北東アジアーシベリア間の夏季降水量

振動モードとロスビー波

東京大学気候システム研究センター 岩尾 航希 ・ 高橋 正明

1. はじめに

モンゴル・内モンゴルを含む北東アジア域では 1990年代に夏季降水量が多く、その後1999年から4 年連続で降水量の少ない夏が続いた。この地域では、 年間の降水が夏季に集中しているので[Yatagai and Yasunari, 1995]、夏季降水量が地表面の気候・環境 に与える影響は大きく、この時の干魃がその後の季 節に生じたゾド[森永・篠田, 2003]や黄砂現象の増加 [Kurosaki and Mikami, 2003]など自然災害と、密接 に関係していることが考えられている[篠田・森永, 2005]。

Iwao and Takahashi [2006]では、夏季降水量の経 年変化に北東アジア・シベリア間の振動モードがあり、 このモードには亜熱帯ジェット上とユーラシア大陸北 部を西から伝播してくるロスビー波が関係しているこ とを示した。また Iwasaki and Nii [2006]は、モンゴル の雨期には 7 月中旬にしばしば中休みが観測され、 亜熱帯ジェット上を伝播するロスビー波が関与してい ることを示した。特徴の一致から、これらの現象は関 連していることが考えられる。

亜熱帯ジェット上やユーラシア大陸北部を伝播す るロスビー波は夏季ユーラシア大陸上を伝播する主 要な波動としてよく知られており[Enomoto et al., 2003; Nakamura and Fukamachi, 2004; Sato and Takahashi, 2006]、これまで別々に議論されることが 多かった。しかしながら、北東アジア・シベリア間に降 水量の振動モードが存在することは、これらの領域を 伝播するロスビー波同士が関係性を持っていることを 示唆する。

本研究では、Iwao and Takahashi [2006]の延長と して、北東アジア・シベリア間の夏季降水量振動モー ドのメカニズムを明らかにすることを目的とする。まず、 亜熱帯ジェット上とユーラシア大陸北部上空を伝播 するロスビー波同士の関係性を調べ、そしてその関 係において、夏季降水量の振動モードがどのように 発現するのか、合成解析を用いて明らかにする。

2. データと解析方法

降水量に関しては、National Climatic Data Center (NCDC) 提供の日降水量データを用いた。北ユーラ シアにおいて比較的欠損値の少ない観測点を均一 に 39 地点選び、1961-2004 年にわたり整備した。

気象場についてはECMWF・ERA40の6時間間隔 データを用い、それから長周期の偏差場データを作 成した。具体的には、まず季節変化する日々の気候 値を、入手可能な全ての年(1958-2002 年)の各日に ついて平均し、それに 31 日の移動平均をかけること により定義した。そして日々データの気候値からの偏 差に対して 10 日の low-pass filter をかけ、長周期偏 差場データを算出した。解析期間は両データがカバ ーする 1961-2002 年の夏季とする。

3. 結果

3.1 夏季降水量の振動モード

Iwao and Takahashi [2006] では格子データを用 いて7月降水量の経年変化 (1979-2004年) に北東 アジア・シベリア間の振動モードがあることを示した。 この振動モードを長期間 (1961-2004年)の定点観 測データでも確認するため、39 観測点の夏季(JJA) 平均降水量の経年変化に EOF 解析を行った。図1 は得られた第1モードの空間パターンとその経年変 化を示している。正の値を持つ観測点がモンゴルか ら主にその南東に広がっており、負の値を持つ観測 点はシベリアに分布している。つまり北東アジア・シ



図 1: 北ユーラシア 39 観測点において、夏季(JJA) 降水量の経年変化(1961-2004)に EOF 解析を行った 結果得られた、第 1 モードの(a)空間パターンと(b)時 間係数。(a)において○と●がそれぞれ正、負の値を 示している。

ベリア間の振動パターンは長期間の定点観測データ にも明瞭に見られることが確認できた。またこのモー ドの時系列は1990年代中盤に大きく、2001,2002年 には非常に小さい値を示している。これらの結果は Iwao and Takahashi [2006] と整合的な結果となって いる。

3.2 夏季ユーラシア大陸上の長周期変動

夏季亜熱帯ジェット上とユーラシア大陸北部上層 にはロスビー波の導波管構造が確認できる(図省略)。 この領域を伝播する準定常的なロスビー波同士の関 係を明らかにするため、ユーラシア大陸上層におけ る40Nと60Nの南北風の長周期変動 v'(30-150E, 40 60N, 200hPa, JJA 1961-2002) に対して EOF 解析を 行った。

図 2 は得られた EOF 第 1 モードと第 2 モード (VEOF1 と VEOF2) の空間パターンを表している。も しこれら緯度帯を伝播するロスビー波が完善に独立



図 2: ユーラシア大陸上層の二つの緯度帯における 南北風 v'(30-150E, 40 60N, 200hPa)の、1961-2002 年夏季(JJA)における長周期変動に対して EOF 解析 を行った結果得られた、(a)第1モードと(b)第2モード の空間パターン。

ならば、それらロスビー波は別々のモードとして抽出 されることが考えられる。しかし、ここで抽出された VEOF1 と VEOF2 はどちらも両緯度帯に波列パター ンを有しており、これら緯度帯を伝播するロスビー波 同士が関係を持っていることを意味している。VEOF1 とVEOF2 のどちらのパターンにおいても、40Nと60N に沿った東西波長は経度にしてそれぞれ 60°と 80°となっている。この値は、ロスビー波の理論から 導いた波数と矛盾しない。また、両緯度帯の偏差は ユーラシア大陸東部で南北逆位相になっており、南 北で波長が違うので西に行くほど位相が近くなって いるのが分かる。さらに、VEOF2 は VEOF1 よりも 1/4 波長東にずれたパターンをしている。つまり、これら 二つのモードで東西の位相のずれを説明する。

VEOF1とVEOF2から再構成された南北風の偏差 場に対して時空間スペクトル解析を行った結果(図省 略)、46日周期の定在波と18日周期の東進波に強い ピークが見られた。波長構造を含め、これらの特徴は Terao [1998]と整合的な結果を示している。

VEOF の時系列(VPC1 と VPC2)を用いて、降水量 の振動モードと関係する VEOFs の位相を特定する。 図 3 は北東アジアで降水量が多くシベリアで少なか った年(図 3a)と、逆に北東アジアで少なくシベリアで 多かった年(図 3b)において、VPC1とVPC2を位相平 面上にプロットしたものを、ガウス分布からの確率密 度の偏差として示したものである。プロットした年は、



図 3: 降水量が(a)北東アジアで多くシベリアで少な かった 7 年と、(b)北東アジアで少なくシベリアで多か った7年において位相平面上にプロットした、VPC1と VPC2 の確率密度分布の、ガウス分布から偏差(%)。 座標は VPC1の標準偏差で基準化している。

夏季平均降水量に対して EOF 解析を行い得られた 時系列(図 1b)を基に、上位と下位の 7 年間で定義し た。北東アジアで多雨であった年においては第 4 象 限で、シベリアで多雨であった年には第 2 象限と第 3 象限の間で確率密度が高くなっているのが分かる。こ のことは、特定の位相を持つ定常的なロスビー波が 降水量の南北振動に関与していることを示唆してい る。

3.3 降水量振動パターンを伴う気象場の偏差

降水量の振動パターンを形成する大気の偏差場 を調べるため、図3で確率密度が高かった位相を持 つイベントを合成し解析を行う。合成するイベントは、 VPC1とVPC2が第4象限、もしくは第2と3象限間 の位相を持ち、その振幅(図3の中心からの距離)が1 以上、更にこの二つの条件が5日以上満たされてい るイベントとした。その結果これらの位相でそれぞれ



図 4: VMG における、300hPa ジオポテンシャルハイト の偏差(20m 間隔等値線) と wave activity flux (ベク トル)の(a) -8、(b) -4、(c) 0 日における分布と(d) 0 日 における降水量の偏差(0.25mm/day 間隔等値線)。 陰影は 95%以上で有意な領域。

36と33のイベントが選択された。ここで合成された偏 差場を以後それぞれ VMGとVSBと呼ぶことにする。

図4には、VMGにおける300hPのジオポテンシャ ルハイトとwave activity flux [Takaya and Nakamura, 2001]の分布をVPCの振幅が最大となる8日前から 0日まで4日おきに示している(図4a-c)。-8日にはイ ギリス周辺と東欧にあったジオポテンシャルハイトの 偏差が、-4日には東に伝播すると共に南北の導波管 上に分岐している。そして、南北でロスビー波の東西 波長が違うので、そのまま更に東に伝播することによ り南北で位相がずれ、0日にはユーラシア大陸東部 で逆位相の偏差が現れているのが分かる。この時、 降水量にも逆符号の偏差が北東アジア・シベリア間 に確認できる(図4d)。同様な偏差の発展はVSBにも 見られ(図省略)、この場合もやはり偏差の発端はイギ リス周辺に見られた。夏季イギリス周辺ではブロッキン グが頻繁に発生することが知られており[e.g., Pelly and Hoskins, 2003]、実際この領域では長周期変動 の大きい分散が確認できた(図省略)。従って、ここで 発生するブロッキングがロスビー波の励起源として寄 与している可能性が考えられる。しかし、図 3 におい て VMG と VSB の位相が 180 度逆になっていない点 には疑問が残る。他にも励起源となる現象が存在す る可能性がある。

VMG において降水量の振動パターンが最も顕著 であった-2 日について収支解析を行った結果(図省 略)、上層においては渦度偏差の東西移流と収束・ 発散によるストレッチングがバランスしており、その結 果生じた中層における鉛直移流の偏差が、非断熱加 熱・冷却とバランスしていることが分かった。この非断 熱加熱・冷却はほぼ水蒸気の凝結・蒸発によりもたら されており、それが降水量の偏差となって現れている ことが分かった。

謝辞

この研究は環境省の地球環境研究総合推進費 (A-1, G-2, B-4)のご支援によるものです。また首都 大学東京の松本淳先生には、データの一部を提供し ていただきました。感謝いたします。

参考文献

- Iwao, K., and M. Takahashi (2006), *Geophys. Res.* Lett., 33, L16703, doi:10.1029/2006GL 027119.
- Iwasaki, H., T. Nii (2006), J. Clim., 19, 3394-3405.
- Enomoto, T., B.J. Hoskins, and M. Matsuda (2003), Q. J. R. Meteorol. Soc., 129, 157-178.
- Kurosaki, Y., and M. Mikami (2003), *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1736, doi:10.1029/2003 GL017261.
- 森永, 篠田 (2003), *科学*, 73, 573-577.
- Nakamura, H., and T. Fukamachi (2004), *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, *130*, 1213-1233.
- Pelly, J.L., and B.J. Hoskins (2003), J. Atomos. Sci., 6, 743-755.
- Sato, N., and M. Takahashi (2006), *J. Clim.*, *19*, 1531-1544.
- 篠田, 森永 (2005), *地理学評論.*, 78, 928-950.
- Takaya K., and H. Nakamura (2001), *J. Atomos. Sci.*, 58, 608-627.

Terao (1998), J. Meteorol. Soc. Japan, 76, 419-436.

Yatagai, A., and T. Yasunari (1995), J. Meteorol. Soc. Japan, 73, 909-923.