

成層圏突然昇温の生起パターンと予測可能性について

廣岡 俊彦・一丸 知子(九大・理) 向川 均(京大・防災研)

1. はじめに

成層圏突然昇温は、対流圏で励起されたプラネタリー波が大きく増幅し、成層圏へと鉛直伝播し、砕波する過程で生じる現象である。冬季成層圏の極域で通常に見られる、北極付近を中心とする低気圧性の極渦は、中緯度側から侵入した高気圧により大きく変形し、極域では数日のうちに気温が40度から50度も上昇する。WMOの基準では、10hPa面の60度より極側で温度傾度が逆転し、10hPa面とそれより上の高度において通常の西風極夜ジェットが東風へと反転したものを大規模突然昇温としており、平均的にはおよそ2年に1度の頻度で生じている。

歴史的に見て、研究対象として扱われてきた大規模突然昇温は、アリューシャン高気圧に加え、ヨーロッパ上空に生じた2つの高気圧により極渦が完全に分裂する大変壮観な「極渦分裂型」、あるいは「波数2型」と呼ばれる昇温が大半を占める。1963年や1979年に生じた突然昇温がその実例であり、また、Matsuno(1971)による初めての数値実験もそのような突然昇温を対象にしている。しかしながら、実際生じている突然昇温は、波数1のプラネタリー波の増幅により、極渦の中心が中緯度へと押しやられて生じる「波数1型」昇温が大半であり、波数2成分のプラネタリー波が中心的役割を果たしている昇温はむしろ希である。また、いくつかの事例では、まず小規模な突然昇温が生じ、その後極渦がプラネタリー波による変形を受けやすい状態となる「プレコンディショニング」と呼ばれる過程を経てから、大規模昇温が生じるこ

とが知られている。このように、大規模突然昇温といっても色々な生起パターンがある。

大規模突然昇温の予測可能性に関する我々のこれまでの研究(Mukougawa and Hirooka 2004; Mukougawa et al. 2005)では、極域の帯状平均温度を指標にした場合、予測可能期間は3週間から4週間と極めて長いものであった。これらで扱ったのは、1998年12月および2001年12月の昇温であるが、いずれも、冬季の早い時期に、プレコンディショニングを伴わず比較的静穏な状況から生じた波数1型の昇温である。そこで、今回は、2001年12月の突然昇温と、プレコンディショニングを伴う、複雑な時間発展を示した2004年1月の突然昇温の予測可能性を比較し、突然昇温の生起パターンの観点から議論する。

2. モデル

本研究で用いた予報モデルは気象庁の現業1カ月アンサンブル予報モデルであり、水平解像度はT106、鉛直層数は地表から0.4hPa面までの40層である。成層圏循環を現実的に表現するために重要な短波放射、重力波ドラッグなどの物理過程を含む全球予報モデル(JMA-GSM0103)を基本とし、毎週水曜と木曜の1200UTCから、初期値に摂動を加えない1個のコントロールランと摂動を加えた12個の摂動ランが34日間にわたり積分されている。初期摂動の作成はBGM法(Toth and Kalnay 1993)に基づく。モデルの詳細についてはJMA(2002)を参照されたい。また、予報値の検証には気象庁全球客観解析データ(GANAL)を用いた。

3. 結果

3.1 冬季循環の比較

最初に、全球客観解析に基づき、2つの冬季の季節進行を比較する。図1は2001/02年(図1a)、及び2003/04年(図1b)の北半球冬季について、それぞれ11月から1月の期間の10hPa面帯状平均気温の季節進行を比較したものである。2001/02年では、静穏で寒冷な初冬に続く12月の終わりに大規模突然昇温が生じている。一方、2003/04年は、12月中旬からの何度かの小刻みな昇温の後、12月の終わりに顕著な小規模突然昇温が生じている(図4も参照)。この突然昇温では昇温規模そのものは非常に大きかったが、10hPa面では東風が現れなかった(図は省略)。そして、その約10日後の1月上旬に大規模突然昇温が生じている。

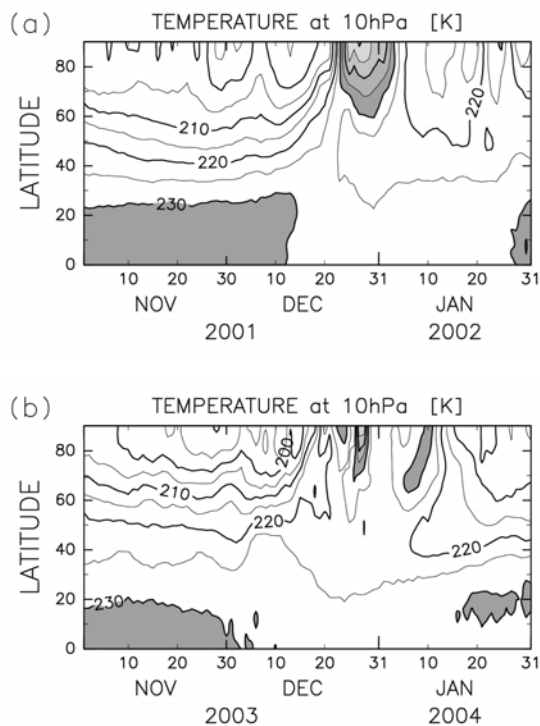


図1. 2001/02年(図1a)、及び2003/04年(図1b)の11月から1月における10hPa面帯状平均気温の緯度時間断面図。単位はK、陰影は230K以上の領域を表す。

そのような季節進行の違いはプラネタリー波の活動度の違いによく現れる。いずれの事例も波数1型昇温だったので、図2に波数1成分のEliassen-Palm(E-P)フラックスの時間変化を示す。2001/02年冬季(図2a)においては、12月の中旬、下旬の比較的短い期間に波の活動度が高くなっており、その期間の終わりに突然昇温が生じていることがわかる。一方、2003/04年では11月下旬から1月上旬までの期間に何度か活動度の高まりが見られ、特に図1bで示した小刻みな昇温が、12月中旬から始まる高まりに対応していることがわかる。1月初めまでに極渦は十分弱まっており、プレコンディショニングを受けた状態にあったと考えられる。

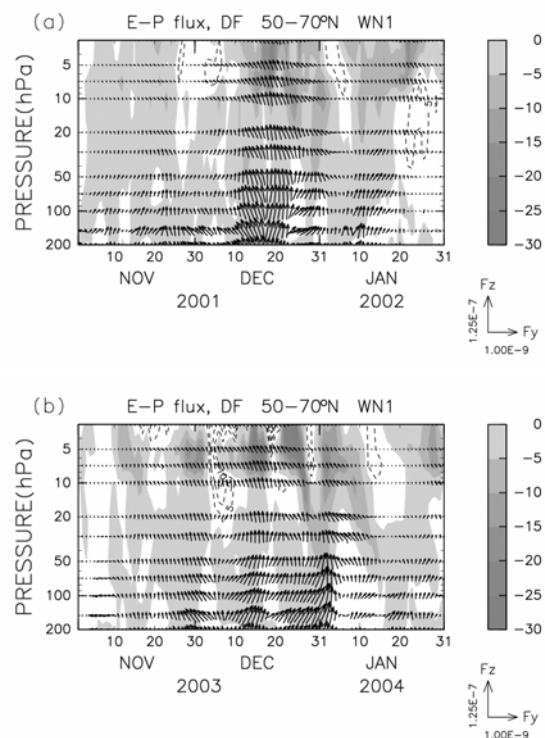


図2. 2001/02年(図2a)、及び2003/04年(図2b)の11月から1月における、北緯50度から70度の領域で平均した波数1成分のE-Pフラックス(ベクトル; kg s^{-2})と波による加速度(陰影; $\text{ms}^{-1}\text{day}^{-1}$)の高度時間断面図。後者では西風加速域のみ破線の等値線で示す。

3.2 予測可能性

次にこれらの突然昇温がどのように予測されているのかを見てみる。図3は2001/02年冬季の12月から1月の期間の、北緯80度における帯状平均気温の変化(太破線)と、同じく12月6日初期値(図3a)、及び12月12日初期値(図3b)のアンサンブル予報結果(細実線)を示したものである。この図から、静穏で寒冷な初冬に引き続いて、12月28日を昇温ピークとする突然昇温が一気に生じていることがよくわかる。12月6日初期値のアンサンブルメンバーの大半が昇温ピークの予測に失敗しているのに対し、12月12日初期値のアンサンブルメンバー全てが予測に成功していることから、この事例では約3週間前から予測可能であったことがわかる。

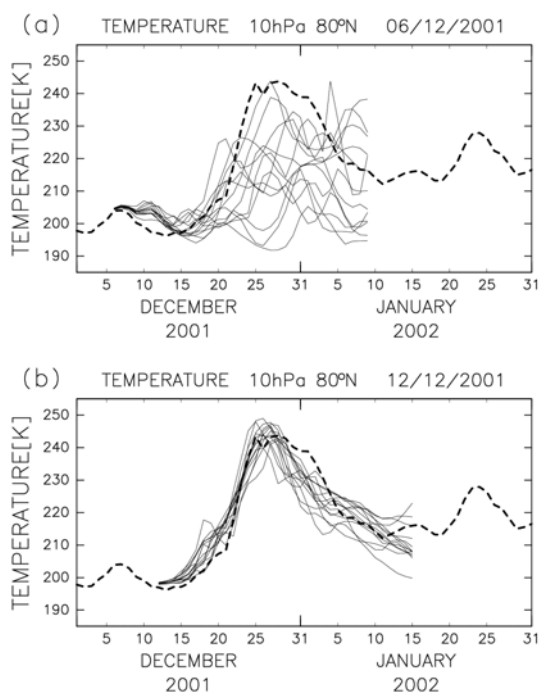


図3. 2001/02年冬季の12月から1月の期間の、北緯80度における帯状平均気温の変化(太破線)と、同じく12月6日初期値(図3a)、及び12月12日初期値(図3b)のアンサンブル予報結果(細実線)。

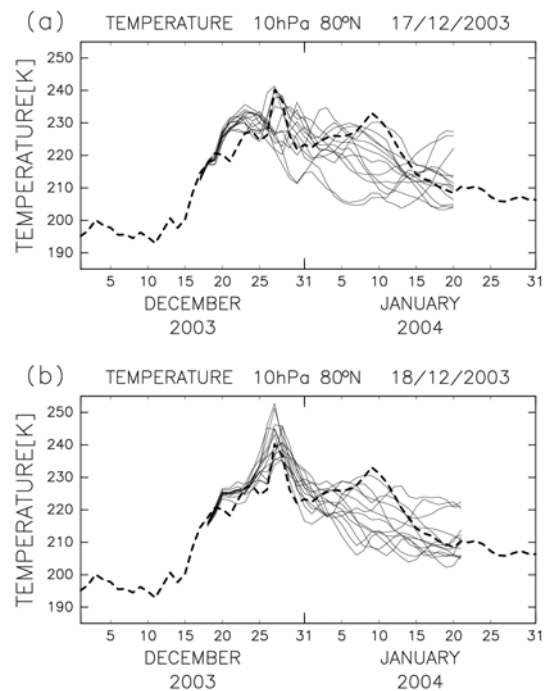


図4. 2001/02年冬季の12月から1月の期間に関する図3と同様の図。ただし、予報は12月17日初期値(図4a)、及び12月18日初期値(図4b)。

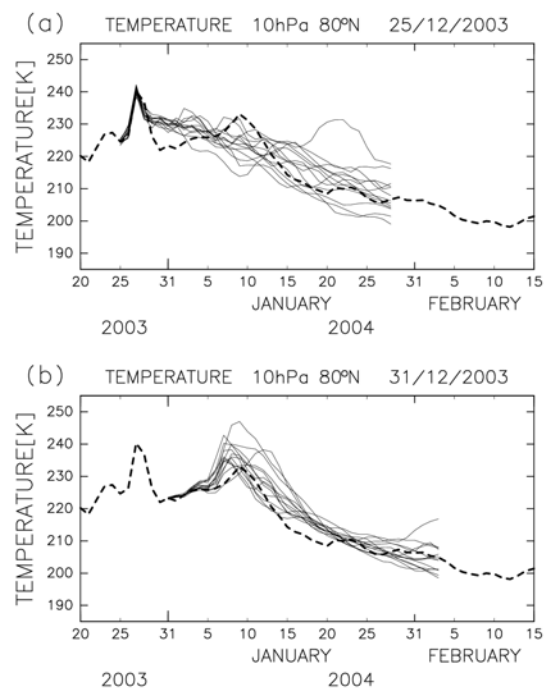


図5. 2001/02年冬季の12月20日から2月15日の期間に関する図3と同様の図。ただし、予報は12月25日初期値(図5a)、及び12月31日初期値(図5b)。

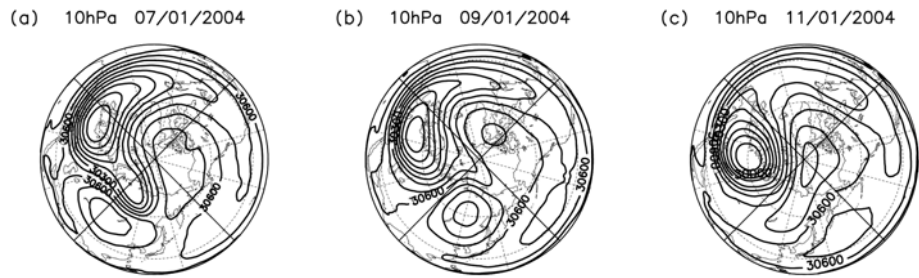


図 6. 2004 年 1 月の大規模突然昇温生起時期における 10hPa 面高度場の北半球投影図。(a) 1 月 11 日、(b) 1 月 9 日、(c) 1 月 11 日。単位は m、等値線間隔は 150m。

図 4 は 2003/04 年の突然昇温に関する予測結果である。12 月 27 日の昇温ピークが小規模昇温、1 月 9 日のものが大規模昇温に対応する。12 月 17 日初期値(図 4a)では数例のメンバーが昇温ピークの予測に成功しているのみであるが、わずか一日後の初期値(図 4b)では、精度はあまりよくないが、全てのメンバーが予測に成功している。この鋭敏な初期値依存性は、アンサンブル予報メンバー全てを解析してのみ示すことができる特徴である。一方、後者でも、1 月 9 日の大規模昇温ピークは、全てのメンバーが予測できておらず、また、全てが 12 月 20 日あたりに偽の小さなピークを予想している。

図 5 は 12 月 25 日(図 5a)と 31 日(図 5b)の予報結果を示したものである。ここでは 1 月 9 日の大規模昇温の予測に注目する。12 月 25 日初期値では全てのメンバーが依然として昇温ピークを予測できていないが、31 日初期値では全てのメンバーが予測できている。しかしながらスプレッドは大きく、あまり精度はよくない。

以上より、2003/04 年の大小 2 つの昇温は、いずれも予測可能期間が 9 日程度で、2001 年の事例と比べ予測が難しかったといえる。

4. おわりに

以上述べてきたように、2001 年の突然昇温は、静穏で寒冷な初冬に引き続き、波数 1 成分のみが関与して生じた比較的単純な突然昇温で

あるのに対し、2003/04 年は、小刻みな昇温後に生じた顕著な小規模昇温がプレコンディショニングの働きをし、その後で大規模昇温が生じた複雑な事例である。また、図 6 は大規模突然昇温生起時期における 10hPa 面高度場の変化を示したものであるが、アリューシャン高気圧に加え、中央アジア付近を起源として東進する別の高気圧が顕著である。このことは波数 1 成分に加え、波数 2 や 3 成分も関与していることを意味し、波数 1 成分に比べ、水平スケールの小さな波数 2 や 3 成分の変動は比較的予測が難しいものと考えられる。このような違いが複合的に重なり、後者の短い予測可能期間をもたらしたものと思われる。なお、2005/06 年の冬季も 2003/04 年に類似した特徴の突然昇温が生じており、その結果の詳細は別稿で報告する予定である。

参考文献

- JMA, 2002: Appendix to *WMO Numerical Weather Prediction Progress Report*, JMA, pp. 157.
- Matsuno, T., 1971: *J. Atmos. Sci.*, **27**, 871-883.
- Mukougawa, H. and T. Hirooka, 2004: *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 1764-1776.
- Mukougawa, H., H. Sakai and T. Hirooka, 2005: *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L17806, doi:10.1029/2005GL022909.
- Toth, Z., and E. Kalnay, E., 1993: *Bull. Am. Met. Soc.*, **74**, 2317-2330.