

金星大気大循環モデル AFES-Venus による 現実的な安定度と東西風の再現

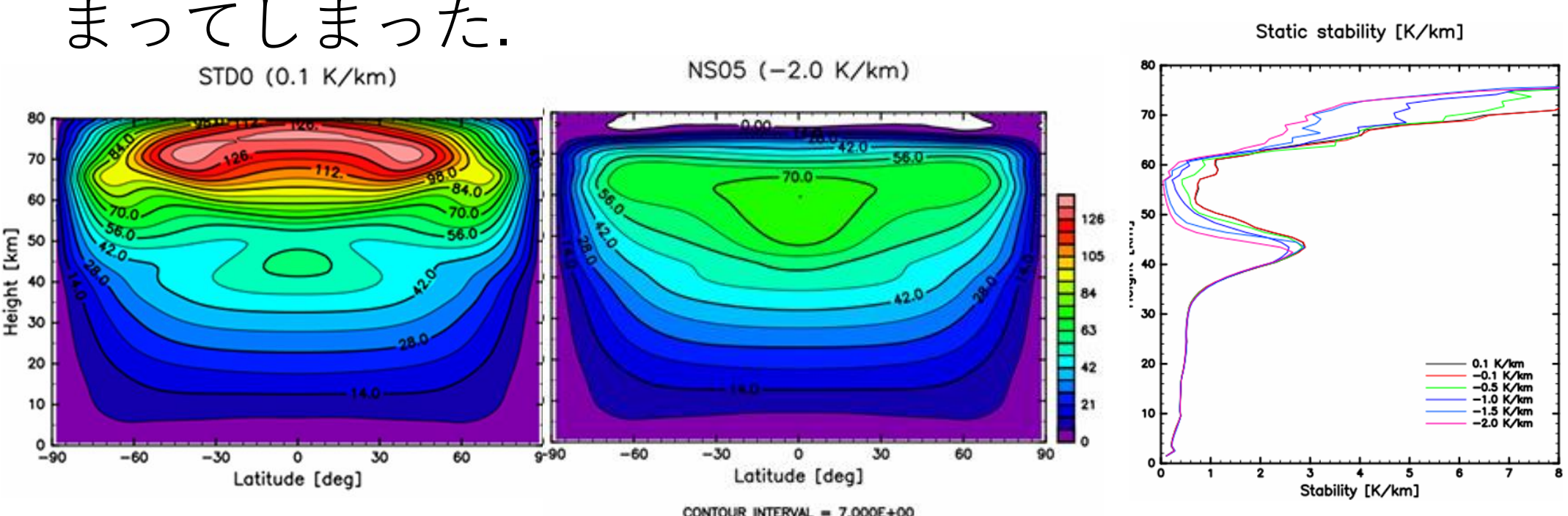
流体地球物理学教育研究分野 2133406s 中井茉莉

1. はじめに

- ◆ スーパーローテーション
金星の赤道を赤道自転速度の 60 倍で吹く東風
- ◆ AFES-Venus
地球用の全球大気モデル AFES を金星用に改良
金星大気で発生している諸現象を再現

2. 研究背景

- ◆ 静的安定度
大気がどの位安定しているかを示す。金星大気には
静的安定度が中立に近い層が存在する。
- ✓ 岡田 (2023) では AFES-Venus において強制する安定度
を負にすることで観測と整合的な安定度分布を再現した。
しかしながら、東西平均東西風が 60% 程度に弱
まってしまった。



すべて岡田 (2023) より。左図、中央図は図 3.4 の一部を引用。東西平均東西風
右図は図 3.2 より引用。水平平均した安定度分布

3. 実験の詳細

I. 計算設定

- ◆ 支配方程式系
3 次元プリミティブ方程式系
 - 運動方程式
 - 連続の式
 - 静力学方程式
 - 熱力学方程式
- ◆ 水平方向は球面座標系
- ◆ 鉛直方向は σ 座標系
- ◆ 離散化手法
水平方向はスペクトル法
 - 経度方向は等間隔
 - 緯度方向は Gauss 緯度鉛直方向は差分法
- ◆ 空間解像度 T63L120
- ◆ 乾燥対流調節を導入
- ◆ 雲過程, 光化学反応, 地形
効果は省略
- ◆ 自転の向きは地球と同じ
(現実の金星とは逆)

II. AFES-Venus における放射過程

- ◆ ニュートン冷却
 $\frac{dT}{dt} = -\frac{T-T_{nc}}{\tau}$ の関係式で表される
(T は温度, T_{nc} は基準温度場, τ は緩和時
定数)
 - 温度場と基準温度場のずれがどのくらいで
緩和されるかを決定
 - 強制する安定度分布から基準温度場が決定
される
 - 水平一様
- ◆ 太陽加熱関数
 - 観測の値を基にした太陽放射加熱
 - 南北方向に勾配があり, 日変化
成分を持つ
 - 今回の実験ではこの太陽加熱
関数を変更する
 - ✓ 温度風の関係より, 東西風の
シアは南北温度差に比例
するため

III. 実験設定

- ◆ 南北方向の加熱率の振幅を変更(水平平均した値は変化しない)
- ◆ 強制する安定度は岡田 (2023) を踏襲

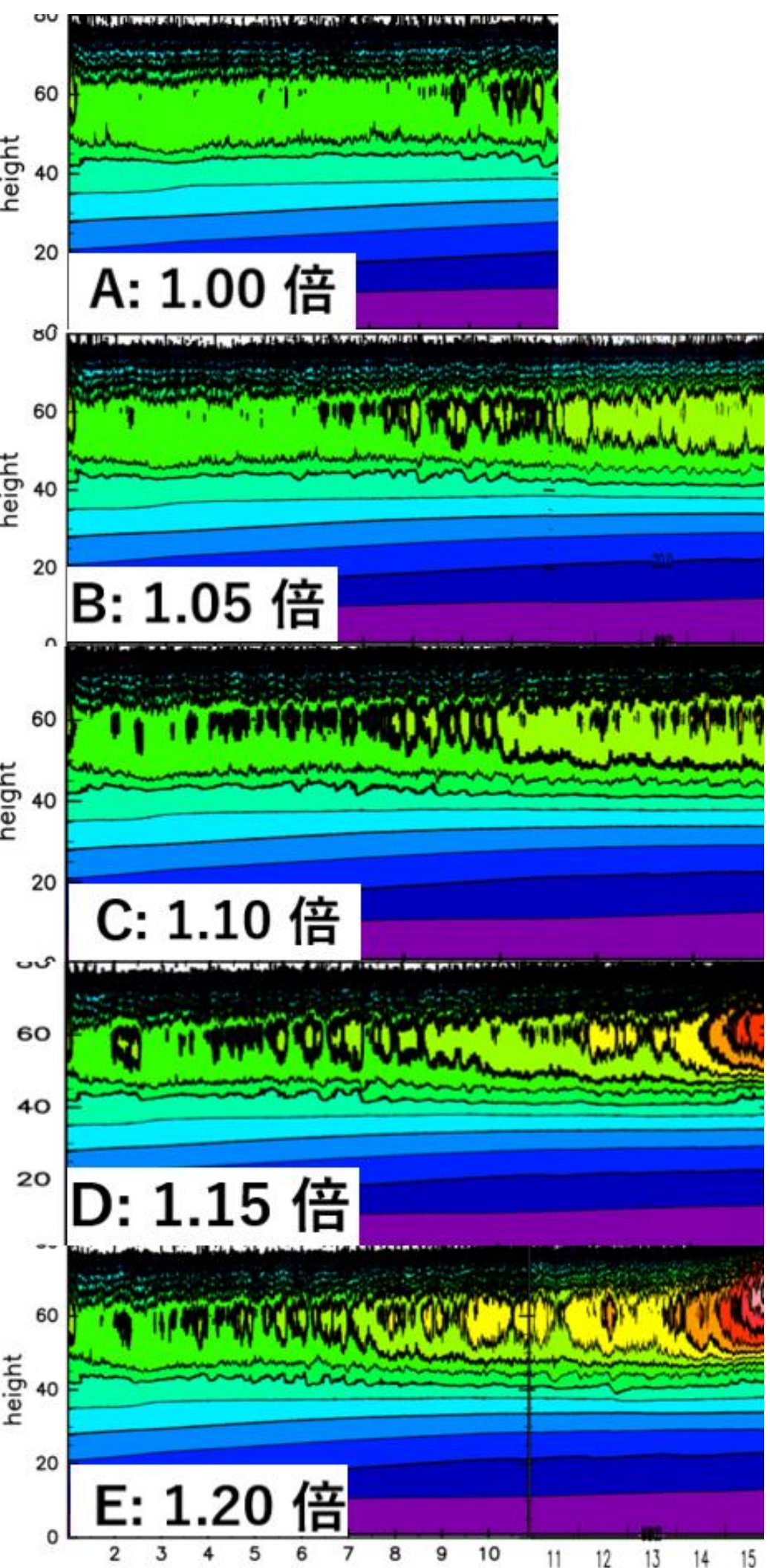
	STD	A	B	C	D	E
拡大する 南北加熱差	1.00 倍	1.00 倍	1.05 倍	1.10 倍	1.15 倍	1.20 倍
強制する 静的安定度	0.1 K/km	-2.0 K/km	-2.0 K/km	-2.0 K/km	-2.0 K/km	-2.0 K/km

- ◆ 計算期間
STD, A 10 地球年 B, C, D, E 15 地球年 共通 1 地球日
- ◆ 初期東西風
共通 $100 \times \cos \phi \times \frac{z}{70}$ m/s (東西一様, ϕ は緯度 z は高度 (km))
- ◆ スポンジ層: 高度 80 km 以上

4. 実験結果

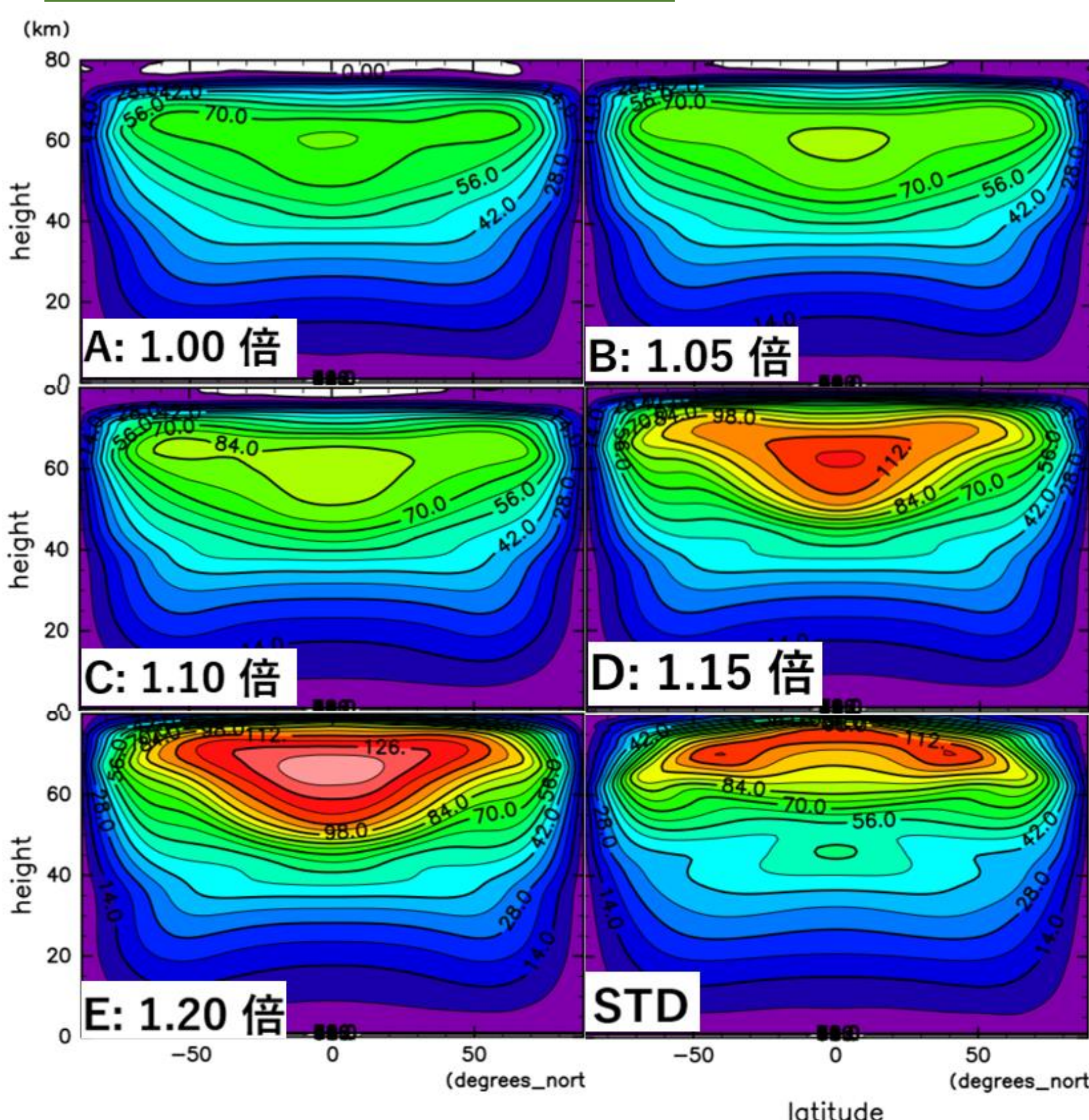
I. 赤道上的の東西平均東西風の時間発展

- ◆ A は 10 年で, B, C は 15 年時点で速度変化が
小さくなっており, 準定常状態に至って
いると考えられる
- ◆ A, B では初期東西風から一度速度減少後
数年は低い速度で落ち着いているがその後
発達している
- ◆ A, B, C でジェットの高さは約 60 km 付近に
ある
- ◆ D は計算終了時点で約 120 m/s と一番観測
に整合的な速度だが, 速度増加傾向にある
- ◆ E は STD の東西風 130 m/s を上回っていて,
速度増加傾向は続いている
- ◆ よって E, D は準定常状態でないと考えた
➢ 他の II, III, IV の解析でも, 同列に比較す
ることはできない
- ◆ E のみジェットの高度が上昇傾向にある



コンターは 10 m/s 間隔

II. 時間東西平均東西風

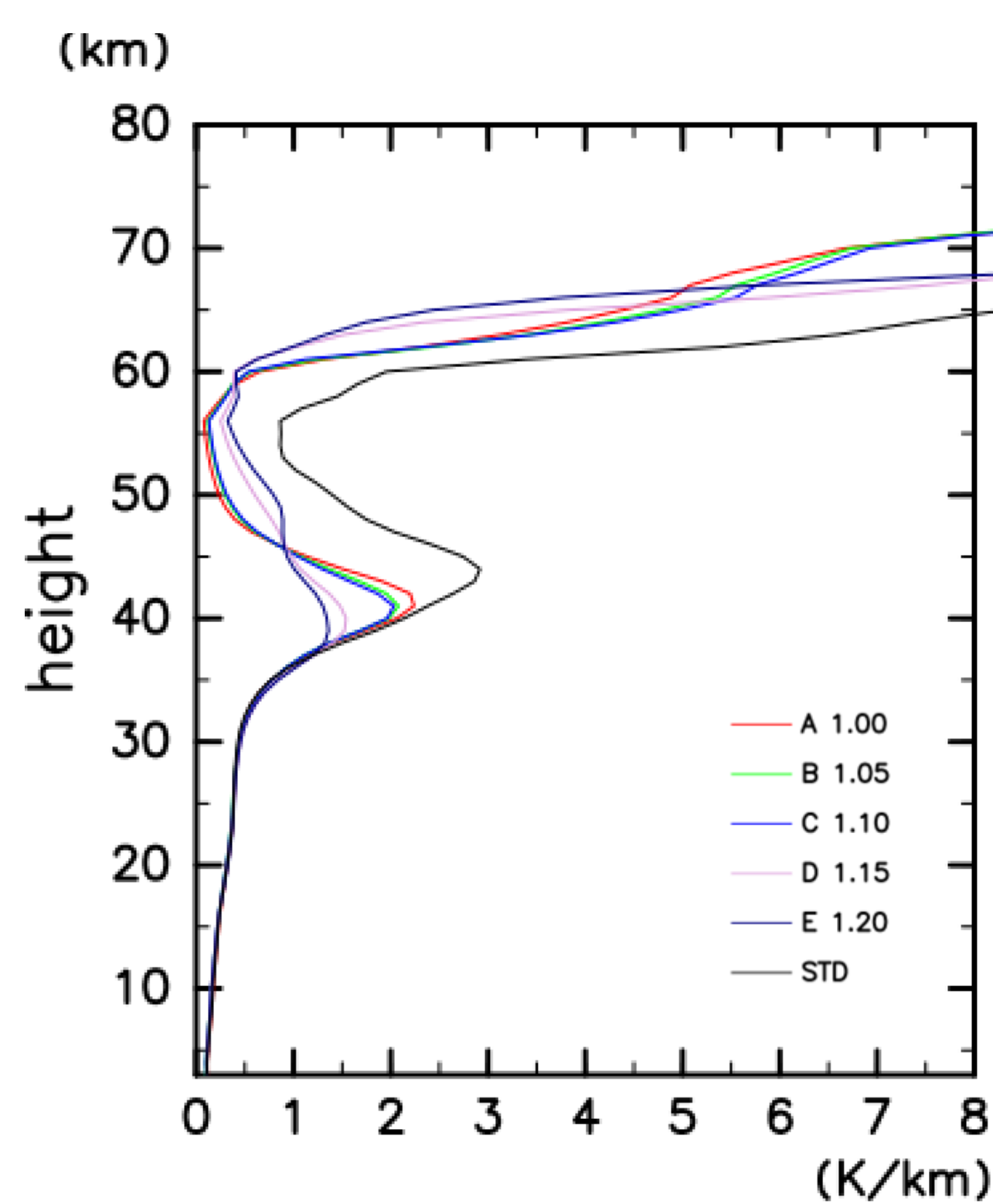


それぞれ計算期間の最後半年を時間平均している。コンターは 7 m/s 間隔

- ◆ 南北加熱差を拡大
するほどジェットが
強まった
- ◆ その強さは準定常状態
と判断した C (1.10 倍)
で約 85 m/s である
- ◆ E (1.20 倍) では約 135
m/s となり, 観測の値
よりも大きくなってし
まった
- ◆ 一方で中緯度の東西風
は STD ほど成長しな
かった
- ◆ 赤道ジェットは高度
60 km 付近にあり, STD
と比較すると低い
- ◆ また, STD で見られる
ような高度 40 km 付近
の極大値もみられな
かった

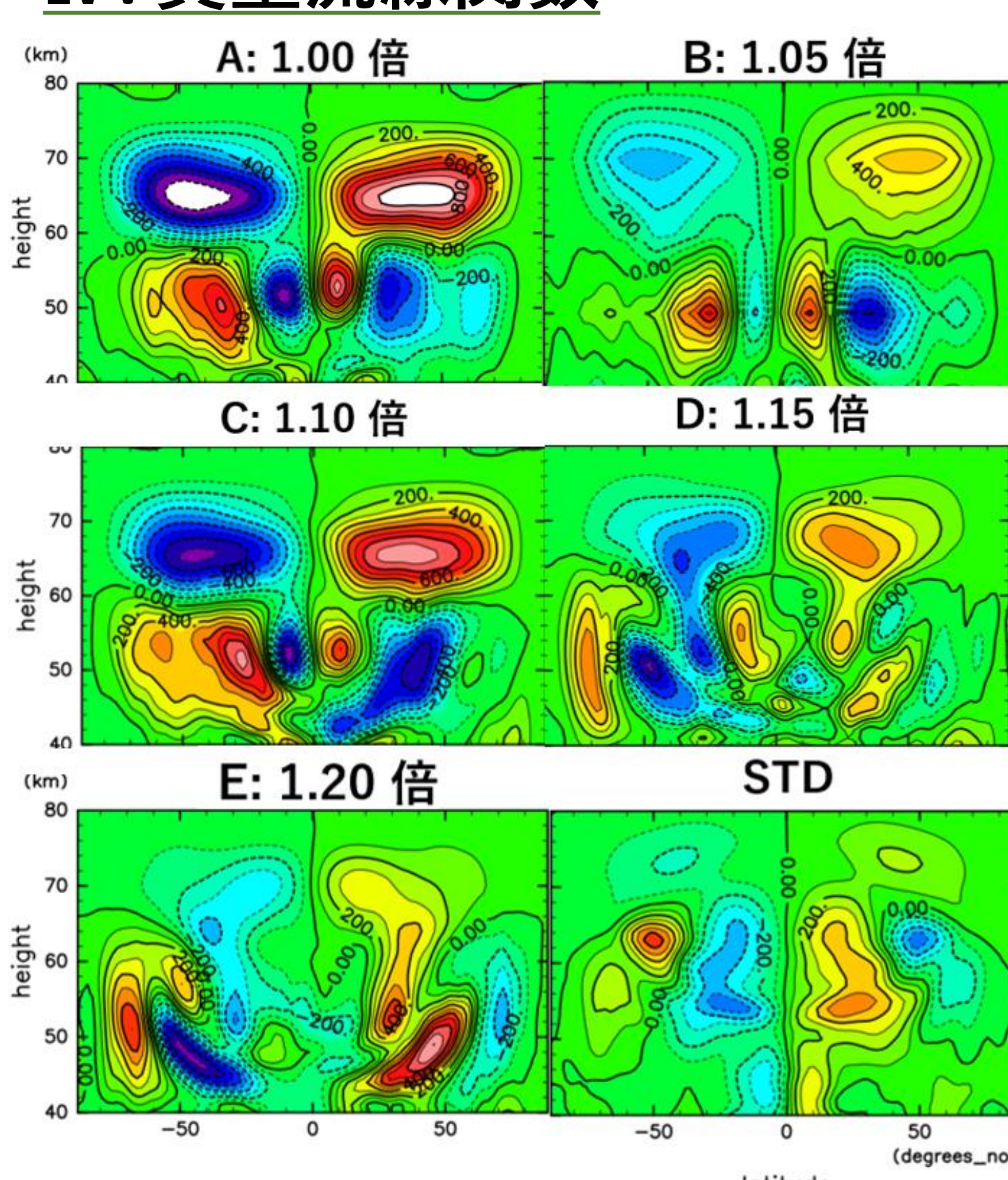
III. 時間水平平均安定度

- ◆ 最終的な安定度は A, B, C と D, E と STD
の 3 つに大別される
- ◆ A, B, C では低安定度層を実現できている
- ◆ 高度 55-60 km 付近に 0.1 K/km の中立に
近い安定度が見られ観測と整合的である
- ◆ この層では, 南北加熱差を拡大するほど
安定度が大きくなっている
- ◆ A, B, C では南北加熱差を大きくするほど
高度 40 km と 55 km における安定度差が
小さい
- ◆ D, E では高度 55-60 km 付近における安
定度は約 0.5 K/km となっておりやや大
きな値となっている
- ◆ また, 高度 40 km 付近の安定度は小さく,
最も高度による安定度の違いが少ない
- ◆ STD では観測に基づいて正の安定度を
強制しているが, 実現された安定度が大
きくなってしまっている



それぞれ計算期間の最後半年を時間平均している。
横軸は安定度

IV. 質量流線関数



それぞれ計算期間の最後半年を時間平均している。
コンターは 100 kg/s 間隔

子午面流線関数 Ψ は以下の式で表される

$$\Psi = \frac{2\pi a \cos \phi}{g} \int_0^p \bar{v} dp$$

a : 金星半径 ϕ : 緯度 g : 重力加速度
 v : 南北風速 p : 圧力

- ◆ 北半球 (緯度が正の領域) では
寒色の領域が逆循環を示す
- ◆ 全ての実験で逆循環の存在が
確認できた
- ◆ おそらく傾圧不安定が発生
していると考えられる
- ◆ 準定常状態の A, B, C とそうで
ない D, E では構造が大きく
異なる
- ◆ A, B, C では南北加熱差を拡大
するほど循環は強く, 大きく
なっている
- ◆ また, 上記 3 つでは極側にもう
ひとつ逆循環がみられる

4. まとめ

- ◆ 太陽加熱関数の南北加熱差を拡大することで東西平均東西風を増加させることができた
 - 南北加熱差 1.10 倍で約 85 m/s となった
- ◆ 一方で中緯度における速度など構造には違いがある
- ◆ 南北加熱差を 1.20 倍にすると東西平均東西風は現実のものよりも大きくなってしまった
 - 現実の金星大気を再現するためには 1.10 倍から 1.15 倍の間で拡大する必要がある
- ◆ 負の静的安定度を強制すると, 南北加熱差を拡大しても実現される安定度分布は中立に近いまだった
 - 高度 55-60 km において 0.1 K/km が実現された
- ◆ 南北加熱差を拡大しても質量流線関数の逆循環が確認でき, 傾圧不安定が発生していると考えられる

5. 参考文献

岡田, 2023: 金星大気大循環モデルにおける静的
安定度の傾圧不安定への影響
URL: [https://www.gfd-dennou.org/arch/prepri/2023/
kobe-u/230217_rokada5-Bthesis/paper/pub/thesis.pdf](https://www.gfd-dennou.org/arch/prepri/2023/kobe-u/230217_rokada5-Bthesis/paper/pub/thesis.pdf)