

熱帯積雲対流活動に対する成層圏突然昇温現象の影響：

2001年12月の突然昇温予報実験結果から

小寺邦彦（名大・環境）、向川均（京大・防災研）、黒田友二（気象研・気候）

序

成層圏突然昇温に伴い赤道域で積雲対流活動が活発化することを再解析データの解析から示してきた（Kodera, 2006; Eguchi and Kodera, 2007）。ここでは Mukougawa et al.(2007) によって行われた予報実験の初期値に突然昇温を起こす擾乱とその逆の擾乱を加え昇温を抑制した 2001 年 12 月の実験結果を用いて成層圏突然昇温があった場合と無かった場合を比較することで成層圏突然昇温の積雲対流活動に及ぼす影響について調べた。この結果から海洋大陸付近の対流活動への成層圏突然昇温の寄与が示唆されるが、興味深いことに 2001 年 1 2 月の成層圏突然昇温時には海洋大陸で積雲対流活動が活発化し赤道直近のスマトラとボルネオの間で台風が発生するという極めてまれな現象が起こっている（Chang, 2003）。

予報実験結果

突然昇温有りグループと無しグループ、それぞれ 5 メンバーのアンサンブル平均の差から何が突然昇温現象と何が密接な関係に有るかを調べる。ここで言う「突然昇温現象」とは単に成層圏極域の気温上昇のみでなくそれに関わる一連の過程：プラネタリー波の増幅、上方伝播、東西風の減速、子午面流の増強、そしてその結果起こる極域の気温の上昇と赤道域の気温の低下を含む。

図 1 に突然昇温有り無しグループの差を積分開始の 12 月 13 日より 29 日まで 16 日間の時間一緯度断面を示す。彩色を施した部分は二つの平均の差が 95% の水準で有意である領域を示している。突然昇温有りグループでは無しの場合と比較すれば 12 月 13 日の最初から EP フラックスの鉛直成分（図 1b）は大きい。しかし、高緯度と低緯度の気温のシーズンは（図 1a）明瞭ではなくまだ突然昇温現象が始まっているとは言えないであろう。この段階では対流圏(300hPa)の EP フラックスの鉛直成分の差（図 1c）は中緯度で大きい。波数別の成分を見るとこれは主に波数 3 以上の波で鉛直にはほとんど伝播していない。

しかし 16 日頃から波数 1 の活動度が大きくなり中心は北緯 60 度近辺に移り突然昇温が開始する。成層圏での EP フラックスの鉛直成分は未だあまり大きくないが水平成分（図 1d）を見ると極周辺から低緯度に向かう波が大きく成長している。この段階では気温の上昇は極よりその周辺 70N で起こっている。またこれに対応して 20N 付近で降温が見いだされる。21 日頃からは対流圏の波の増加は見られないが成層圏で波は急増すると共に赤道

向きから上向きに伝播方向が変わり極域の気温が急激に増加する。また降温域も赤道を越え南半球側に広がっていく。26日頃になると成層圏でも波の活動は減少を始め極域の温度の増加も止まる。以上、温度場とプラネタリー波の伝播の特徴からこの2001年12月の突然昇温を以下の前期、中期、後期の3つの期間に分けて考える：i) 前期（12月16－20日）：プラネタリー波の増加と下部成層圏での赤道向き伝播、ii) 中期（12月21－26日）：プラネタリー波の増幅と上部成層圏への伝播、極域気温の急上昇、iii) 後期（12月27日－ ）プラネタリー波の鉛直伝搬の減衰、気温の増加停止。

突然昇温が有るグループと無いグループとの対流圏でのEPフラックスの違いは精々21日くらいまでしか有意に認められない。しかしこの事はそれ以後には対流圏循環に差が無い事を意味しない。二つのグループの主な違いはプラネタリー波の構造にあるのでそれに関連する量には明確に認められる。波数1のプラネタリー波の増幅は大西洋側で気圧が上がり太平洋側で下がることと対応する。この時、太平洋側のトラフの発達に関連してユーラシア大陸の東では寒波の吹き出しが起こる。図1eに東経110-120度で平均した地上気温差の時間-緯度断面を示す。ちょうど成層圏での波の増幅が起こると同期してアジアの東岸から南シナ海へと寒波の吹き出しが起こっている。また波の活動度が落ちて来る後期になると吹き出しは止まる。

さて突然昇温に伴って熱帯域の積雲対流活動がどう変化したかを見る為に帯状平均した積雲性降水率の二グループのアンサンブル平均の差を図1fに示す。突然昇温現象の開始につれて降水帯は北半球5-10度帯で明瞭になる。中期にはいると降水域は赤道付近に南下する、そして後期になるとまた北半球5-10度にも戻っていく。降水帯の変化を他の変数と比較すると約2日遅れで変化している（図の縦線）。図には示していないがこの様な降水帯の南北移動は昇温グループの個々のメンバーにも全てに認められるので突然昇温現象の発生と密接に関係している事がわかる。

さて、今回の実験は予報実験であるので突然昇温の予報できたグループと失敗したグループとで観測と比べて熱帯の降水の予報がどうできていたかという問題がある。ただ予報開始から10日以上も経ってしまうと熱帯の降水は現実を離れモデル気候値へと近づいてしまうので現実との比較は難しい。ただ昇温有り無しグループの差を取ることでモデルバイアスの問題は軽減できる。従って観測される熱帯の降水分布の急激な変化が成層圏突然昇温現象に由来しているのなら昇温有り無しのグループの差に見いだされる降水の分布の特徴は観測の気候値からの偏差場にも見いだされるはずである。図2c、2dにa,bと同期間のOLRの偏差を示す。12月20－22日平均のOLRには北半球の収束帯で強い積雲対流活動が認められ、その3日後には北半球の収束帯の積雲対流活動は弱まり赤道域の海洋大陸、南アメリカ大陸で強まるという特徴を示しており、赤道中部太平洋を除き大局的な構造はモデルの結果に対応していると言えよう。

議論とまとめ

以上成層圏突然昇温予報実験の結果から成層圏突然昇温現象を予報できたグループでは観測と同様にプラネタリー波が下部成層圏で赤道に向かっている昇温前期には降水は北半球低緯度で強まり、プラネタリー波の増幅、上部成層圏への強い伝播が始まる中期には赤道付近に降水帯が移動するのが認められた。この変化は特に海洋大陸、南アメリカで明瞭であった。

以上の結果から赤道上の降水が突然昇温現象と深く関係している事が示唆されるがどのような機構で成層圏突然昇温現象と赤道域の積雲対流活動が結びついているのかを同定するには現在の解析からだけでは不十分である。例えば成層圏突然昇温現象と関係していても成層圏循環とは直接関わりないプロセスも考え得る。突然昇温を引き起こすプラネタリー波の増幅はアジアからの寒波の吹き出しを伴っている (図 1e)。寒波の吹き出しは南シナ海、海洋大陸付近で積雲対流活動を誘起する。観測でも 2001 年 12 月 20 に日すぎから寒波の吹き出しが起こっている (Chang, 2003)。従って 12 月 23-25 日に見られる南シナ海、海洋大陸付近での積雲対流活動の強化はこの吹き出しの影響と解釈できよう。もし影響がこれ以外に無い場合には成層圏循環は熱帯の対流活動に直接的な寄与をしていない事になる。しかし積雲対流活動の南下は全球的に見られ特に南アメリカでの変化はユーラシアからの寒波の吹き出しの影響とは考えられない。従って熱帯の全球的な降雨の変化には成層圏循環の変化も関連している可能性がある。ただ、赤道域での突然昇温にともなう温度変化は 50hPa の帯状平均で見れば 0.75 度と小さい。一方対流の変化は日変化の振幅の変化として局地的に現れている。従ってどの様に局地的な赤道域の降雨が全球的な成層圏突然現象と結びついているのかを明らかにする為にはさらに詳しい解析が必要である。

参考文献

- Chang, C.-P., C.-H. Liu, and H.-C. Kuo (2003), Typhoon Vamei: An equatorial tropical cyclone formation, *Geophys. Res. Lett.*, 30(3), 1150, doi:10.1029/2002GL016365.
- Eguchi, N., and K. Kodera (2007), Impact of the 2002, Southern Hemisphere, stratospheric warming on the tropical cirrus clouds and convective activity, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L05819, doi:10.1029/2006GL028744.
- Kodera, K. (2006), Influence of stratospheric sudden warming on the equatorial troposphere, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L06804, doi:10.1029/2005GL024510.
- Mukougawa, H., T. Hirooka, I. Ichimaru, and Y. Kuroda (2007), Hindcast AGCM experiments on the predictability of stratospheric sudden warming, *Nonlinear Dynamics in Geosciences*, 221-234, Springer-Verlag, DOI:10.1007/978-0-387-34918-3_13.

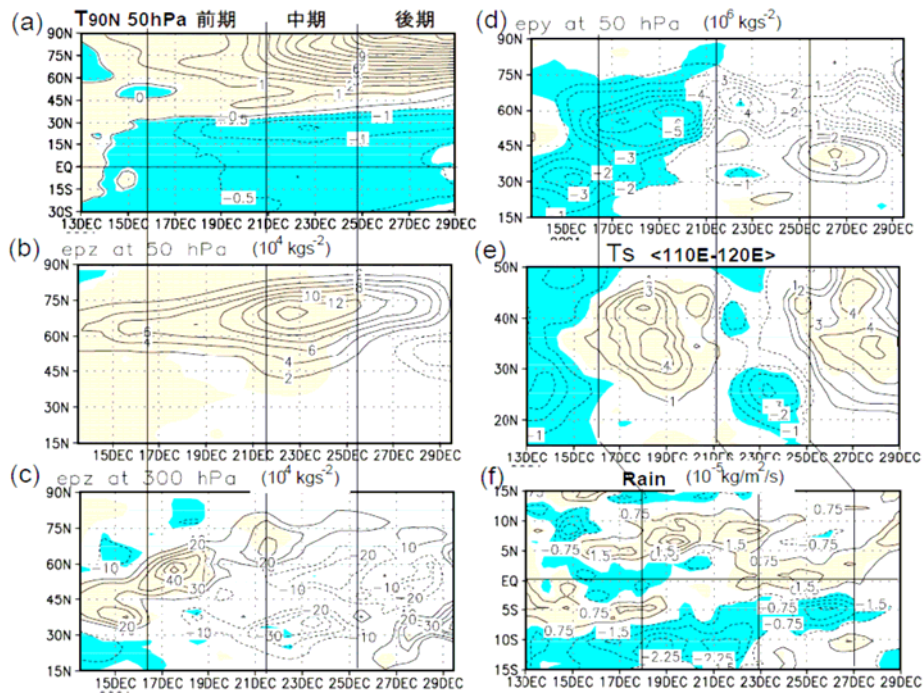


図1 突然昇温有り無しとの予報実験結果のアンサンブル平均の差の時間—緯度断面（2001年2月13日の積分開始より29日）：(a) 帯状平均50hPa気温、(b) 50hPa E-Pフラックス鉛直成分、(c) 300hPa E-Pフラックス鉛直成分、(d) 50hPa E-Pフラックス水平成分、(e) 110°E-120°E平均地上気温、(f)帯状平均積雲性降水率。縦線は突然昇温の前期、中期、後期の区分を示す。彩色は二つのアンサンブル平均差が95%の水準で有意な場所。

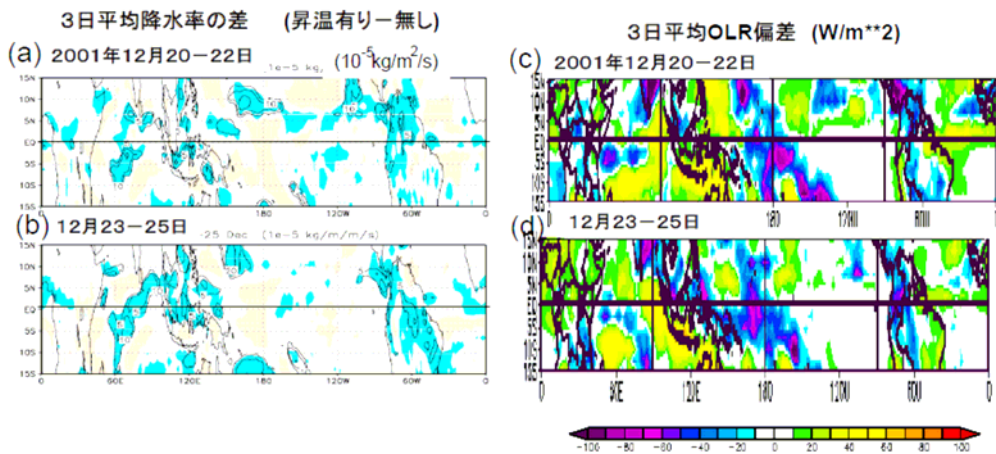


図2 (a, b) 3日平均積雲性降水量の昇温有り無しグループのアンサンブル平均の差：(a) 12月20-22日、(b) 12月23-25日平均。図を簡潔にする為に等値線は正の値（昇温有りグループの降水が多い場合）のみ示してある。影は差が95%の水準で有意な場所。(c, d) a, bと同期間の観測による3日平均OLR偏差。