

金星大気惑星規模波動の再現に向けたデータ同化による研究

白坂 翠萌(清泉女学院高等学校)

杉本 憲彦(慶應義塾大学)、藤澤 由貴子(慶應義塾大学)、細野 朝子(豊島岡女子学園)、阿部 未来(慶應義塾大学)、安藤 紘基(京都産業大学)、高木 征弘(京都産業大学)、山本 勝(九州大学)

1.導入

■ 赤道上の惑星規模波動

- 雲頂に存在し、スーパーローテーションの維持に寄与する可能性が示唆されている。

■ スーパーローテーション

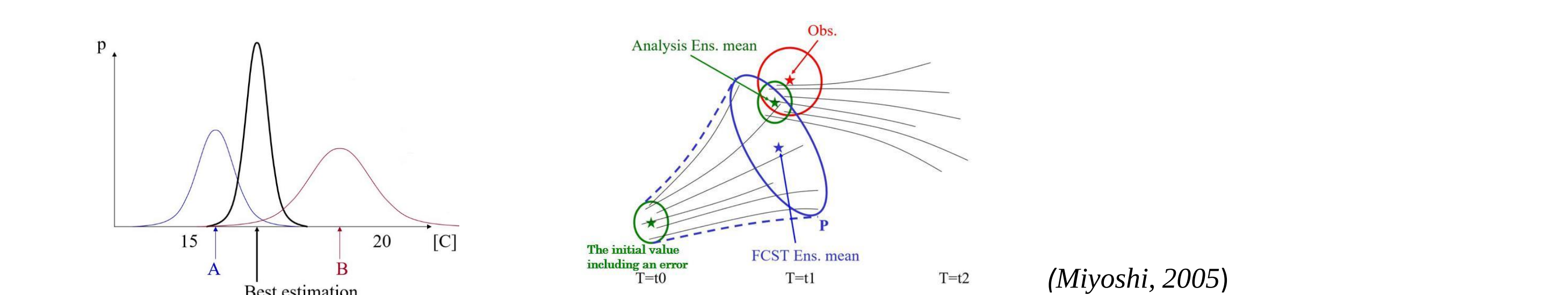
- 自転速度を約60倍の速さで追い越す東風

■ 金星大気大循環モデル(AFES-Venus)

- AFES (Atmospheric GCM For the Earth simulator)を金星大気に改造 (Sugimoto+2014a,b...)

■ 局所アンサンブル変換カルマンフィルター (LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter)

- 地球の天気予報にも使われているデータ同化の方法

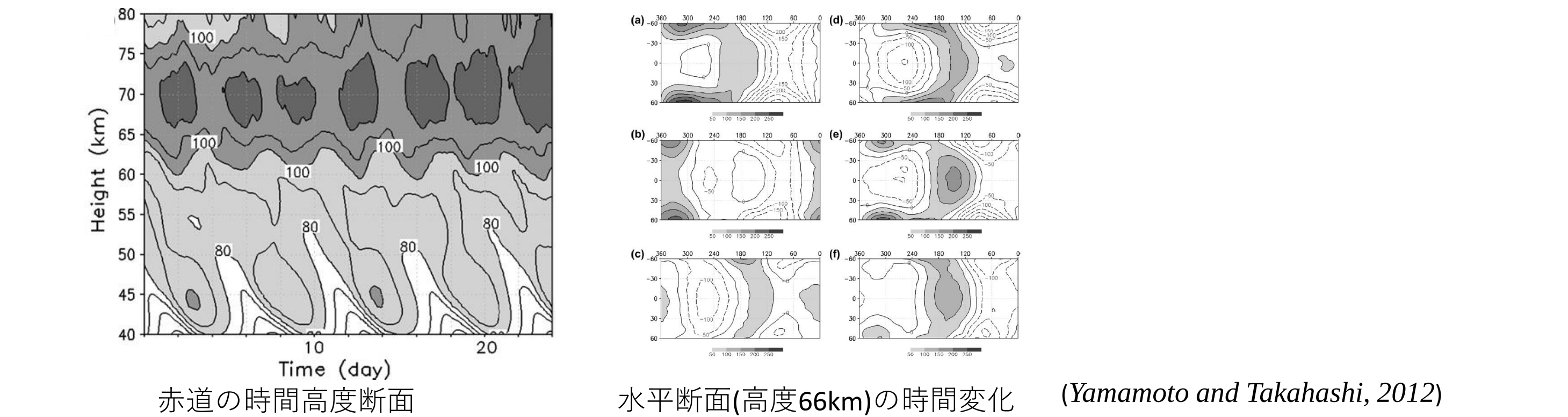


■ AFES LETKF Data Assimilation System for Venus (ALEDAS-V)

- AFES-VenusにLETKFを導入した金星大気初のデータ同化システム (Sugimoto+2017, 2019)

■ 金星中層大気大循環モデル(CCSR/NIES VGCM)

- モデル下部(30km)から5.5日波を強制、雲層上端の4日波を再現 (Yamamoto and Takahashi, 2012)



4日波の存在するCCSR/NIES VGCMから疑似観測データを作成

↓

AFES-Venusでの再現性を研究
4日波を再現するための条件の発見

↓

あかつきや将来の金星観測に対して、**最善の観測頻度・高度**を探究

2.実験設定

■ 金星大気大循環モデル(AFES-Venus)

- 基本方程式：シグマ座標系における乾燥大気の球面プリミティブ方程式
- 解像度：T42L60(格子点数128×64×60)
- 初期値：スーパーローテーションを仮定した東西風
→4地球年間のスピニアップ（得られた風速場は観測と整合的）
- Cp一定：1000 Jkg⁻¹k⁻¹
- 地形なし
- 太陽加熱：観測を模擬 (Tomasko, 1980, Crisp, 1989)
- 長波放射：ニュートン冷却率を使用 $dT/dt = -\kappa (T - T_{ref}(z))$ (Crisp, 1986)

■ データ同化(ALEDAS-V)

- アンサンブルメンバー数：31
- 同化サイクル：6h
- 観測ウィンドウ：1h
- インフレーション：10%で固定
- t=0からの9時間予報、t=3~t=9を予測に使用
- t=3~t=9の観測データを入れ、t=6で再分析し、アウトプット(=4D LETKF)

■ 同化する疑似観測データ(CCSR/NIES VGCM)

- 観測種：風速の水平分布を固定高度で与える(複数の波長でのカメラ観測を想定)
- 同化期間と観測誤差：1カ月、4m/s
- 観測条件を変えた観測：31(表1)+30(@70km, 表2)

表1 各高度で波を観測した同化実験

Time Altitude	h1	h2	H4	h6	h12	h24
30km	z30l90h1	z30l90h2	z30l90h4	z30l90h6	z30l90h12	z30l90h24
40km	z40l90h1	z40l90h2	z40l90h4	z40l90h6	z40l90h12	z40l90h24
50km	z50l90h1	z50l90h2	z50l90h4	z50l90h6	z50l90h12	z50l90h24
60km	z60l90h1	z60l90h2	z60l90h4	z60l90h6	z60l90h12	z60l90h24
70km	z70l90h1	z70l90h2	z70l90h4	z70l90h6	z70l90h12	z70l90h24
others	frf	ym-dat				

東西平均風速の緯度高度断面

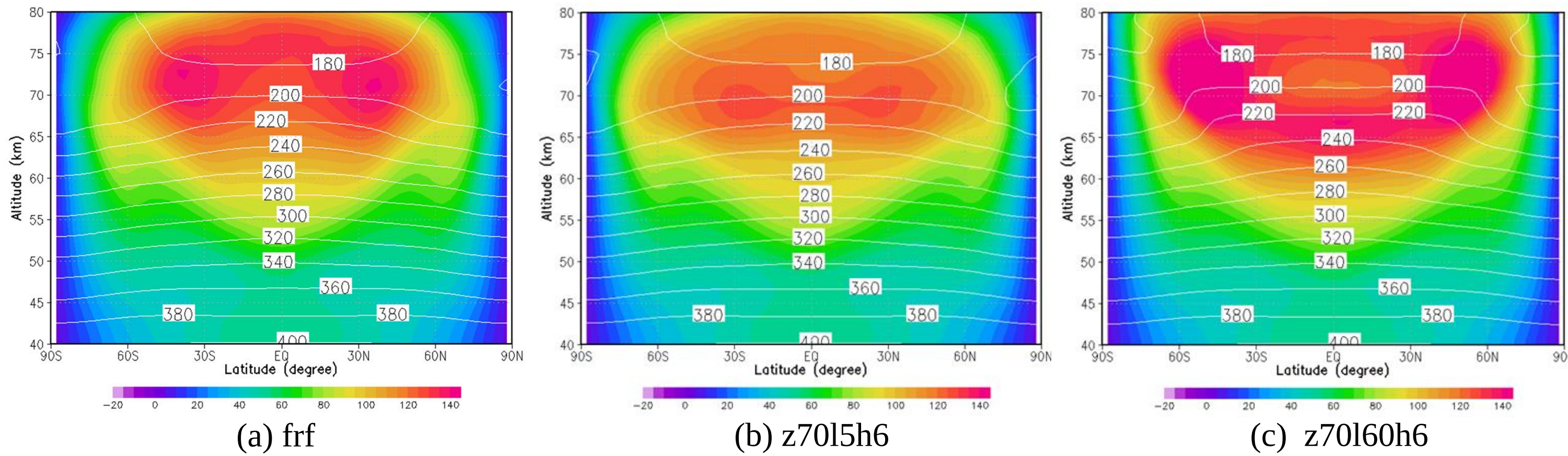
スーパーローテーションの構造が壊れてしまうので、高度70kmでの観測を想定した同化実験をする。

表2 高度70kmで緯度帯を絞った同化実験 (紫外線画像を想定)

Time Altitude*	h1	h2	h4	h6	h12	h24
Z70l5	z70l5h1	z70l5h2	z70l5h4	z70l5h6	z70l5h12	z70l5h24
Z70l15	z70l15h1	z70l15h2	z70l15h4	z70l15h6	z70l15h12	z70l15h24
Z70l30	z70l30h1	z70l30h2	z70l30h4	z70l30h6	z70l30h12	z70l30h24
Z70l60	z70l60h1	z70l60h2	z70l60h4	z70l60h6	z70l60h12	Z70l60h24
z70l90	z70l90h1	z70l90h2	z70l90h4	z70l90h6	z70l90h12	z70l90h24

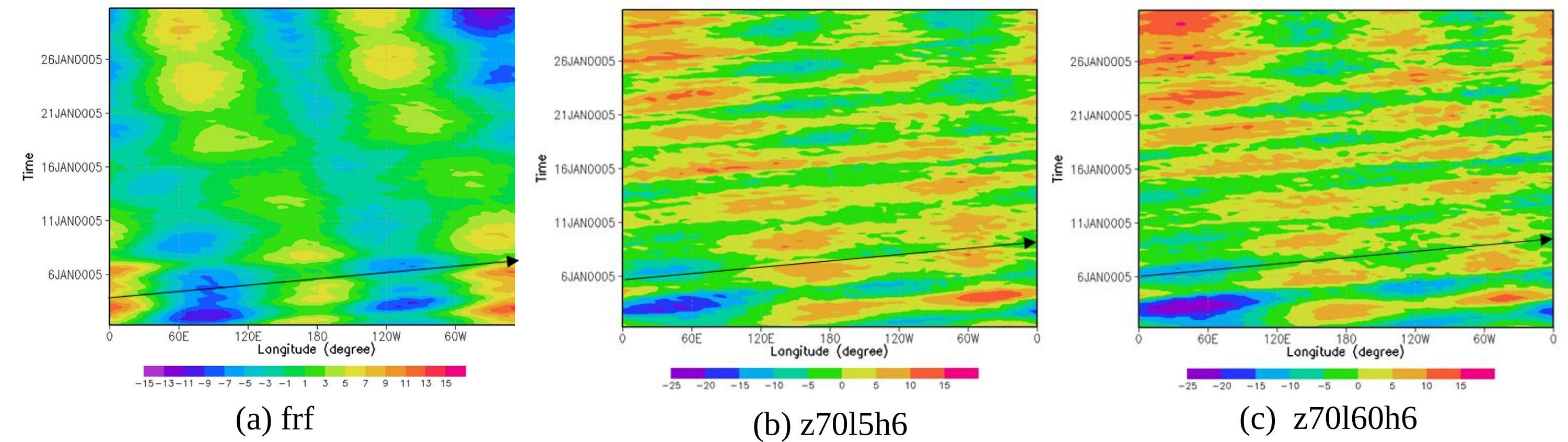
3.結果

① 東西平均した東西風(色)と温度(等値線)の緯度高度断面



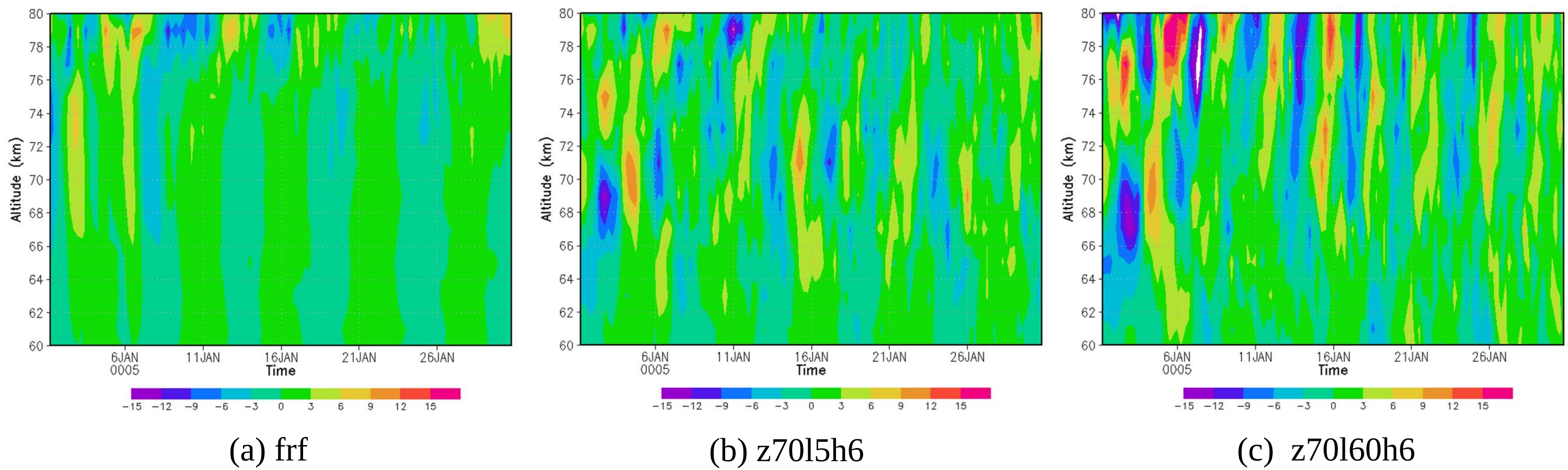
赤道の風速が、(a)では「山型」だが、(c)では「谷型」になり、相違している。これは、同化の緯度幅が広いため、中緯度の速いジェットが同化され、赤道まで運動量が輸送されたことが原因と考えられる。

② 赤道での風速の高度70kmでの経度時間断面 (時間平均からの偏差)



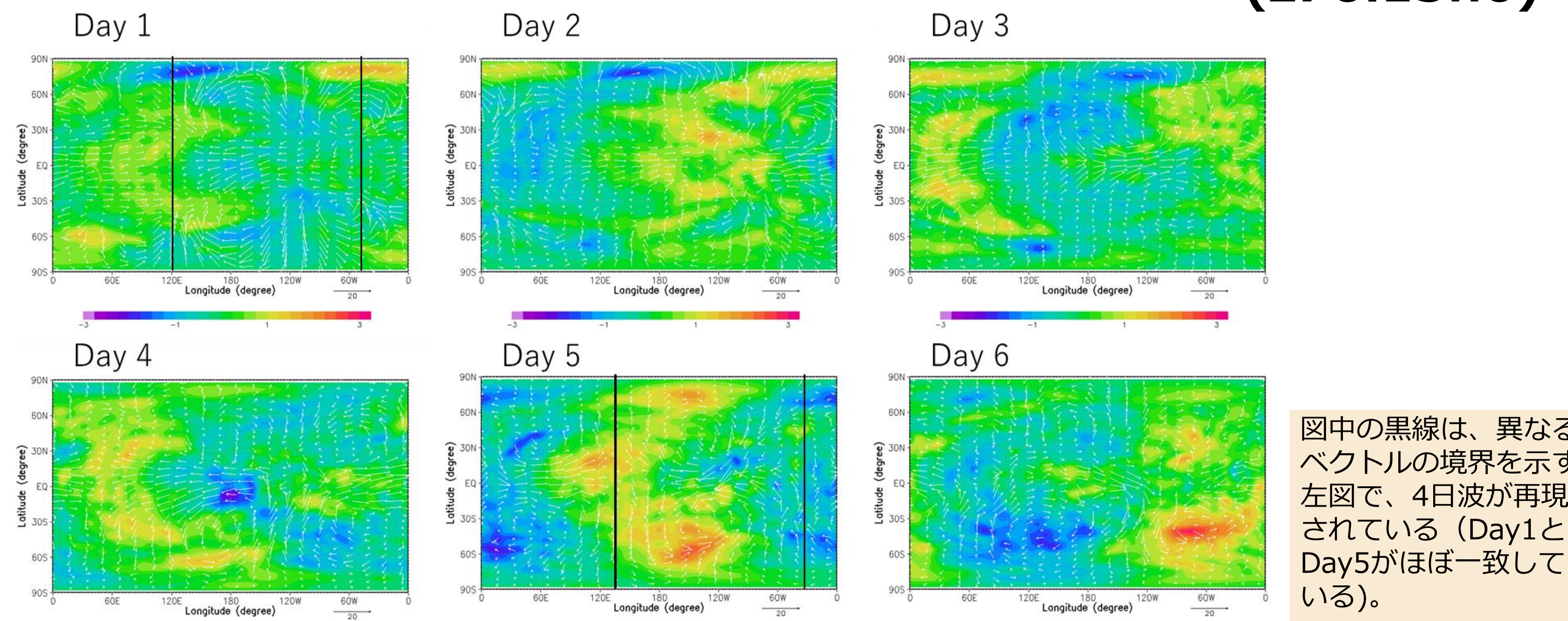
(a)では4日波がほぼ見えていないが、(b)、(c)では4日波が明瞭に再現されている。

③ 赤道での風速の時間高度断面 (10日移動平均からの偏差)



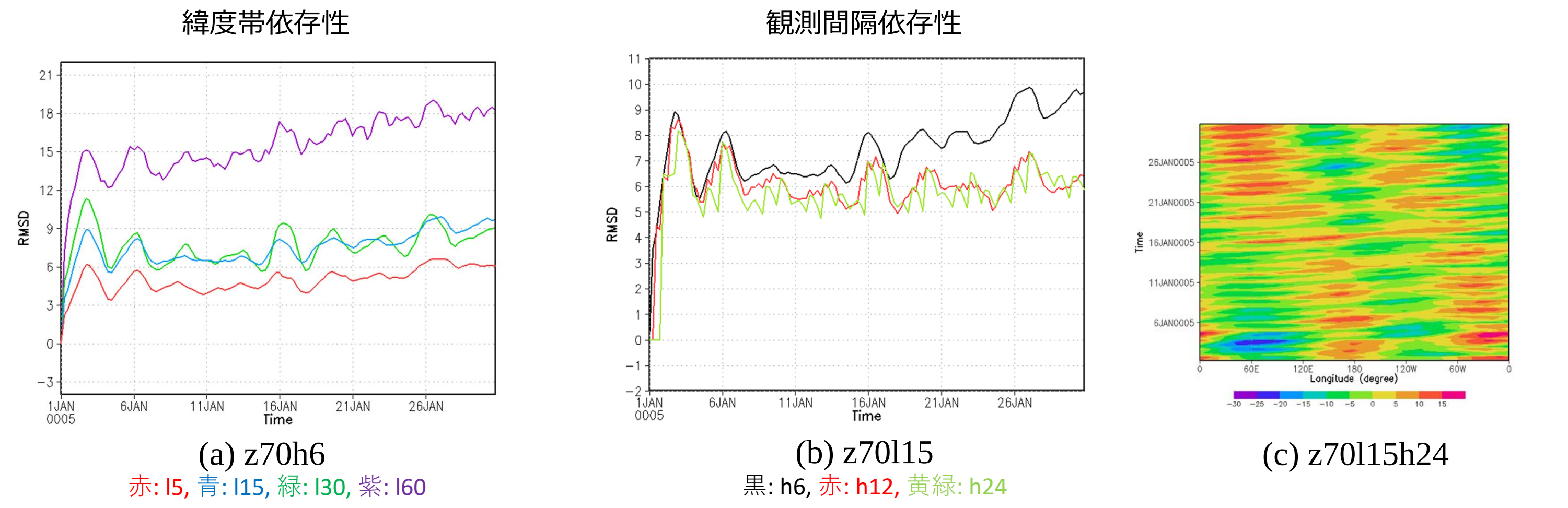
(a)では5.5日波は見えていたが、4日波は再現されていなかった。データ同化により、(b)、(c)では4日波が再現された。

④ 温度(色)と風速(ベクトル)の高度70kmでの水平断面の時間発展 (z70l15h6)



図中の黒線は、異なるベクトルの境界を示す。左図で、4日波が再現されている (Day1とDay5がほぼ一致している)。

⑤ 東西風の高度70kmでのfrfとの平均二乗偏差



(a)：I60が右上がりになっていることから①の図(c)で赤道の風速が「谷型」になっていた理由が説明される。
(b)：h12,24も安定しているが、(c)のホフメラーをみると、h24では波の再現性は良くない。

4.結論

観測とモデルをデータ同化を用いて融合し、金星大気4日波の再現を試みた。

- 同化高度が70kmのとき、4日波が再現される。
- 同化緯度帯は赤道±15度、同化頻度は6時間に1度が望ましい。

上記の条件下での紫外線カメラによる観測を行うことができれば、4日波の再現に成功する可能性が期待される。

5.謝辞

本研究はJSTグローバルサイエンスキャンパスの支援により実施しました。