

全球線形傾圧モデルの作成と気候場解析への応用

田母神翔 指導教官 村上茂教 准教授

1.はじめに

- 季節予報や異常気象の診断において重要である大気循環の長周期変動は、しばしば**テレコネクションパターン**として知られる特徴的な空間パターンを伴って現れる。**テレコネクションパターン**の同定は、循環場の変動成分を**主成分分析**することで行われるが多い。これは、変動の空間的な相関構造を統計処理によって取り出すものであるが、現象に含まれる力学的側面を調査するために、線形モデルを利用した解析、診断が行われることがある。
- 線形化モデルでは、問題に応じた適切な基本場を設定して非線形項を取り除いているため、応答がどのような強制に対して現れたか、また、どのような基本場の下で現れたかが理解しやすい。
- そこで、スペクトル法による**全球プリミティブモデル**とその線形化である**全球線形傾圧モデル**を実際に作成し、それをシルクロードパターンの解析へ応用することを試みた。また、比較のため線形順圧モデルも作成した。

2.モデルの支配方程式と構造

$$\frac{\partial \zeta'}{\partial t} = -\frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial A'}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial B'}{\partial \mu}$$

$$\frac{\partial D'}{\partial t} = \frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial B'}{\partial \lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial A'}{\partial \mu} - \nabla^2 \left[\frac{\bar{U}U' + \bar{V}V'}{(1-\mu^2)} + \phi' \right]$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} = -\frac{1}{a(1-\mu^2)} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\bar{U}T' + \bar{T}U')$$

$$- \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \mu} (\bar{V}T' + \bar{T}V') + H' + \frac{Q'}{C_p}$$

$$\frac{\partial \pi'}{\partial t} = -\int_0^1 D' d\sigma - \int_0^1 (\bar{v} \cdot \nabla \pi' + v' \cdot \nabla \bar{\pi}) d\sigma$$

$$A' = (\bar{\zeta} + f)U' + \bar{U}\zeta' + \bar{\sigma} \frac{\partial v'}{\partial \sigma} + \sigma' \frac{\partial \bar{v}}{\partial \sigma} + \frac{R\bar{T}}{a} \cos \phi \frac{\partial \pi'}{\partial \phi} + \frac{RT'}{a} \cos \phi \frac{\partial \bar{\pi}}{\partial \phi} - F'_{\phi} \cos \phi$$

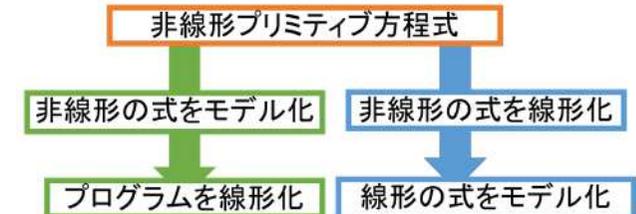
$$B' = (\bar{\zeta} + f)V' + \bar{V}\zeta' - \bar{\sigma} \frac{\partial u'}{\partial \sigma} - \sigma' \frac{\partial \bar{u}}{\partial \sigma} - \frac{R\bar{T}}{a} \frac{\partial \pi'}{\partial \lambda} - \frac{RT'}{a} \frac{\partial \bar{\pi}}{\partial \lambda} + F'_{\lambda} \cos \phi$$

$$H' = \bar{T}D' + \bar{D}T' - \bar{\sigma}\sigma' \kappa \frac{\partial (T'\sigma^{-\kappa})}{\partial \sigma} - \sigma' \sigma \kappa \frac{\partial (T\sigma^{-\kappa})}{\partial \sigma} + \frac{R\bar{T}}{C_p} \left(\frac{\partial \pi'}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \pi' + v' \cdot \nabla \bar{\pi} \right) + \frac{RT'}{C_p} \left(\frac{\partial \bar{\pi}}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \bar{\pi} \right)$$

空間離散化には、鉛直方向(σ面20層)に差分法を、水平方向に最大波数を42(三角形切断)とした球面調和関数展開を用いた。

3.線形化の手法

線形化には、非線形モデルのプログラムコードを線形化する手法と、線形化した方程式をコード化する手法がある。



本研究では、2通りの方法でモデルを作成し、両者の計算結果が一致することを確認した。

4.計算結果 (シルクロードパターンの傾圧モデルと順圧モデルの比較)

傾圧モデル 基本場: JRA-55再解析の7月の気候値 強制: 東地中海に下降流を発生させる冷却

順圧モデル 基本場: JRA-55再解析の7月の200hpa面の気候値 強制: 東地中海付近で負の発散

- 1~3日間: どちらも北緯40度上に渦度偏差の波列
- 14~28日間: 順圧モデルでは東方向へ延びる渦度偏差の波列が消滅
- 傾圧モデルの14-28日平均における空間積分したエネルギー変換率

傾圧変換: $CP = 1.71 \times 10^7 [W]$ 順圧変換: $CK = -1.47 \times 10^6 [W]$

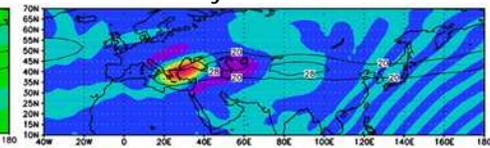
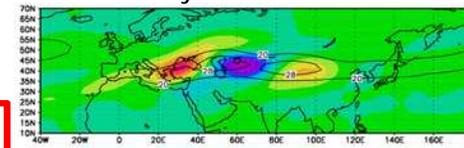
全球線形順圧モデルではシルクロードパターンの構造を維持できていない。

順圧

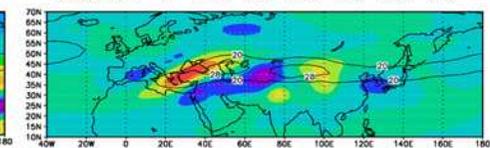
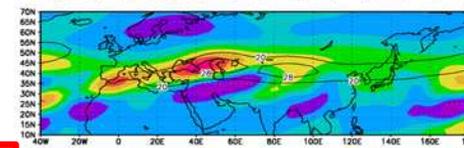
傾圧

July Vor 200hPa

July Vor 0.225



1-3日平均



14-28日平均

5. 計算結果 (2004年と2003年のシルクロードパターン比較)

2004年7月は日本付近の高気圧の勢力が強くなり、猛暑となった年である。原田・他(2006)では、日本付近の高気圧の勢力に影響する要因として、シルクロードパターンの伝播、フィリピン沖の対流活動、アジア域の対流活動の北偏化(華南での対流活動の活発化)が挙げられている。

シルクロードパターン

- 過度偏差の波列: 両者ともに発生。

2004年7月: 過度偏差が**強く**伝播(日本は**負**)。

2003年7月: 過度偏差が伝播(日本は**正**)。

2004年の強制の切り分け

- 東地中海の加熱偏差のみを与えた場合:

シルクロードパターンが発生している

しかし、強さは**5分の1**以下

- 西ロシアの加熱偏差のみを与えた場合:

全球の場合と強さや分布が概ね一致

2004年7月のシルクロードパターン

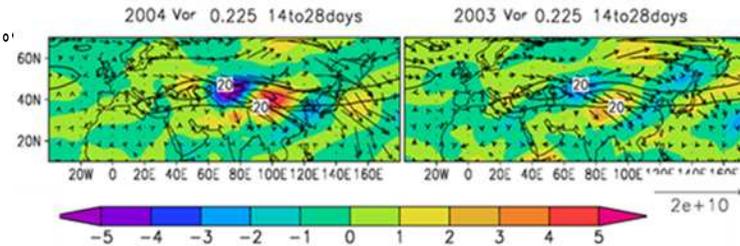
の励起には、東地中海の下降流より

むしろ**西ロシアでの加熱**の影響が大きい

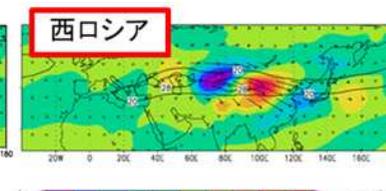
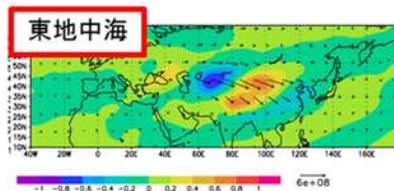
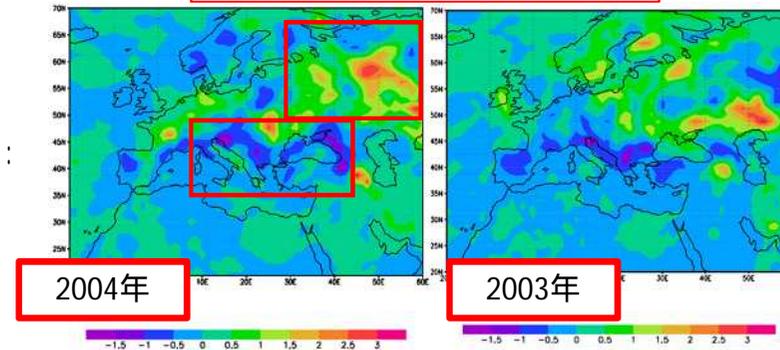
と考えられる。

基本場: JRA-55再解析の7月の気候値

強制: 2004年と2003年の7月の非断熱加熱の平均偏差



対流による非断熱加熱偏差



フィリピン沖の対流活動

基本場: JRA-55再解析の7月の気候値

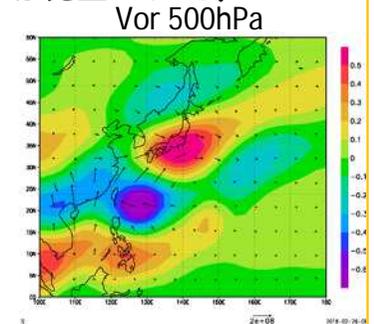
強制: フィリピン沖の加熱偏差のみ

- 逆偏差のPJパターンが発生している。

日本周辺では
正の過度偏差

地上では

低気圧偏差



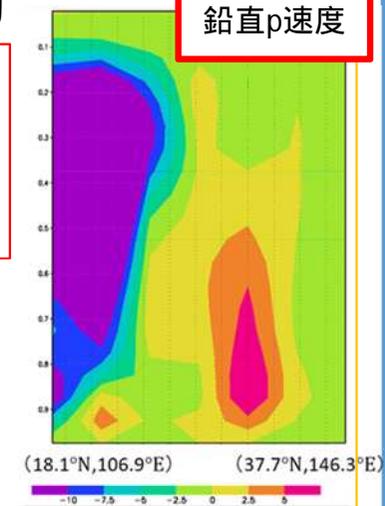
華南での対流活動

基本場: JRA-55再解析の7月の気候値

強制: 華南周辺の加熱偏差のみ

- 華南付近で上昇流
 - 日本付近で下降流
 - 発散風: 上層で華南から日本の方向
- 地上では**高気圧偏差**

鉛直p速度



6. まとめ

全球線形傾圧モデルを用いて、シルクロードパターンの再現と解析を行い、パターンの維持に**傾圧エネルギー変換が重要である**ことを確認した。

2004年7月のシルクロードパターンの伝播には、東地中海の下降流よりも**西ロシアでの加熱**の影響が大きい可能性があることが示された。

今後の課題として、他のテレコネクションパターンについても調べることや、線形演算子の固有値分解・特異値分解等の手法の検討が挙げられる。

参考文献

[1] 原田やよい, 遠藤洋和, 榎本剛, 2006: 2004年7月に猛暑をもたらした高気圧の成因, 月刊 海洋/号外, 151-159.