

西日本域の広域極端豪雨現象に伴う大規模循環場の統計的解析

澁谷亮輔・高数縁・釜堀弘隆(東京大学大気海洋研究所)

1. はじめに

2018年6月末から7月にかけて西日本を中心に梅雨前線に伴う豪雨現象が多発し、広範囲で災害をもたらしたことは記憶に新しい(以降、西日本豪雨イベントと呼ぶ)。Shimpo et al. (2019)を始めとする研究群は西日本豪雨時の大気循環場を解析し、下層南風による水蒸気流入や北太平洋高気圧の勢力、上層トラフの存在等、豪雨発生に密接関わる重要な環境場の存在を明らかにした。こうした夏期の空間的に大規模な豪雨に伴う環境場の統計的解析研究は、同じ梅雨前線を伴う中国揚子江付近の豪雨については活発に行われているものの、日本付近の豪雨については研究が未だに少ない。そこで本研究は日本域の夏季の広域豪雨現象の統計的性質について明らかにするため、全国に分布する約700点のAMeDAS地上観測データを用いて過去40年間(1979~2018年)に発生した極端降水現象について解析した。

2. データと現象の定義について

極端降水現象は各AMeDAS観測地点で6~7月に計測された40年間の12時間積算雨量に基づく降水現象のうち上位1%の降水イベントとして各AMeDAS観測地点で定義する(44事例)。また大規模環境場との関係を調べる際には、観測点と台風中心との距離が1000 kmよりも遠い時に観測された降雨イベントのみについて解析を行った。次に、広域極端降水現象は、1979~2018年の6、7

月(00UTC~12UTC, 12UTC~24UTC)において、西日本で極端降水現象が同時に観測されたAMeDAS観測地点数が多い上位1%のイベント(44事例)として定義した。この時、観測史上最も広域に極端降水現象が同時に観測された事例は西日本豪雨中の2018年7月6日12UTC~24UTCとなり、西日本で同時に184地点で極端降水が観測されている。

3. コンポジット平均による環境場の解析

2.で定義した広域極端降水現象と大規模環境場との関連を調べるため、JRA55再解析データを用いて上位44事例のコンポジット解析を行った。図1は広域極端豪雨現象に伴う(a)鉛直積算水蒸気量偏差と、(b)700 hPaにおけるジオポテンシャル高度偏差の水平分布を示している。中国揚子江付近から降雨域にあたる西日本域に向けて、正の鉛直積算水蒸気量偏差が東西に延びて広がっている。一方、降雨域を東西に挟む形で高低気圧の対が存在しており、東に位置する太平洋高気圧は上層まで正偏差を持つ等価順圧構造をしている一方、西に位置

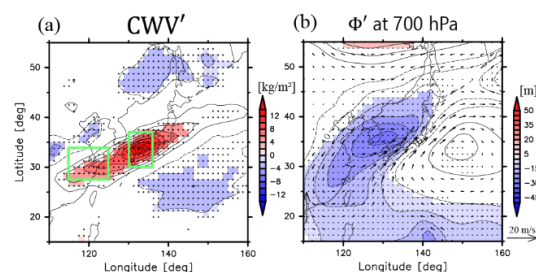


図1. 12時間積算降水量に基づく広域極端降水現象(44事例)のコンポジット平均による(a)積算水蒸気量偏差(kg/m², shade)と(b)700 hPaにおけるジオポテンシャル高度場偏差(m, contour)の水平分布。

する下層の低気圧の北西には上層トラフが存在しており互いに強め合う位置関係にあることが分かった。

次に、これらの高低気圧の時系列的変化について詳しく解析を行った(図2)。まず太平洋高気圧は約2週間前から日本の東海上で統計的有意に正偏差を保っていたことが分かった。Takaya and Nakamura (2001)による波活動度 flux を用いた解析を高度 300 hPa で行ったところ、極前線ジェット経路でヨーロッパから伝播してきた準停滞性波動の波活動度 flux の流入により、この準定常的な太平洋高気圧の勢力が維持されていた可能性があることが分かった。一方、コンポジット平均で日本の西に見られた低気圧は複雑な時間発展をしていた。まず広域豪雨イベント発生の5日前にバイカル湖の南で統計的有意な低気圧偏差が見られた。この領域は東アジアで最も活発な低気圧発達領域として知られており、北西に位置するアルタイ山塊の風下側にあたる。低気圧の発生メカニズムとしては傾圧帯に存在する山塊と傾圧波動の相互作用による不安定が古くから提唱されており、本研究の解析においても風上側の上空トラフからの影響により低気圧が発達したことが示唆されている。次に、発生した低気圧はイベント発生3日前にかけて南東に移動し、中緯度ジェットと重なり合う位置まで南下する。これによりジェットの入り口付近の流れが強化されることで力学的上昇流が励起され、イベント発生2日前に低気圧が中国揚子江付近で発達する。k の新たに発生した低気圧はさらに勢力を強めつつ東へ伝播し、図1のように降雨域の西側へと移動したことが分かった。一方、イベント発生5日前において、6割程度の事例に台

湾付近に熱帯低気圧や台風が存在していたことが分かった。豪雨発生時に日本付近に存在する低気圧との因果関係は明らかでないものの、低緯度から前線への水蒸気輸送を通じて豪雨発生に関与した可能性がある。

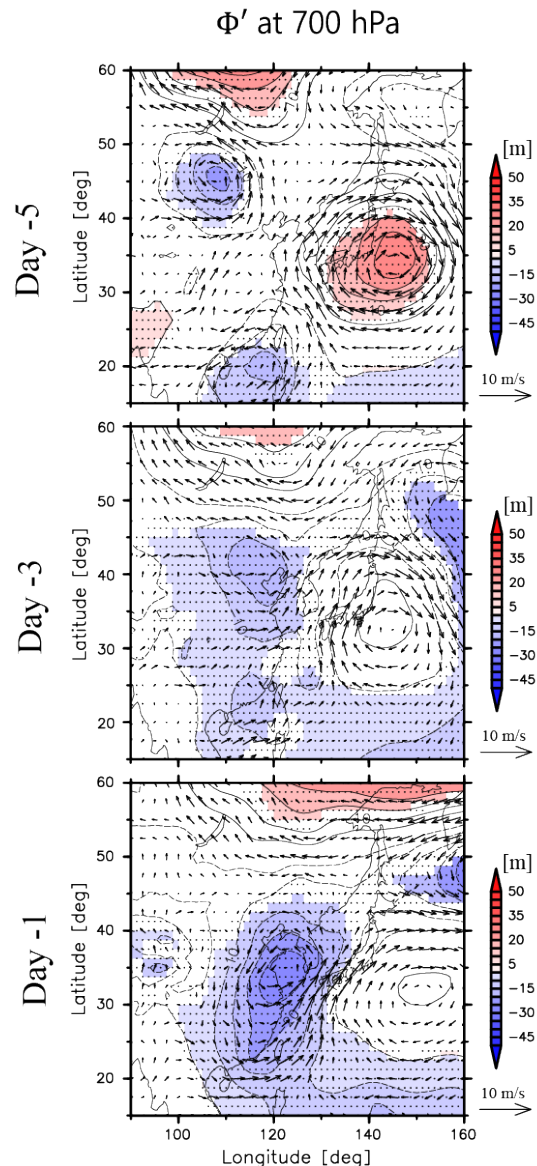


図2. 広域極端降水現象のコンポジット平均による イベント発生(a)5日前、(b)3日前および(c)1日前の700 hPaにおけるジオポテンシャル高度場偏差 (m, contour)と水平風偏差 (vector, m/s)の水平分布。

4. 中国揚子江付近での低気圧の発達・伝播メカニズムについての解析

図2で見られた中国揚子江付近での低気圧の発達・伝播メカニズムについてより詳しく解析を行う。図3は広域極端降水現象時でコンポジット平均した、550 hPaにおけるイベント発生2日前から12時間前までのPotential Vorticity (PV)偏差とジオポテンシャル高度場偏差の水平分布を示している。イベント発生2日前には揚子江付近に正のPV偏差は存在しないが、その12時間後には正偏差が発達し始め、さらにその後発達しつつ東へと移動している様子が見て取れる。イベント発生2日前の低気圧の発達については、中国揚子江上空で力学的上昇流が誘起されたことに伴い、非断熱加熱項が卓越したことでPV偏差が作られたことが分かった(略)。

次に低気圧の発達メカニズムについて、PV偏差の時間発展方程式から考察する(Hoskins et al., 1985):

$$\begin{aligned} \frac{\partial PV'}{\partial t} = & -(\bar{u} \cdot \nabla PV)' \\ & - \left(\omega \frac{\partial PV}{\partial p} \right)' \quad (1) \\ & - (g\bar{\eta} \cdot \nabla H)', \end{aligned}$$

ここで、 PV はpotential vorticityを、 $\bar{\eta}$ は絶対渦度の水平ベクトル成分を表し、 H は非断熱加熱項を表す。 g は重力加速度である。

図4はイベント発生1日前の550 hPaにおけるPV時間発展方程式の各項の分布を示したものである。時系列変化を基にした考察の通り、PVの時間変化項はPVの分布(contour)の東側で正の値を持っており、東へ移動する様子が見て取れる。

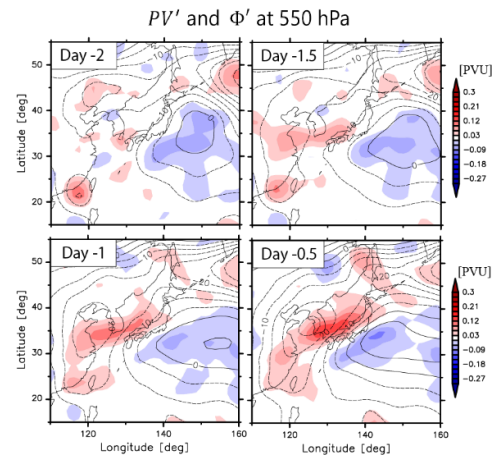


図3. 広域極端降水現象のコンポジット平均によるイベント発生2日前から12時間前までの550 hPaにおけるPotential vorticity偏差(PVU, shade)とジオポテンシャル高度場偏差(contour, m)の水平分布。

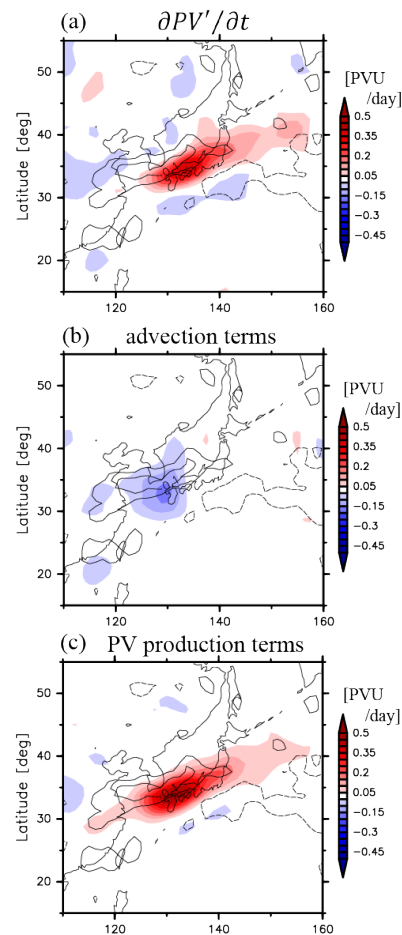


図4. イベント発生1日前の550 hPaにおけるPV時間発展方程式の各項(PVU/day, shade)とPV(contour, PVU)の水平分布。

他の2項の分布を見ると、この東への移動をもたらすのは、背景風によりPV分布そのものを移流する効果ではなく、非断熱加熱によるPV生成項が担うことが分かった。このように非断熱加熱項がPVの東への移動を中心的に担う構造は、diabatic Rossby waveと良く類似している (Parker and Thrope, 1995)。また、 ω 方程式を用いた詳しい解析により、この非断熱加熱項の分布と時間発展は力学的上昇流とよく整合することが分かった。この関係は、近年議論されている diabatic heating feedback mechanismと整合するものである (Nie and Fan, 2019)。さらに、低気圧前面において誘起される力学的上昇流は、背景場として存在する梅雨前線由来の強い温度傾度と、日本東海上に存在する太平洋高気圧の存在によって効率的に誘起されていることが分かった。このことから、梅雨前線と太平洋高気圧は広域極端豪雨現象の発生にとって重要な前提条件として考えられる可能性がある。

5. まとめと今後の課題

図5にこれまでで示してきた広域豪雨豪雨発生に関わると思われる環境場と、その時系列変化をまとめた概念図を示す。広域極端豪雨現象は、停滞的な日本東海上の高気圧偏差及び、梅雨前線に伴う強い傾圧帯を環境場として、中国東部から低気圧偏差が発達・東進することで降雨域上空に強い力学的上昇流が誘起され、広域に強い水蒸気偏差が生じ、豪雨に繋がったと考えられる。ただし本研究の解析はJRA-55再解析データを基にしたものであり、広域豪雨現象とメソスケールの組織化対流の振る舞いとの関係等、注目するスケールを変えた解析

を行っていく必要がある。

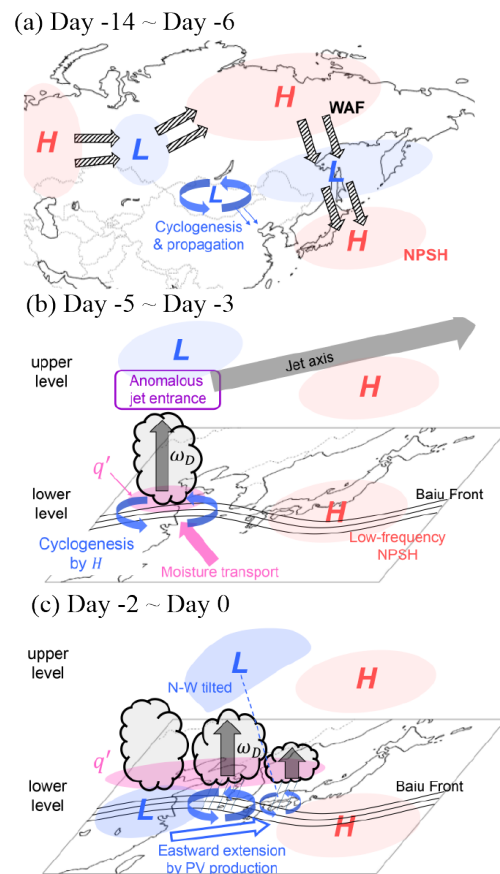


図5. 極端広域豪雨に関わる環境場の時系列変化を示した概念図。それぞれイベント発生 (a) 14日前～6日前、(b) 5日前～3日前、(c) 2日前～0日前。