

# 鉛直一次元モデルを用いた赤道準二年周期振動の再現実験

辻野 智紀

神戸大学 理学部 地球惑星科学科 地球および惑星大気科学研究室

## <研究の目的>

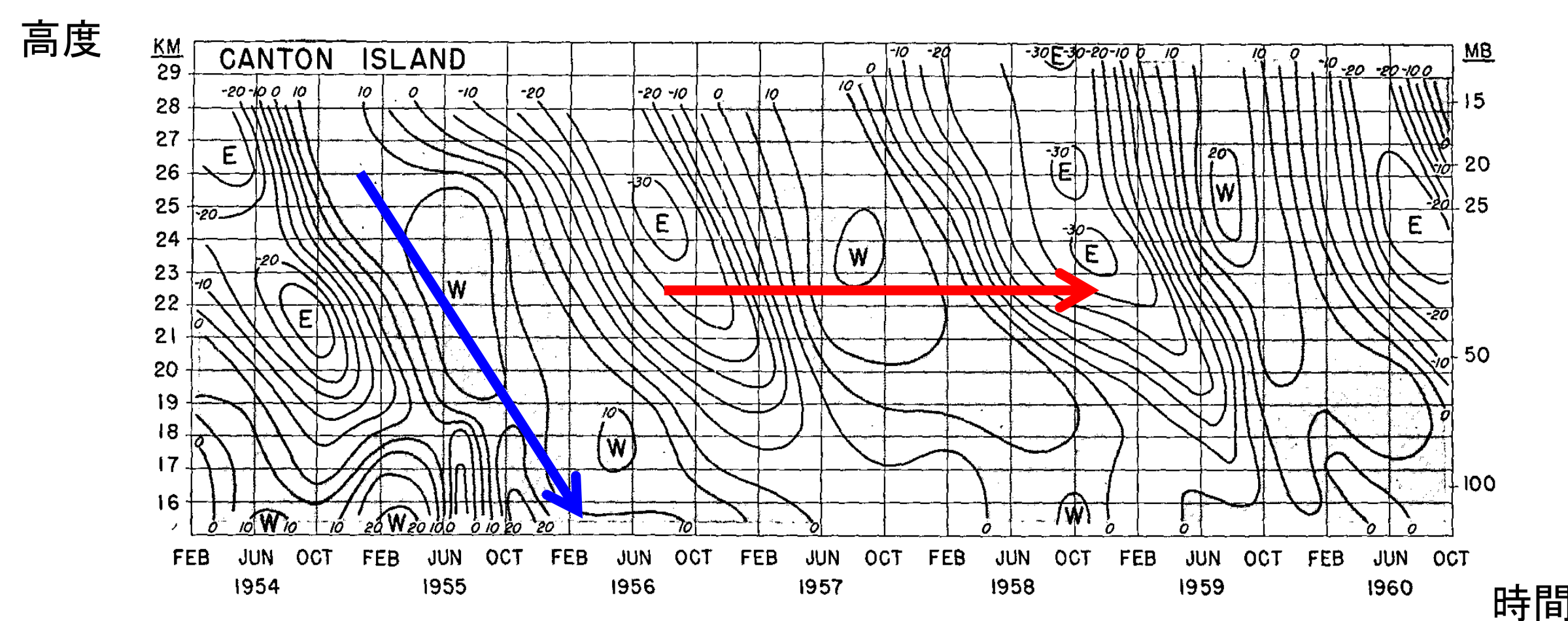
- 赤道域成層圏での大気現象を理解する。
- 「波と平均風の相互作用」という観点から赤道波が平均風に与える影響を理解する。

## <研究の内容>

- Holton and Lindzen (1972) において示された赤道準二年周期振動の鉛直一次元モデルによる計算結果の再現を行う。

## 1. 赤道準二年周期振動とは

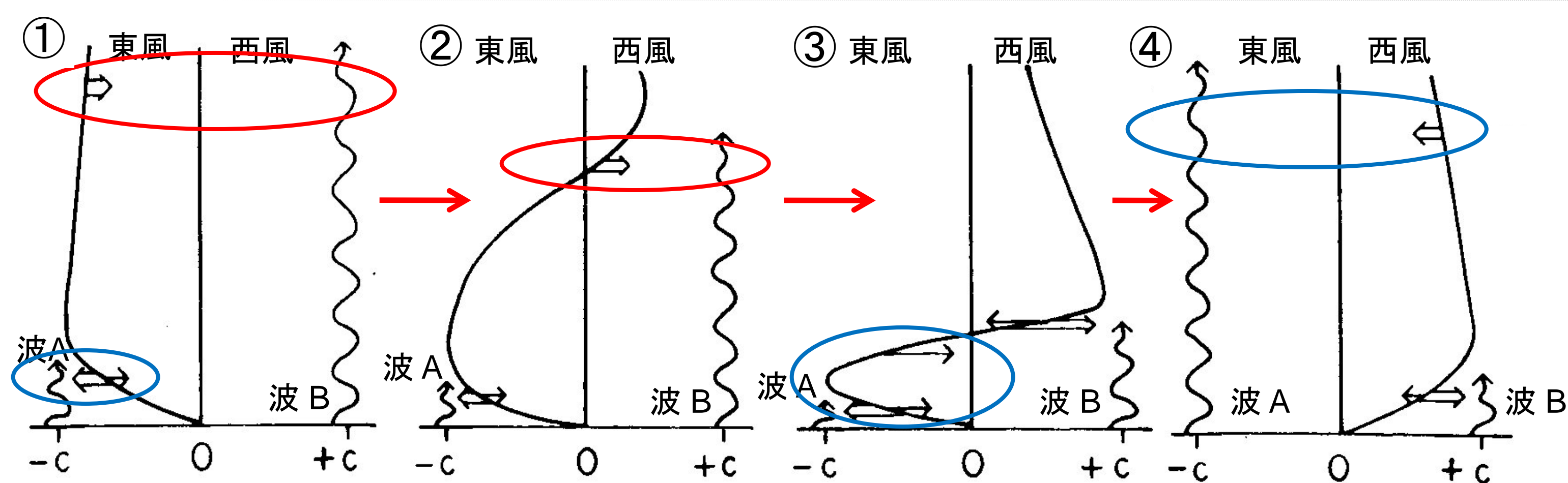
- 赤道域下部成層圏における平均東西風の観測から明らかとなった、**東西風がほぼ二年という周期性をもって経年変化する現象**である。
- さらに、**上層で発生した平均東西風が時間とともに降下するように見える**ことから、東西風の変動は成層圏上層に由来するエネルギーであると思われる。



カントン島 (2° 46' S, 171° 43' W) で観測された月平均東西風の時間高度変化。(Reed and Rogers, 1962 を一部改変)

## 2. メカニズム

- 1960年代後半に「波と平均風の相互作用」の理論から、鉛直上方に伝播する対流圏からの**赤道波の運動量が平均東西風を加速**するというメカニズムが提唱される。
- 赤道波は、その水平位相速度と平均風の速度の差が小さいほど運動量の減少が著しい。つまり、**平均風と同じ向き有位相速度をもつ赤道波ほど、平均風を加速**する。
- 赤道波とは、赤道域で発生する大気の擾乱であり、大気加熱や地形の起伏などがその成因である。
- 本研究で再現する Holton and Lindzen (1972) のモデルもこの効果を組み込んでいる。



(図の説明・状況設定):

- 横軸は風速・位相速度, 縦軸は高度。
- 波状線は大きさが  $c$  で、向きが互いに逆の水平位相速度をもつ赤道波(それぞれ波 A, B とする)。それ以外の曲線は平均東西風。
- 鉛直方向に平均東西風が存在。
- 水平位相速度の向きが異なる2つの赤道波を仮定。
- 平均風に影響を与える要素は、赤道波だけでなく、**大気微小な擾乱による散逸(渦粘性)の効果も考慮**する。

- 東風が存在。東風と向き異なる位相速度の波 B は上方まで伝播し、**上層で西風を加速**する。東風と同じ向き有位相速度の波 A は、**下層で東風を加速**する。
- 上層で加速された西風はさらに波 B から**加速され、西風の層が降下**する。
- 波 A によって加速されていた東風は、**渦粘性の効果によって減速**する。
- 東西風の向きが1と逆転し、**波 A が上層で東風を加速**するようになる。

## 6. まとめ

- Holton and Lindzen (1972) において提唱された鉛直一次元モデルによる赤道準二年周期振動の計算結果を再現した。
- モデルに組み込まれた、赤道波の運動量フラックスの収束が平均東西風を加速することを確認した。
- Holton and Lindzen (1972) では、Matsuno (1966) による時間積分方法で計算されているが、今回は再現できなかった。これに関しては、今後の課題である。

## 謝辞

計算結果の描画に関して、地球流体電脳倶楽部で開発された DCL (電脳倶楽部ライブラリ) を用いた。

## 参考文献

- Andrews, D. G., and Holton, J. R., and Leovy, C. B., 1987: Middle Atmosphere Dynamics, ACADEMIC PRESS, 489pp.
- Holton, J. R., and Lindzen, R., 1972: An Updated Theory for Quasi-Biennial Cycle of the Tropical Stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1076-1080.
- Lindzen, R., and Holton, J. R., 1968: A Theory of the Quasi-Biennial Oscillation, *J. Atmos. Sci.*, **25**, 1095-1107.

## 3. 支配方程式・計算手法

Holton and Lindzen (1972) で用いられる、支配方程式系は、変形オイラー方程式系の東西成分

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} \sum_{i=0}^1 \bar{F}_i + \kappa \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} + G$$

である。この式はプリミティブ方程式系の各物理変数を東西方向に平均した平均値と平均値からのずれによって記述した方程式系である。

各項の意味は以下の通り。

$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t}$ : 平均風の時間変化(平均風加速の項)。

$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} \sum_{i=0}^1 \bar{F}_i$ : 赤道波の運動量フラックスの鉛直収束。

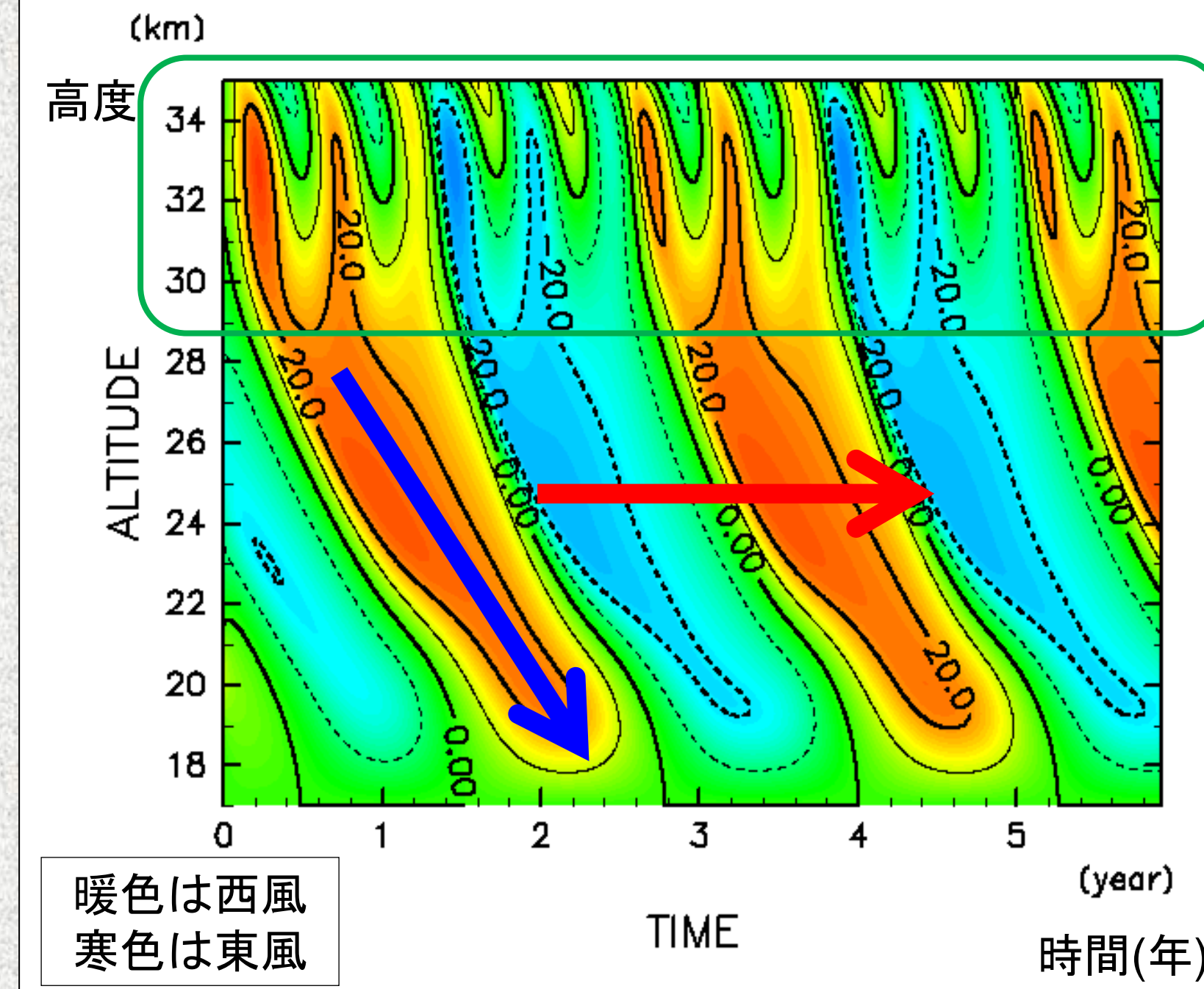
$\kappa \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}$ : 渦粘性による平均風の散逸。

$G$ : 半年周期の強制(Reed, 1966)。

- 時間積分: オイラスキーム
- 時間刻み幅: 1日
- 計算回数: 2160回(約6年に相当)
- 空間領域: 17 km ~ 35 km
- 空間刻み幅: 250 m (格子点数 72)
- 平均風を加速する赤道波: 混合ロスビー重力波(位相速度: 西向き 30m/s), 赤道ケルビン波(位相速度: 東向き 30m/s)。
- 粘性項の計算: 2次精度の中心差分
- 初期条件: (中層)強い東風 (下層)弱い西風
- 境界条件: (上端)半年周期で振動 (下端)風速がゼロ

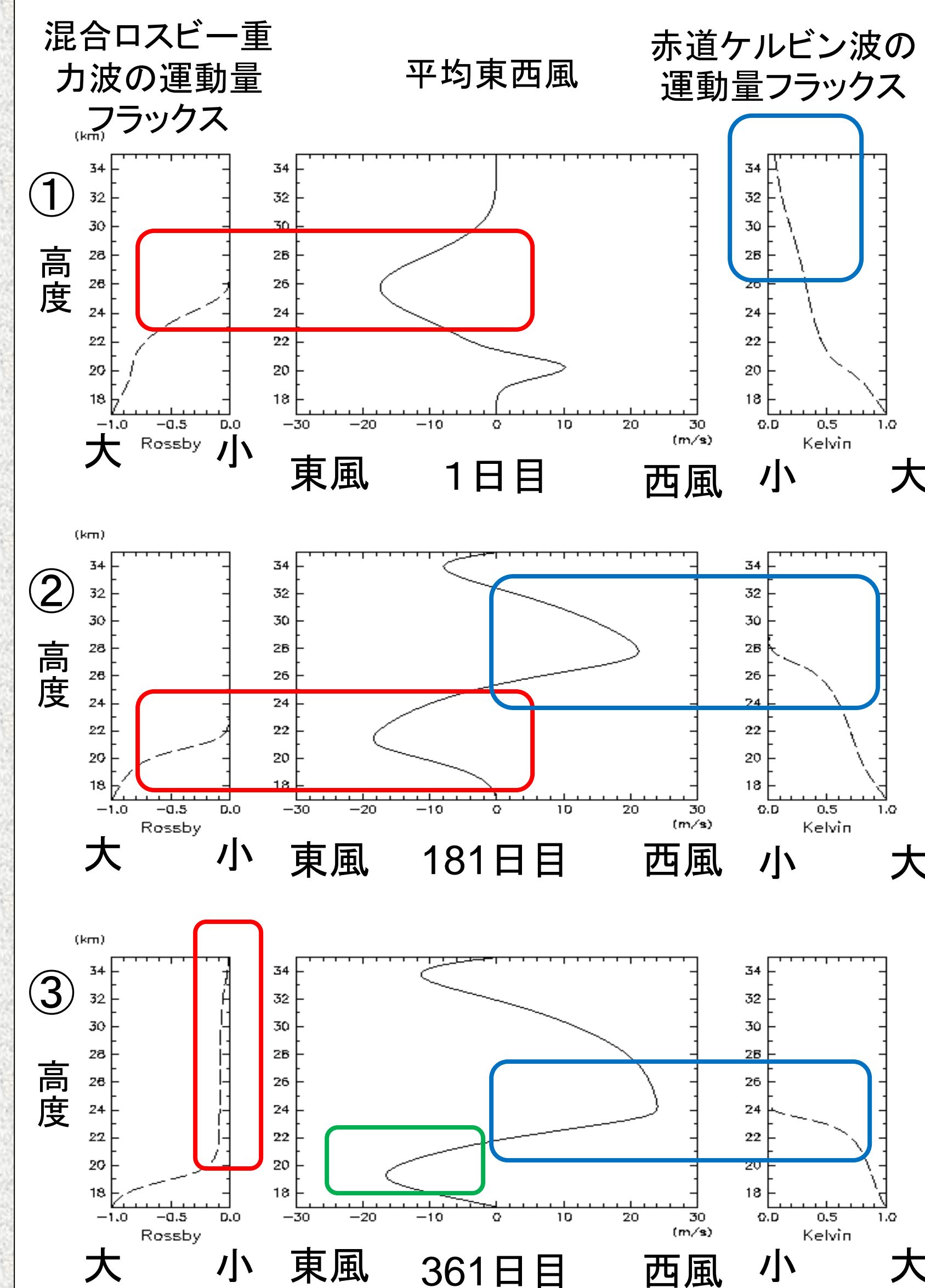
## 4. 計算結果・考察

計算された平均東西風の時間高度変化



- 平均東西風の変動の周期は**ほぼ二年であった**。
- 上層で生成された平均東西風が時間とともに下層に降下するように見える。
- 領域上層には、強制として導入した半年の周期性を持った平均東西風の振動が見られる。

赤道波の運動量フラックスと平均東西風の高度分布の時間変化



- 中層に強い東風があり、混合ロスビー重力波の運動量はこの高度付近で運動量を失い、東風を加速する。赤道ケルビン波は上層まで運動量を伝播する。
- 中層にあった東風は混合ロスビー重力波の運動量によって加速され降下する。上層まで到達した赤道ケルビン波の運動量によって上層で西風を加速する。
- 下層の東風は渦粘性による散逸で弱まり、混合ロスビー重力波の運動量が上層まで伝播可能となる。西風は赤道ケルビン波の運動量によって中層まで降下する。

- Lindzen, R., 1971: Equatorial Planetary Waves in Shear: PART I, *J. Atmos. Sci.*, **28**, 609-622.
- Matsuno, T., 1966: Numerical Integrations of the Primitive Equations by a Simulated Backward Difference Method, *J. Meteor. Soc. Jpn.*, **44**, No.1, 76-84.
- 松野太郎, 島崎達夫, 1981: 成層圏と中間圏の大気-大気科学講座3, 東京大学出版会, 279pp.
- Plumb, R. A., 1982: The circulation of the middle atmosphere, *Aust. Met. Mug.*, **30**, 107-121.
- Reed, R. J., and Rogers, D. G., 1962: The Circulation of the Tropical Stratosphere in the Years 1954-1960, *J. Atmos. Sci.*, **19**, 127-135.