

# 成層圏突然昇温とブロッキングの関連についての統計的研究

田口正和 (愛知教育大学)

## 1. はじめに

成層圏突然昇温 (SSW) に関する最近の研究では、SSW は顕著な対流圏—成層圏結合を伴うことを示している。それには、対流圏で増幅した惑星波 (PW) が上方伝播し SSW を引き起こすことや、SSW 後の循環偏差の下方伝播に伴い対流圏の偏差場が北極振動 (AO) の負位相のパターンを示すことが含まれる (例えば、Baldwin and Dunkerton 2001; Limpasuvan et al. 2004)。

SSW に伴うこのような対流圏循環の変化は、ブロッキングのような対流圏の大規模な偏差場と何らかの関係があるとこれまで考えられてきたが、その詳細は明らかではない。ブロッキングが SSW に先行するという結果もあるし (Quiroz 1986; Mukougawa et al. 2005)、その逆の関係を示す結果もある (Labitzke 1965; Kodera and Chiba 1995; Mukougawa and Hirooka 2004)。前者は、ブロッキングが対流圏の PW 増幅に寄与するのではないかという考えに基づいている。後者は、SSW 後に、対流圏で AO の負偏差パターンが見られることと整合的である。

しかしながら、これらの研究は事例解析に限られており、それぞれが主張する結果が SSW 全体の中で支配的かどうかは分からない。そこで本研究では、約 50 年間分蓄積された全球再解析データを用いて、両者の関連を統計的に

調べることにした。具体的には、既存の定義を用いて SSW とブロッキングを特定し、以下の二つの仮説を検討する：(仮説 1) ブロッキングの最中もしくは直後に SSW は起きやすいか、(仮説 2) SSW 後にブロッキングは起きやすいか。これら二点に関する検討結果をより理解するために、さらに、ブロッキングの発現を、下部成層圏での PW 活動度や対流圏での AO 変動に関連づけることも行なった。

## 2. データと解析方法

a. 本研究では、NCEP/NCAR 再解析データ (Kalney et al. 1996) を用いた。解析期間は、1957/58 年から 2005/06 年の 49 年間 (9 月から 5 月) である。

b. SSW の定義としては、Charlton and Polvani (2006) のものを採用した。この方法では、北緯 60 度、10hPa での東西平均東西風が西風から東風に転じた日を、SSW のキー日 (lag= 0 day とも記す) とする。この結果、解析期間に、30 個の SSW を特定した。

c. ブロッキングの定義としては、Tibaldi and Molteni (1990) のものを用いた。この方法では、各日、各経度グリッドで、500hPa 高度を参照し、北緯 40 度よりも 60 度が高圧であるならば、局所的なブロッキングとみなす。さらに、この条件が、連続する 5 つ以上の経度グリッドで、5 日以上満たさ

れた期間を、ブロッキングとみなす。

d. 下部成層圏でのPW活動度として、100hPaの北緯45-75度で平均した、EPフラックスの鉛直成分 $F_z$ を用いる。各カレンダー日において1970/71-1999/2000年の気候値を計算し、そこからの偏差を求めた。

e. 日々のAOインデックス(AOI)は以下のようにした求めた。11月から3月まで平均した1000hPa高度の年々変動成分(1970/71-1999/2000年)を主成分解析し、その第一主成分を求め、このパターンに日々の高度場偏差(11日移動平均)を射影した。

### 3. 結果

図1は、前述のように定義したSSWとブロッキングを、全解析期間について示す。図1を見ると、ほとんどのSSWの前後にブロッキングが起きており、両者の関連を主張したくなるかもしれない。しかし、ブロッキングはかなり頻繁に起きているので、そのような言及は意味をなさない。以下では、図1に基づき、ランダムリサンプリング(RR)の方法(一種のブートストラップ)を用いて、両者の関連を検討する。

a. ブロッキングの最中もしくは直後に起きたSSWの発現を定量化する基準を導入して、仮説1を検証する。この基準では、もしあるSSWのキー日がブロッキング期間に入っているか、ブロッキングの最後の日から10日以内であれば、そのSSWがブロッキングと関連して起きたとみなす。すると、図1から、全30個のSSWのうち、21個

がこの基準を満たすことが分かる。

この数字を、RR法により得られる数字と比較する。この方法では、定義したブロッキング期間を、年に関してランダムに再配置して(月と日は保持する)、再配置したブロッキングとよとのSSWに対して、前述の基準を満たすSSWの個数を数える。この手順を多数回(ここでは一万回)繰り返し、SSWの個数に関する分布関数(PDF)を得る。こうして、もとのデータから得たSSWの個数が、SSWとブロッキングの関連を無視して得たSSWの個数のPDFの中でどこに位置するかを調べる。もしSSWとブロッキングの間に堅固な関連があれば、もとのSSWの個数は、RR法のPDFに比べて際立ったところに位置しているはずである。

RR法の結果、もとのデータでのSSWの個数(21個)は、RR法によるPDFの中で全く顕著でない(上から数えて、21.2-35.3%に位置する)ことを示した。このような結果は、この解析に含まれるパラメータにほとんど依存しない。つまり、仮説1は高い有意性では支持されない。

この結果をより理解するため、ブロッキングの発現と下部成層圏でのPW活動度の関連を調べた。ブロッキングの期間とそうでない期間について、 $F_z$ のPDFを比較すると、ブロッキング期間のPDFの方が少し正の方向へシフトしている(図は省略)。このことは、ブロッキング期間のほうが顕著なPWイベントが多いことを示すが、PDFの重なりが大変大きいので、ブロッキン

グと Fz の関係はあまり強くない。その結果、先行するブロッキングと SSW の間に有意な関係が得られないことが分かる。

b. 仮説 2 も同様の方法で検討するため、SSW に引き続いて起きるブロッキングを以下のように定義した。SSW 後の期間を、lag=+1 ~+50 day とし、この間に、ブロッキングの期間が少なくとも一日かかっているものを、SSW に引き続いて起きた、とみなすことにした。解析期間中、97 個のブロッキングがこの基準を満たし、それらは平均して 11.9 日持続した。

ここでの RR テストでは、データ中の SSW を、年に関してランダムに再配置することを一万回繰り返した結果、データ中のブロッキングの個数・持続日数のいずれも RR 法による PDF に比べて顕著でないことが分かった。この結果も、解析に含まれるパラメータに依存しない。従って、仮説 2 も高い有意性では支持されない。

この結果をより理解するため、SSW、ブロッキング、AOI の三者の関連を検討する。SSW 後の AOI の様子を見ると、先行研究で知られたように、平均では AOI は負であるが、そのばらつきは決して小さくはない。次に、AOI が負であるときに、ブロッキングとそうでないときを比較すると、およそ 6 : 4 の程度でブロッキングである日の方が多い。このように、SSW と AOI、AOI とブロッキング、の間には関連があるが、それらのばらつきは大きいために、先行する SSW とブロッキングの関連は

有意でなくなる。

#### 4. まとめ

本研究では、成層圏突然昇温と対流圏のブロッキングの関連についての統計的解析を、約 50 年に及ぶ NCEP/NCAR 再解析データを用いて行なった。ここでは、両者の関連についてもっともらしい 2 つの仮説を立てて、RR 法により検証した。

ここでの RR テストの結果は、定義した 30 個の SSW を一緒に扱った場合、どちらの仮説も支持されないことを示した。このことは、仮説を立てた関連は、全ての SSW の間で卓越しているわけではないことを示唆する。ただし、一部の SSW がブロッキングと明瞭な関連を持つ可能性は残されている。

#### 謝辞

作図には、地球流体電脳ライブラリを用いました。

#### 参考文献

Baldwin, M. P., and T. J. Dunkerton, 2001: Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. *Science*, 294, 581-584.

Charlton, A. J., and L. M. Polvani, 2006: A new look at stratospheric sudden warmings. Part I. Climatology and modelling benchmarks. *J. Climate*. Submitted.

Kalney, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

Kodera, K., and M. Chiba, 1995: Tropospheric circulation changes associated with stratospheric sudden warmings: A case study. *J. Geophys. Res.*, 100, 11055-11068.

Labitzke, K., 1965: On the mutual relation between stratosphere and troposphere during periods of stratospheric warmings in winter. *J. Appl. Meteor.*, 4, 91-99.

Limpasuvan, V., D. W. J. Thompson, and D. L. Hartmann, 2004: The lifecycle of the Northern Hemisphere sudden stratospheric warmings. *J. Climate*, 17, 2584-2596.

Mukougawa, H., and T.

Hirooka, 2004: Predictability of stratospheric sudden warming: A case study for 1998/99 winter. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 1764-1776.

Mukougawa, H., H. Sakai, and T. Hirooka, 2005: High sensitivity to the initial condition for the prediction of stratospheric sudden warming. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L17806, doi:10.1029/2005GL022909.

Quiroz, R. S., 1986: The association of stratospheric warmings with tropospheric blocking. *J. Geophys. Res.*, 91, 5277-5285.

Tibaldi, S., and F. Molteni, 1990: On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42A, 343-365.

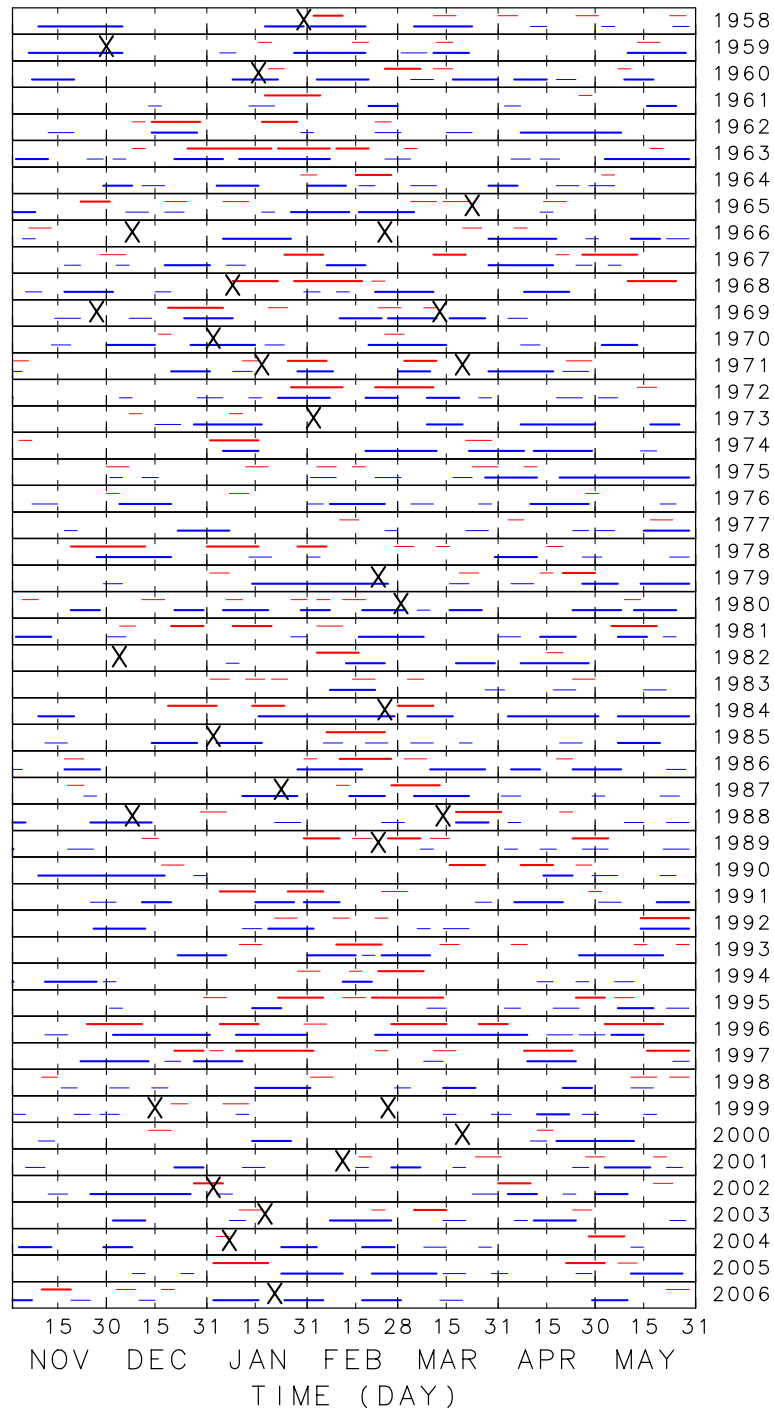


図1： 定義したSSWとブロッキングの発現カレンダー。SSWのキー日は、記号Xで示されている。青実線は大西洋・欧州上で起きたブロッキングを、赤実線は太平洋上で起きたものを示す。パネル右の数字は年（1月の属する年）を示す。