

# 2010年夏季にロシアで発生したブロッキング現象の解析

高橋 良彰・木本 昌秀・渡部 雅浩・森 正人(東大・大気海洋研)

## 1. はじめに

2010年の夏季、モスクワを中心としたロシア西部は熱波に見舞われ、森林火災などの熱波による被害が相次いだ。特にモスクワでは7月の観測史上最高気温を更新し、甚大な被害に見舞われた。この熱波は長期間同じ場所に高気圧が停滞するブロッキング現象が発生したためである。図の7月の500hPaの高度場を見ると、モスクワ付近の東経40度北緯60度を中心として強い正の偏差が見られる。

図2はMatsueda 2011でブロッキングの抽出に用いられていたD'Andrea *et al.* 1998のブロッキングインデックスに従って、ブロッキングが発生した日数を数えたものである。これを見ると、このロシア付近はもともとブロッキングの発生しやすい領域だが、2010年は平年の発生日数に比べて2倍程度ブロッキング現象が多く発生していたことが分かる。また、モスクワ付近を中心として発生したブロッキング現象は6月の下旬ごろから8月の初旬の間同じ領域で持続していた。

そこで2010年にこのロシアのモスクワ付近で発生したブロッキング現象はなぜ長時間持続したのか、それがどのような要因によってもたらしたのかについて再解析データを用いて調べた。また、AGCMで行った2010年夏季の再現実験のデータについても検証した。

## 2. 使用したデータ

観測データとして、気象庁のJRA25/JCDASの再解析データを用いた。ただし外向き長波放射(OLR)はNOAAのNCEP/NCARの再解析データを用いている。気候値としては1979年から2008年までの30年間の平均値を用いた。

モデルの結果として、MIROCの大気部分を用いて行った2010年夏の天候再現実験のデータを用いた。この実験では実験ごとに海洋と海水を境界値として与えて積分している。解像度はT106鉛直56層で、それぞれの境界条件ごとに5メンバーのアンサンブルを初期時間の2010年の3月1日から9月1日までの6ヶ月間積分している。実験ごとに海面水温と海氷をの偏差を海洋ごとに切り分けて、それぞれを偏差を境界値として与えたときの

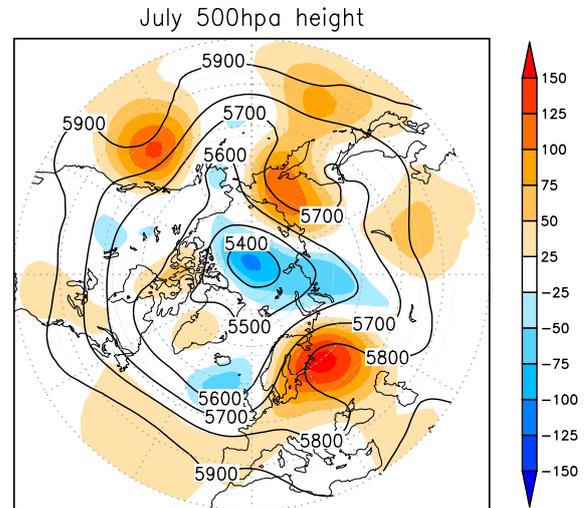


図1: 2010年7月の北半球における500hPa面高度(等値線)とその気候値からの偏差(陰影)。

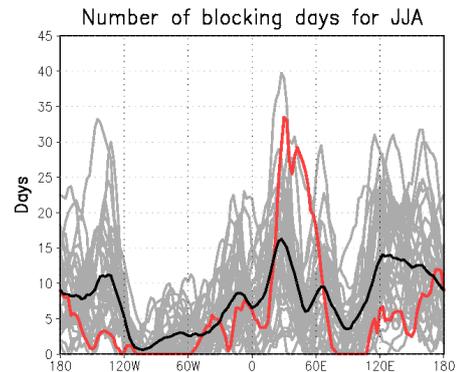


図2: 6~8月の間にブロッキングが発生した日数。赤が2010年、黒が気候値(1979~2008年)、灰色が1979年から2009年までの各年。ブロッキングはD'Andrea1998によって抽出している。

AGCMの応答を見た。

## 3. 観測された2010年夏季の循環

2010年の太平洋では春頃にエルニーニョが収束し、夏に向かってラニーニャへと移り変わっていた。6~8月の夏季(JJA)の期間で平均したの海面水温を見ると、太平洋ではラニーニャに伴い、東側で負偏差、西側で正偏差が見られた(図3下)。一方大西洋では熱帯付近の広い範囲で正偏差が見られた(図

実験	SST	Sea ice
CTL	気候値	気候値
ANM	2010年	2010年
SST	2010年	気候値
ICE	気候値	2010年
TRP	2010年熱帯 30S-30Nのみ	2010年
IND	2010年インド洋のみ	2010年
PAC	2010年熱帯太平洋のみ	2010年
ATL	2010年熱帯大西洋のみ	2010年

表 1: 再現実験で用いた境界条件

3上). OLRは大西洋の熱帯付近で負の偏差が見られ、対流が活発であったことが分かる。

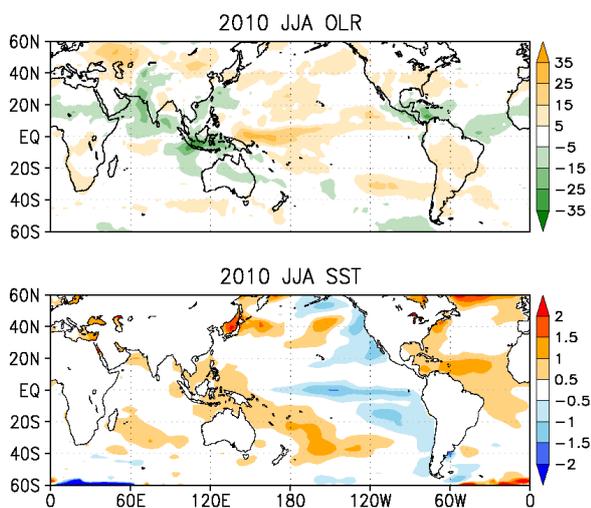


図 3: 2010年 JJA 平均した OLR(外向き長波放射)の偏差(上)と SST(海面水温)の偏差(下)

次に準定常的なロスビー波のエネルギーが伝わる様子を見るために Takaya and Nakamura 2001 による波活動度フラックスを算出した。波活動度フラックスを計算するには流線関数の偏差を5日移動平均したものを擾乱として用いた。図4には熱帯の OLR と中緯度の流線関数の関係を示しており、OLRの負の偏差が強くなる時期と、中緯度に流線関数の正の偏差が見られる時期が一致しているのがわかる。そして、流線関数の正偏差のあたりで、西から伝わってきた波活動度フラックスを強める、もしくは新たに波活動度フラックスを発生させて東へ伝播している様子が見られた。例えば6月16日頃に OLRの負の偏差が見られると、中緯度の流線関数も西経90度付近に正の偏差が見られ、そこから東向きの波活動度フラックスが東経30度付近まで伝わり、ブロッキングが始まってい

る。同様に7月1日頃7月20日頃にも OLRの負の偏差と、流線関数の正の偏差が見られそこから波活動度フラックスが発生している、もしくは強められている。つまり熱帯付近の対流が中緯度のリッジを強めて、ロスビー波が強化もしくは発生され、東に伝播していることが示唆された。

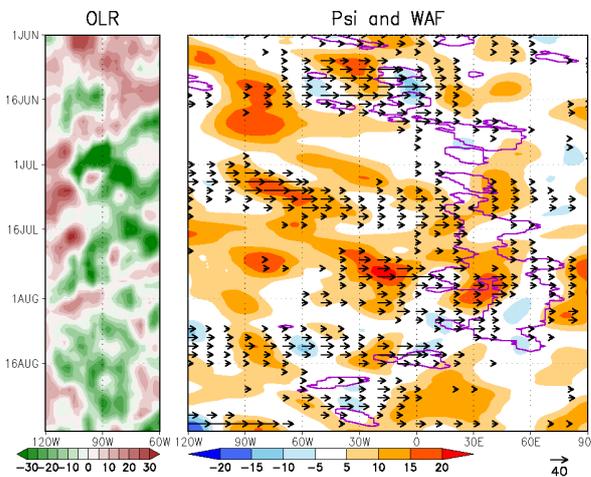


図 4: JJAの期間の OLR(10N-30N)、流線関数(30N-50N)、波活動度フラックス(45N-55N)、ブロッキングインデックスを示したホフメラーダイアグラム

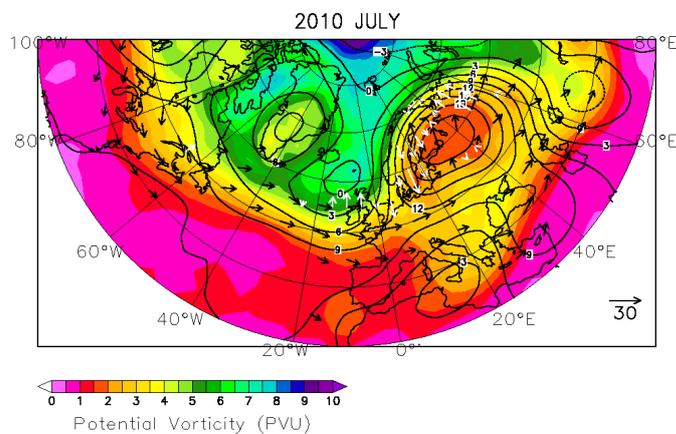


図 5: 2010年7月の循環。250hPaにおける渦位(陰影)、波活動度フラックス(黒矢印)、渦位フラックスの南北成分(白矢印)および流線関数の偏差(実線及び破線)

図5は7月の渦位と波活動度フラックスを示したものである。250hPa面での渦位は  $PV_{250} \approx (\zeta_{250} + f) \cdot (-g \frac{\theta_{300} - \theta_{200}}{p_{300} - p_{200}})$  から近似した。ここで  $\zeta$  は相対渦度、 $\theta$  は温位、 $p$  は気圧である。また渦位の南北移流を見るために、南北方向の渦位フラックスも計算した。

ブロッキング現象が発生している東経40度北緯60度付近には、低緯度から流入してきたと見ら

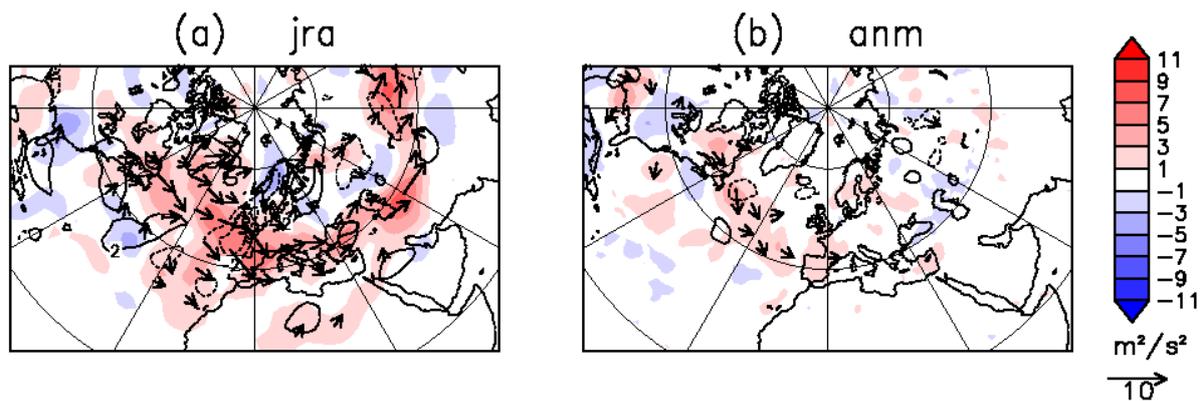


図 6: 観測と再現実験での波活動度フラックスの偏差. 矢印は波活動度フラックスの偏差で、陰影は波活動度フラックスの東西成分(東向きが正)の偏差、黒線は南北成分(北向きが正で、正が実線、負は点線)。

れる相対的に負の渦位が切離して停滞している様子が分かる。大西洋には東に伝播する波活動度フラックスが顕著であるが、経度0度付近で東向きの成分が小さくなっている。また、経度0度付近ではトラフの強まりも顕著なことから、大西洋を伝播してきたロスビー波がこの付近で砕波し、トラフを発達させたと考えられる。トラフの発達には低気圧循環の強まりに相当し、それに伴いトラフ前面では南向きの渦位フラックスが顕著である。これは低気圧性循環によって低緯度の相対的に負の渦位が北向きに輸送されていることを意味している。こうして断続的に相対的に負の渦位の供給を受けることによってこの領域のブロッキングは長時間維持されたと考えた。

以上のことから次のようなブロッキングが長時間持続した過程を考えた。まず、大西洋の海面水温が高かった。そのため熱帯大西洋の対流が活発になった。熱帯対流は中緯度のリッジを強め、西から伝播してくるロスビー波をさらに強めて東へ進めた。平年よりも多かった大西洋を伝わるロスビー波は経度0度付近で砕波し、トラフを発達させた。トラフの低気圧性循環によって低緯度の負の渦位が高緯度へ輸送され、ブロッキングを維持した。この過程が何度か繰り返されることによってブロッキングが長時間持続したと考えた。

#### 4. AGCM による気候再現実験

再現実験のデータでは、コントロール実験からの差を偏差として示す。2010年の境界値を与えた再現実験では、500hPa 面高度を見ると強度は弱いながらもロシアのモスクワの付近にブロッキングに対応した正の偏差が再現されていた(図省略)。さ

らにそれぞれの実験のメンバーごとに波活動度フラックスを算出し、その強度の差を比較した結果、観測と同様に AGCM の再現実験でも大西洋で波活動度フラックスが多くなる応答が得られた(図6)。つまり、境界値として与えた海洋、および海水の影響によって、大西洋上のロスビー波が増えたことがわかる。

しかしながら、海洋ごとに切り分けた境界値の応答も比べてみたが、熱帯大西洋の偏差だけを切り取って境界値として与えた実験では、有意なほどの差は得られなかった。大西洋の正の偏差海面水温を与えると、それに伴い対流が活発化することは再現されていたが、中緯度のリッジが強まりロスビー波が射出する様子までは確認できなかった。この過程については更なる検討が必要である。

#### 5. まとめ

再解析データを見ると、大西洋の海面水温による対流の活発化、中緯度の高気圧偏差、ロスビー波の東への伝播、ロスビー波の砕波によるトラフの発達、低気圧性循環によって渦位が北へ輸送されている様子が見られ、こうしたプロセスによってブロッキングが持続したと考えられる。AGCMでの再現実験においても海洋の偏差を与えることによって、強度は過小評価されるもののモスクワ付近に高気圧偏差が見られ、大西洋を東に伝播するロスビー波が増えるという応答が得られた。

謝 辞

観測データとして利用したデータセットは気象庁及び電力中央研究所による JRA-25 長期再解析プロジェクトにより提供されたものである。また

すべての図の作成には Grid Analysis and Display System ( GrADS ) を用いた。

#### 参考文献

- K. Takaya, and H. Nakamura, 2001: A formulation of a phase-independent wave-activity flux of stationary and migratory quasi-geostrophic eddies on a zonally varying basic flow. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608–627
- F. D’Andrea, S. Tibaldi, M. Blackburn, G. Boer, M. Deque, M. R. Dix, B. Dugas, L. Ferranti, T. Iwasaki, A. Kitoh, V. Pope, D. Randall, E. Roeckner, D. Straus, W. Stern, H. Vand den Dool, and D. Williamson, 1998: Northern Hemisphere atmospheric blocking as simulated by 15 atmospheric general circulation models in the period 1979-1988. *Clim. Dyn.*, **14**, 385–407
- M. Matsueda, 2011: Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L06801