

北極振動と気候変動

地球および惑星大気科学研究室 佐治 憲介

イントロダクション

● 冬季北半球の気候変動を強く支配するパターンに北極振動(Arctic Oscillation: AO)と呼ばれるテレコネクションパターンがある。

※ テレコネクションとは、大気循環・気圧・気温などが、空間的に離れた複数の場所で互いに相関を持って変動することである。
(例) エルニーニョ南方振動, 北大西洋振動, etc.



「北極振動」気象研究ノート 第206号 日本気象学会

● テレコネクションにより気圧が変動すると、大雨・洪水・高温・低温などの異常気象が発生し、人的・社会的・経済的被害もたらされることがある。

北極振動のメカニズムを説明していくことは、北半球における異常気象研究において重要である。

* 卒業論文の内容

Thompson and Wallace (1998)を中心に、AOの研究レビューを行った。

- 北極振動の解析に用いられる「主成分分析」を理解する。
- 北極振動の基礎を理解し、北極振動研究の現状を把握する。

主成分分析

北極振動は北半球における海面気圧(Sea Level Pressure: SLP)を主成分分析したものの第1主成分によって得られるパターンである。

* 主成分分析とは...

● 多変量解析法の1つで、互いに相関のある多くの変量の値を、できるだけ情報の損失なしに、総合的指標(主成分)で代表させる方法。
● ある物理量のデータ分布から、その変動パターンの大まかな特徴を捉えたい場合に用いられる。

* 主成分の導出

何らかの相関関係のあるp個の地点で、時系列方向にN個のデータ $x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{pn} (n = 1, 2, \dots, N)$ が得られたとする。

これらが相互に関連のある変動をしているとみなすと、この変動を示す関数としてp個の1次結合で表わすことができる。

$$z_n = a_1 x_{1n} + a_2 x_{2n} + \dots + a_p x_{pn} = \sum_{i=1}^p a_i x_{in}$$

この結合係数 a_1, a_2, \dots, a_p を、

$$a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_p^2 = \sum_{i=1}^p a_i^2 = 1$$

という条件の下で変化させ、zの分散が最大になるときのzを第1主成分という。

* 主成分得点(スコア)

● 各々のデータに対して主成分の値を計算したものを主成分得点(スコア)という。

第1主成分の係数ベクトルを $a^{(1)} = (a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, \dots, a_p^{(1)})$ 、p個の地点で時系列方向にN個あるデータセットをXとすると、第1主成分のスコアは、

$$z^{(1)} = \begin{pmatrix} z_1^{(1)} \\ z_2^{(1)} \\ \vdots \\ z_N^{(1)} \end{pmatrix} = X a^{(1)}$$

で表わされる。

● スコアは、 $a^{(1)}$ で表わされる空間パターンと、刻々のスナップショットのパターンがどれだけ似ているかを示す。

* AOインデックス

● Xを月々の気圧偏差場、 $a^{(1)}$ を第1経験的直交関数として、スコアを計算したものをAOインデックスという。

● AOインデックスが大きな正の値であれば、その月の偏差場は主成分に近く、大きな負の値であれば、主成分と逆のパターンになる。

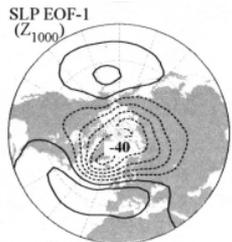
* AOの解析の手順

- (i)海面気圧偏差分布について主成分分析を行い、その第1経験的直交関数と主成分時系列を取り出す。
 - (ii)他の物理量の偏差の時系列を(i)で得られた主成分時系列へと回帰させる。
- 主成分時系列は規格化されるので、回帰係数は他の物理量のデータと同じ単位をもつ。

こうして、AOとそれに伴い変動する物理量の解析がなされる。

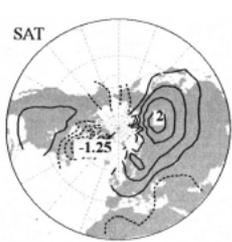
北極振動の特徴

(1) 北極振動の空間的特徴



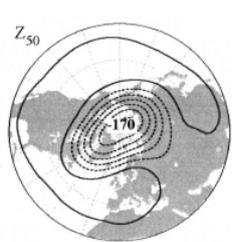
1947年 - 1997年の冬季(11月 - 4月)の月平均海面気圧(SLP)偏差の第1経験的直交関数をプロットした図。等値線間隔は10 m (-5, 5, 15 m, ...)である。(Thompson and Wallace, 1998)

(2) 地表面気温(SAT)偏差との関係



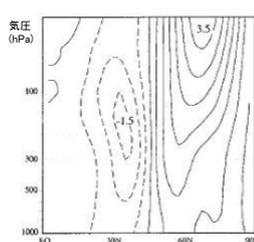
AOインデックスに回帰した冬季(11月 - 4月)の50 hPaの高度偏差場。等値線間隔は0.5 K (-0.75, -0.25, 0.25 K, ...)である。(Thompson and Wallace, 1998)

(3) 冬季成層圏の極渦との関係



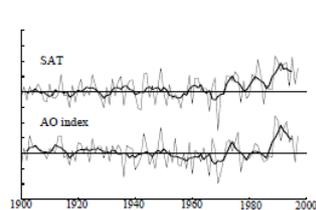
AOインデックスに回帰した冬季(11月 - 4月)の50 hPaの高度偏差場。等値線間隔は、30 m (-45, -15, 15 m, ...)である。(Thompson and Wallace, 1998)

(4) AOの鉛直構造



AOインデックスに回帰した北半球東西平均風。等値線間隔は0.5 m/s (-0.75, -0.25, 0.25 m/s, ...)である。(Thompson and Wallace, 2000)

(5) SATの温暖化傾向



1900年 - 1997年のSATおよびSLPの規格化された主成分時系列。細線は各年の冬季の季節平均を表わし、太線はその5年移動平均を表わす。(Thompson and Wallace, 1998)

- 北極域を中心にほぼ環状の対称性をもつ。
- 北極域と中緯度域の気圧のシーソー的変動である。
- 北極域が負の偏差のとき、中緯度域は正の偏差となっている。

AOの位相が正のとき



- ヨーロッパから東シベリアまでユーラシア大陸北部を中心に高温偏差となる。
- 中近東からアフリカ北部、またカナダ北東部は低温偏差となっている。

- (1)と同様、北極域と中緯度域のシーソー的変動である。
- 50hPaの高度には、気候学的には巨大な低気圧性の循環(極渦)があり、AOに伴い、この成層圏の極渦が強まったり弱まったりしている。

- AOの位相が正のとき、北極域では西風が強化され(極渦の強まり)、中緯度では西風が弱められる。
- 対流圏から成層圏まで一貫して支配する背の高い構造をしている。

- 1970年あたりから、SAT, SLPそれぞれの主成分時系列に上昇傾向が見られる。
- 1990年以降では、それまでには見られなかった明瞭な上昇傾向が見られる。



AOの長期トレンドは地球温暖化と関係しているとも考えられる。

まとめ

- AOは冬季北半球の循環の変動パターンであり、北極域と中緯度域の間の気圧のシーソー的変動である。
- AOは北極域を中心に環状の対称性をもった構造をしている。
- AOは対流圏から成層圏まで伸びる背の高い構造をしている。
- SATの変動にも結びついており、近年のAOの正のトレンドは、SATの近年の温暖化傾向と関係しているようである。

参考文献

- Thompson D. W. J. and J. M. Wallace, 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1297-1300.
- Thompson D. W. J. and J. M. Wallace, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability, *J. Climate*, 13, 1000-1016.
- 田中重、藤本和彦、2004: 多変量統計解析法, 現代数学社, 296pp.
- 山崎 孝治 編, 2005: 「北極振動」気象研究ノート 第206号, 日本気象学会, 181pp.