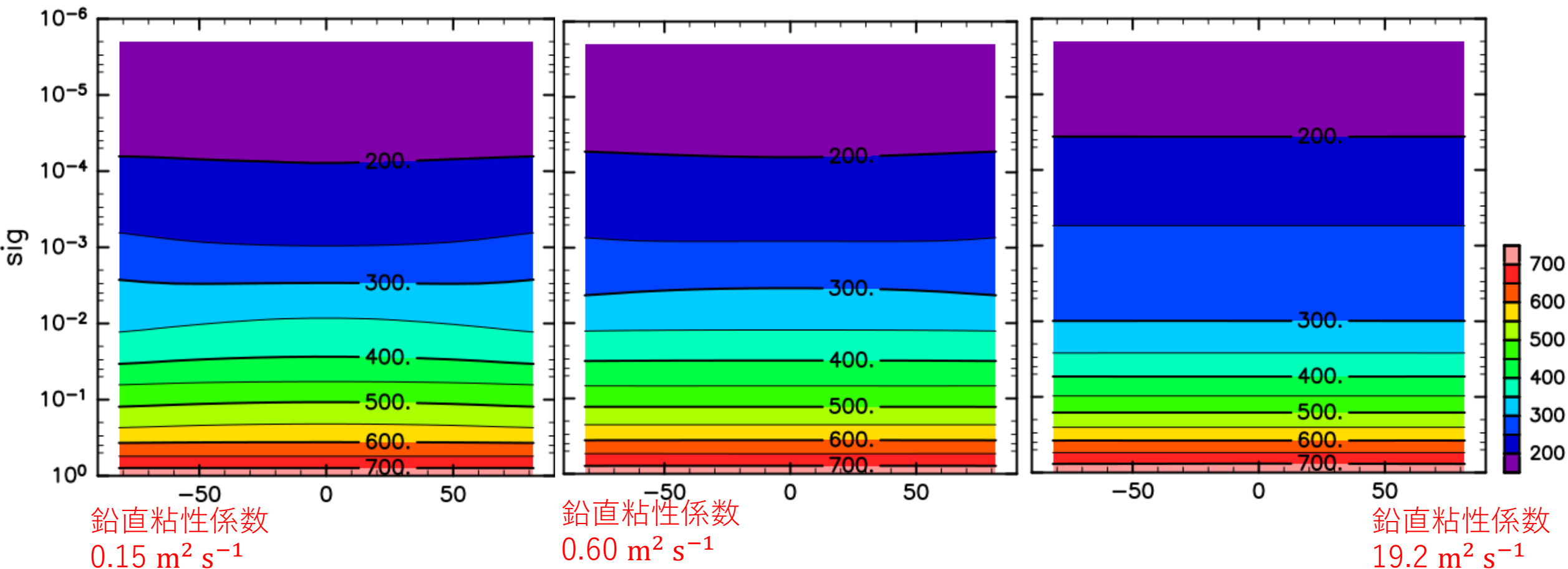
$$Q_{\text{IR}} = Q_0 + \frac{T - T_0}{\tau}$$

Q_0 : 全球平均

太陽放射加熱率

T_0 : 緩和先の温度場

温度の子午面分布



➤ 鉛直粘性係数が大きい実験ほど, 南北温度差が小さくなる.