

2009 年 1 月の成層圏突然昇温と対流圏との力学結合

直江 寛明・黒田 友二・柴田 清孝(気象研)・廣岡 俊彦(九大・理)

1. はじめに

成層圏突然昇温 (SSW)とは、対流圏ー成層圏の力学結合が最も明瞭となり、成層圏循環が短時間に大きく変動する現象である。近年、対流圏の天候パターンや気候に及ぼす成層圏循環の影響の重要性が認識されるようになり、成層圏・対流圏の力学結合に関する多くの研究が行われている。2009 年 1 月後半に発生した突然昇温は、緯度円に沿った波数が 2 の惑星波が卓越する「波数 2 型」であった。過去 30 年間、北半球冬季に大規模な SSW は 22 回起きているが、そのほとんどは緯度円に沿った波数が 1 の惑星波が卓越する「波数 1 型」であり、波数 2 型の SSW は今回を含めて 3 例だけである。

これまで SSW に関する研究では対流圏ブロッキングとの因果関係が指摘されているが、Taguchi (2008) によると、両者の関係について統計的有意性はないとの報告もある。2009 年 1 月の SSW は、太平洋・北米で顕著なブロッキングを伴っていた。今回は、成層圏 SSW・対流圏ブロッキングの力学結合について詳細に解析したので報告する。

2. 方法

解析に用いたデータセットは、ERA interim 客観解析で、気候値に用いた期間は 1989-2009 年の 21 年間である。帯状平均した daily データを 21 年間平均してさらに 31 日の running mean をとって気候値を作成した。また、そこからのずれを anomaly と定義した。

3. 結果と考察

2009 年冬季の北半球成層圏は、2008 年 12 月後半から 2009 年 1 月前半にかけて極域

で平年よりも気温が低く、極渦が強い状態が続いていた (Fig. 1)。1 月中旬には対流圏から成層圏へ東西波数 2 の波のエネルギーの鉛直伝播が増加し、小規模昇温が発生した。その後 1 月 26 日には大規模昇温となり、極渦が完全に分離した状態となった。100 hPa 気圧面で北緯 30-90N で平均した EP-flux 鉛直成分をみると、東西波数 2 のエネルギー上方成分が極めて大きく (Fig. 2)、1979 年以降では今回の大規模昇温時が最大であった。

Fig. 3 に SSW 発生前 (10 Jan) と発生時 (16 Jan) の大気循環場を示す。上部成層圏 10 hPa の高度場偏差をみると、日本付近にアリューシャン高気圧があり、これが 1 月上旬 quasi-stationary の状態であったが、中旬になって東に移動した。そのときヨーロッパにも高気圧が生成し、さらに極渦が分裂して波数 2 型の惑星波が形成された (Harada et al., 2010)。そのとき、波の振幅が徐々に増加し、1 月下旬二つの高気圧が合体し極域全体が高気圧に現われ大規模昇温となった。250 hPa の高度場偏差をみると、太平洋北米沿岸に高気圧がありこれが 1 月を通して停滞し、ブロッキング高気圧を形成していた。北米の東側では低気圧があり、地上 1000 hPa から成層圏 10 hPa までつながっていて barotropic な構造をしていた。地上では、1 月上旬シベリア高気圧の発達が見られたが、SSW 発生時 (16Jan) には減衰したが、一方でアリューシャン低気圧の発達が見られた。

次に温度偏差と東西風を示す (Fig. 4)。上部対流圏 (250 hPa) では、10 K 以上の高温偏差が日本付近にあり、1 月上旬は quasi-stationary な状態であった。この時期のブロッキング域で特徴的なことは、500 hPa では高温偏差が見られたものの、上部対流圏ではなかったこ

とである。この上部対流圏高温偏差域は、SSW 発生時に日付変更線まで移流した。対流圏中下層では(not shown)、太平洋の大分部が低温偏差であり、これはユーラシア大陸で発達した高気圧からの季節風よるものと考えられる。

250 hPa の東西風をみると、SSW が発生する直前には、北太平洋上空の上部対流圏にジェットの異常発達が見られ、ジェット軸に沿って暖域が形成されていた。また大西洋にも非常に発達したジェット気流があり、最大値はともに 80 m s^{-1} を超えていた。太平洋ジェットは SSW 発生時に東まで延び、ジェットの出口では 30 m s^{-1} 以上の南風が卓越した。ジェット軸に沿った暖域がジェットの出口にさしかかると、向きを北向きに変えブロッキング領域に流入した。そのタイミングでブロッキング高気圧が異常に発達し、ブロッキング領域を起点にして波束の水平・上方伝播がみられた。これが SSW を励起したとみられる。循環場の解析からジェットの異常発達は、フィリピン付近で活発な対流活動に伴う発散風、つまりジェット南側にあるロスビー波渦度強制によるものと解析された。ジェットの南側で強制されたロスビー波がジェットを導波管として東方に伝播し、その出口でブロッキング高気圧を発達させ、それが SSW を引き起こす要因になったと考えられる。

4. まとめ

波数 2 型の成層圏突然昇温 SSW が 2009 年 1 月に発生した。SSW の preconditioning 時において、対流圏太平洋ジェットに異常発達し、double-tropopause 構造をした高温偏差 (warm DTT) がみられた。この高温アノマリーは、太平洋ジェットに丁度重なるような形をしていた。2008/2009 の冬は、La Niña 現象があり、フィリピン付近で対流活動が活発であった。なお、1 月の上半月はシベリア高気圧が発達し、アジア域の対流圏下層では

冬の季節風が卓越していた。フィリピン付近での対流活動に伴った大規模な潜熱の解放によって上部対流圏で発散風が発生した。これがジェットの南側に位置していたことにより、極めて効果的なロスビー波ソースとして働いた。その結果、ジェットを発達して傾圧性が高くなったので、ジェットの北側で傾圧性擾乱が発生した。この総観規模擾乱がジェットに沿って東に移動すると、成層圏のアリューシャン高気圧も東に移動した。SSW が発生する直前、warm DTT のアノマリーは、太平洋ジェットの出口付近に位置し、そこから流れは北向き成分が卓越して、ブロッキングの領域に流入した。つまり、 $v'T' > 0$ になったため、熱フラックス (波の上向き活動度フラックスに比例) が局所的の強化されていた。したがって、上部対流圏・太平洋ジェットの高温アノマリーは、太平洋・北米のブロッキングを発達させるとともに、そこから惑星規模のロスビー波を励起したため、成層圏突然昇温(SSW)を引き起こしたと考えられる。

参考文献

- Harada, Y., A. Goto, H. Hasegawa, N. Fujikawa, H. Naoe, and T. Hirooka (2010), A major stratospheric sudden warming event in January 2009, *J. Atmos. Sci.*, **67**, 2052–2069, doi: 10.1175/2009JAS3320.1.
- Naoe, H., Y. Kuroda, K. Shibata, and T. Hirooka (2011), A major stratospheric sudden warming of 2009 and its dynamical links with the troposphere, *J. Atmos. Sci.*, to be submitted.
- Taguchi, M., 2008: Is there a statistical connection between stratospheric sudden warming and tropospheric blocking events? *J. Atmos. Sci.*, **65**, 1442–1454.

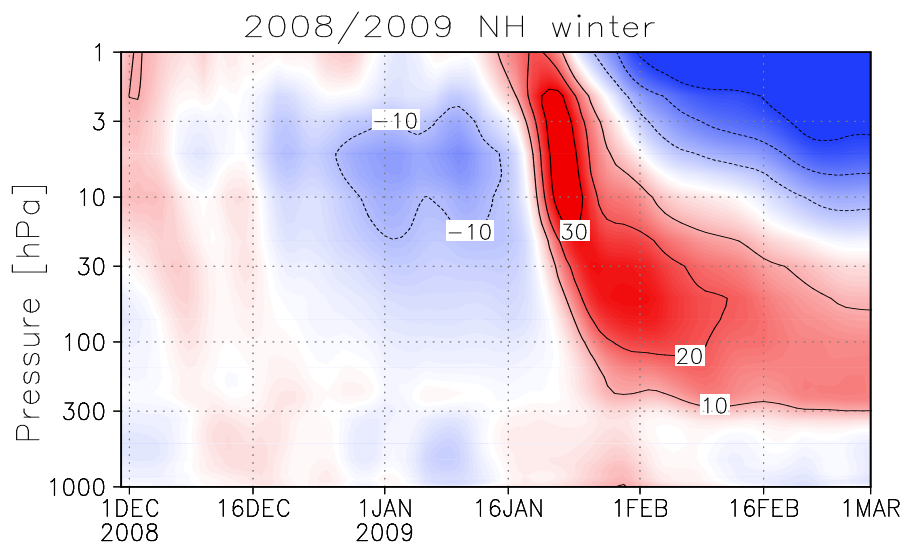


Figure 1. For the 2008/2009 winter, time-height cross-sections of zonal-mean temperature. A major stratospheric sudden warming event occurred in January 2009. Temperatures are averaged over latitudes of 80-90°N, and the contour interval is 10 K. The anomalies are defined here the departures of the actual daily field from the zonally-and-time averaged climatology for each calendar day.

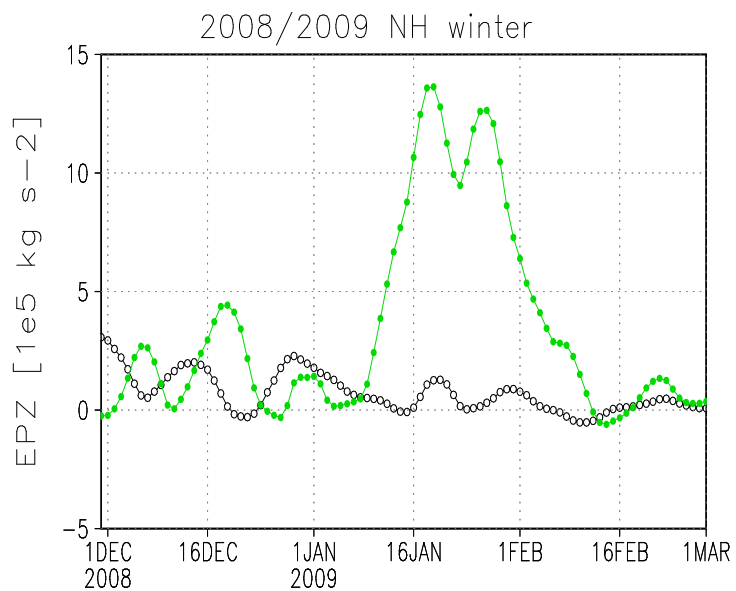


Figure 2. Time series of upward EPflux average over 30-90N at 100 hPa in the 2008/2009 winter. Upward fluxes of waves 1 and 2 are denoted by black and green lines, respectively.

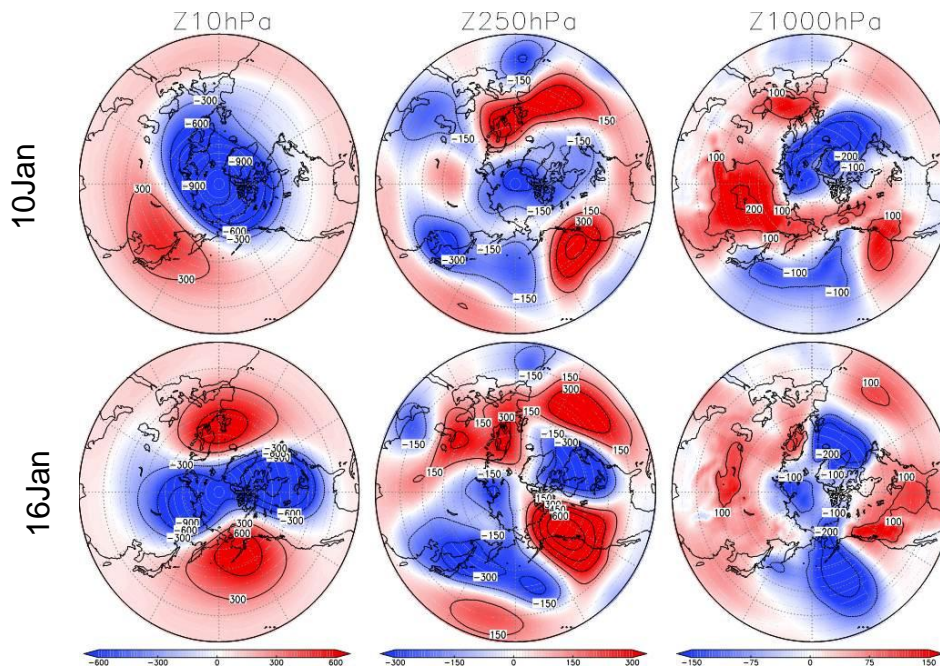


Figure 3. Three-day mean anomalies of geopotential height Z' at 10, 250, and 1000 hPa on 10 January 2009 (before the onset of SSW) and on 16 January (at the onset of SSW) in units of m.

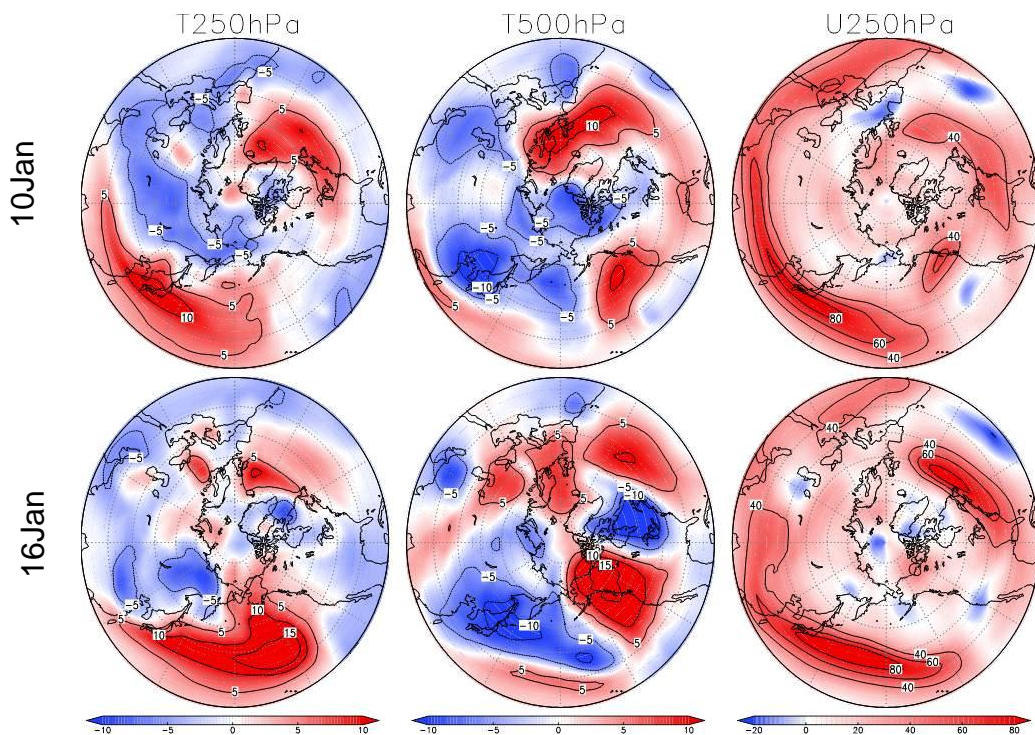


Figure 4. Three-day mean anomalies of temperature T' at 250 and 500 hPa, and Zonal wind U at 250 hPa, on 10 and 16 January. Values of temperature and zonal wind are in units of K and in m s^{-1} , respectively.