

金星大気の観測・シミュレーション・データ同化に関する研究会

2023年3月28日(火), 神戸大学 惑星科学研究センター



UVI 雲追跡風の観測システムシミュレーション実験による ロスビー波再現性（予備的結果）

小守 信正¹✉, 杉本 憲彦^{1,2}, 藤澤 由貴子¹, 神山 徹³, 山本 勝⁴, AFES-Venus and ALEDAS-V Teams

¹慶應義塾大学 自然科学研究教育センター, ²慶應義塾大学 法学部 日吉物理学教室,

³産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター, ⁴九州大学 応用力学研究所

✉ komori-n@keio.jp

はじめに

観測的知見

- 雲頂高度では、低緯度で4日波 (ケルビン波)・中緯度で5日波 (ロスビー波) が存在 (e.g., Rossow et al., 1990)
→ これらの波が循環場に与える影響を調べたい

観測システムシミュレーション実験 (OSSE) を適用した先行研究

- Sugimoto et al. (2021)は 別の VGCM で生成されたケルビン波を, Sugimoto et al. (2022) は線形波動伝播モデルで生成されたケルビン波を AFES-Venus へ同化
→ ケルビン波の再現性が向上することを確認

本研究

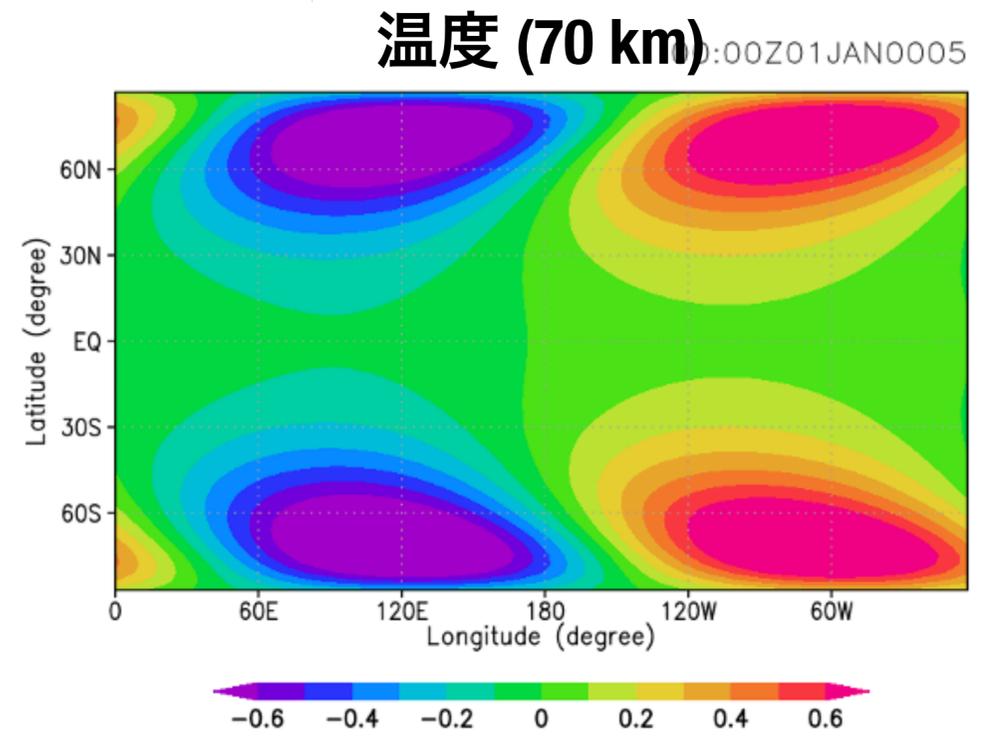
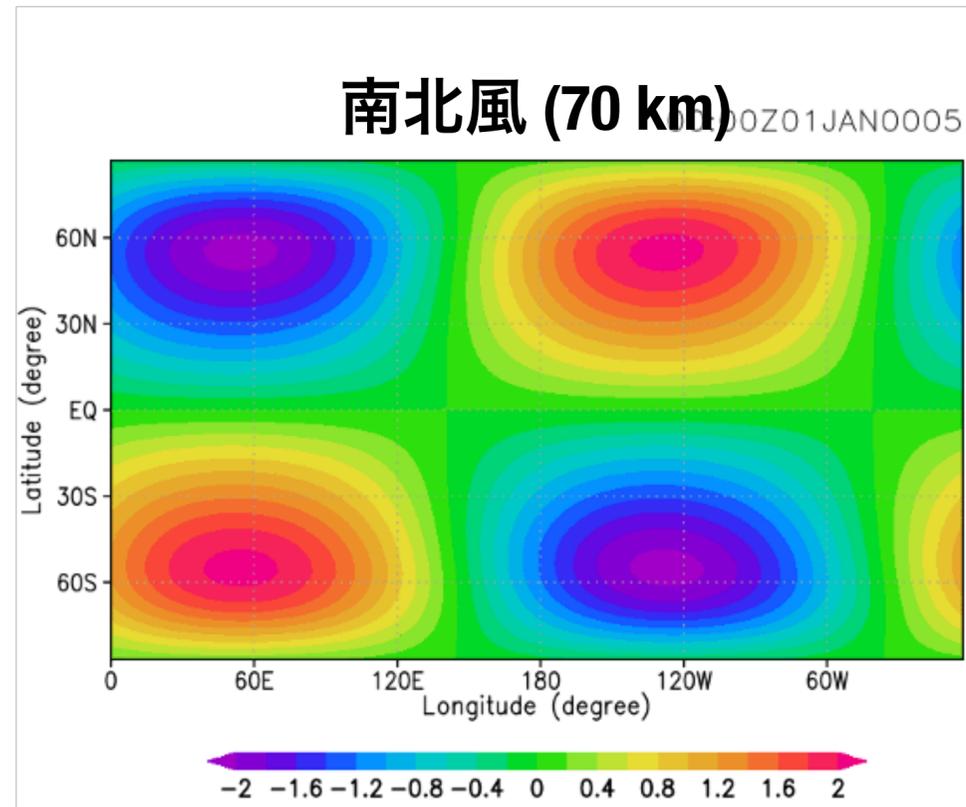
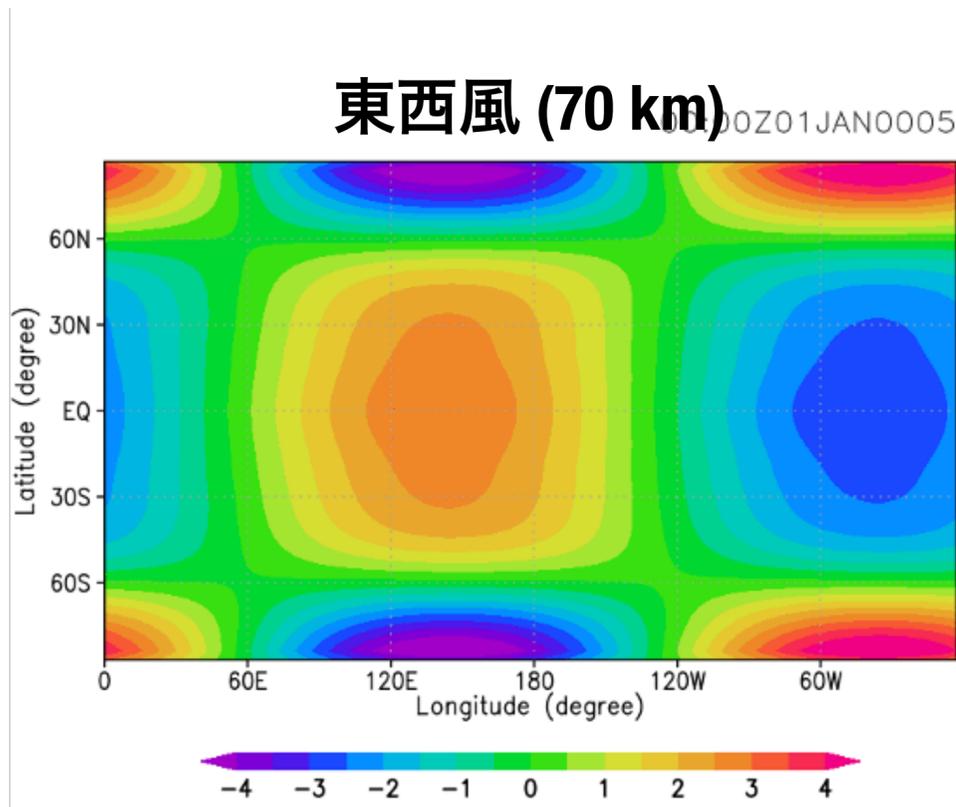
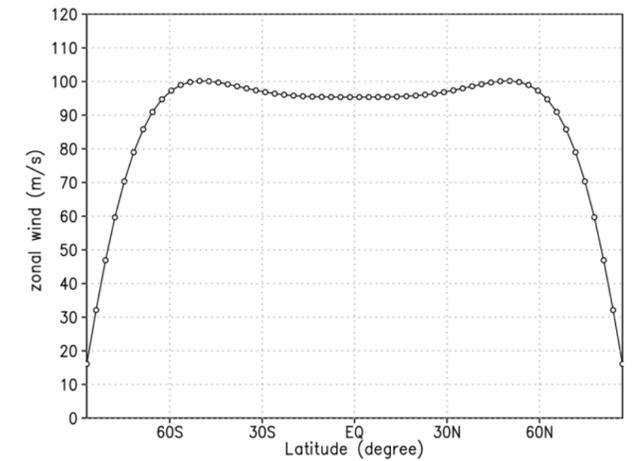
- 「あかつき」UVI 雲追跡風の実観測データを同化するのに先立ち, 線形波動伝播モデルで生成されたロスビー波を同化する OSSE を通じて, その再現性や問題点を確認する

ネイチャーラン

線形波動伝播モデル (Imamura, 2006; Kouyama et al., 2015) で生成されたロスビー波

- ◎ AFES-Venus と同様の基本場
- ◎ 水平解像度: 3° (格子数: 120×58)
- ◎ 周期: 6日, $60^\circ\text{N} \cdot 60^\circ\text{S}$ 付近に渦構造

基本場



疑似観測

あかつき UVI 雲追跡風を模した観測

- ◎ 雲頂高度 (70 km)・昼面 (120°E–120°W) で6時間毎に東西風・南北風を観測
- ◎ 観測緯度幅を変えたデータを作成

L30	30°S–30°N を観測
L45	45°S–45°N を観測
L60	60°S–60°N を観測
L75	75°S–75°N を観測
L90	90°S–90°N を観測
Lexc30	30°S–30°N 以外を観測
Lexc45	45°S–45°N 以外を観測
Lexc60	60°S–60°N 以外を観測
L0090	北半球 (Eq.–90°N) を観測

数値モデル

金星大循環モデル AFES-Venus (Sugimoto et al., 2014)

- ◎ 水平解像度: T42 (格子数: 128×64), 鉛直: 60層 (2 km 幅で高度 120 km まで)
- ◎ 比熱: 一定値 ($1000 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
- ◎ 太陽加熱: Tomasko et al. (1980), Crisp (1986)
- ◎ 赤外冷却: ニュートン冷却
- ◎ 地形および惑星境界層は考慮しない
- ◎ 地表で Rayleigh 摩擦 (時定数: 0.5日), 80 km 以高でスポンジ層
- ◎ 鉛直渦拡散: $0.15 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; 水平渦拡散: 4次, 時定数 0.1日
- ◎ 熱潮汐波は無し

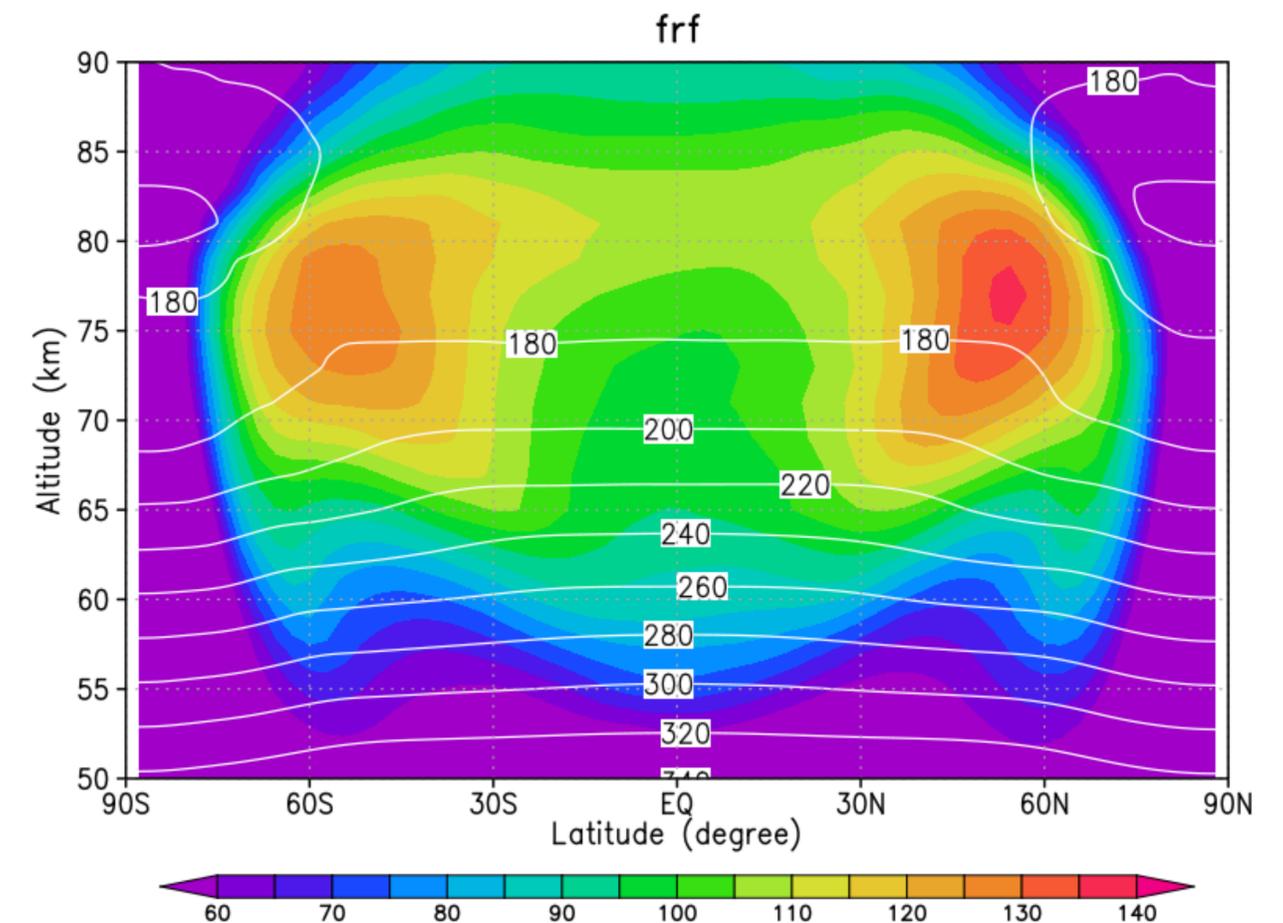
データ同化実験

金星データ同化システム ALEDAS-V (Sugimoto et al., 2017)

- ◎ AFES-Venus に局所アンサンブル変換カルマンフィルタ LETKF (Miyoshi & Yamane, 2007) を適用
- ◎ アンサンブルメンバー数: 31; 局所化スケール: 水平 400 km, 鉛直: $\log P = 0.4$
- ◎ 3 m s^{-1} の観測誤差を仮定, 10% のスプレッド膨張を使用

実験設定

- ◎ 理想化された SR を初期条件として4年間スピナップ
- ◎ 疑似観測データを6時間毎に42日間同化
- ◎ 同化をしないケース (**frf: free run forecast**) と比較



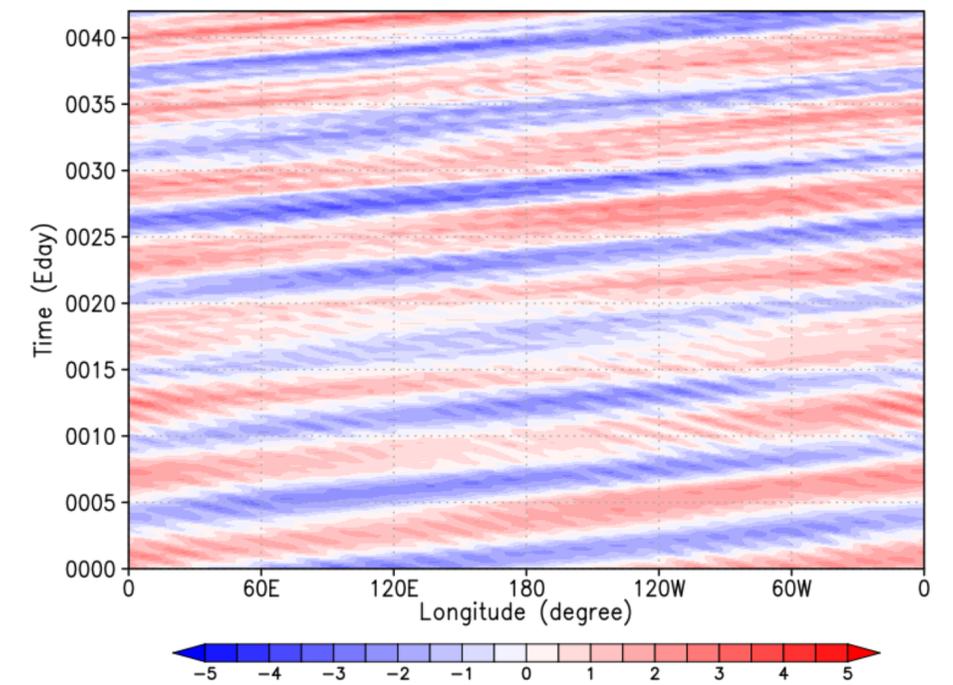
同化実験開始時の東西平均東西風

結果

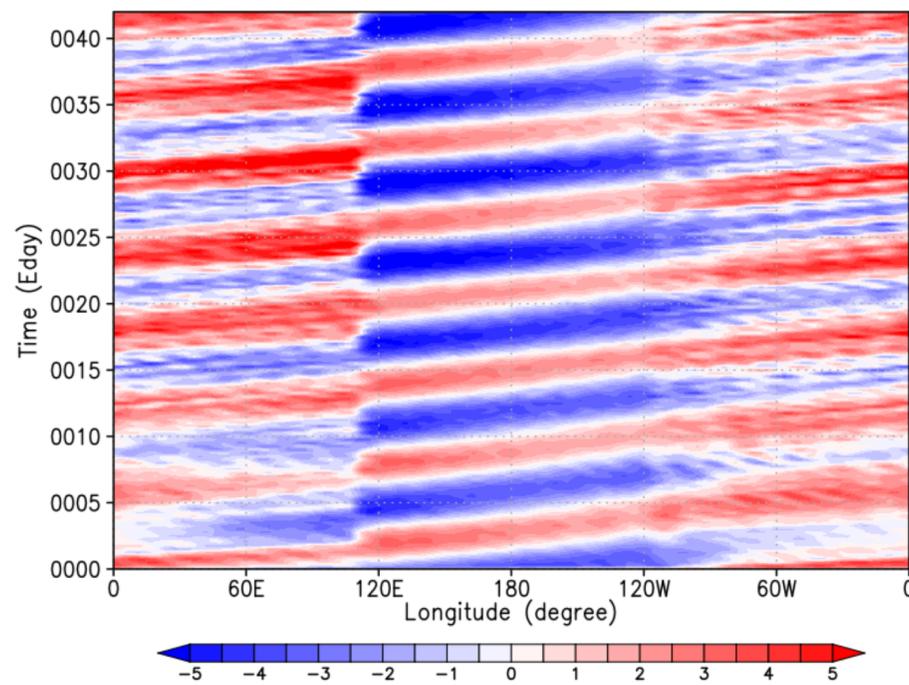
ホフメラー図

- ◎ 赤道での東西風偏差の時系列
- ◎ frf の周期は6日よりもやや短い

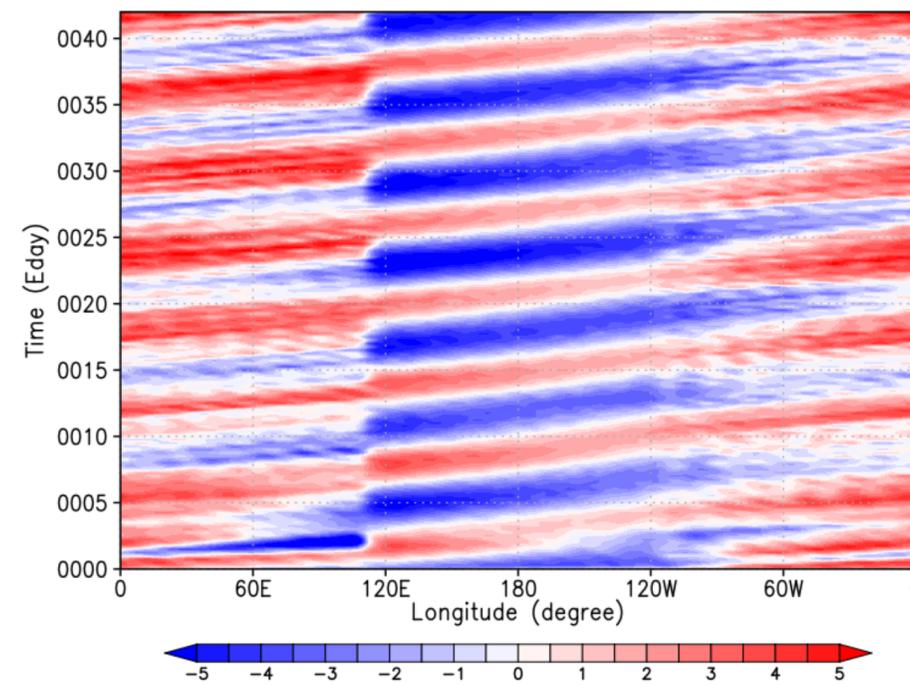
frf



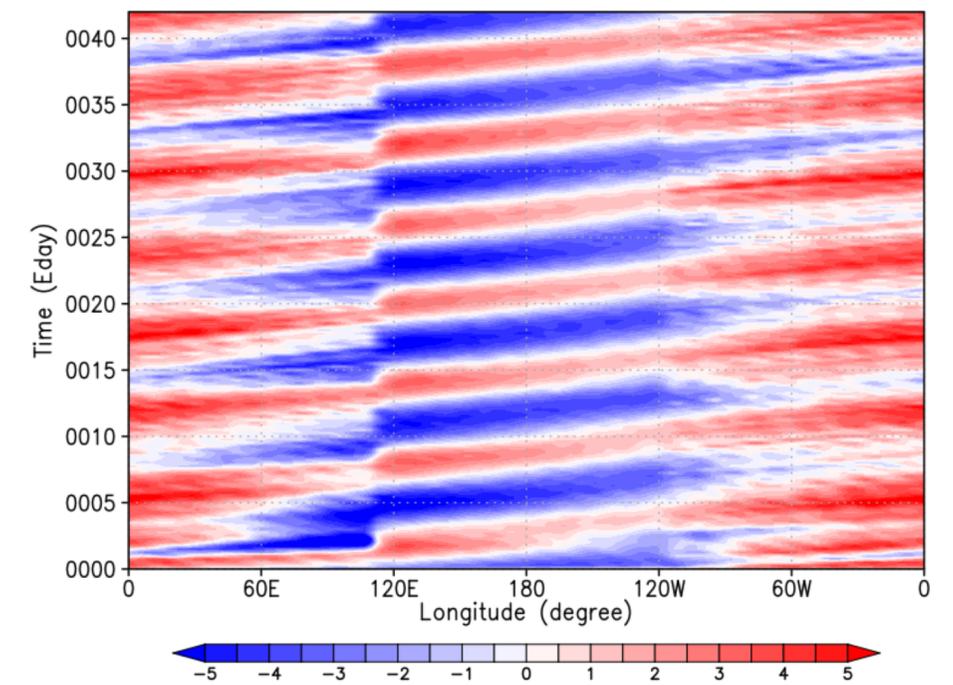
L30



L60



L90

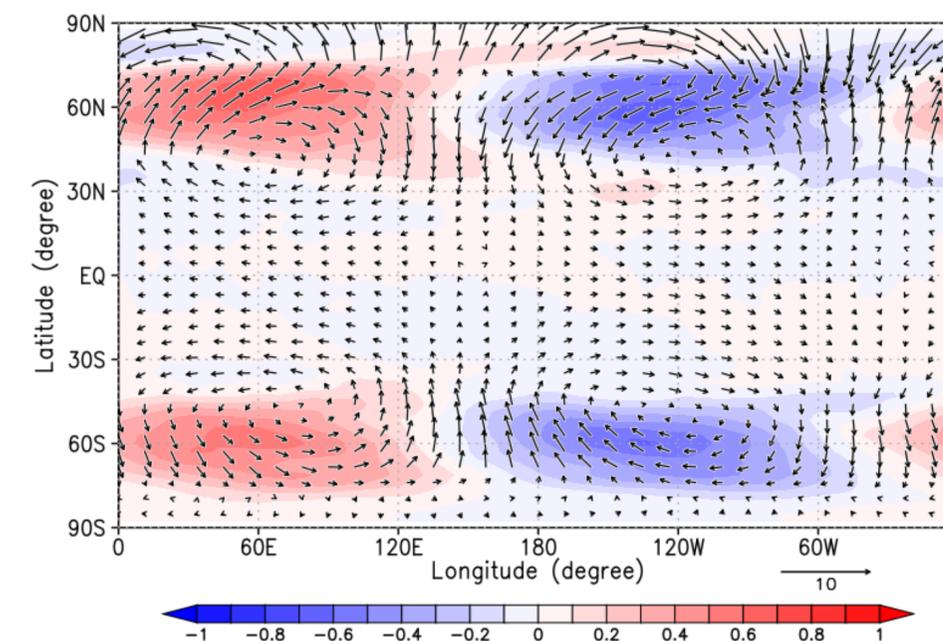


結果

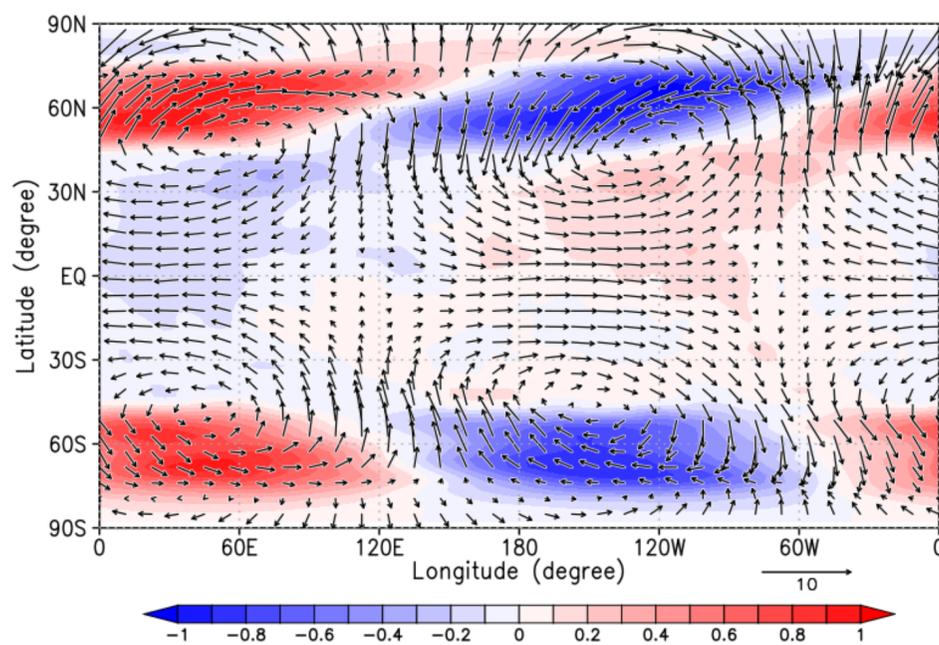
合成図解析 (水平)

- 7日目から42日目まで6日周期で合成図を作成
- 高度 70 km での温度偏差 (色) と水平風偏差 (矢印)
- **frf** は 40°N・40°S 付近と70°N・70°S 付近に渦構造

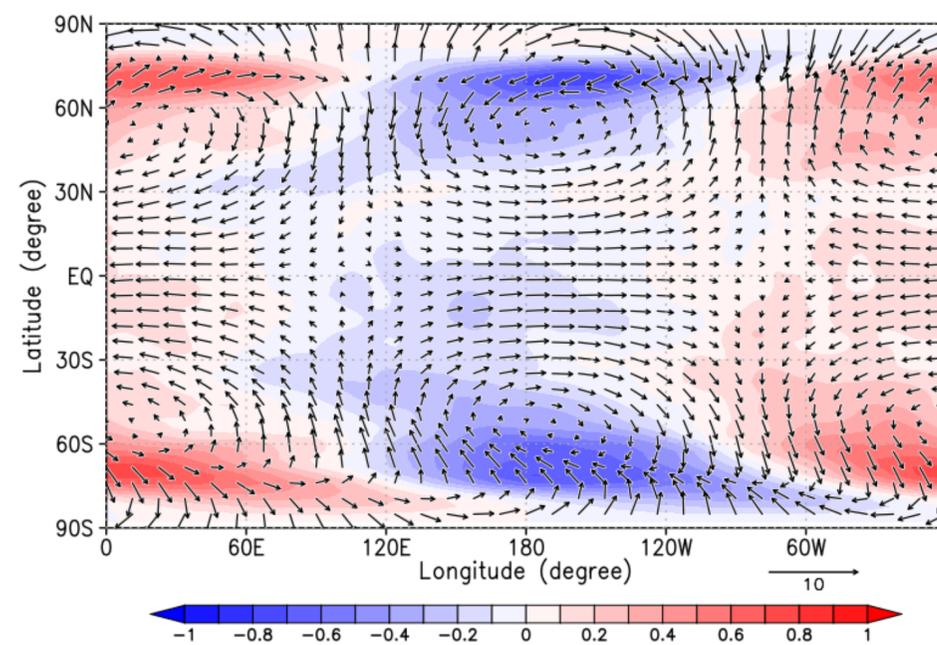
frf



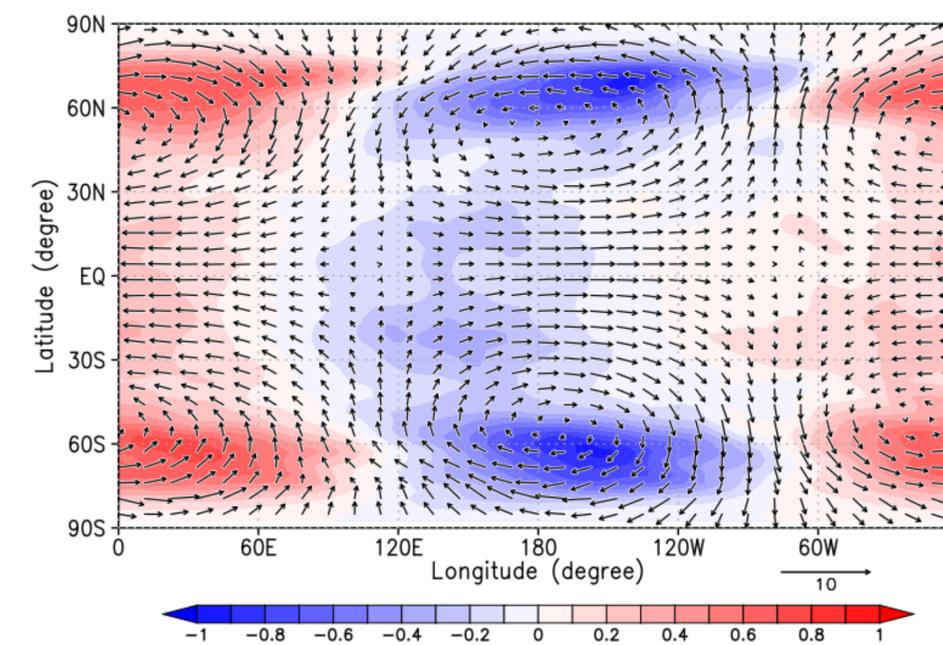
L30



L60



L90

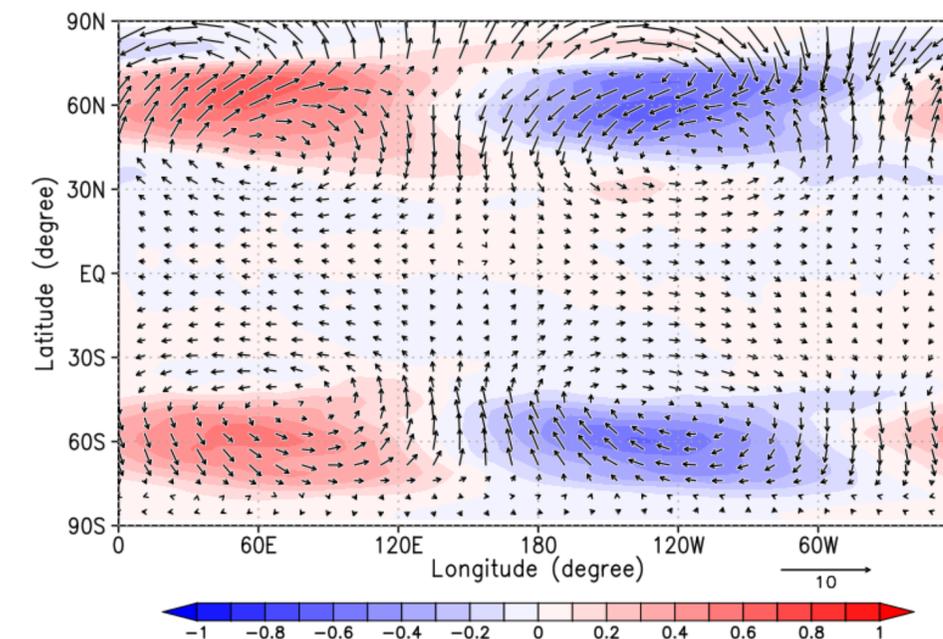


結果

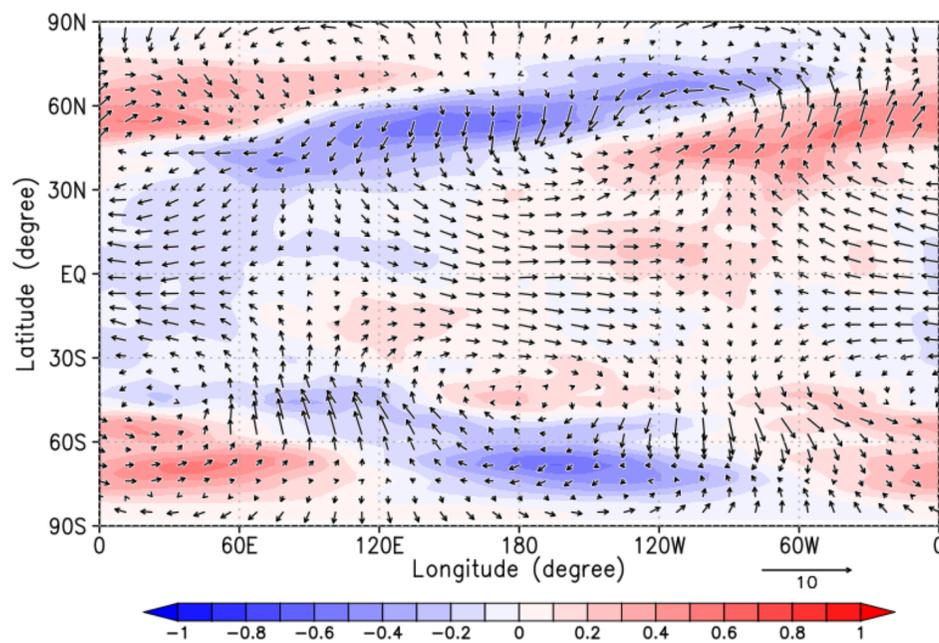
合成図解析 (水平)

- 7日目から42日目まで6日周期で合成図を作成
- 高度 70 km での温度偏差 (色) と水平風偏差 (矢印)
- **frf は 40°N・40°S 付近と70°N・70°S 付近に渦構造**
- frf からの差

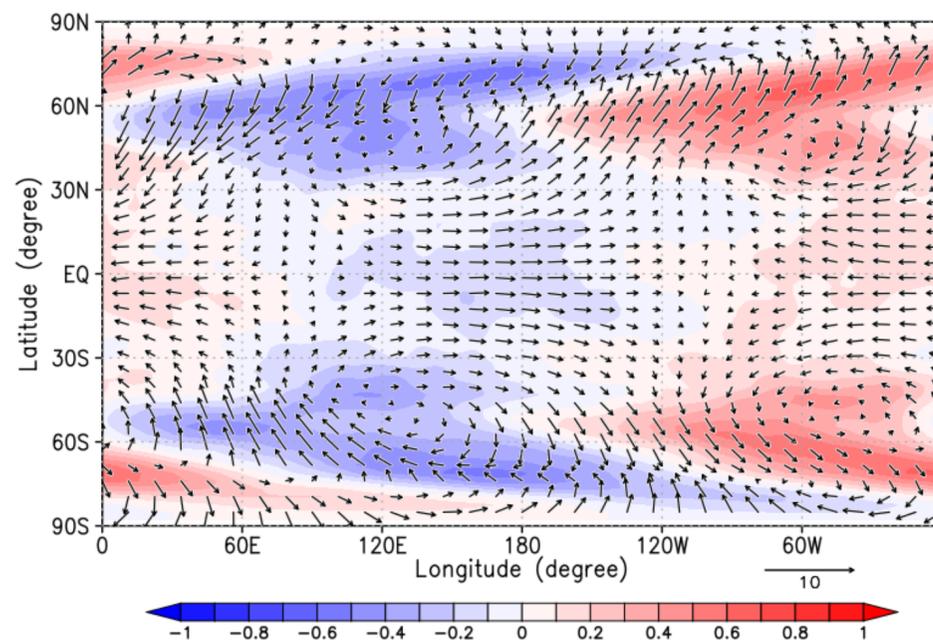
frf



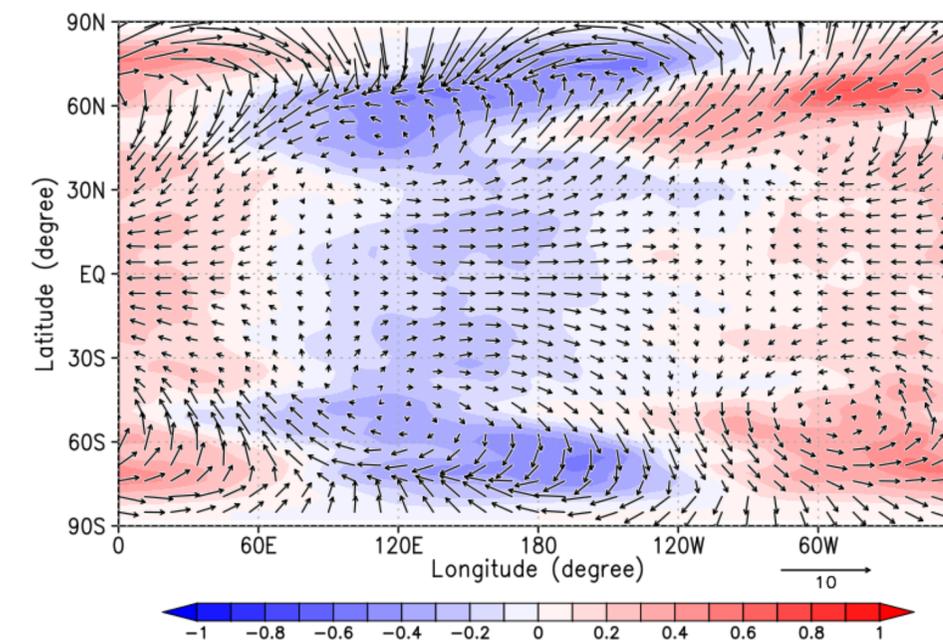
L30 - frf



L60 - frf



L90 - frf

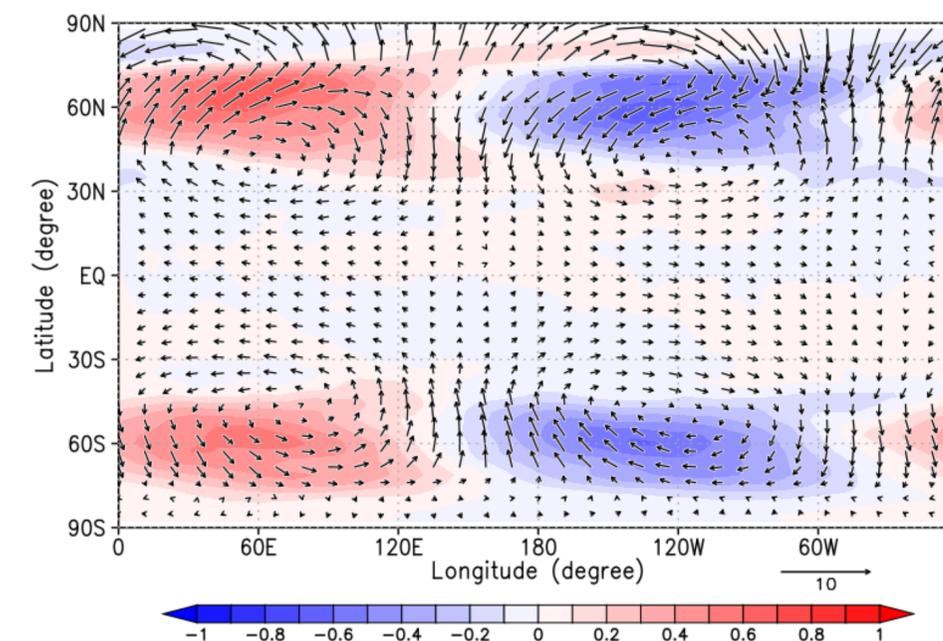


結果

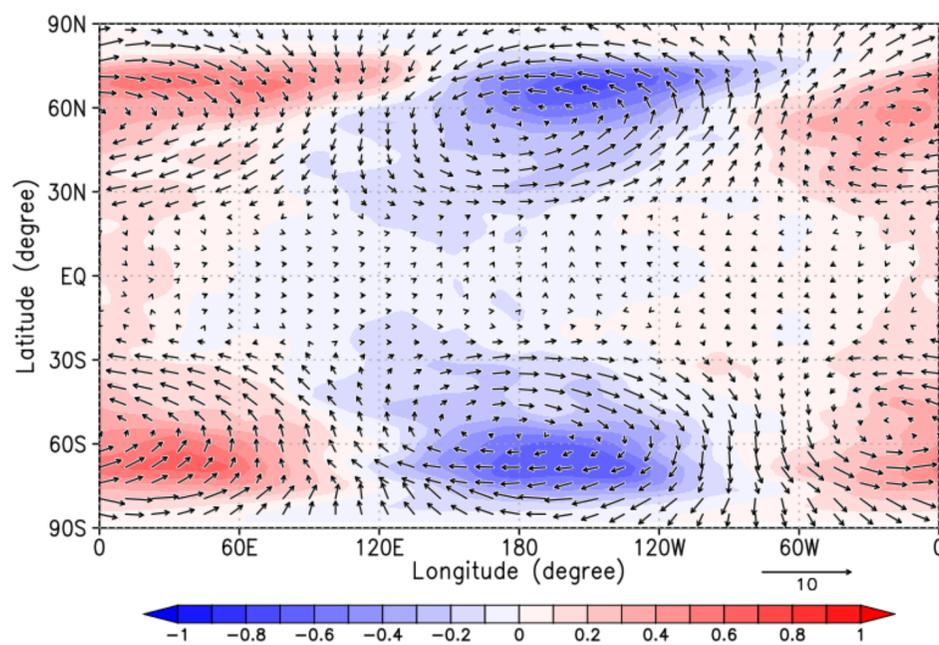
合成図解析 (水平)

- 7日目から42日目まで6日周期で合成図を作成
- 高度 70 km での温度偏差 (色) と水平風偏差 (矢印)
- frf は 40°N・40°S 付近と70°N・70°S 付近に渦構造

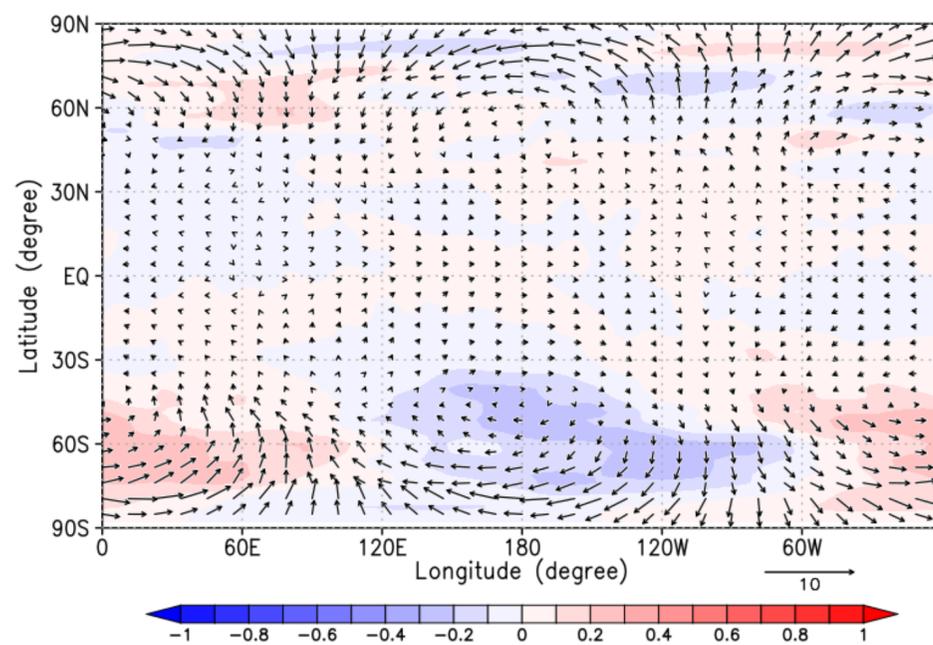
frf



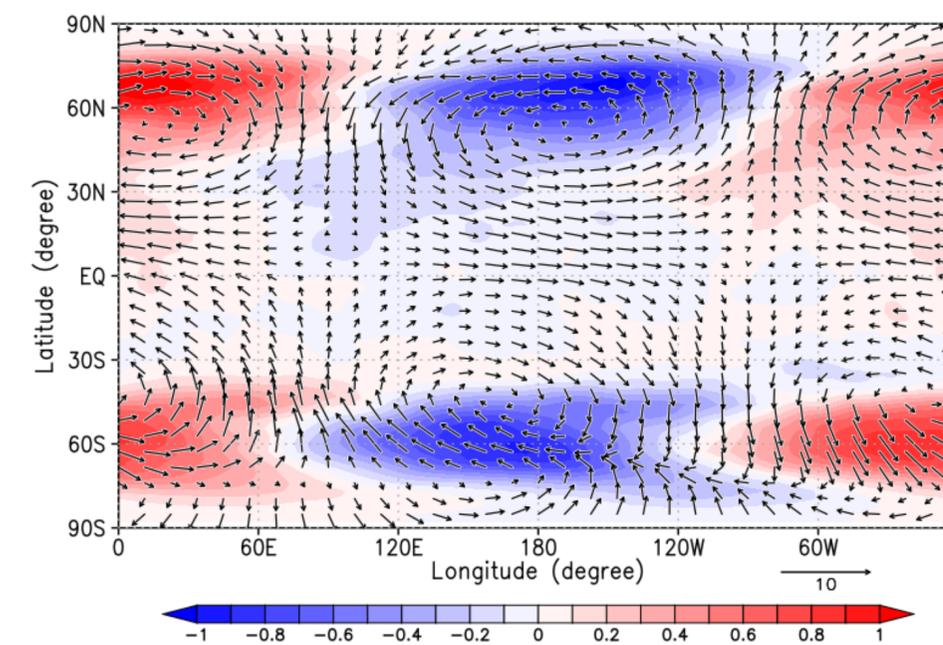
Lexc30



Lexc60



L0090

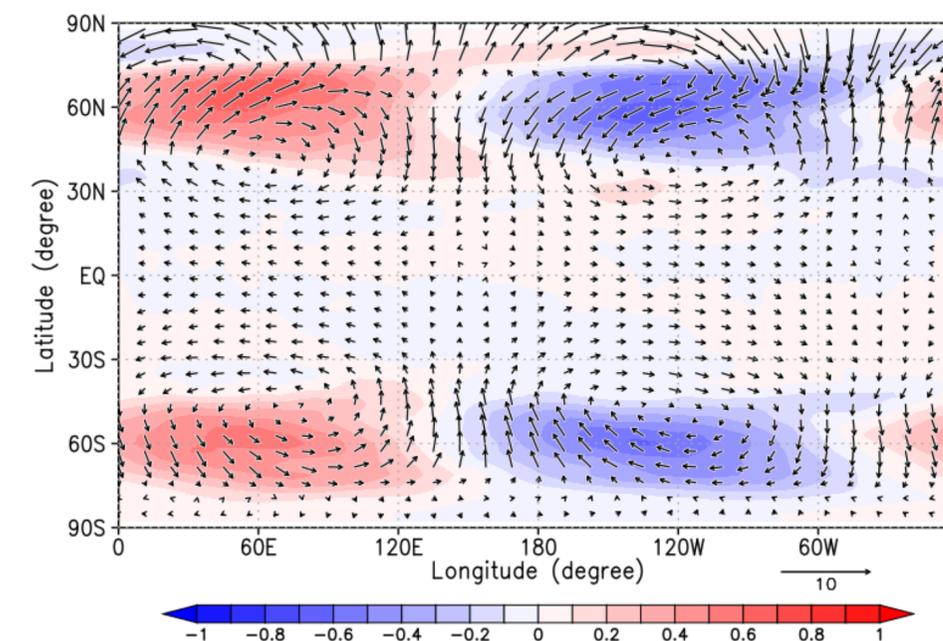


結果

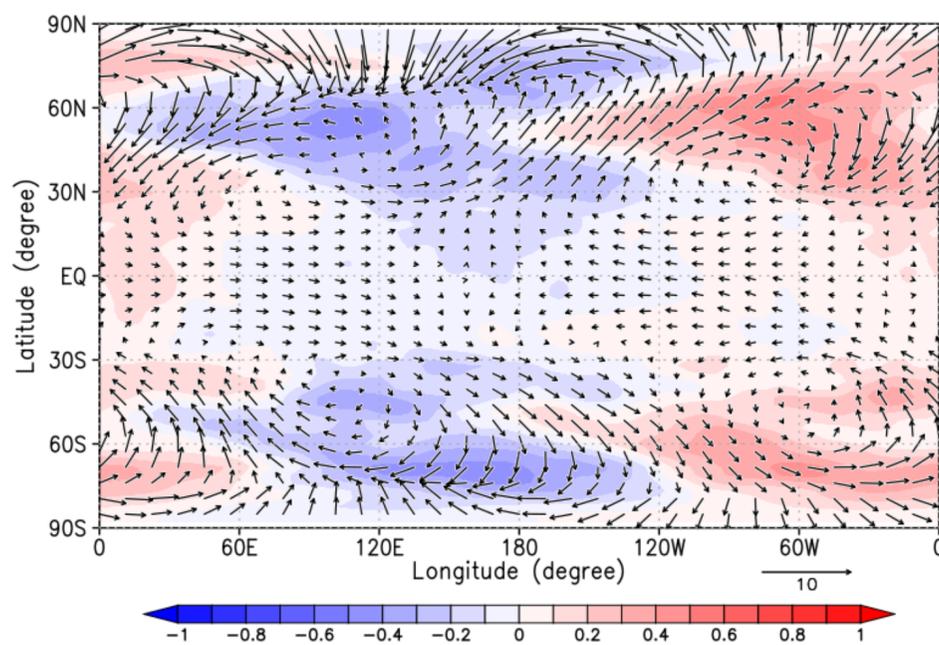
合成図解析 (水平)

- 7日目から42日目まで6日周期で合成図を作成
- 高度 70 km での温度偏差 (色) と水平風偏差 (矢印)
- frf は 40°N・40°S 付近と70°N・70°S 付近に渦構造
- frf からの差

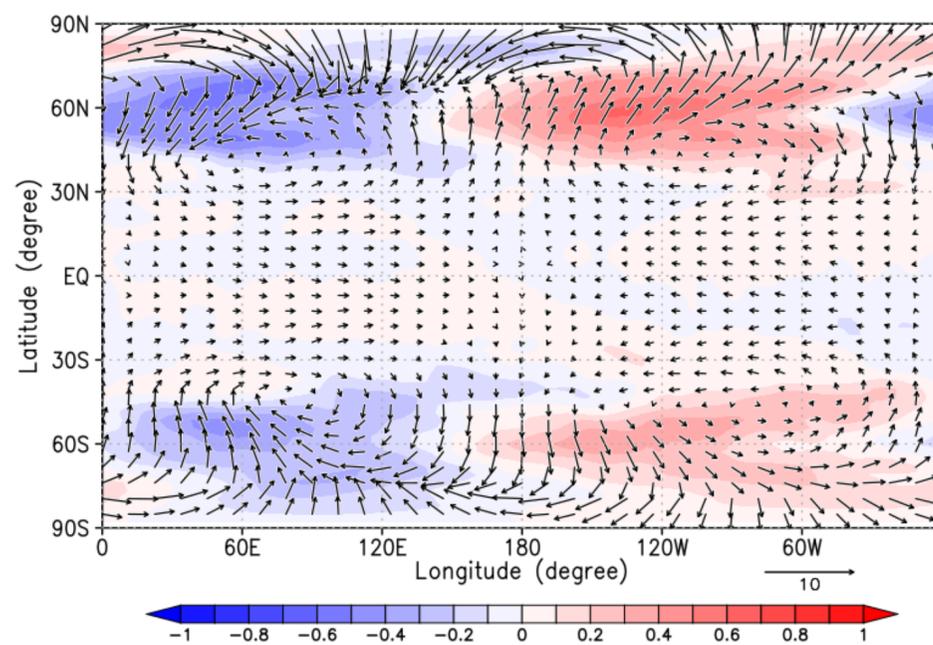
frf



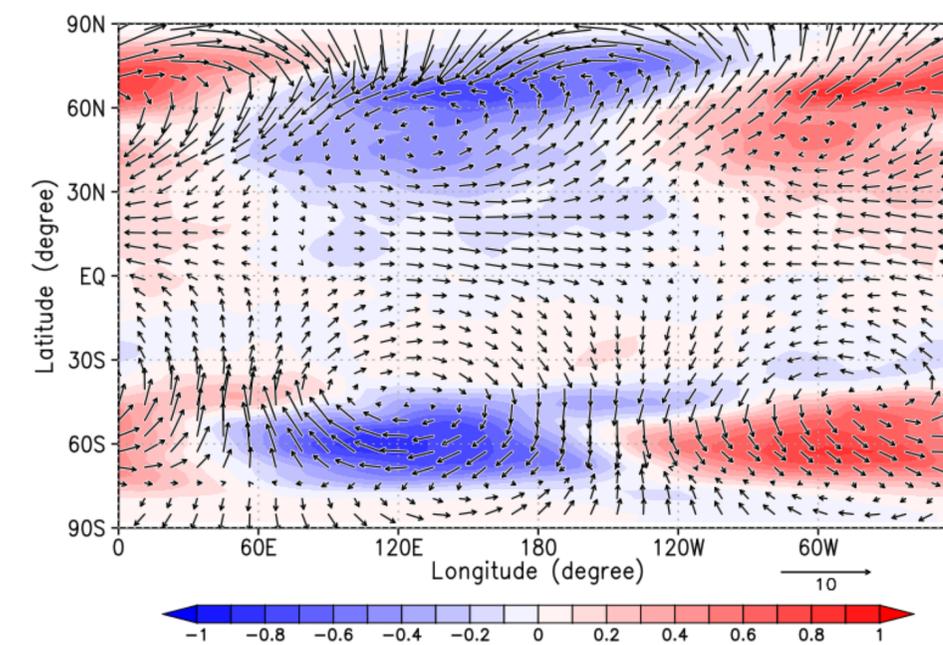
Lexc30 - frf



Lexc60 - frf



L0090 - frf

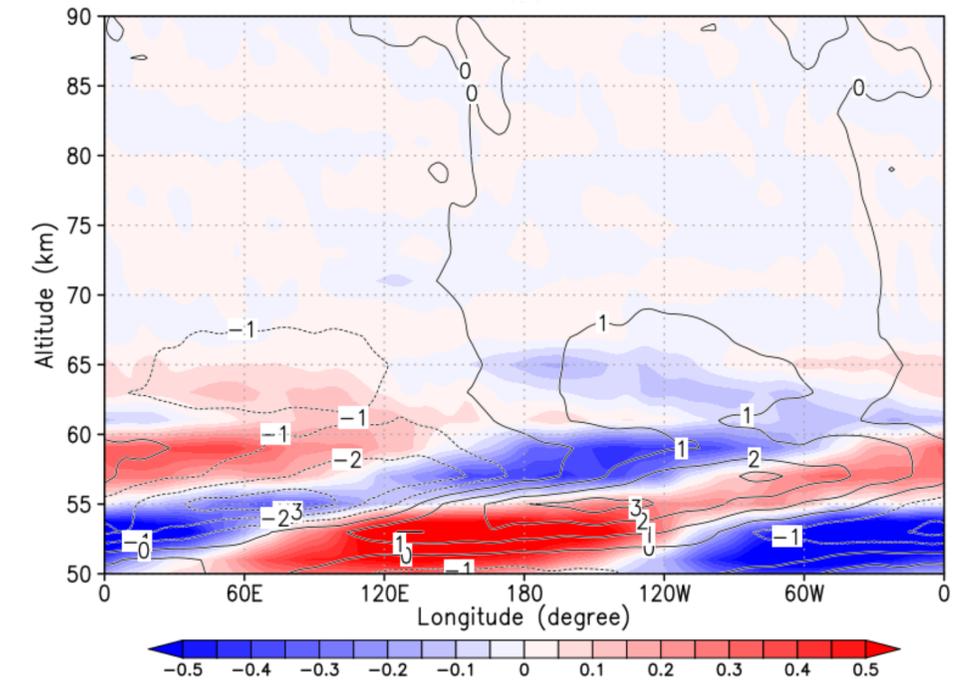


結果

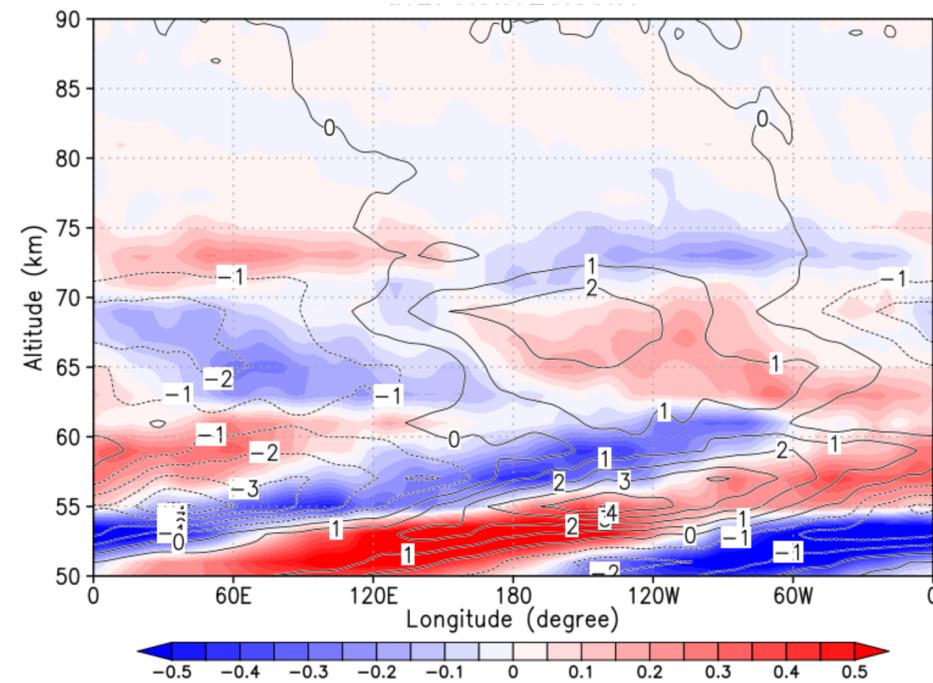
合成図解析 (鉛直)

- 7日目から42日目まで6日周期で合成図を作成
- 赤道での温度偏差 (色) と東西風偏差 (等値線)
- 鉛直方向は $\sqrt{\rho(z)/\rho(70 \text{ km})}$ で規格化

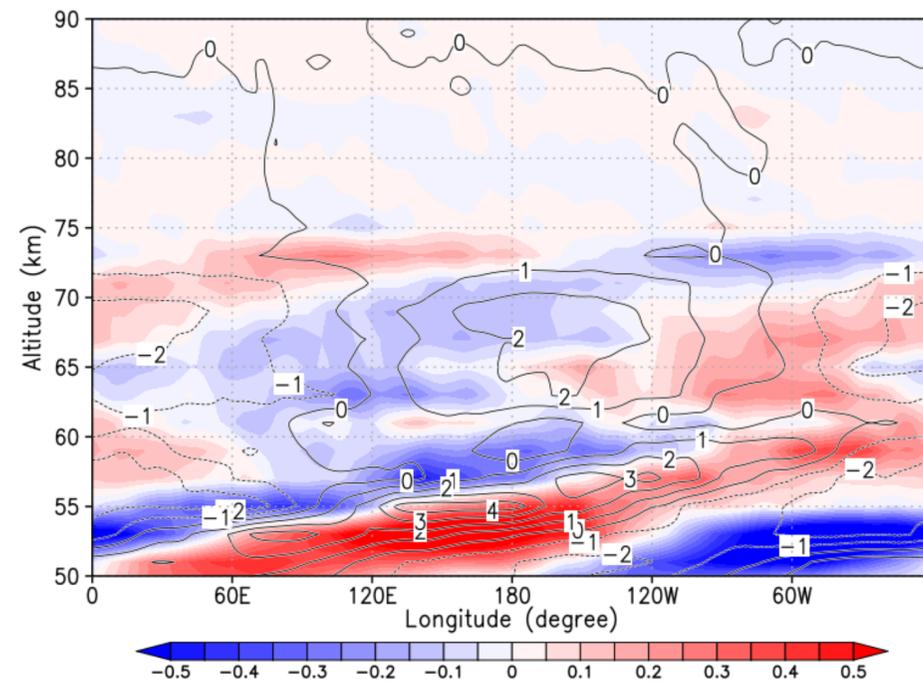
frf



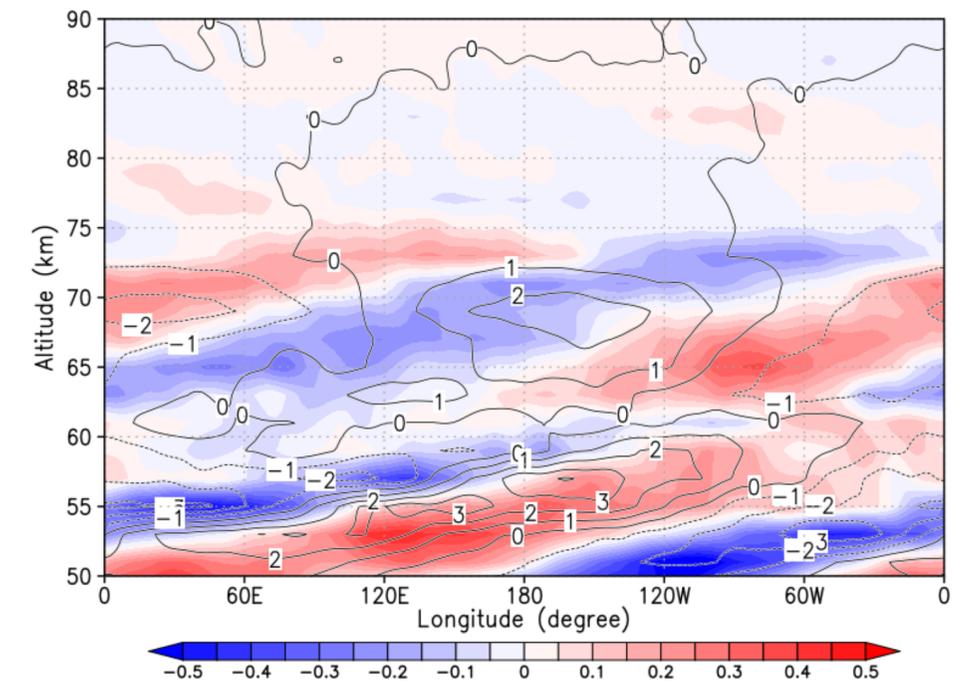
L30



L60



L90

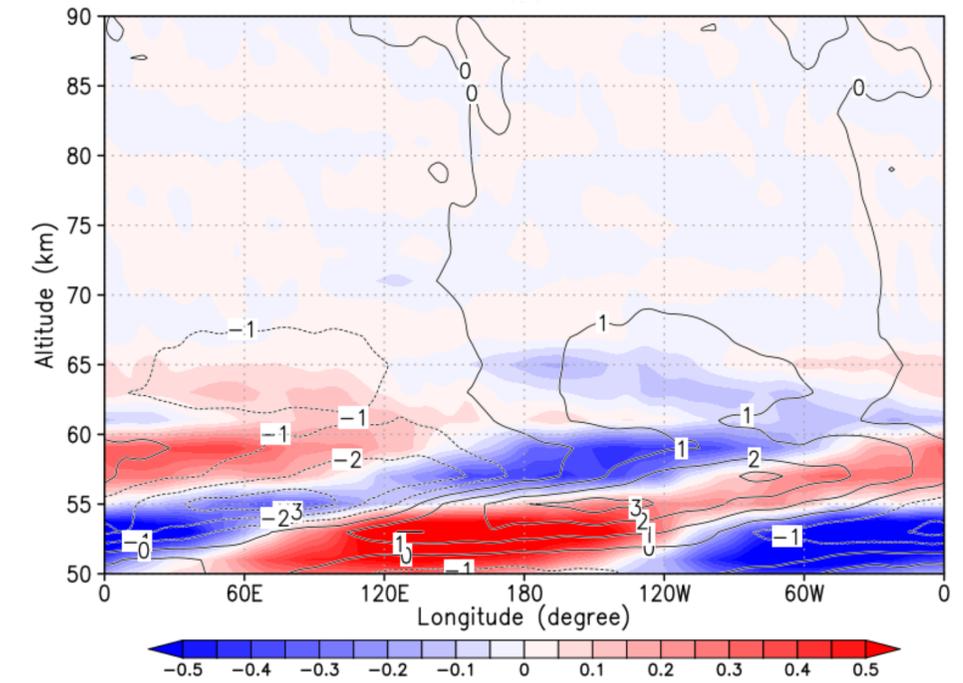


結果

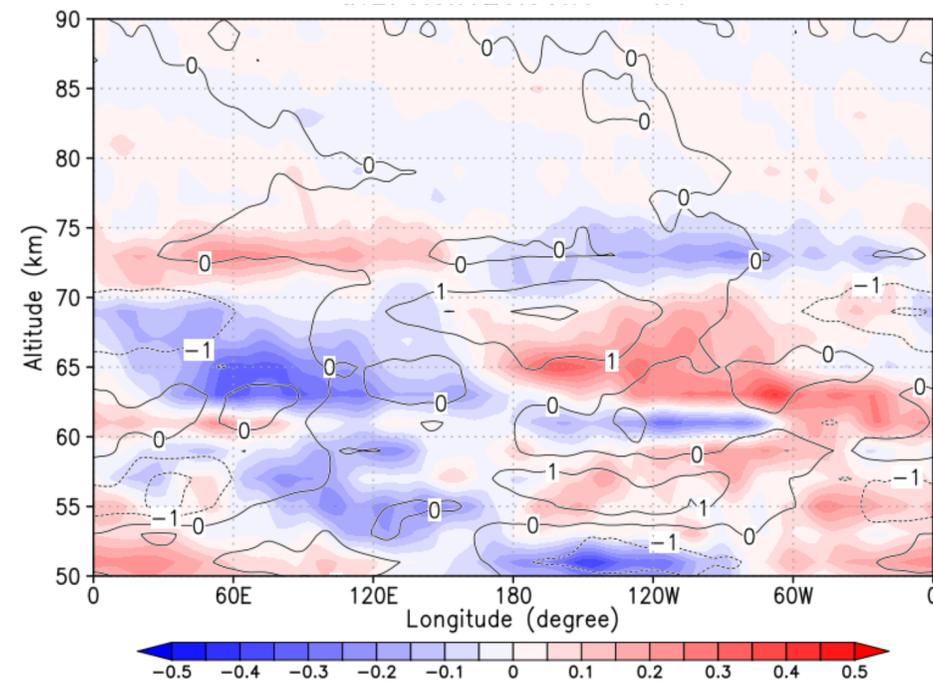
合成図解析 (鉛直)

- 7日目から42日目まで6日周期で合成図を作成
- 赤道での温度偏差 (色) と東西風偏差 (等値線)
- 鉛直方向は $\sqrt{\rho(z)/\rho(70 \text{ km})}$ で規格化
- frf からの差

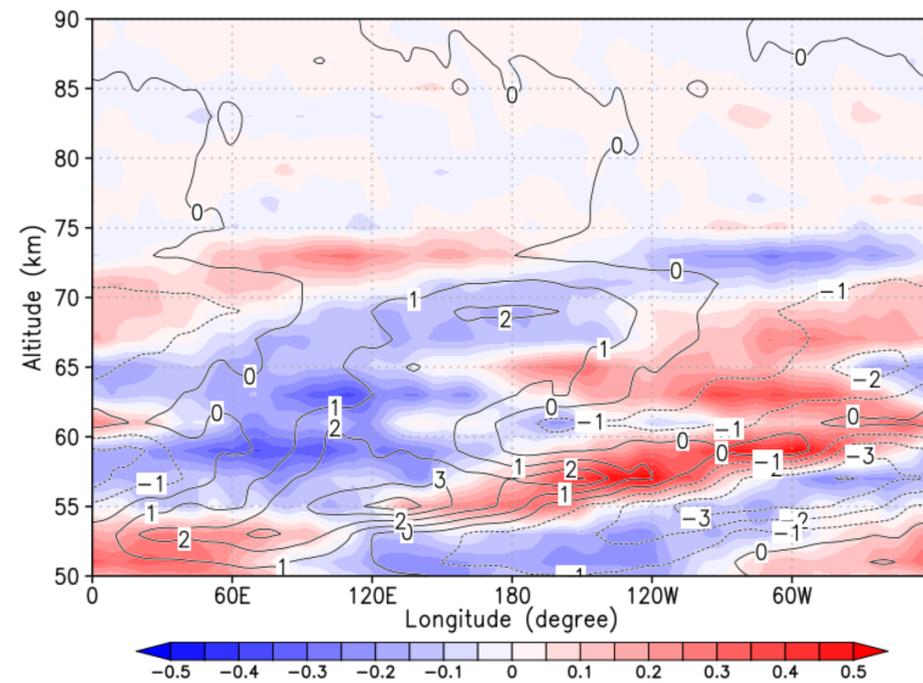
frf



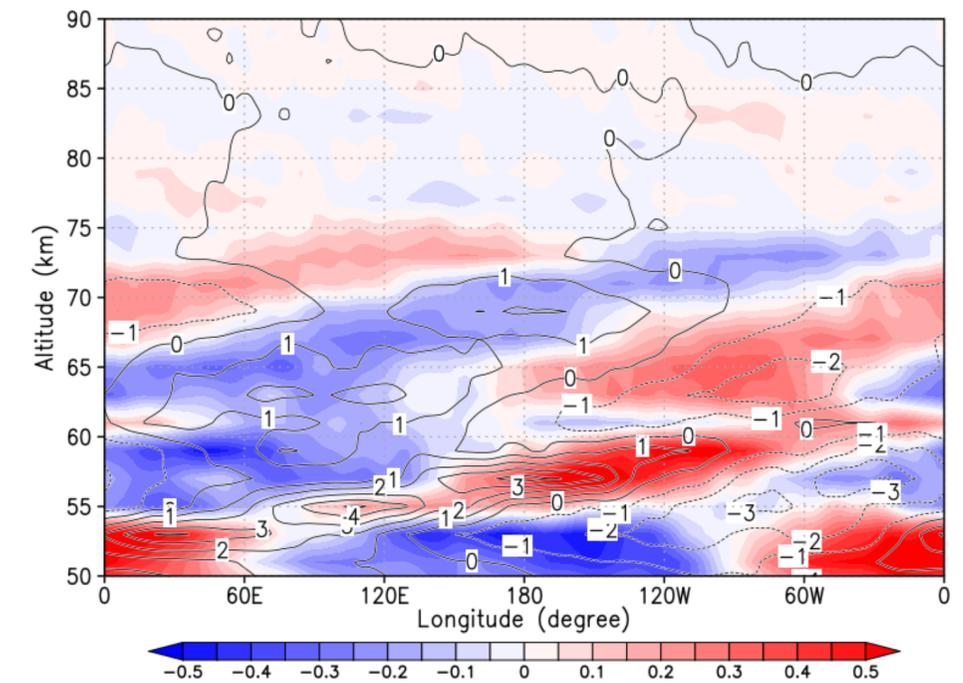
L30 - frf



L60 - frf



L90 - frf

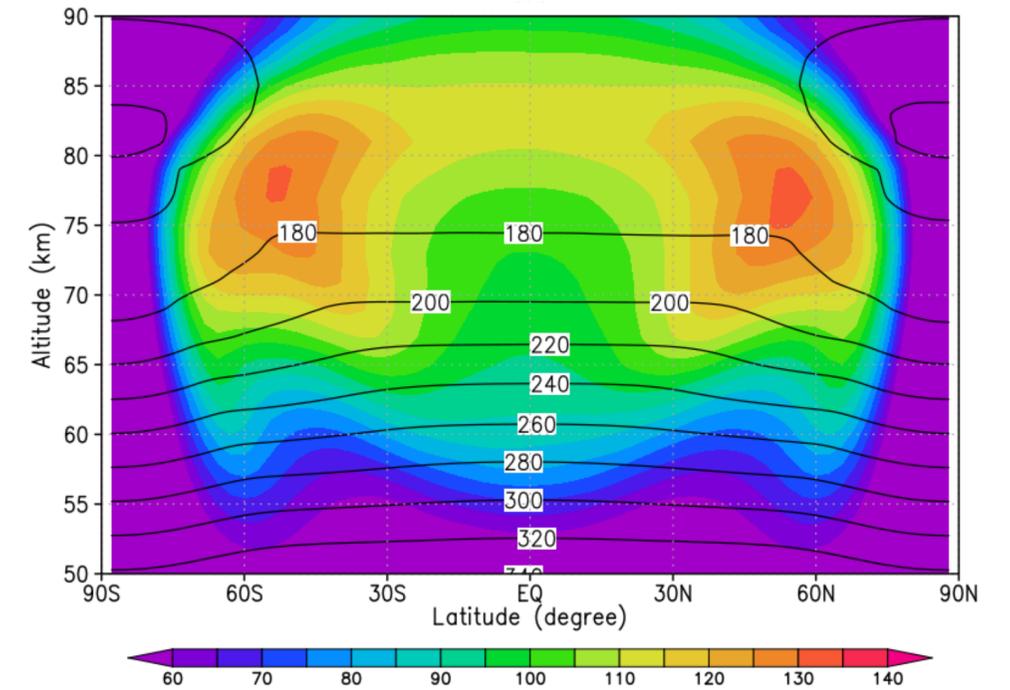


結果

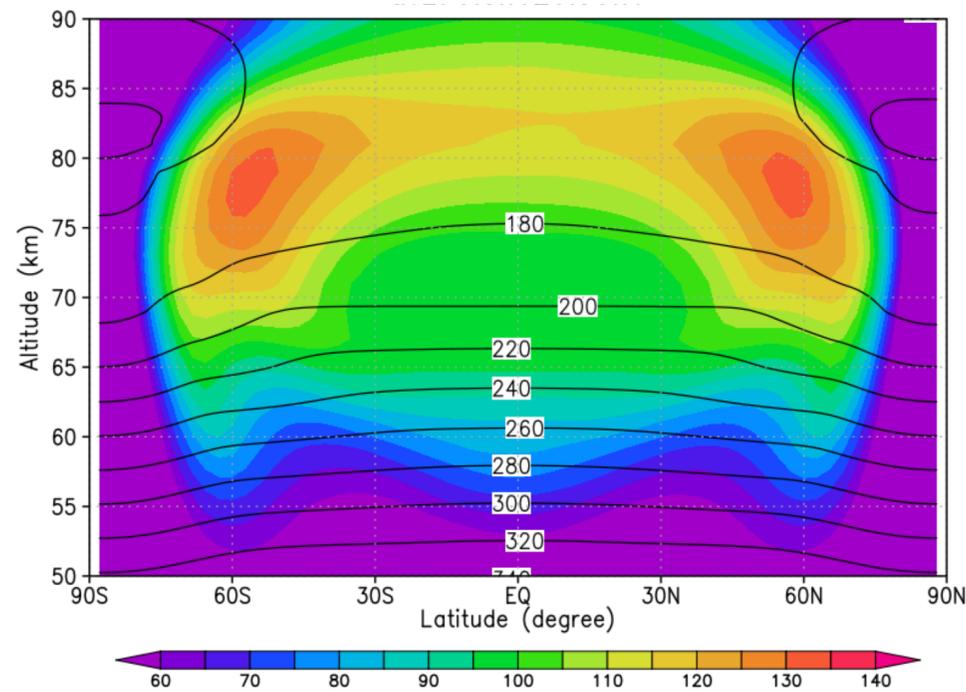
東西平均場への影響

- 7日目から42日目までで時間平均した
東西平均東西風（色）と東西平均温度（等値線）

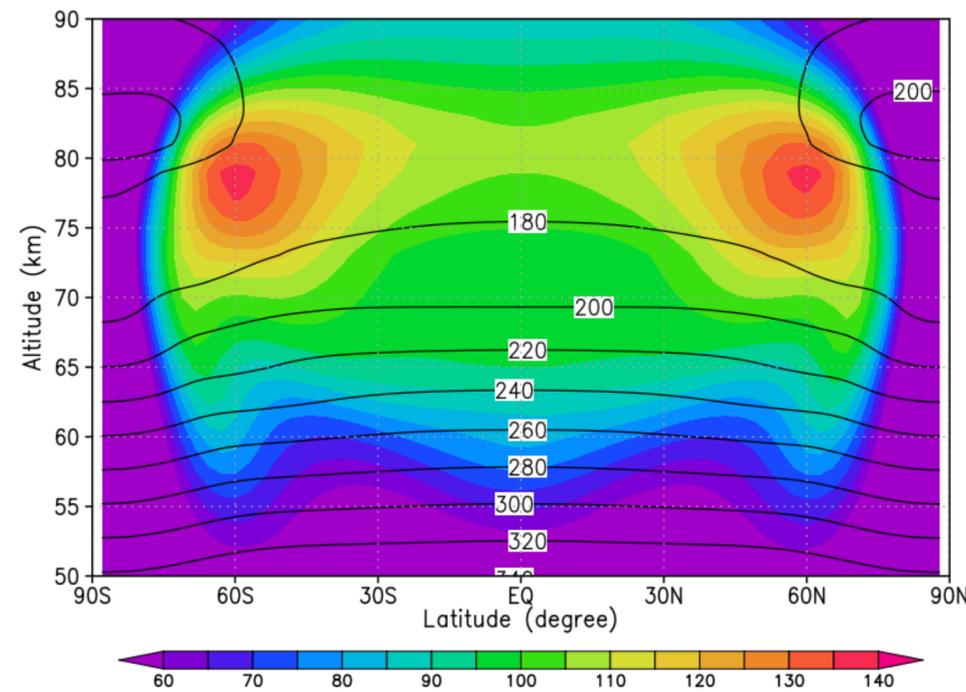
frf



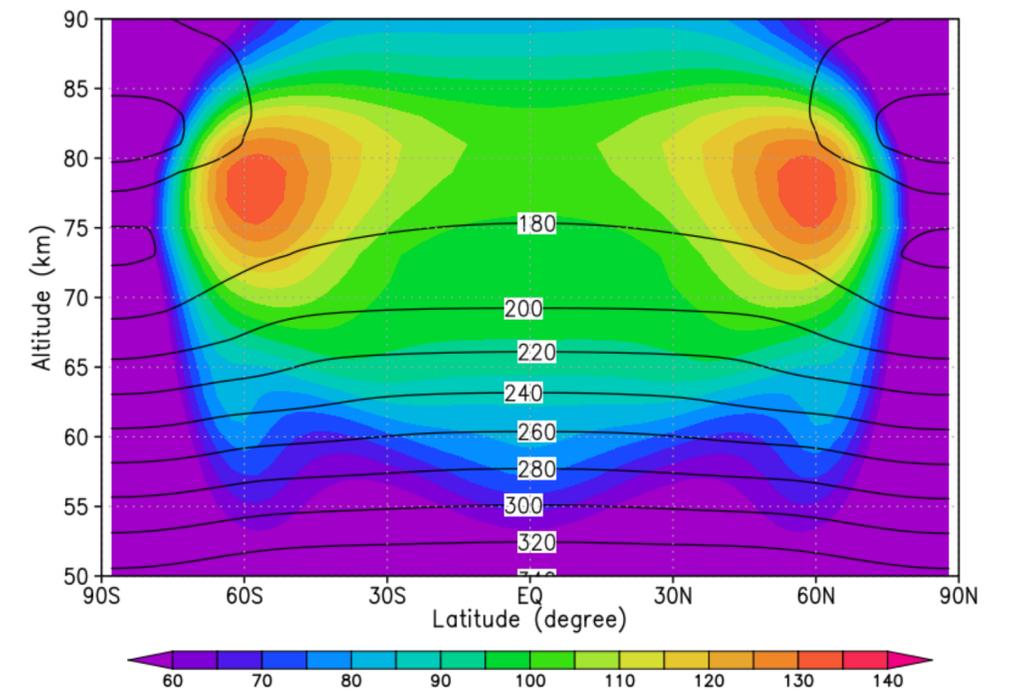
L30



L60



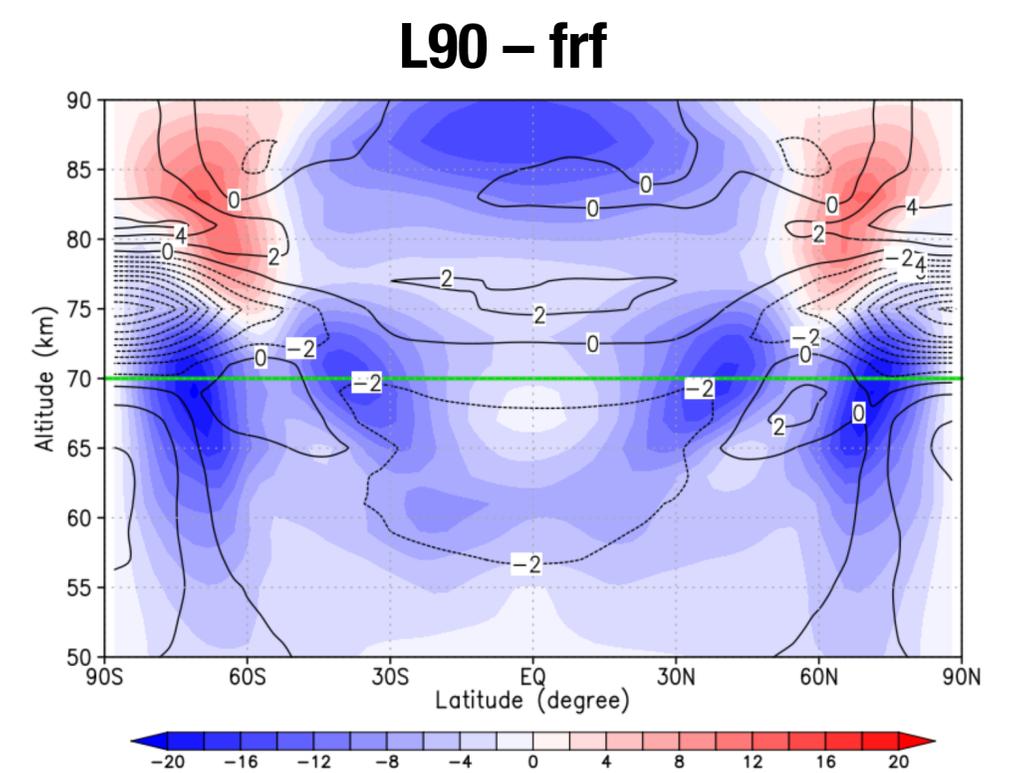
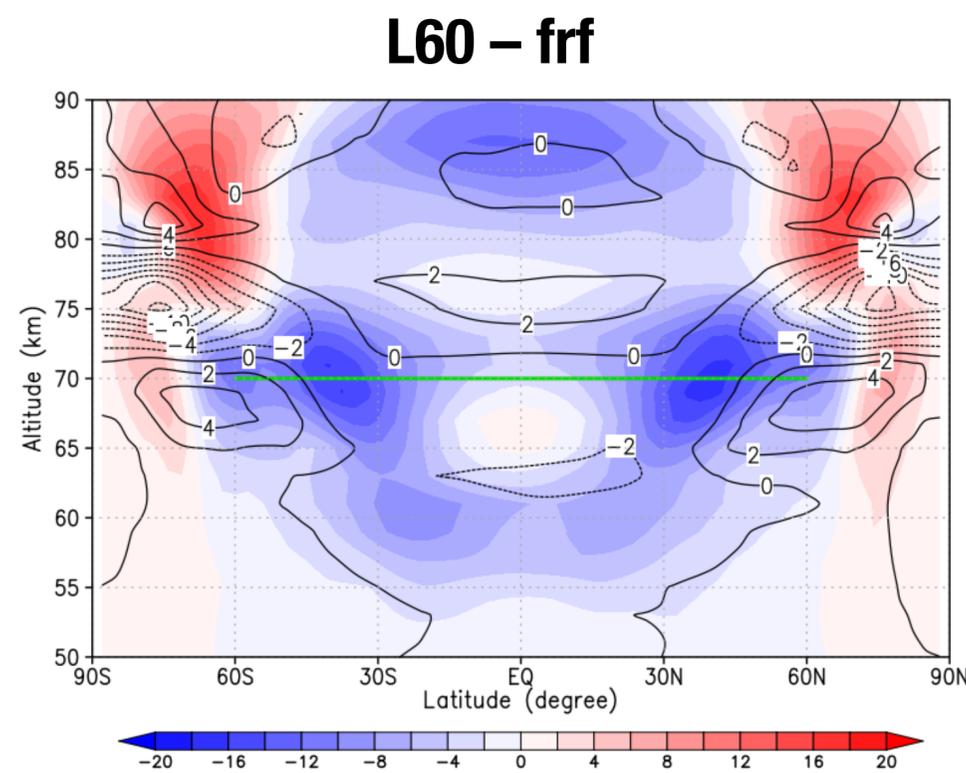
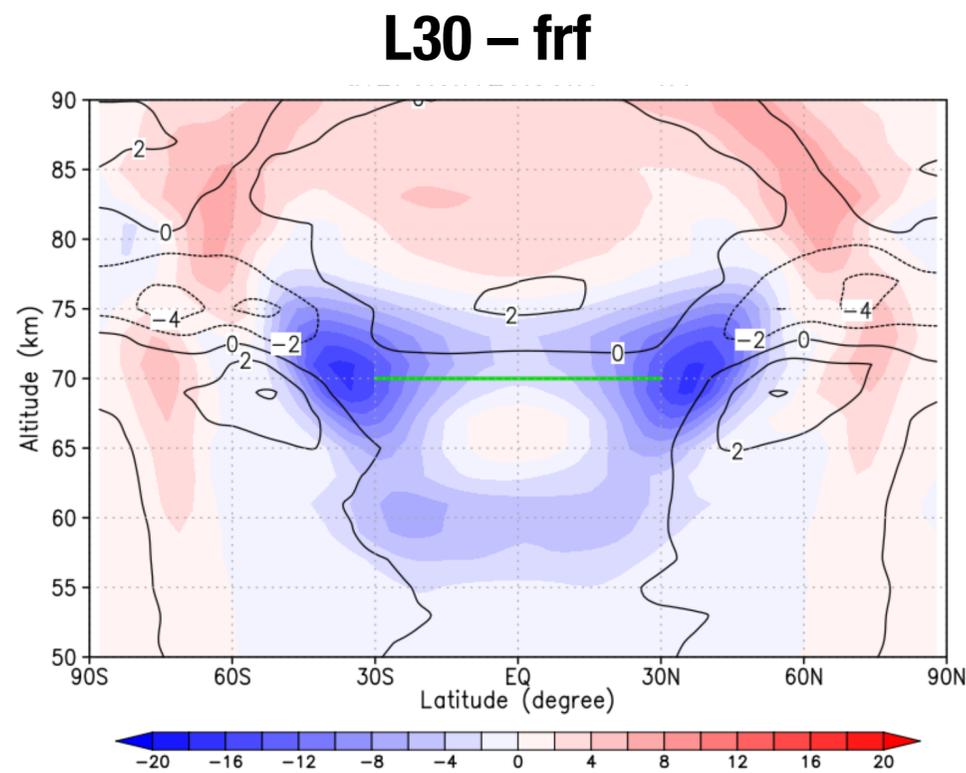
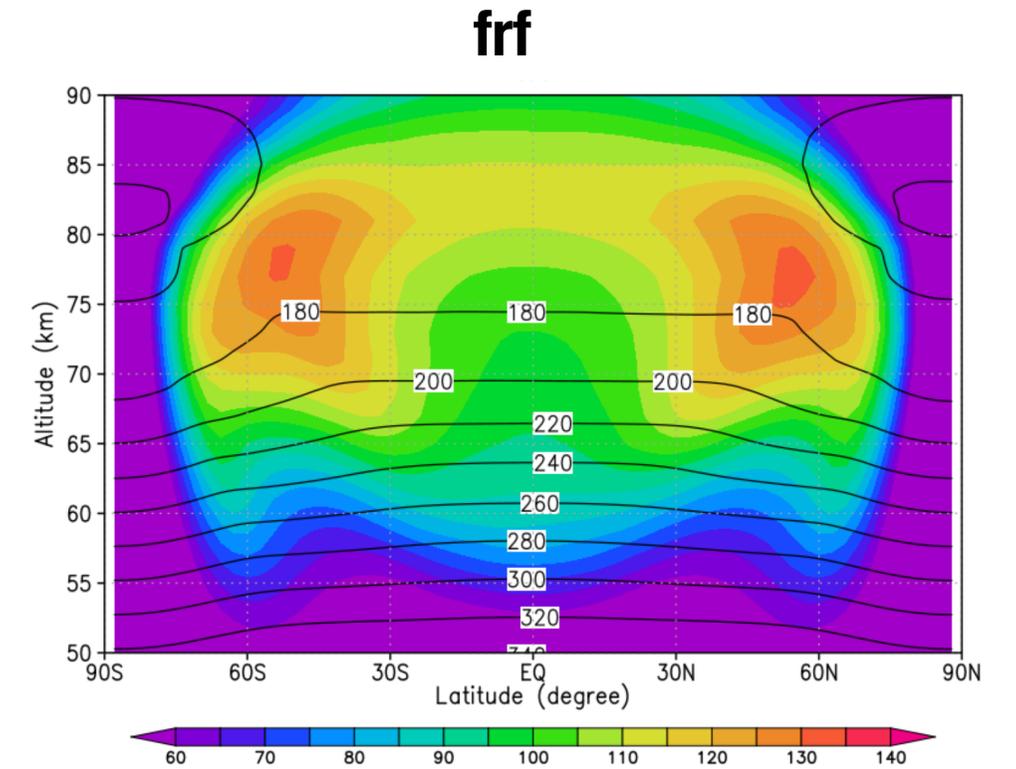
L90



結果

東西平均場への影響

- 7日目から42日目までで時間平均した
東西平均東西風（色）と東西平均温度（等値線）
- frf からの差

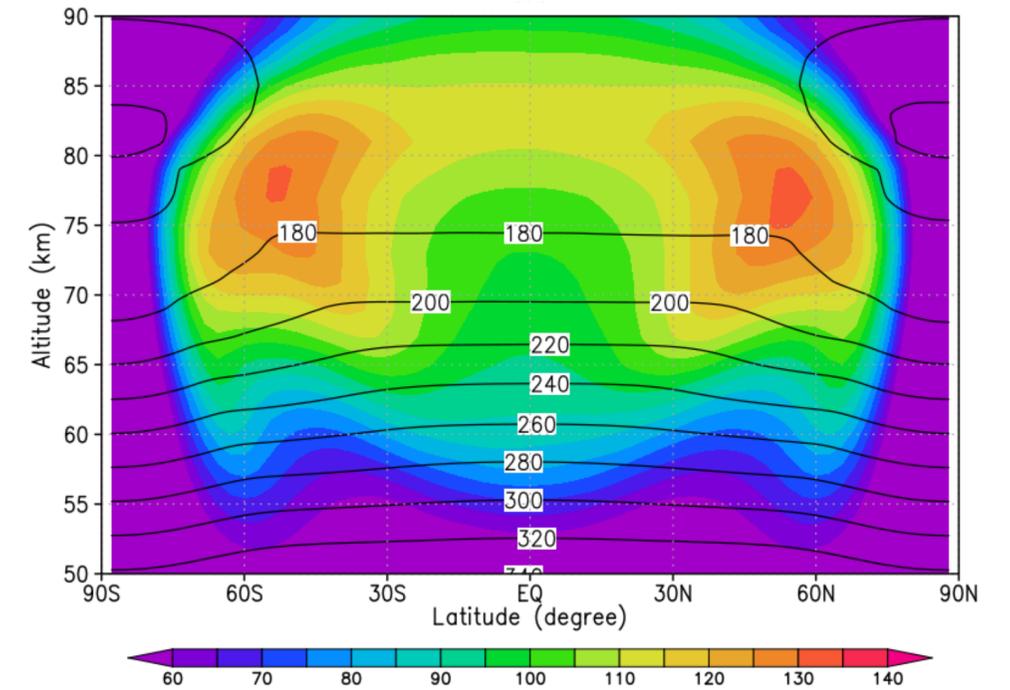


結果

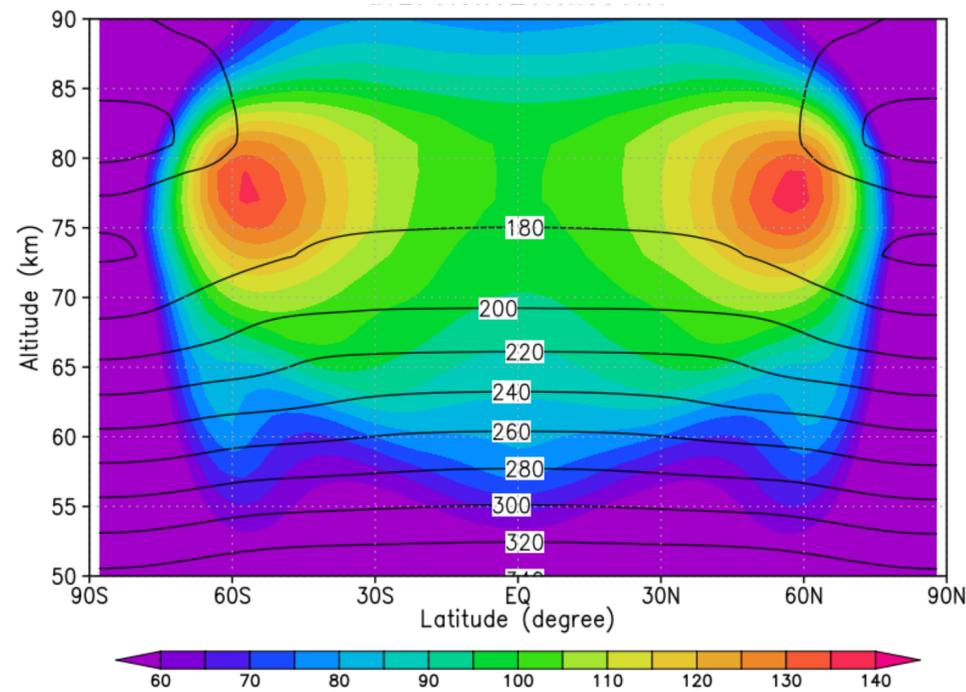
東西平均場への影響

- 7日目から42日目までで時間平均した
東西平均東西風（色）と東西平均温度（等値線）

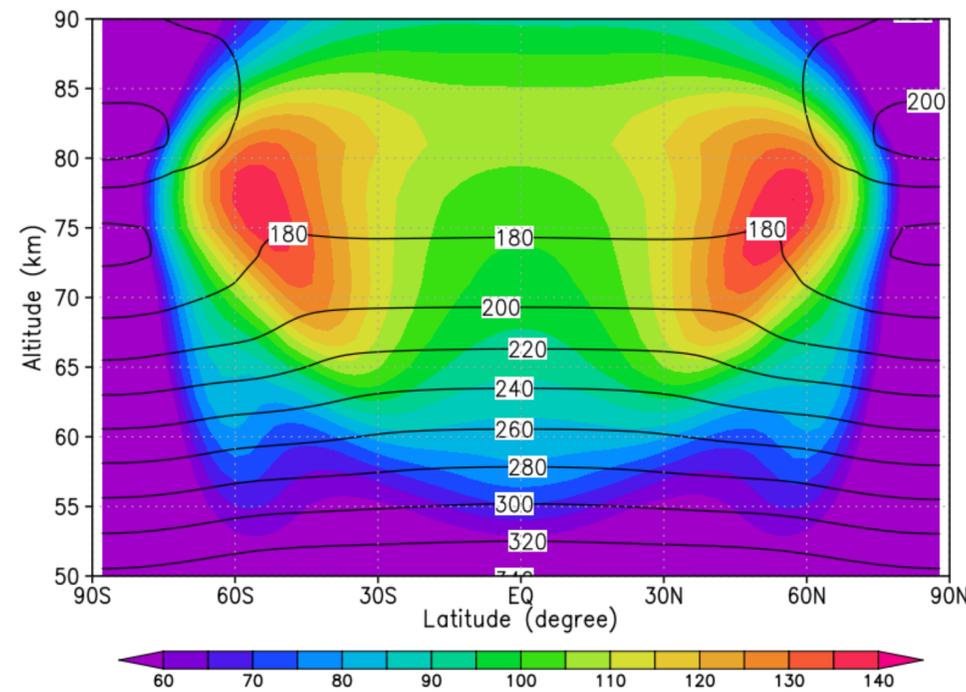
frf



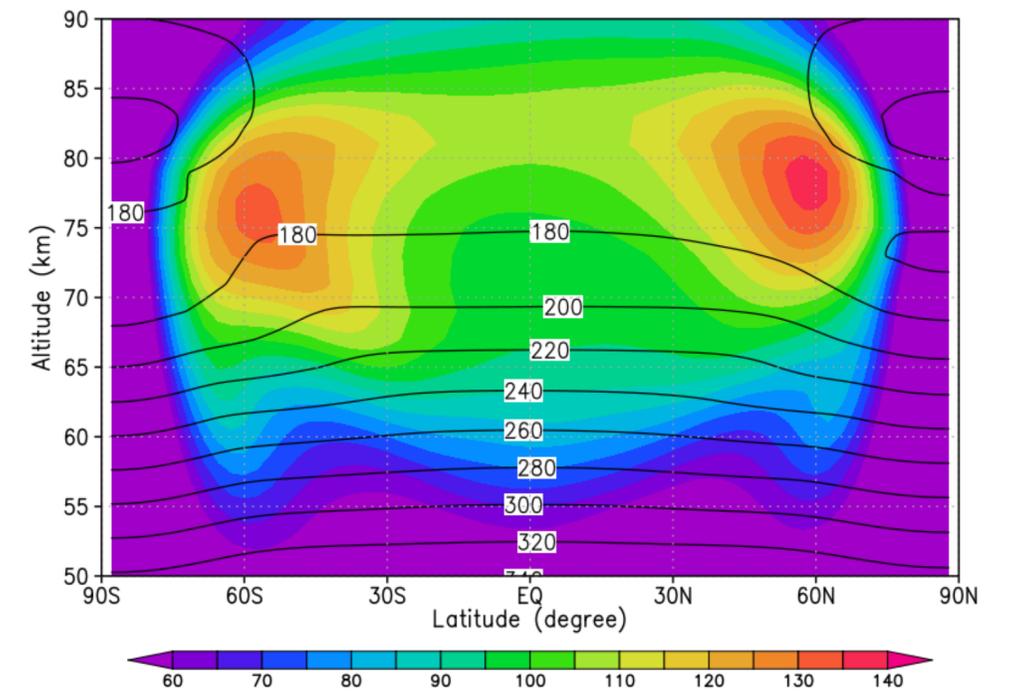
Lexc30



Lexc60



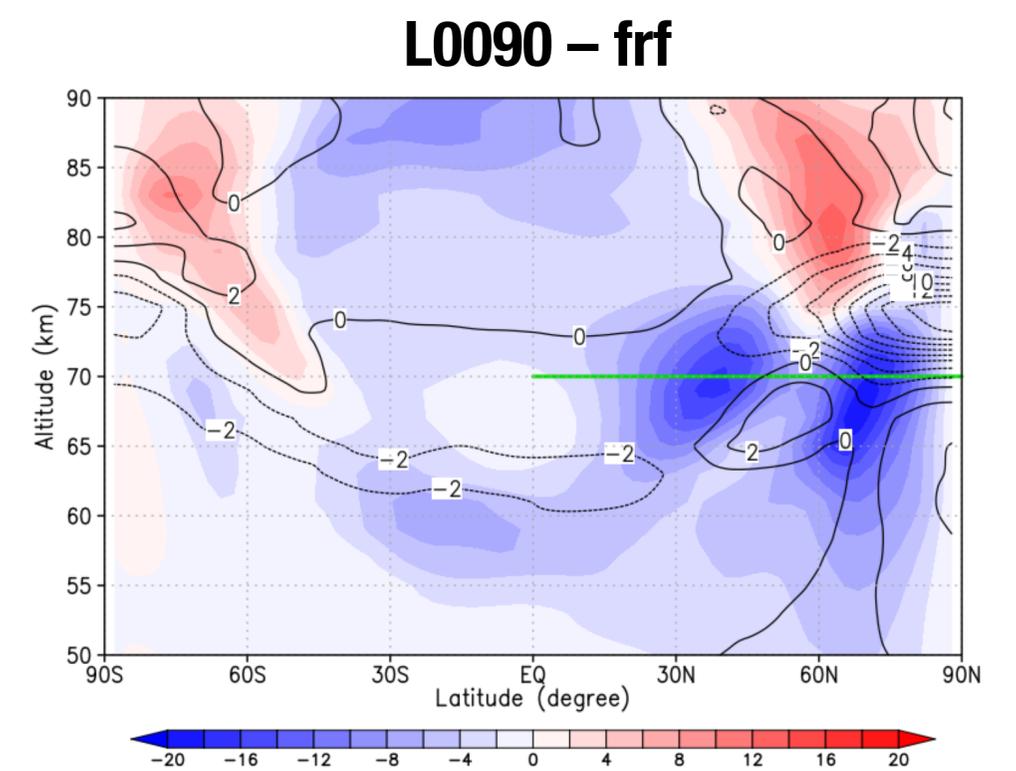
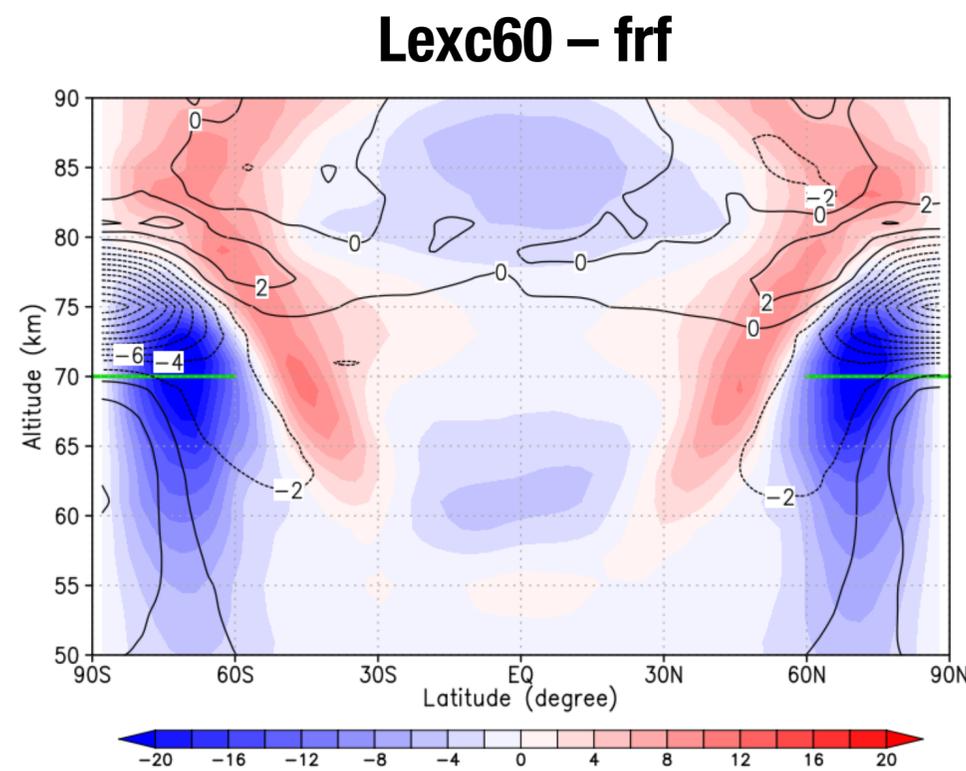
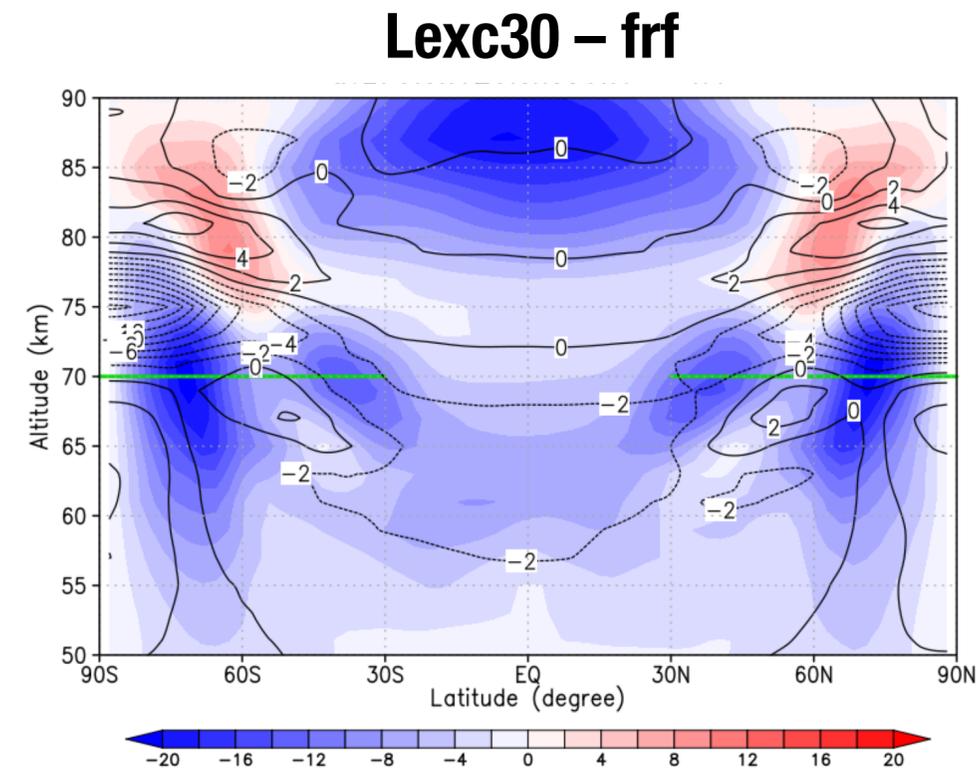
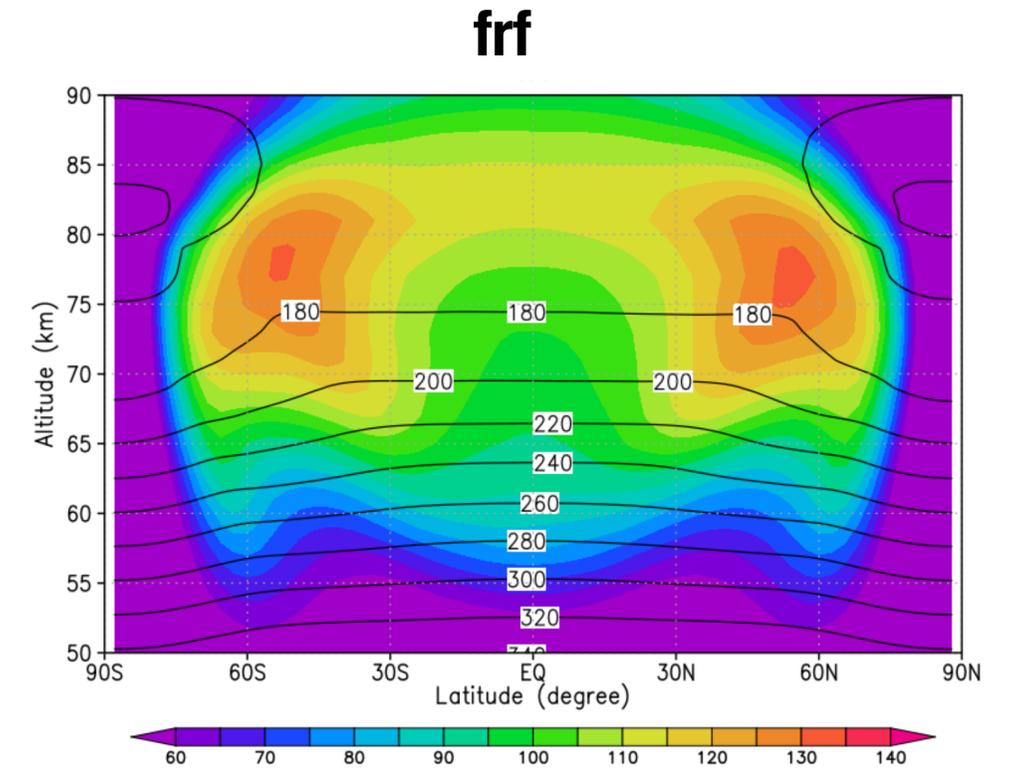
L0090



結果

東西平均場への影響

- 7日目から42日目までで時間平均した
東西平均東西風（色）と東西平均温度（等値線）
- frf からの差

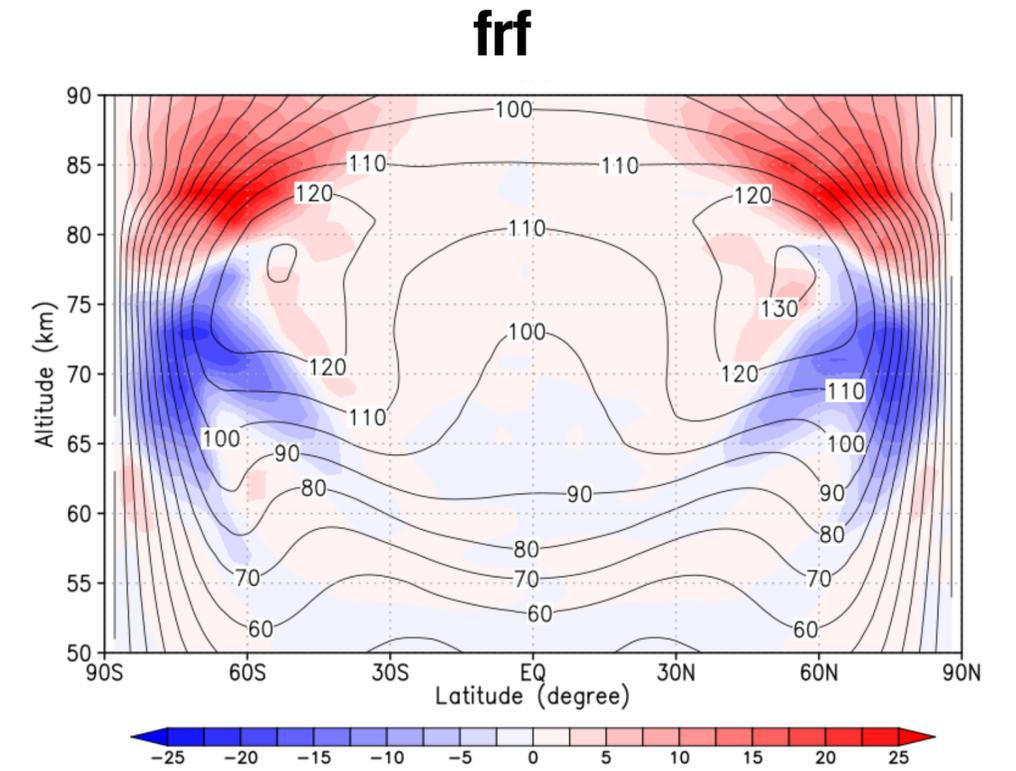


結果

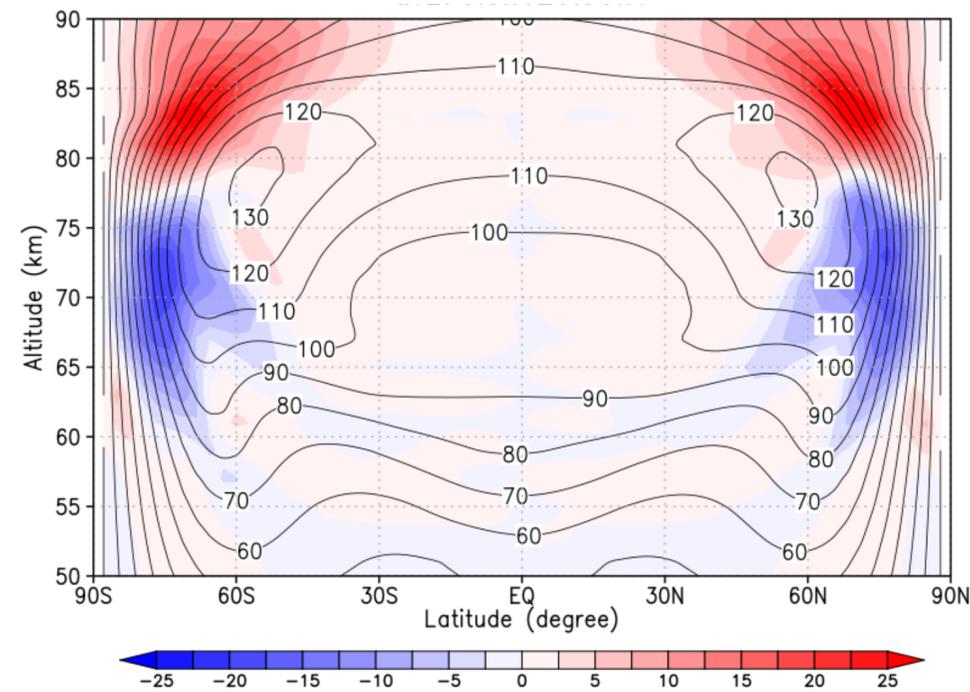
東西平均東西風への影響

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = - \frac{\bar{v}^*}{a \cos \phi} \frac{\partial(\bar{u} \cos \phi)}{\partial \phi} - \bar{w}^* \frac{\partial \bar{u}}{\partial z^*} + f \bar{v}^* + \bar{X} + \frac{1}{\rho_0 a \cos \phi} \nabla \cdot \mathbf{F}$$

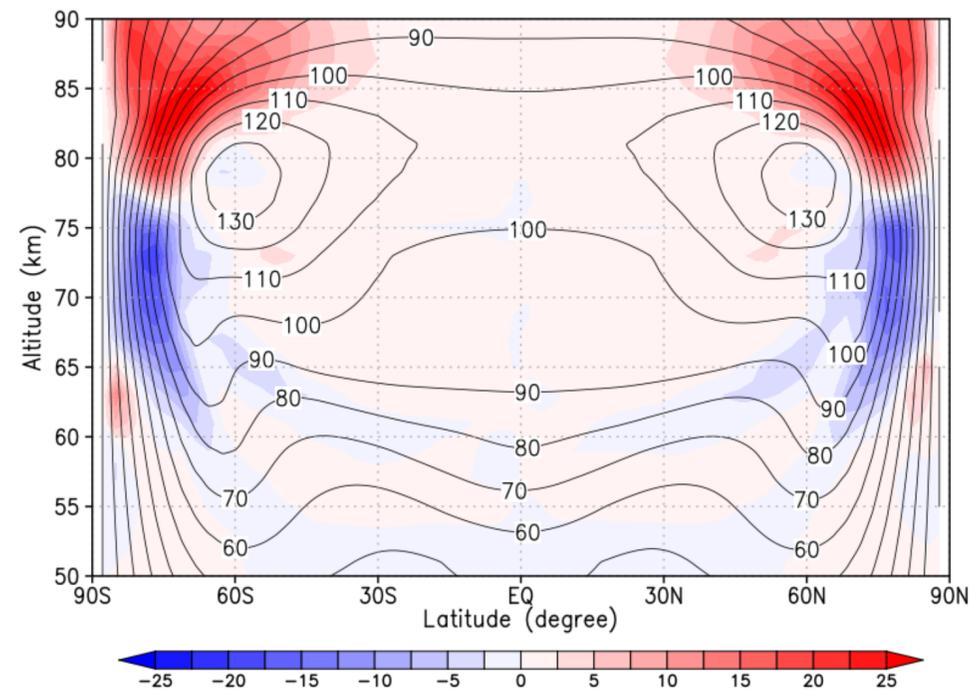
◎ 7日目から42日目までで時間平均した南北移流項 (色)



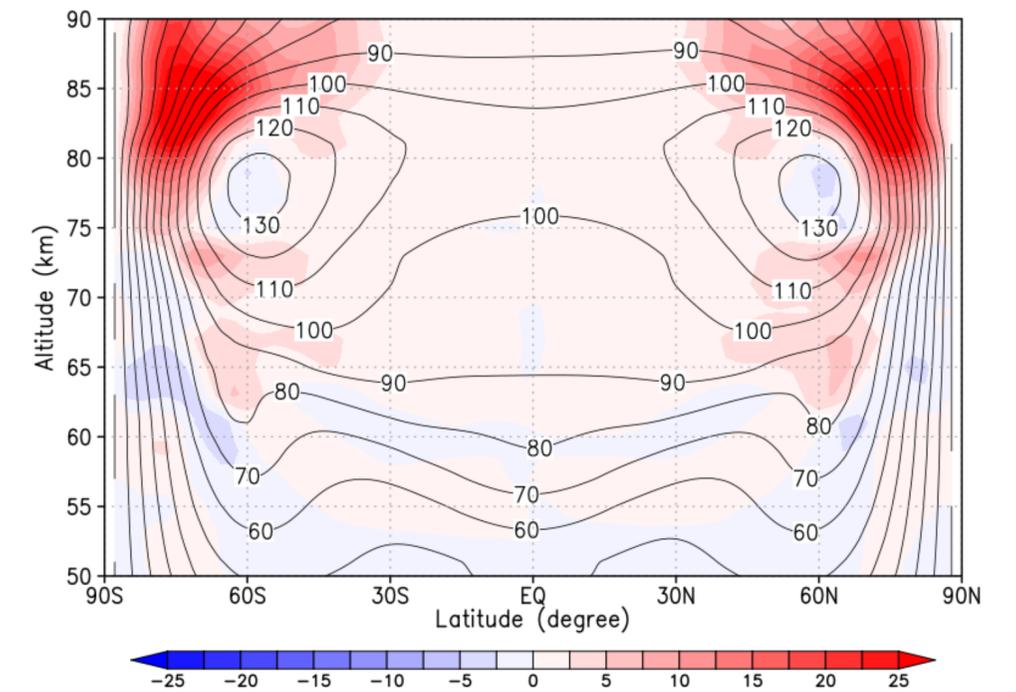
L30



L60



L90



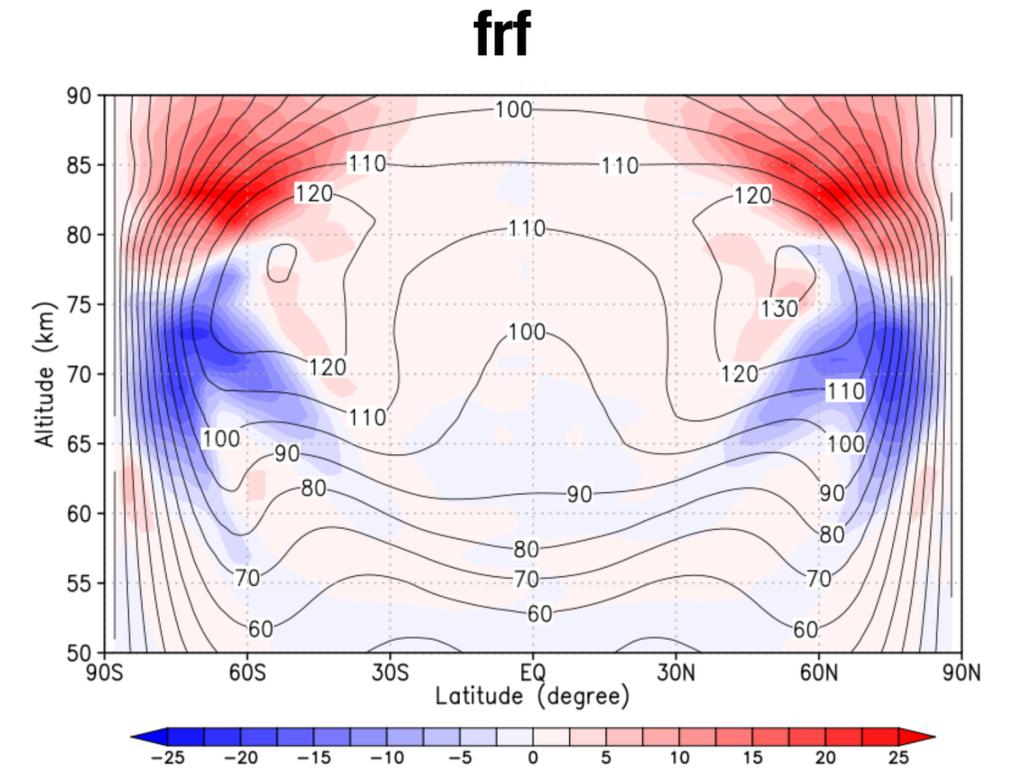
結果

東西平均東西風への影響

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = \underbrace{-\frac{\bar{v}^*}{a \cos \phi} \frac{\partial(\bar{u} \cos \phi)}{\partial \phi}}_{\text{南北移流項}} - \bar{w}^* \frac{\partial \bar{u}}{\partial z^*} + f \bar{v}^* + \bar{X} + \frac{1}{\rho_0 a \cos \phi} \nabla \cdot \mathbf{F}$$

● 7日目から42日目までで時間平均した南北移流項 (色)

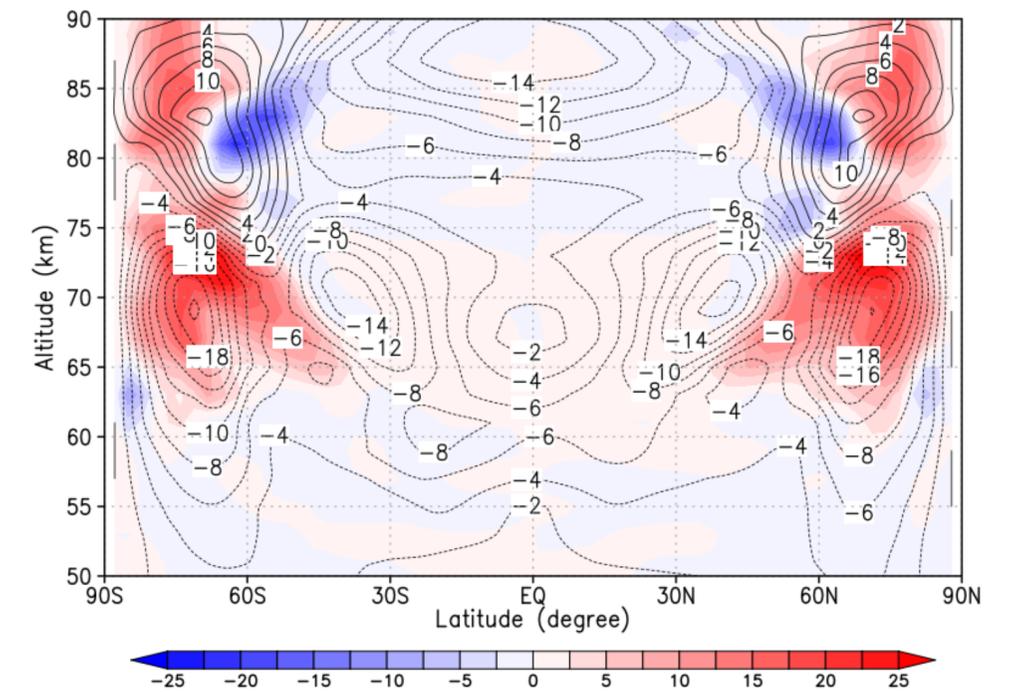
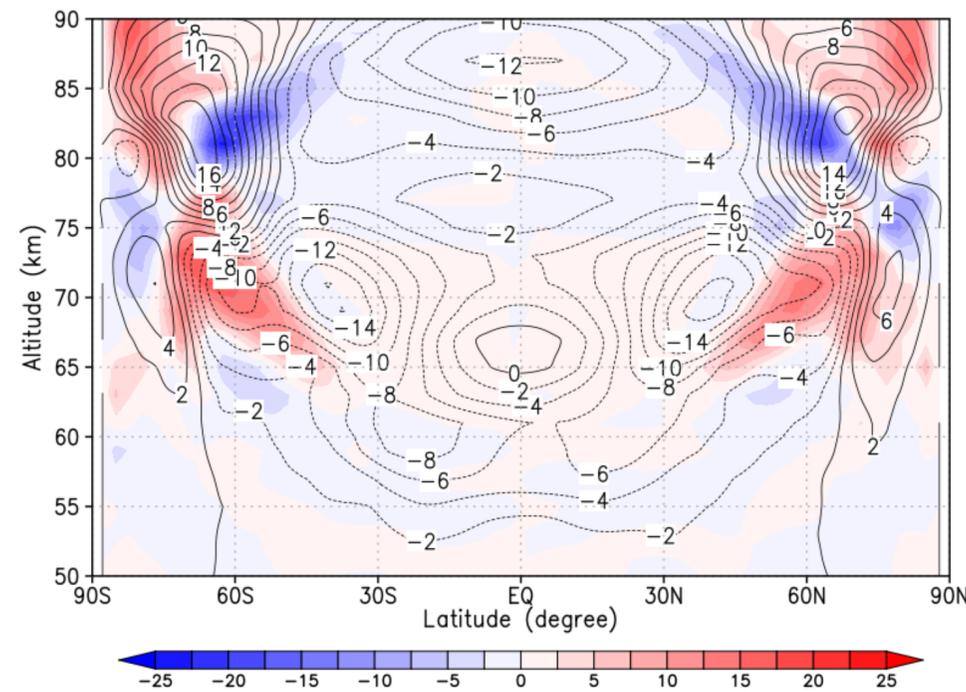
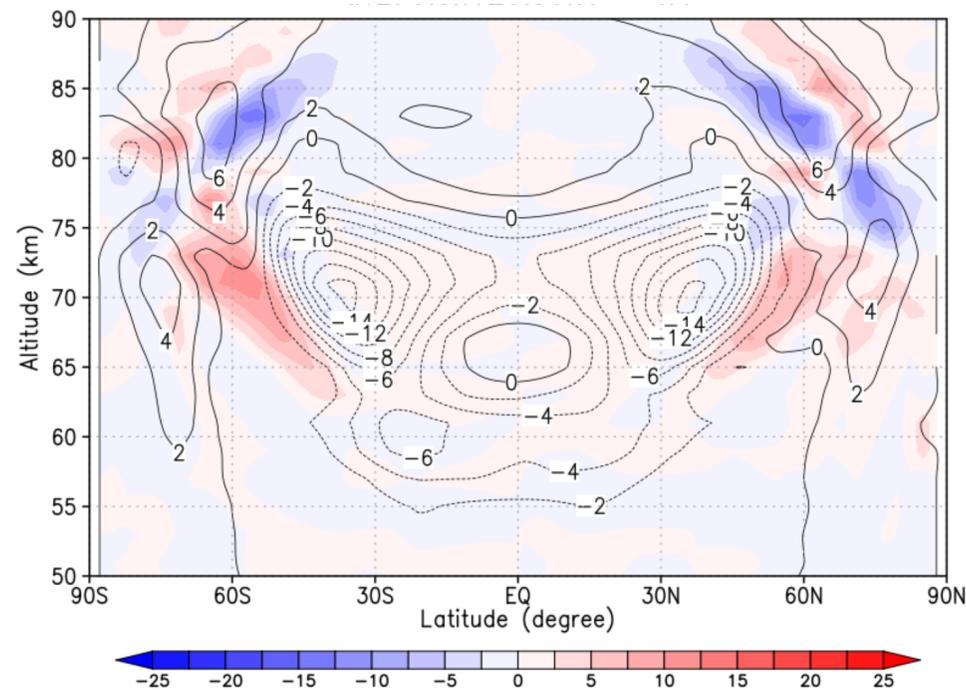
● frf からの差



L30 - frf

L60 - frf

L90 - frf

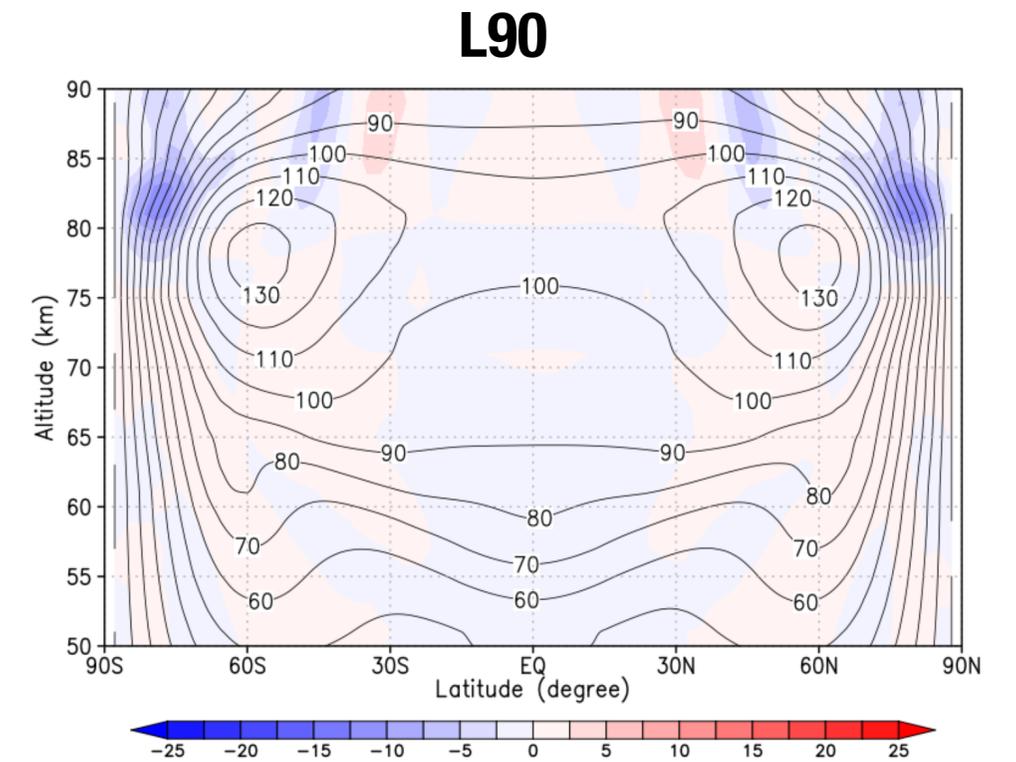
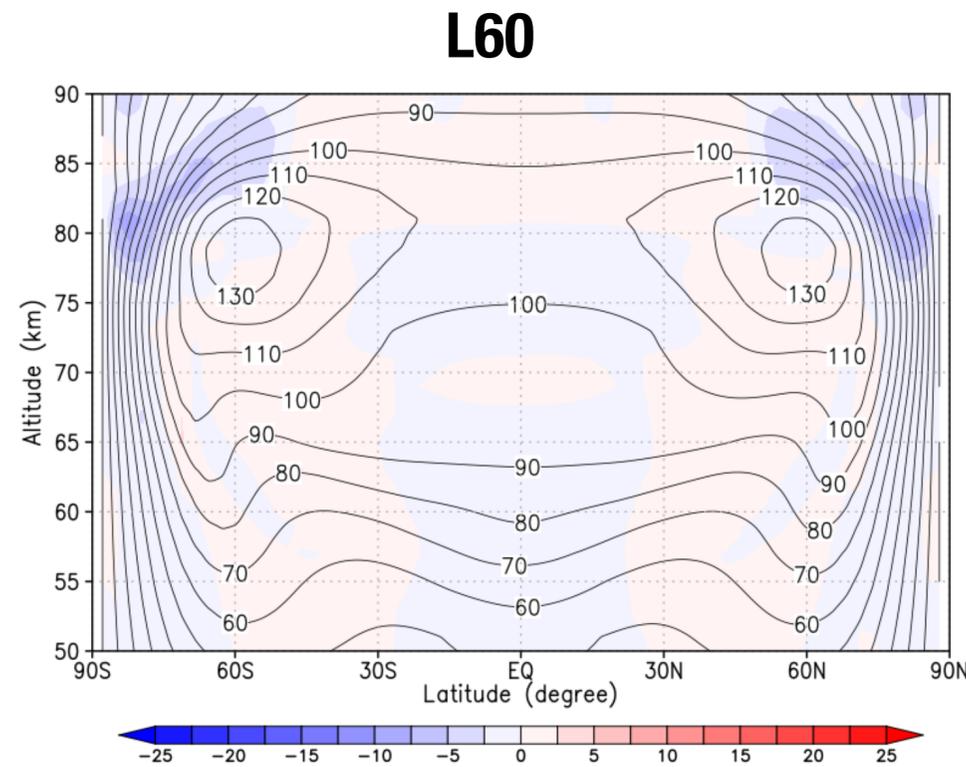
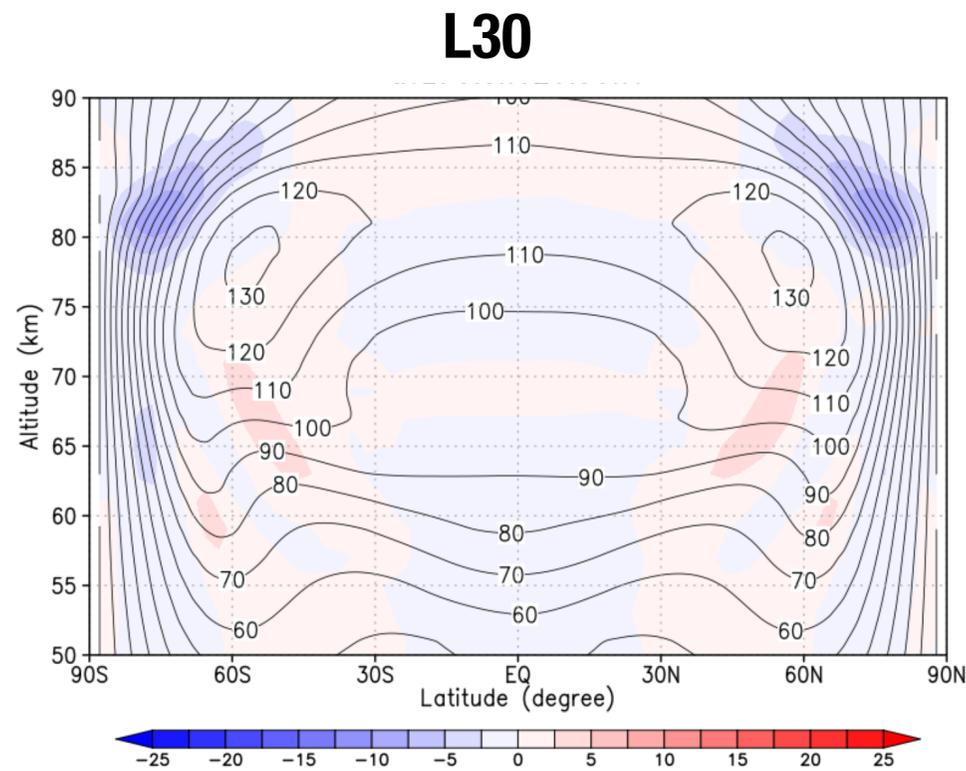
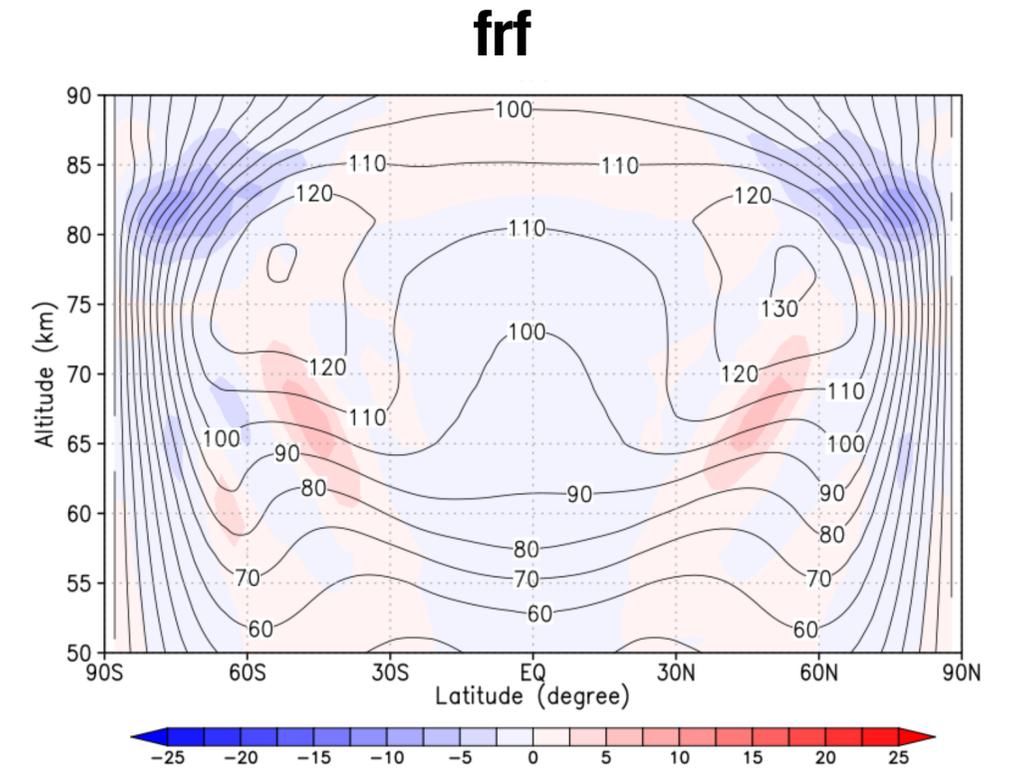


結果

東西平均東西風への影響

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\frac{\bar{v}^*}{a \cos \phi} \frac{\partial(\bar{u} \cos \phi)}{\partial \phi} - \bar{w}^* \frac{\partial \bar{u}}{\partial z^*} + f \bar{v}^* + \bar{X} + \frac{1}{\rho_0 a \cos \phi} \nabla \cdot \mathbf{F}$$

◎ 7日目から42日目までで時間平均した鉛直移流項 (色)

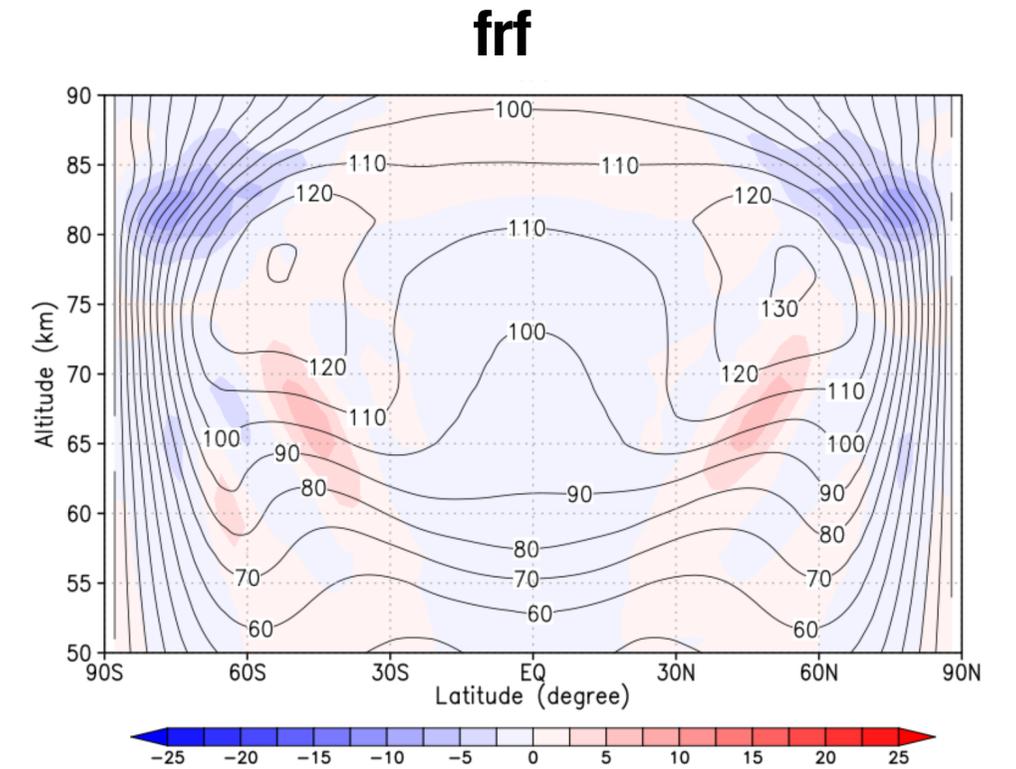


結果

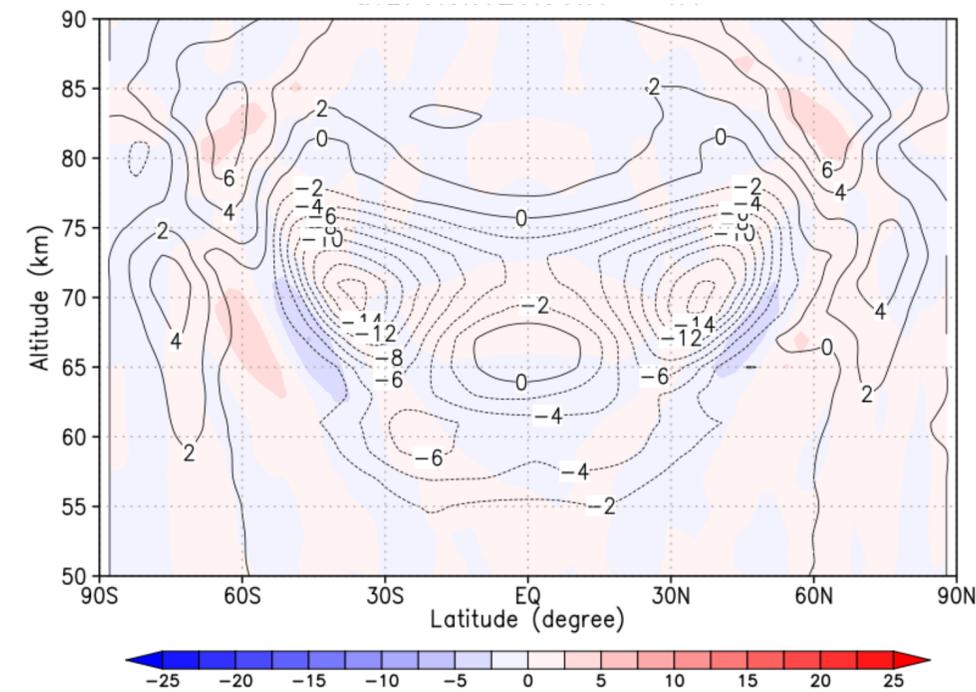
東西平均東西風への影響

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\frac{\bar{v}^*}{a \cos \phi} \frac{\partial(\bar{u} \cos \phi)}{\partial \phi} - \bar{w}^* \frac{\partial \bar{u}}{\partial z^*} + f \bar{v}^* + \bar{X} + \frac{1}{\rho_0 a \cos \phi} \nabla \cdot \mathbf{F}$$

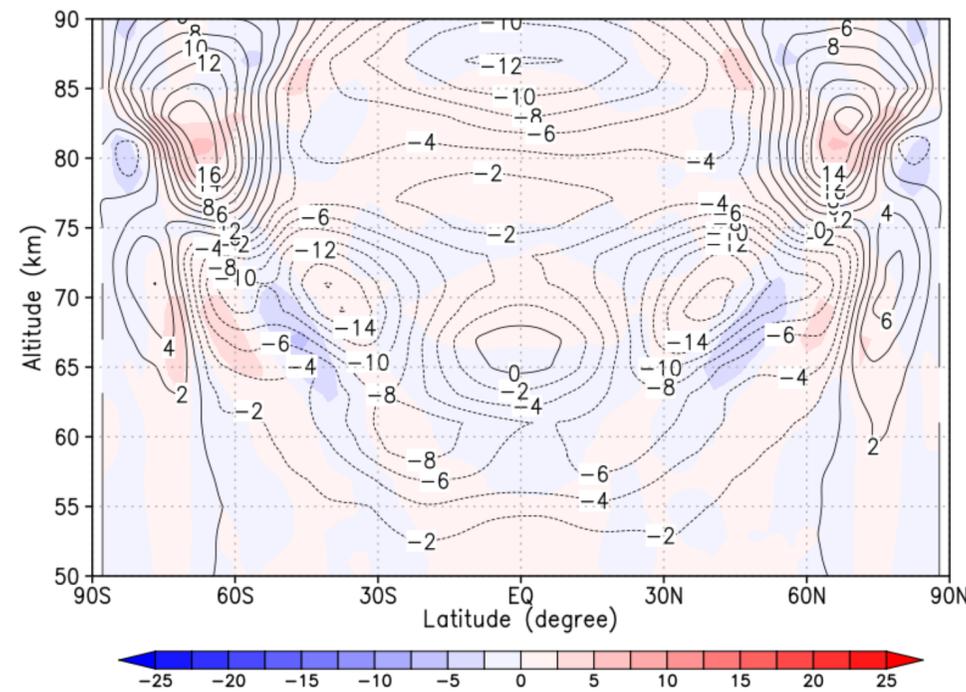
- 7日目から42日目までで時間平均した鉛直移流項 (色)
- frf からの差



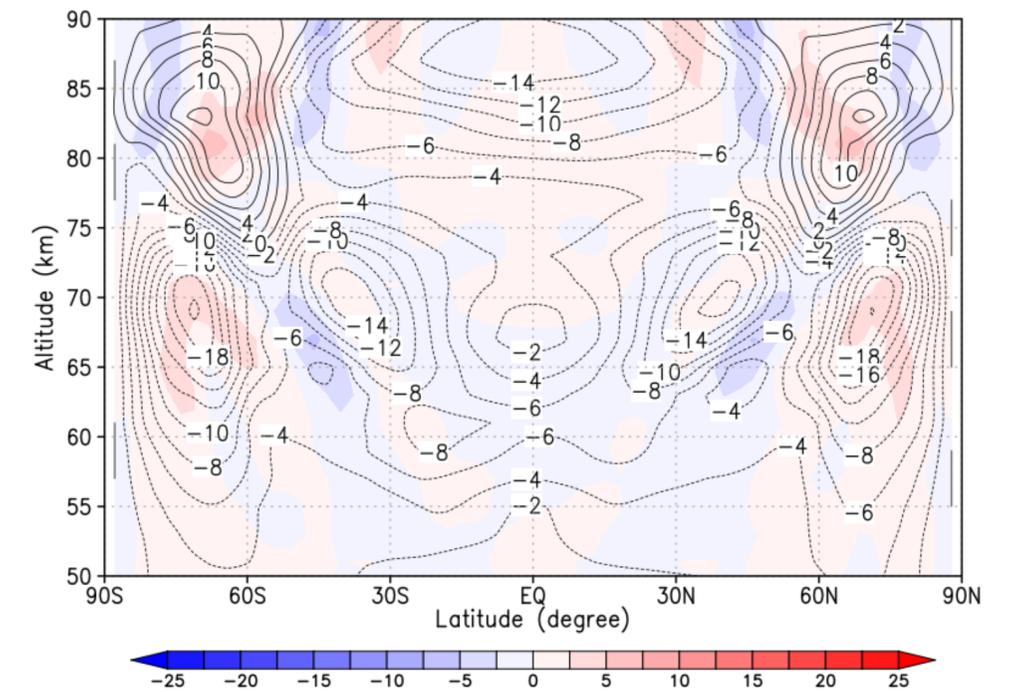
L30 - frf



L60 - frf



L90 - frf

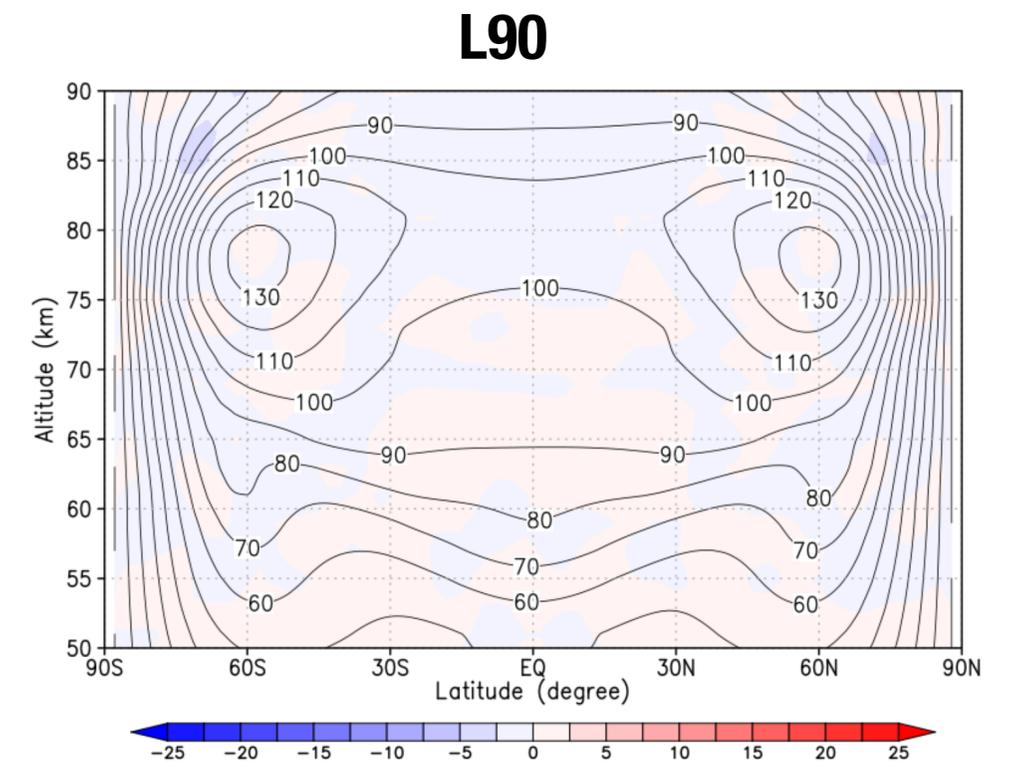
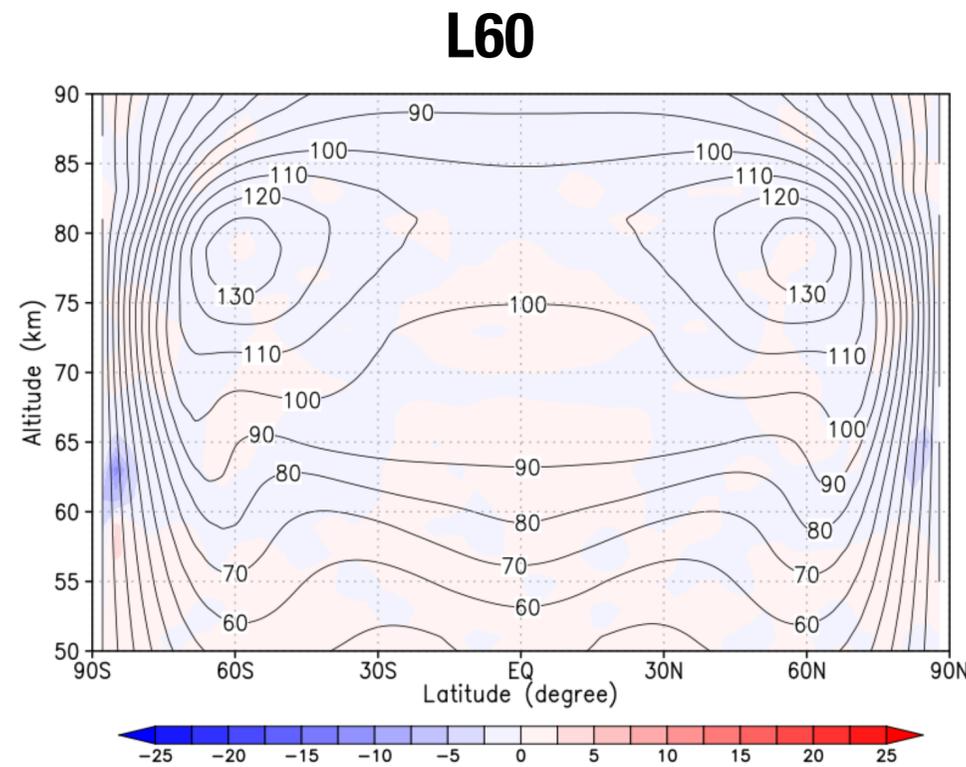
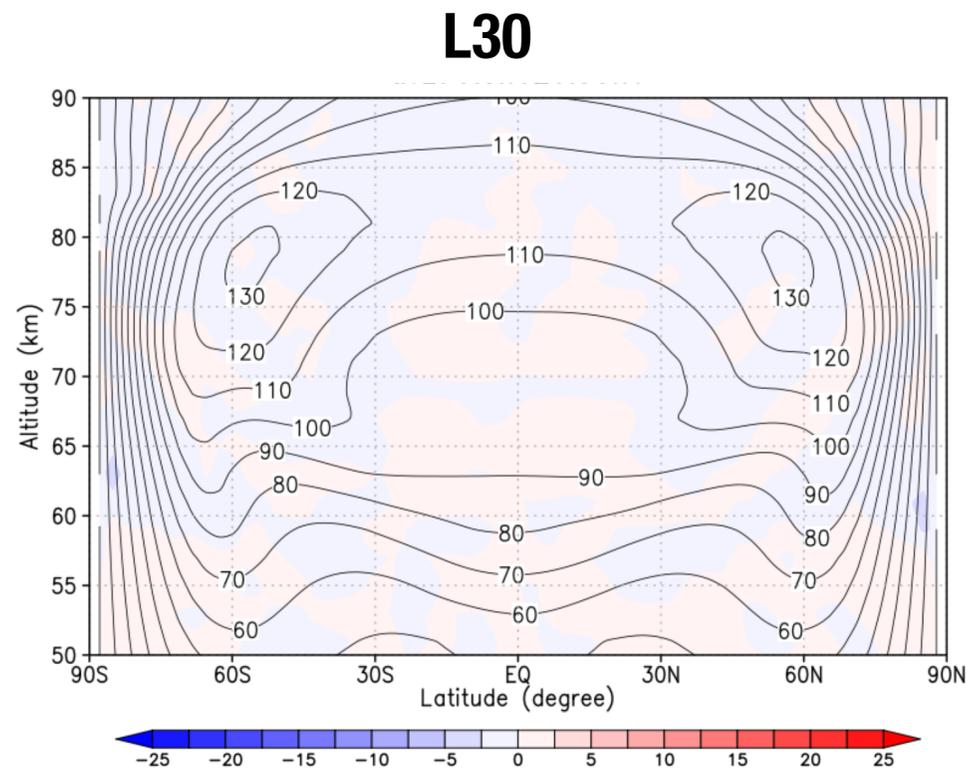
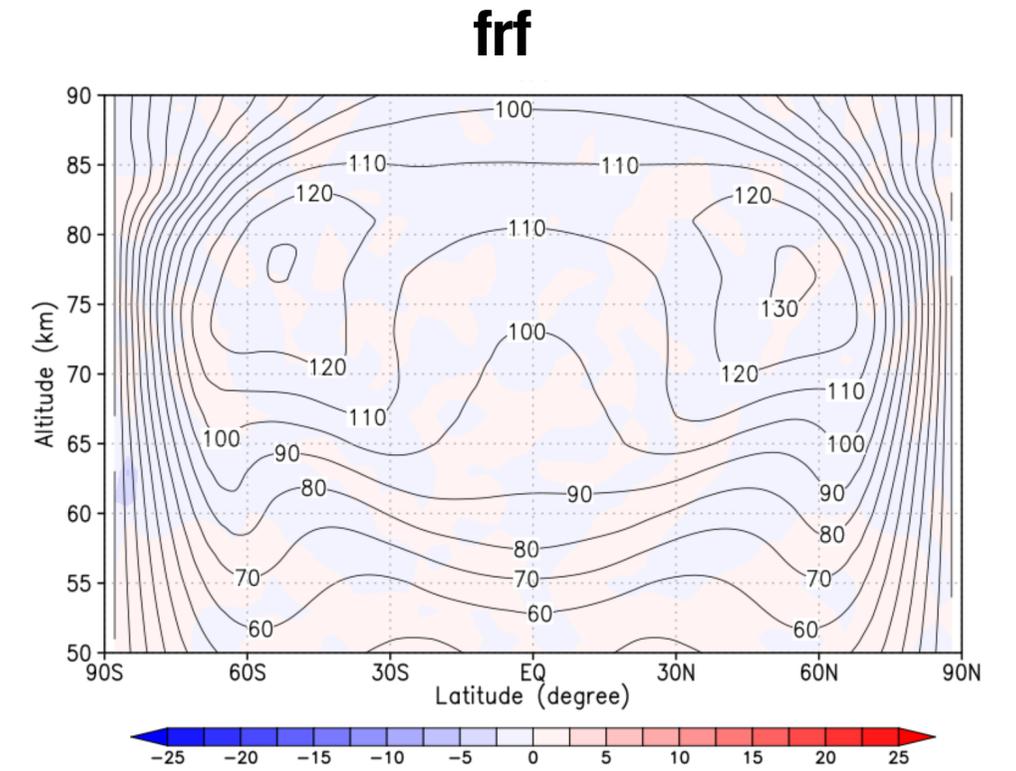


結果

東西平均東西風への影響

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\frac{\bar{v}^*}{a \cos \phi} \frac{\partial(\bar{u} \cos \phi)}{\partial \phi} - \bar{w}^* \frac{\partial \bar{u}}{\partial z^*} + f \bar{v}^* + \bar{X} + \frac{1}{\rho_0 a \cos \phi} \nabla \cdot \mathbf{F}$$

◎ 7日目から42日目までで時間平均したEliassen-Palm fluxの発散項 (色)

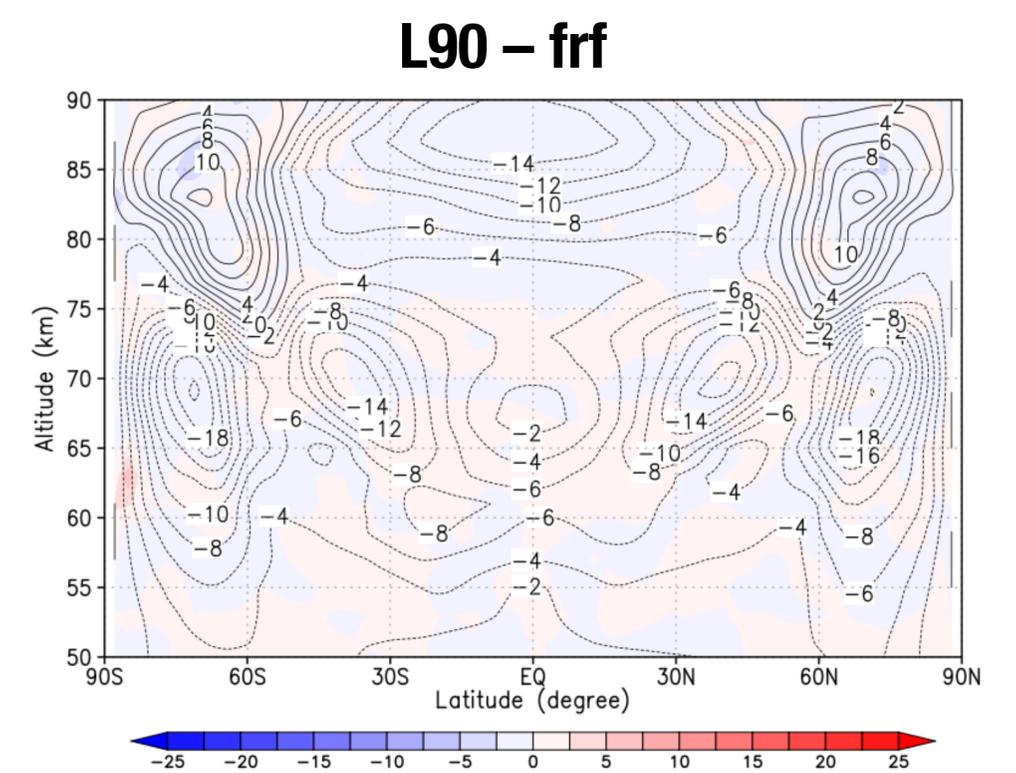
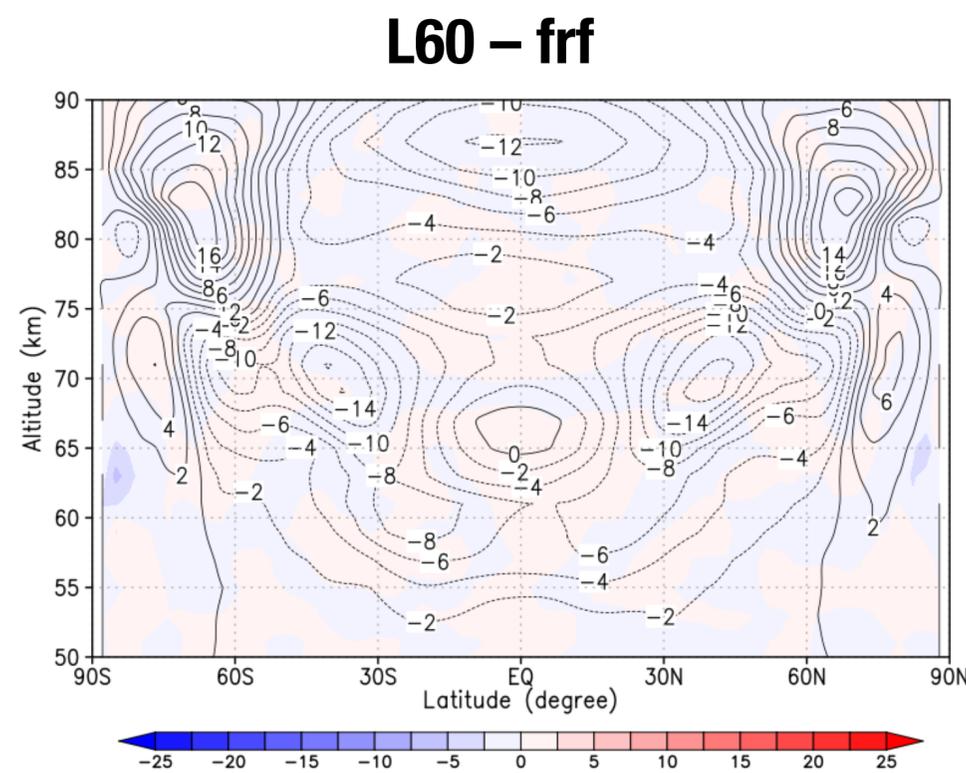
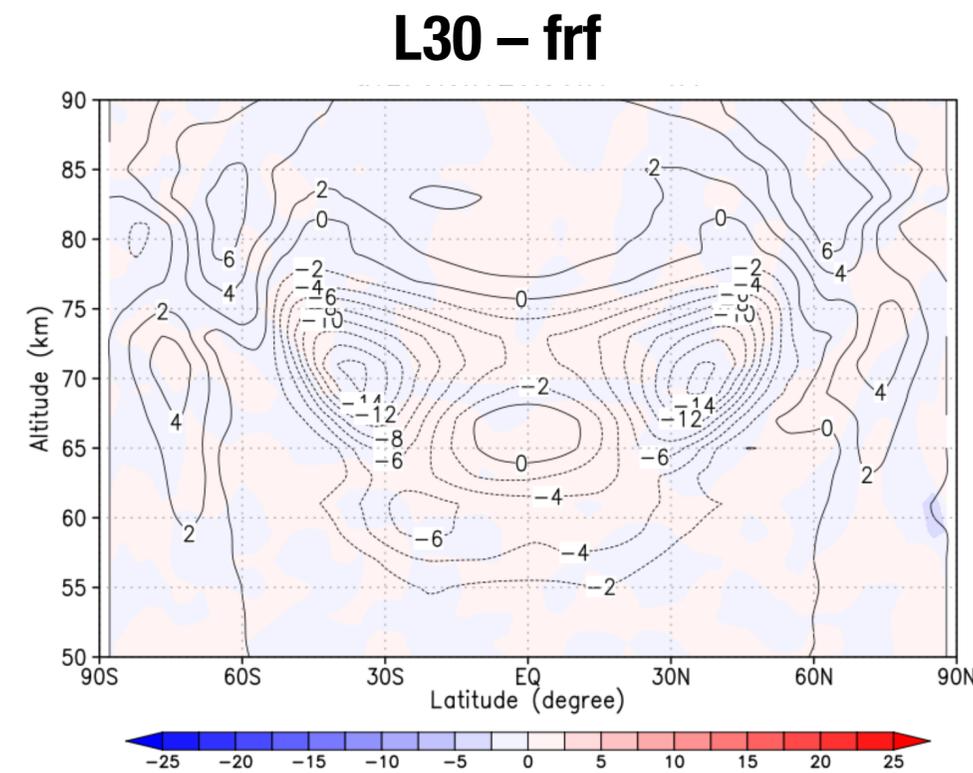
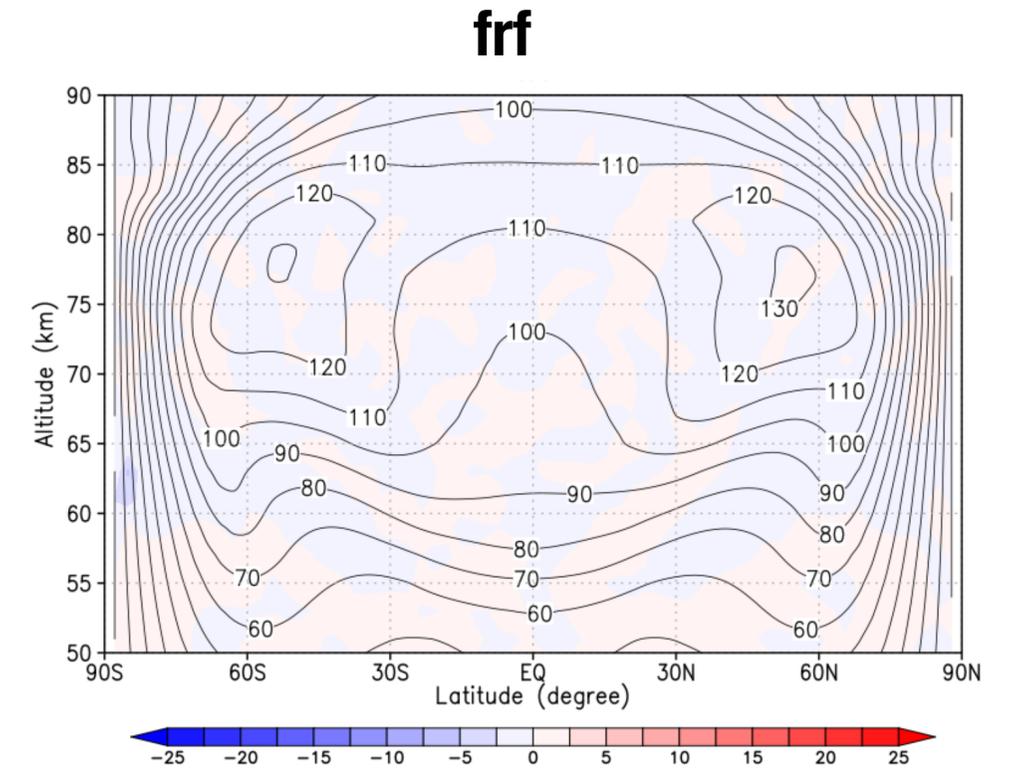


結果

東西平均東西風への影響

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\frac{\bar{v}^*}{a \cos \phi} \frac{\partial(\bar{u} \cos \phi)}{\partial \phi} - \bar{w}^* \frac{\partial \bar{u}}{\partial z^*} + f \bar{v}^* + \bar{X} + \frac{1}{\rho_0 a \cos \phi} \nabla \cdot \mathbf{F}$$

- 7日目から42日目までで時間平均したEliassen-Palm fluxの発散項 (色)
- frf からの差



まとめと今後の課題

線形波動伝播モデルで生成されたロスビー波を AFES-Venus へ同化する OSSE を実施

- ◎ 東西平均東西風にも大きく影響を与える
- ◎ 低緯度 (30°S–30°N) のみの観測では不十分かもしれない

今後の課題

- ◎ 東西平均東西風に影響を与えるメカニズムを理解する
- ◎ 途中でデータ同化を打ち切った場合（同化オフ実験）の応答を確認する