

アンサンブル予報を用いた2006年1月の成層圏突然昇温の解析

西井和晃・中村尚（東京大学大学院理学系研究科）

1. はじめに

2006年1月に突然昇温が観測された（図1）。緑色の破線で示された20hPa面での東西平均東西風は2005年12月終わりから減速し始め、1月下旬には東風に反転した。この減速に併せて赤色で示された100hPa面での東西平均北向き渦熱フラックス(E-P fluxの上向き成分に対応)は増加していた。

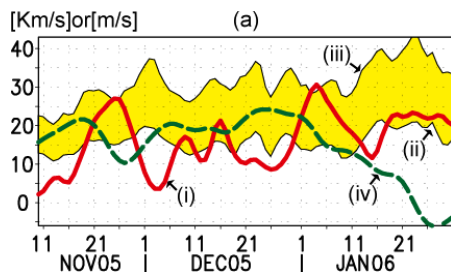


図1 赤色線(i): 100hPa面北向き渦熱フラックス。(ii): 渦熱フラックスの気候平均値。(iii): 渦熱フラックスの気候平均値に1標準偏差たしたもの。緑色破線(iv): 20hPa東西平均東西風。

西井と中村（2007）では、2006年1月に観測された北半球成層圏突然昇温の解析し、その発生に寄与した対流圏から成層圏へのプラネタリー波の上向き伝播の増幅について調べた。そしてこの増幅は、対流圏の循環偏差を波源とする東西方向に局在化した波束的な上向きロスビー波によって引き起こされたことを示した。本研究の前半では、この成層圏突然昇温期間を予報期間に含む、気象庁1ヶ月アンサンブル予報のプロダクトを用いて、この突然昇温予測の初期値誤差場への依存を調べた。また後半では上向き波束伝播と気候平均プラネタリー波の相互作用によって、全体のプラネタリー波がどのように増幅したかについて調べた。

2. 初期値誤差場の予報への影響

この解析では、1月中旬から下旬にかけてのプラネタリー波伝播の強化期間を含む、1月11、12日を初期値とするアンサンブル予報データを用いた。西井と中村（2007）で指摘

したように、この期間のプラネタリー波の増幅は、大西洋上での停滞性の対流圏高気圧性循環偏差を起源とするロスビー波束によって引き起こされたものである。この期間中に活発化したストームトラック活動に伴う渦度フラックス収束によって、この高気圧性循環偏差は増幅した。また、このストームトラック活動は太平洋からの下流発達(downstream development)に伴うものであった。

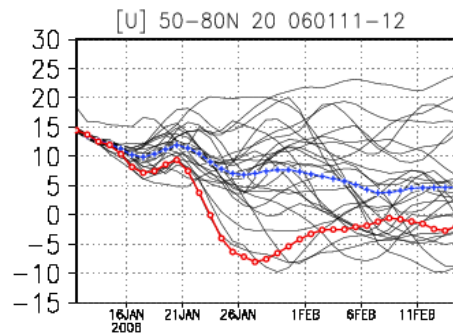


図2 黒実線: アンサンブルメンバーの20hPa東西平均東西風。青線(黒丸付): アンサンブル平均。赤線(白丸付): 再解析値。

図2は11、12日を初期値とする各アンサンブルメンバーの20hPa面での東西平均東西風である。全部で26メンバーである。20日ごろから風速はメンバー間でばらつき始め、28日ごろには突然昇温を予測できたメンバーとできなかったメンバーとのバラツキは最大に達している。この予測のバラツキに最も寄与した初期値誤差場を求めるために、榎本他(2006)で提唱された簡易感度解析を行った。対象領域は東風のピークとなった28日の成層圏極渦(経度0-360度、北緯50-90度、気圧面100-10hPa)である。ただし、成長誤差育成法(BGM法)で初期値誤差場を6つ作成し、その反対符号の場も初期値誤差場として用いるため、各11、12日にそれぞれ初期値誤差場は12個あるが、独立な場は各日で6つしかない。このため、この解析では2の6乗通りの組合せで感度解析を行い、その結果を平均した。

図3(左は11日、右は12日)の影をつけた領域はトータルエネルギー表示をした感度の大きな領域である。また等値線は再解析データの地上気圧である。11から12日にかけて太平洋上で地上低気圧が急発達している。この低気圧の周辺で感度が大きい。このことは太平洋上の地上低気圧の周辺での初期値誤差が、突然昇温の予測に大きな影響を与えたことを示唆している。なお、11、12日の両日ともに感度の大きかった領域は太平洋上以外にはなかった。

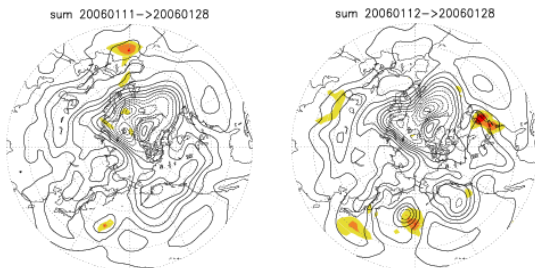


図3 影：トータルエネルギー表示した感度。実線：再解析値の地上気圧。左が1月11日、右が12日の場を表す。

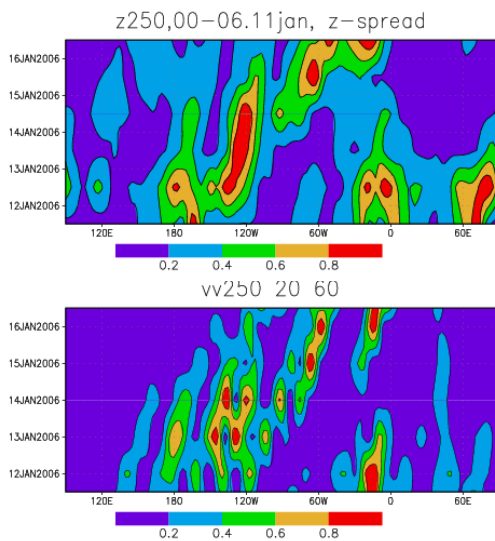


図4 上；250hPa 高度場スプレッド（北緯20度-60度で平均）のホフメラー図。11日初期値メンバーのみ使用。期間は11日から16日までであり各日で最大の値で各経度上の値を割ることにより規格化してある。下；同様の処理を施した再解析値の250hPa南北風の2乗。

次に、この太平洋上での初期値誤差が、どのように突然昇温予測に影響を与えたかについて考察を行う。ここでは誤差の指標としてアンサンブルメンバーの250hPa高度

場のスプレッドを用いる。スプレッドの東西方向の伝播をみるために11日初期値メンバーの高度場スプレッドのホフメラー図を図4上に示す。スプレッドの東向き”位相速度”（約5m/s）が見られ、また東向きの”群速度”（約28m/s）も太平洋から大西洋にかけて見られる。また同様の再解析の250hPa南北風の2乗を下に示すが、同期間、同領域には位相速度（約7m/s）、群速度（25m/s）をともなった下流発達がみられている。以上のことは、個々のアンサンブルメンバーでの下流発達の予測のバラツキがスプレッドの”東向き群速度伝播”として見られていると考えられる。図には示さないが、実際アンサンブルメンバー間でクラスター解析を行うと波の振幅が大きく群速度が速いグループと、振幅が小さく群速度が遅いグループに大別される。

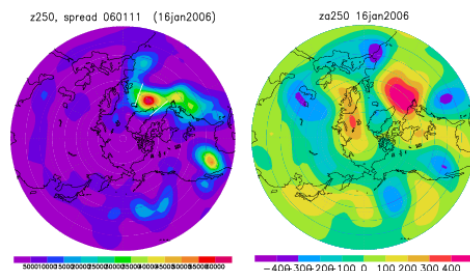


図5 左；1月16日の250hPa 高度場スプレッド。右；同日の再解析250hPa 高度場の気候平均場からの偏差。

図5左は16日の250hPa高度場のスプレッドの分布であり、右は同日の再解析値の気候平均場からのずれである。大西洋上の高気圧性偏差のやや北側でスプレッドの極大が見られている。これはこの高気圧性偏差の北への伸長の予測がばらついていることを示唆している。次に誤差の成層圏への伝播を考える。図6の左列は16、17、18日の北緯50度での高度場スプレッドの東西高度分布である。右列は同日の気候平均からの高度場偏差である。対流圏でのスプレッドの極大は図5で示した大西洋上の極大に対応している。時間と共に成層圏へ誤差の極大が進展していることがわかる。また高度場偏差場をみると対流圏の循環偏差の振幅が時間と共に小さくなっていき、逆に成層圏での低気圧性循環の振幅が大きくなっている。

このことはここに対流圏から成層圏への群速度伝播が起きていたことを示しており、西井と中村(2007)での結果と整合的である。以上のことから、成層圏への波束伝播予測のバラツキにともなって、スプレッドの極大が成層圏へ伸展したと考えられる。

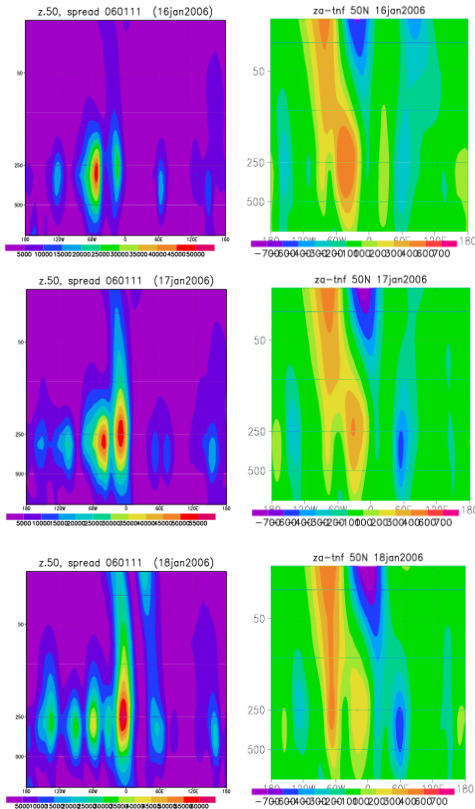


図6 左列；北緯50度でのスプレッドの東西高度断面図。上から16, 17, 18日。右列；北緯50度での再解析高度場偏差。

この節ではアンサンブル予報の初期値誤差場の突然昇温への影響の過程を調べた。1月中旬には、太平洋上での地上低気圧周辺での初期値誤差が、下流伝播の予測のバラツキによって大西洋まで伝播し、次に大西洋上での上向き波束伝播予測誤差のバラツキに伴って誤差が成層圏へ伝播したことが示唆された。

3. 波束伝播と気候平均プラネタリー波との相互作用

上向きのプラネタリー波伝播の強さは北向き渦熱輸送に比例する。 V, T を南北風と温度(東西平均を引いている)とすれば、

$[VT] = [VcTc] + [VcTa + VaTc] + [VaTa]$ と分解できる。ここで添字 c, a はそれぞれ気候平均と、それからの偏差を表す。第1項は、図7の黒線(i)で示され、気候平均プラネタリー波による寄与、第2, 3項は気候平均プラネタリー波と波束伝播の相互作用(青線 ii)、第4項は波束伝播による寄与(赤線 iii)を表している。

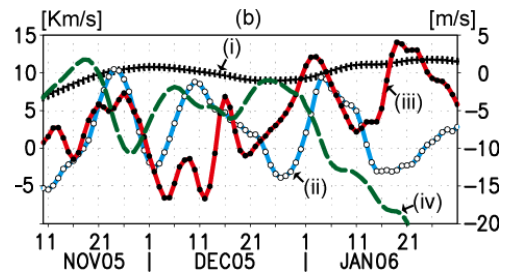


図7 100hPa熱フラックスを各成分に分けて示した時系列。

全体(左辺)としての上向き伝播(図1)が顕著であった1月初めと1月中旬で、(iii)で示される波束伝播による寄与が増大していた。これに対して、(ii)で示される相互作用項は1月初旬では顕著なもの、中旬では弱い負を示しており、波束伝播による寄与を打ち消そうとしている。以下ではこういった振舞がどのように引きこされたのか、またこれによって、プラネタリー波がどのように変調を受けたのかについて解析を行う。

図8(a)では1月1-5日で平均した100hPa面での南北風(等値線)と温度(影)を示している。太平洋上の暖気とユーラシア上の寒気が、それぞれ南風と北風に一致しており全体として熱フラックスは北向きになっている。図8(b)は気候平均場同士($VcTc$)であり、上記の傾向と似ている。図8(c)は波束伝播による寄与($VaTa$)であり、北米大陸上の暖気偏差とユーラシア大陸上の寒気偏差がそれぞれ南風と北風に一致しており、北向き渦熱フラックスの増大に寄与している。図8(d, e)はそれぞれ相互作用項で($VaTc$)と($VcTa$)を示している。 $VaTc$ はアラスカ上の暖気とヨーロッパ上の寒気がそれぞれ南風偏差と北風偏差に一致しているため極向き渦熱フラックスに寄与している。 $VcTa$ では打ち消しあうため顕著な寄与はな

い。以上のようにして1月初めでは、波束伝播項と相互作用項がともに増大したと考えられる。

への寄与はほとんどないか、負になっていた。

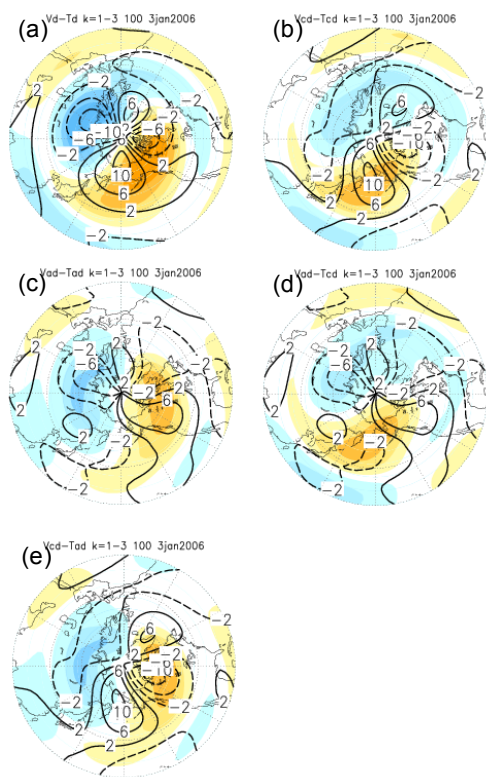


図8 (a)1月1-5日平均した、100hPa南北風(等値線)と温度(影)。東西波数1-3成分で再構成している。(b)南北風、温度ともに気候値。(c)ともに偏差場。(d)南北風が偏差場、温度場が気候値。(e)南北風が気候値、温度場が偏差場。

1月中旬(16-20日平均)の同様の図を図9に示す。プラネタリー波全体としては(a)太平洋上の暖気とヨーロッパ上の寒気がそれぞれ南風と北風に一致するため北向き熱フラックスが増大している。(c)で示される波束伝播項の寄与は、北米上の暖気偏差とヨーロッパ上の寒気偏差が一致することから北向き熱フラックスが増大している。また、(d)では $VaTc$ の寄与がヨーロッパ上の寒気が北風偏差に一致することから増大している。これらに対し、(e)の $VcTa$ では北米大陸上での暖気偏差と大西洋上での寒気偏差が、それぞれ北風と南風にあたるため、北向き渦熱フラックスは負になり、上記2つの項の寄与を打ち消している。このために、この期間中の相互作用項の渦熱フラックス

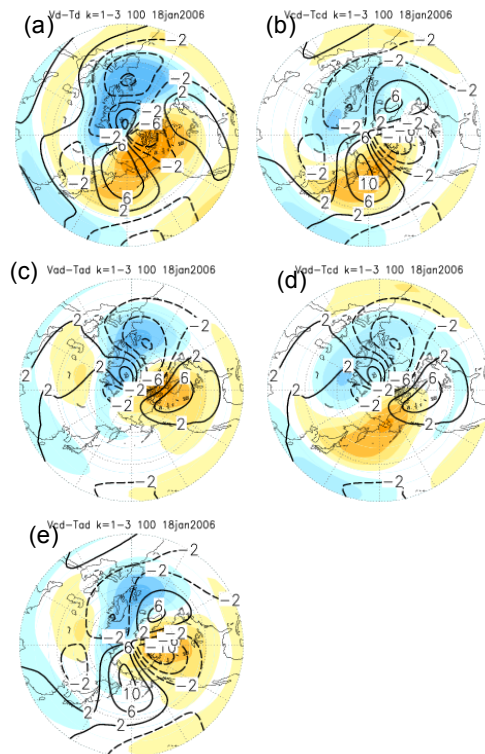


図9 図8と同様。ただし1月16-20日平均。

4. 今後の課題

この研究の前半ではアンサンブル予報のプロダクトを用い、成層圏突然昇温予測へ影響を与えた初期値誤差場を調べた。ここで利用したメンバー数は十分とは言えないので事後予報実験を行いたい。また他の突然昇温の事例を調べることにより、気候平均プラネタリー波と波束伝播の相互作用の寄与を調べたい。

5. 謝辞

この研究は文部科学省の科学研究費基盤研究(A)課題番号18204044の支援を受けた。

6. 参考文献

西井、中村、平成18年度「異常気象と長期変動」研究集会報告、平成19年3月2007
榎本、山根、大淵、平成17年度「異常気象と長期変動」研究集会報告、平成18年3月2006