

# 成層圏の変動の気候への影響について

○黒田友二(気候研究部)

## 1. はじめに

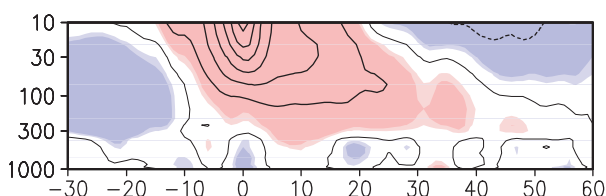
気候の形成とその変動にはさまざまな気候システムの要素が関わっている。例えば、海洋は海面水温の変化を通じて気候に大きな影響を与えている。しかし近年、大気圏の我々が住み降雨や低気圧活動などの天候変化が存在する対流圏の上部の成層圏の変動もまた気候に大きな役割を果たしていることが知られるようになってきた。

本発表では、成層圏変動が気候に果たす役割、またそれが季節予測の精度向上に果たす役割について我々の研究成果を中心に紹介したい。

## 2. 成層圏変動と気候

### 2.1. 成層圏突然昇温

成層圏(高度で約8~45km)とは対流圏の上に広がる上空ほど温度が高くて安定に成層している大気層である。ここに存在する質量は全大気の20%程度に過ぎず、また、大気は安定成層しているのに、しばしば大きな変動が発生することが知られている。図1は成層圏突然昇温(Stratospheric Sudden Warming: SSW)とよばれている現象であり、数日程度で時には50度以上もの温度上昇を伴う。



第1図:成層圏突然昇温における北極点付近の温度偏差の時間変化。多数の昇温現象について重ねた平均的描像。横軸は偏差が最大の時を0とした経過時間(日)を示している。縦軸はhPaで表した高度で上端は約30km。コンター間隔は5度で、赤(青)い部分は高(低)温で濃い影の領域は95%水準で統計的に有意であることを示す。(Kuroda, 2008a)

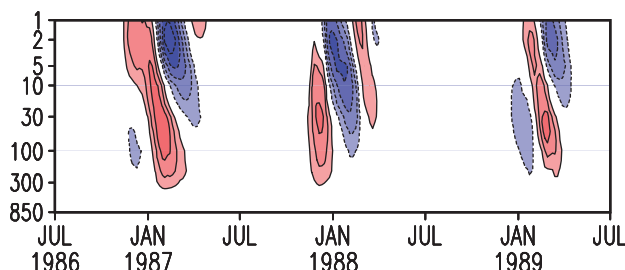
SSWは対流圏内部で何らかの理由で惑星波とよばれる東西波長が1~2万キロ程度の長波長の波が増幅して、成層圏上部にまで上方伝搬したのち、波が壊れ(砕波)て成層圏ジェットに急激な減速をもたらす、同時に極域に強い下降流を生じさせる現象である。この下降流に伴った大気の断熱圧縮により高温が生じる。

かつてはSSW生成のように、対流圏が成層圏の変動を作り

出す効果にのみ注意されていたが、近年では逆に成層圏の変動が対流圏に変化を引き起こす効果についても広く認識されるようになってきた。つまり、大気中では対流圏と成層圏が相互に影響し合って変動している。そのような結合変動の代表的なものが極夜ジェット振動である(図2)。

### 2.2. 極夜ジェット振動

極夜ジェット振動(Polar-night Jet Oscillation: PJO)は、大規模なSSWをその要素とするような数ヶ月にも及ぶ成層圏対流圏結合変動である。成層圏には大きな年々変動があり、数年に1回程度の頻度で明瞭なPJOが現れる。PJOはひと冬中にSSWと極渦強化(Vortex Intensification: VI: SSWの逆で成層圏ジェットが強まる現象)を準周期的に繰り返す現象である。対流圏と成層圏が相互に作用を及ぼしあうことにより、数ヶ月にわたる準周期的現象が起こる。このうち、対流圏から成層圏への影響は先に述べた惑星波による波動伝搬であり、比較的短時間で影響が伝搬する。



第2図:1987年から1989年にわたって3年連続で発生した極夜ジェット振動の様子。北極点の気温偏差(気候平均状態からのズレ)を30日移動平均して示している。赤域は高温でSSWに、青域は低温偏差でVIに相当する。コンターは±5度から5度間隔で引いている。(Kuroda and Kodera, 2001)

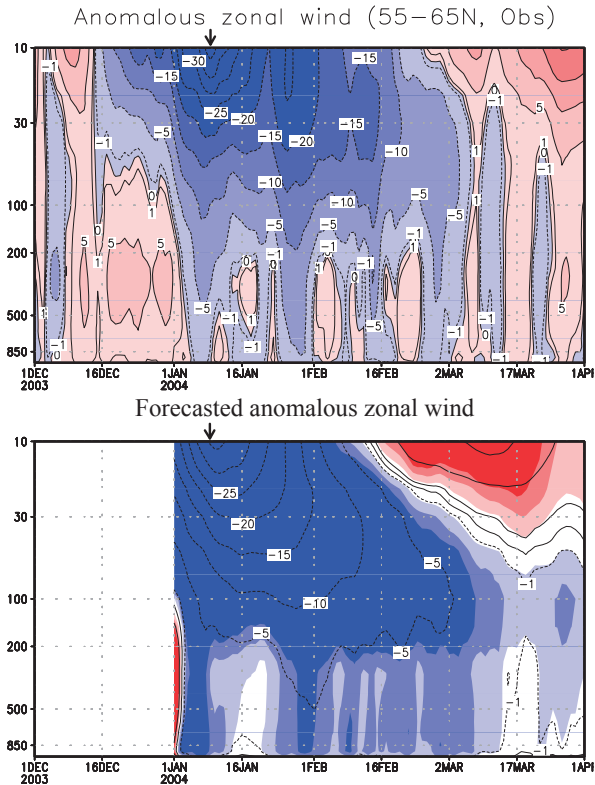
それに対して成層圏が対流圏に及ぼす影響は、成層圏の変動が時間をかけて下降する形での変動となる。例えば、SSW(VI)後の成層圏でジェットの弱風(強風)化の信号は1ヵ月程度の時間をかけて対流圏にまで下降伝搬し、地表面に負(正)極性の北極振動とよばれる変動パターンを作る。負極性の北極振動の形成は、極域の寒気の中緯度域への流出を伴うため、しばしば北日本で多量の降雪を伴った低温状態になるような異常気象をもたらすことが知られている。

波動の直接影響による対流圏から成層圏への影響に対し

て、成層圏から対流圏への影響の仕組みは複雑であり、未だ完全には解明されておらず、今後の研究課題である。

### 2. 3. PJOと予測可能性

PJOは前節で述べたように準周期的性質をもつため、この性質は気候予測の精度向上に利用できる可能性がある。そこで我々は典型的なPJOが起った2004年1月について、その予測可能性を調べる実験を行った(図3)。実験は、初期の気象場の状態のみを用い、どの位の期間についてどの位の精度の予測が可能かという観点で実行した。



第3図: 2003年12月1日から2004年4月1日までの、北緯60度における東西平均した東西風偏差。上の図は実況で下の図は1月1日付近を初期値とした多数の予報の平均値である。コンター間隔は5m/sで、色の赤(青)は正(負)を表す。下図の影は予測の有意性を表し濃いほど予測の信頼性が高い。矢は昇温のピーク時を現わす。(Kuroda, 2008bより)

極域に見られる大規模な変動は環状モードとよばれるものであり、北緯60度付近の平均東西風の変動をその変動の指標とすることができる。なお、北極振動とは地表面気圧に現れた環状モードの信号のことである。図3は観測データ(上図)と2004年1月1日付近を初期値とした予報から得られた北緯60度における東西風速の偏差(下図)を比較したものである。観測は、1月9日にSSWに伴う西風減速のピークが現れ、それが2ヶ月程度にもわたって下降伝搬し、対流圏に継続的な負極の北極振動を形成していたことを示している。

予測結果は観測の振る舞いを2ヶ月程度にわたって概ね良く再現している。特に、SSW後の2カ月にわたる下降伝搬す

る西風偏差と対流圏での負偏差(負極性の北極振動に対応)が良く予測できている。対流圏で予測可能性の高い領域に着目すると、成層圏のそのような領域から信号が間欠的に下降するように現れており、成層圏と強いつながって変動が現れている。また、同様な予測実験を初期値を変えて繰り返したところ、SSW期を初期値とする予測は非常に高い予測可能性を示す一方で、VI期を初期値とした場合には高い予測可能性が得られないことが分かった(Kuroda, 2010)。つまりPJOはSSW期を初期値にする場合にのみ高い予測精度で予測を行うことが可能になることを示している。

さらに、成層圏の影響を陽に調べるため、同様な実験を成層圏部分のみ鉛直方向を非常に低解像度とした数値モデルで再実行した。その結果、高い予測精度は高々10日程度になってしまうこと、つまり、モデルにおける現実的な成層圏の表現が予測可能性を顕著に高めることが分かった。

### 3. まとめ

成層圏変動の気候に及ぼす影響と、特にその気候予測可能性に与える影響について調べた。成層圏は冬季にしばしば非常に大きな変動を示し、さらにそれが対流圏の変動と結合する冬季の数カ月にわたる変動を作り出している。さらに、この変動を予測のための種とすることで、冬季の予測可能性が飛躍的に高まることが示された。しかし、このためには大気モデルの成層圏の表現を改良する地道な作業が必要である。

### 参考文献

- (1) Kuroda Y., and K. Kodera, 2001: Variability of the polar night jet in the northern and southern hemispheres, *J. Geophys. Res.*, **106**, D18, 20703–20713.
- (2) Kuroda Y., 2008a: Effect of stratospheric sudden warming and vortex intensification on the tropospheric climate, *J. Geophys. Res.*, **113**, D15110, 1–14.
- (3) Kuroda Y., 2008b: Role of stratosphere on the predictability of medium-range weather forecast -A case study of winter 2003–2004, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L19701, 1–5.
- (4) Kuroda Y., 2010: High initial-time sensitivity of medium-range forecasting observed for a stratospheric sudden warming, *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L16804, 1–6.