

令和2年7月豪雨時における大気循環場の特徴と過去の大雨事例との比較

原田やよい*、遠藤洋和(気象研究所)、竹村和人(京大院理、気象庁)

1 はじめに

令和2年7月豪雨(HR20)では、九州地方を中心に記録な大雨となり、各地で甚大な被害が発生した。気象庁では、災害発生翌月に異常気象分析検討会臨時会が開催され、豪雨の要因として、日本付近では上空の偏西風の北上が遅れたことにより日本付近に梅雨前線が停滞し続け、前線に沿って西から流入した水蒸気と、平年より南西に張り出した太平洋高気圧の影響で南西から流入した水蒸気が、日本付近で大量に集中したこと、さらに黄海付近では上空の気圧の谷が現れやすく、その影響で西日本や東日本付近では上昇流が強まって梅雨前線の活動が強化され、大雨の降りやすい状態が続いたことなどが指摘された。

本研究では、特に被害の大きかった九州地方に着目し、HR20における大気循環場の特徴と、九州地方の過去の大雨時に見られた大気大循環場の特徴の比較を行う。

2 使用データおよび解析手法

気象庁地域気象観測システム(AMeDAS)による日別降水量の九州北部平均および九州南部平均3日積算値(統計期間:1979~2020年)を作成した。そして Harada et al. (2020) と同様に、6~9月の大雨事例を対象に気象庁55年長期再解析(JRA-55, Kobayashi et al. 2015)を用いて合成図解析を実施する。

事例抽出においては、初めに降水量の上位5パーセンタイルを抽出し、1週間以内の連続した日付の場合は同一事例とみなして重複を避けている。更に台風が九州地方の任意の観測地点から500km以内に存在する場合を台風の直接影響を受けた事例とみなしてこれらを除くほか、HR20や平成30年7月豪雨の事例も合成図解析から除く。

まず第1表に九州北部および九州南部平均の3日積算降水量ランキングを上位21位までを示す。九州北部平均に着目すると、台風直接影響事例(Typhoon flagが1で濃い灰色陰影の事例)は2例のみとなっており、その他は全て6月もしくは7月と梅雨期に発生していることから、この地方における梅雨前線活動による影響の重要性を示唆している。HR20事例期間中の3日積算降水量の最大値は2020年7月5~7日積算の307.4mmで第2位となっているが、第1位の1995年7月の事例(HR95)の309.8mm(1995年7月2~4日積算)とほとんど変わらない値となっている。なお、このHR95は平成7年の梅雨前線活動活発化による大雨(1995年6月30日~7月22日)の期間に含まれており、この豪雨により西日本から東日本にかけての広い範囲で被害が発生した。一方、九州南部地方では、台風直接影響事例が上位を占めており、九州北部地方とは傾向が異なる。その中でHR20は第5位に位置している(ただし台風直接影響事例を除くと第2位)。

以上から、本稿では、梅雨期事例が多数を占めており、HR20事例における領域平均降水量が第1位に匹敵している九州北部地方に着目した解析結果を示すこととする。

合成図解析では、降水量ピーク日を中心とした3日平均場を比較に用いるほか、九州北部平均降水量の上位10位、中位10位(23~32位)、および下位10位(46~55位)事例の合成図比較も行う。

3 結果

第1図に九州北部上位10位事例の同時合成図およびHR20、HR95事例の偏差分布図を示す。まず左列の合成図に着目すると、対流圏上

層では朝鮮半島付近の正渦度偏差、日本付近を中心に東西の広い範囲に負渦度偏差が見ら

第1表 九州北部および九州南部平均3日積算降水量ランキング。

(a)九州北部平均

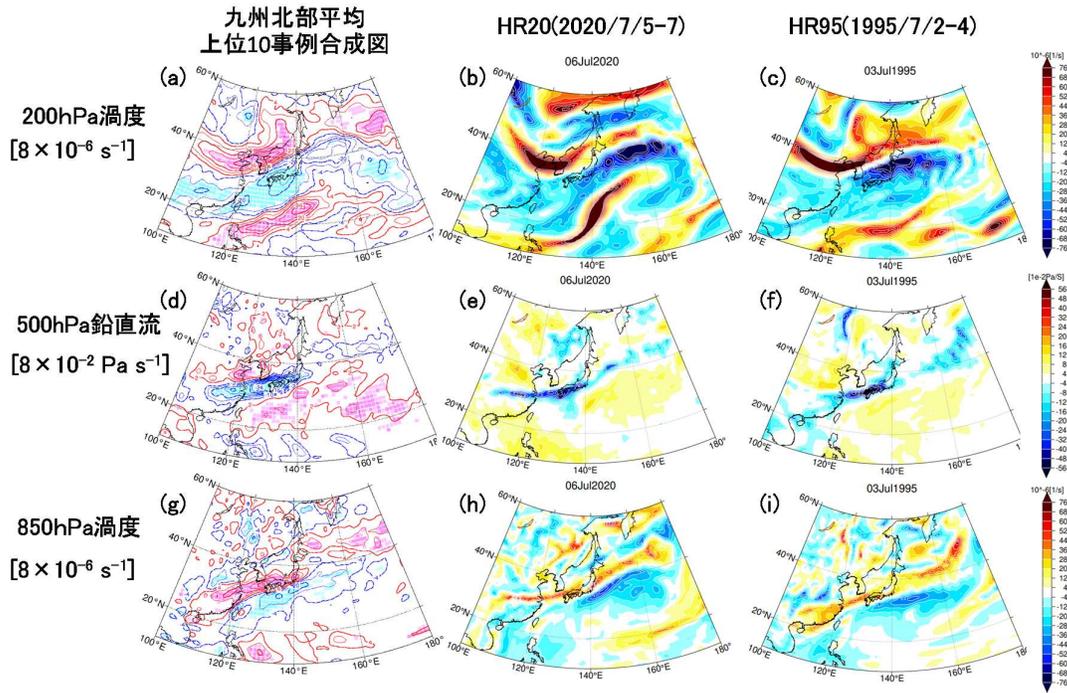
Rank	Date	3-day precip. [mm 3days ⁻¹]	Typhoon flag
1	03 July 1995	309.8	0
2	06 July 2020	307.4	0
3	28 June 1979	292.1	0
4	06 July 2018	274.0	0
5	09 July 1997	271.4	0
6	27 June 1985	255.3	0
7	30 August 1980	252.8	1
8	24 July 1982	243.0	0
9	18 July 1987	238.7	0
10	01 July 1990	234.9	0
11	05 September 2005	234.2	1
12	25 July 2009	225.2	0
13	13 July 2010	224.4	0
14	13 July 2012	223.3	0
15	21 June 2016	216.1	0
16	11 June 2011	212.3	0
17	25 June 1999	210.3	0
18	03 July 1993	198.7	0
19	30 June 2009	190.5	0
20	20 July 2006	187.1	0
21	07 July 2007	178.0	0

(b)九州南部部平均

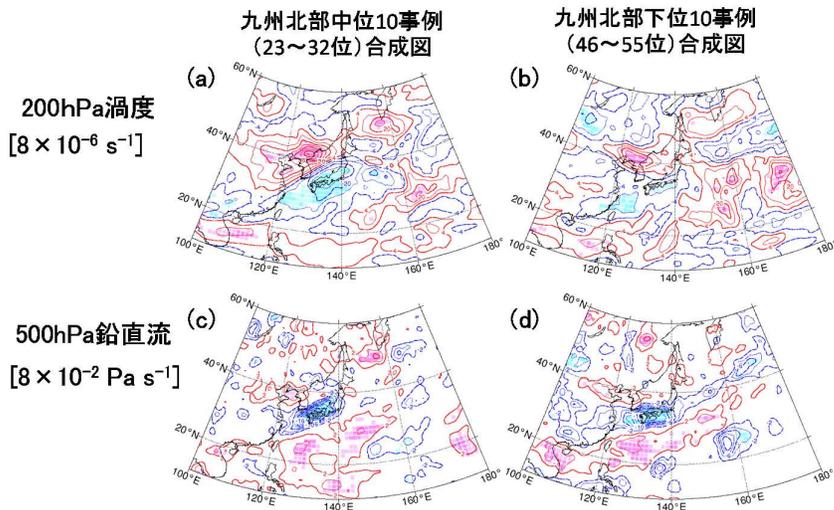
Rank	Date	3-day precip. [mm 3days ⁻¹]	Typhoon flag
1	05 September 2005	508.3	1
2	02 July 2019	389.8	0
3	01 August 1993	349.6	1
4	15 September 1997	345.3	1
5	04 July 2020	308.9	0
6	09 July 2016	306.5	0
7	29 August 2004	290.5	1
8	17 July 1987	285.9	0
9	19 June 2010	274.2	0
10	27 July 1989	271.9	1
11	01 July 1990	266.2	0
12	21 June 2001	255.4	0
13	20 June 2018	245.3	0
14	27 July 1999	244.7	1
15	06 July 1993	237.9	0
16	22 July 2006	236.4	0
17	13 July 2007	233.3	1
18	28 June 2016	232.6	0
19	16 June 2011	228.2	0
20	02 September 1993	225.1	1
21	28 June 1979	222.7	0

れている(第1図a)。Harada et al. (2020) の Fig. 2 に示された西日本平均の上位 10 事例の合成図と比較すると、200hPa 渦度偏差の分布自体は類似しており、朝鮮半島付近の正渦度偏差や中国華南から西日本付近にかけての負渦度偏差は統計的に有意となっている(第1図a)。ただし、日本の東海上の負渦度偏差については、西日本平均の合成図と異なり、統計的に有意となっていない。図は省略するが、海面更正気圧偏差分布でも同様の結果となっており、九州北部の大雨時には、日本の南東海上の高気圧の発達に寄与が相対的に低い可能性を示唆している。また対流圏中層では、中国大陸から連なる上昇流偏差、同下層では正渦度偏差が西日本にかけて分布し、いずれも統計的に有意となっている。第1図左列の合成図とHR20 および HR95 事例の偏差分布図(第1図中列、右列)を比較すると合成図の特徴と概ね良く一致しているが、200hPa 渦度をみると、HR20 における朝鮮半島付近の気圧の谷に対応する正渦度偏差の経度幅が HR95 や合成図に比べて狭く、卓越する波長がやや短いことを示している(第1図 a-c)。

次に第1図左列に示した九州北部上位 10 事例の合成図と中位 10 事例(23~32位)および下位 10 事例(46~55位)の合成図(第2図)を比較すると、九州北部平均の降水量が多い事例の合成図ほど、対流圏上層における朝鮮半島付近の正渦度偏差や負渦度偏差が大きく、統計的に有意な領域が東西に広く分布していることが分かる(第1図 a および第2図 a,b)。また対流圏中層の鉛直流をみると、いずれの合成図でも九州付近の上昇流偏差が明瞭である一方、中位事例および下位事例では、上位事例の場合と異なり中国大陸まで明瞭かつ統計的に有意な領域は伸びていない(第1図 d および第2図 c,d)。上位事例の合成図ほど、日本付近の総観規模もしくはそれより大きな規模の偏差分布が明瞭となり、統計的に有意な領域が広がる傾向にあることから、



第1図 (左列) TP10の同時合成図、(中央列)HR20および(右列)HR18の平年偏差分布図。等値線間隔はそれぞれ(a),(g) $8 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 、(d) $8 \times 10^{-2} \text{ Pa s}^{-1}$ 。左列の濃い(薄い)陰影域は危険率5%(10%)で統計的に有意な領域を表す。平年値の統計期間は1981-2010年。



第2図 第1図 a,dに同じ。ただし中位10事例および下位10事例の同時合成図。

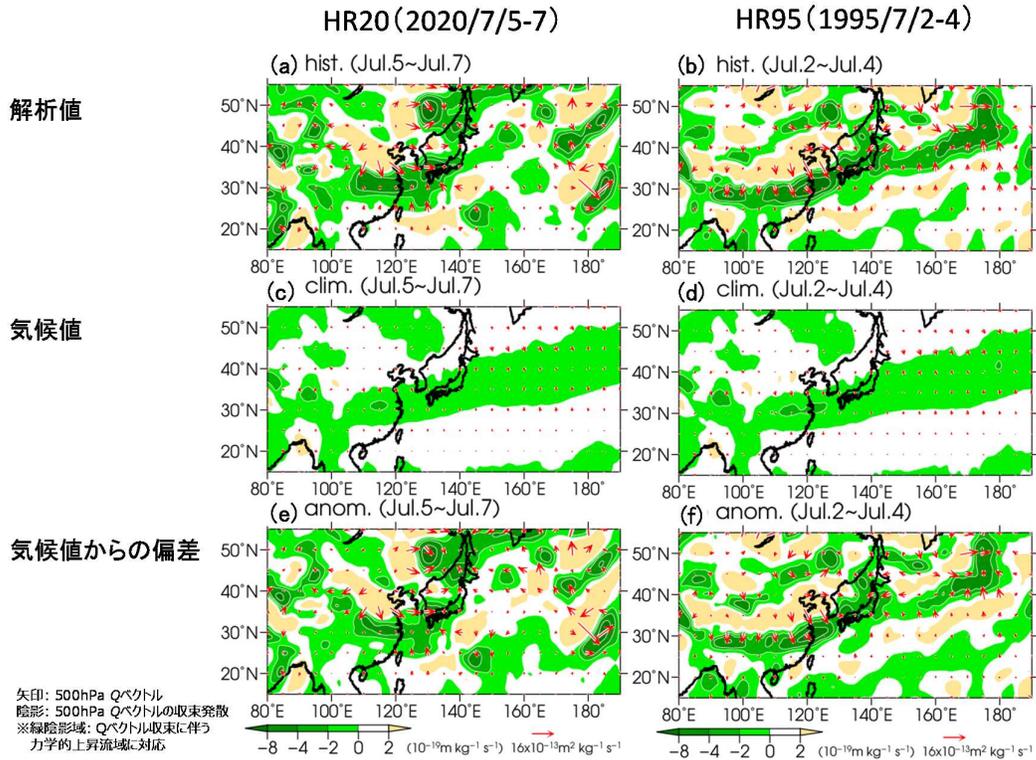
極端な大雨事例ほど大循環場変動の影響をより多く受けていたことが示唆される。

第 3 図に 500hPa 気圧面における Q ベクトル収束・発散に伴う力学的鉛直流域 (Takemura et al. 2019) について HR20 と HR95 の比較を示す。いずれも 7 月上旬の期間に該当し平年でも中国大陸から伸びる力学的鉛直流域が解析されているが(第 3 図 c,d)、いずれの事例も平年より強い力学的上昇流強制が働いていたことを示している(第 3 図 e,f)。特に HR95 は中国大陸から九州西海上にかけての力学的上昇流が HR20 より更に明瞭である(第 3 図 a,b)。実際に解析された 500hPa 鉛直流偏差を改めて比較すると(第 1 図 e,f)、九州の西海上では、HR95 事例の上昇流偏差が HR20 より大きく、大規模場による力学的強制の寄与が比較的大きかったことを示唆している。

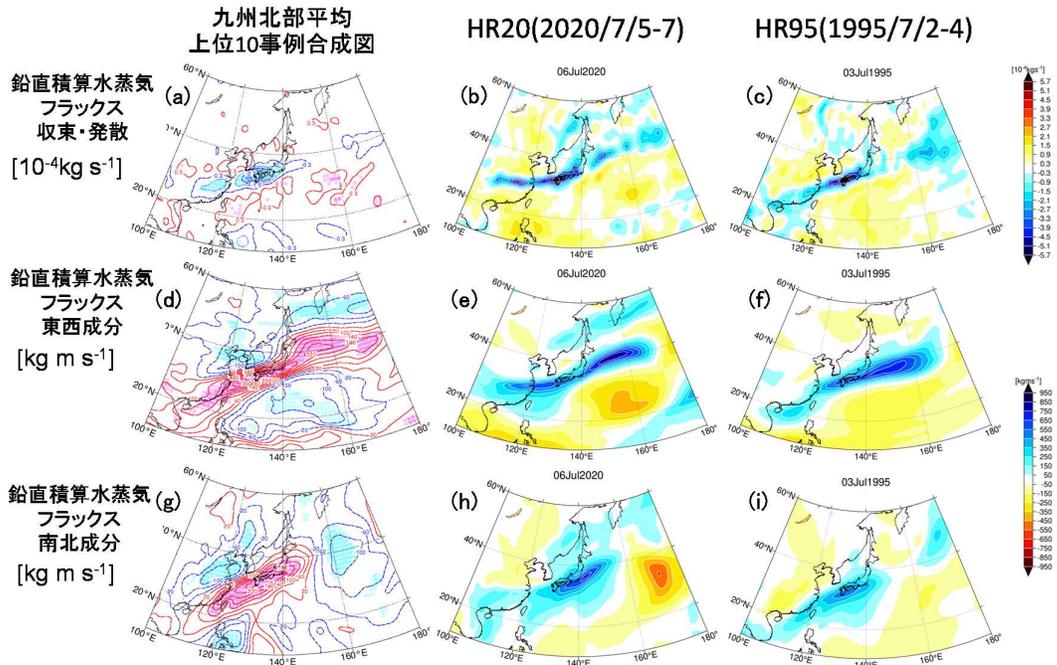
次に鉛直積算した水蒸気フラックスおよびその収束・発散について比較を行う。第 4 図左列に九州北部平均上位 10 事例の合成図を示す。九州北部の西岸を中心とした明瞭かつ統計的に有意な鉛直積算水蒸気フラックス収束偏差が東西に分布し、その西方の中国大陸にも弱いながらも有意な収束偏差がみられる(第 4 図 a)。鉛直積算水蒸気フラックス東西成分をみると、九州の西海上に 400kg m s^{-1} 近い極大値がみられている(第 4 図 d)。一方、鉛直積算水蒸気フラックス南北成分をみると九州の南西海上に 260kg m s^{-1} の極大値がみられており(第 4 図 g)、水蒸気輸送としては東西成分の寄与が相対的に大きいと言える。しかしながら、収束偏差への寄与という観点で考察すると、鉛直積算水蒸気フラックス北向き成分は、その極大域より北側に向かって急激に減少している。一方、鉛直積算水蒸気フラックス東向き成分は、その極大域より東方で減少しているが、その東西傾度(等値線間隔)は南北成分と比較すると緩やかであり、収束偏差に対する寄与は南北成分の方が大きいと考えられる。これら合成図にみられる特徴と HR20 や HR95 事例を

比較すると、HR20 では鉛直積算水蒸気フラックスの収束偏差のピークの位置は合成図とよく合っている一方、HR95 に見られるより顕著な収束偏差の位置はやや東方に位置している(第 4 図 b,c)。次に鉛直積算水蒸気フラックス東西成分を比較すると(第 4 図 e,f)、HR20 では中国大陸から九州の西海上にかけて東西に伸びる正偏差の極大域が分布しており、HR95 と比べて明瞭となっている。一方、鉛直積算水蒸気フラックス南北成分をみると(第 4 図 h,i)、HR20 の事例では四国沖から関東東方沖にかけて明瞭な正偏差が分布しているが九州南西海上の正偏差は HR95 よりも小さい。したがって HR20 は東西方向(東向き)の水蒸気輸送は HR95 よりも多くなっているが、南北方向(北向き)の水蒸気輸送はむしろ HR95 の方が多く、特徴が異なっている。更に九州西海上の鉛直積算水蒸気フラックス南北成分の南北傾度(等値線間隔)もまた、HR95 の方が大きい。

上述の鉛直積算水蒸気フラックスおよびその収束・発散と九州北部大雨時の平均降水量との対応を確認するため、第 5 図に各種散布図を示す。第 5 図 a の鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散偏差と降水量との散布図をみると、HR95 は最も収束偏差が強く、HR20 もかなり強い値であることが分かる。そしてある程度の誤差幅はあるものの、鉛直積算水蒸気フラックス収束偏差と降水量は線形的な相関関係があると考えられる。Harada et al. (2020) は西日本平均の比較的大規模な降水量と水蒸気フラックス収束・発散との関係について言及しているが、本稿ではそれよりも狭小な領域においても同様な関係がみられることが確認された。つまり、もし 3 日平均場で解析されるような比較的大規模な水蒸気フラックス収束偏差を全球数値予報モデルがある程度の精度で予測することができれば、九州北部地域スケールの極端な大雨に対してある程度のリードタイムをもって警戒に当たることが不可能ではないことを示唆している。



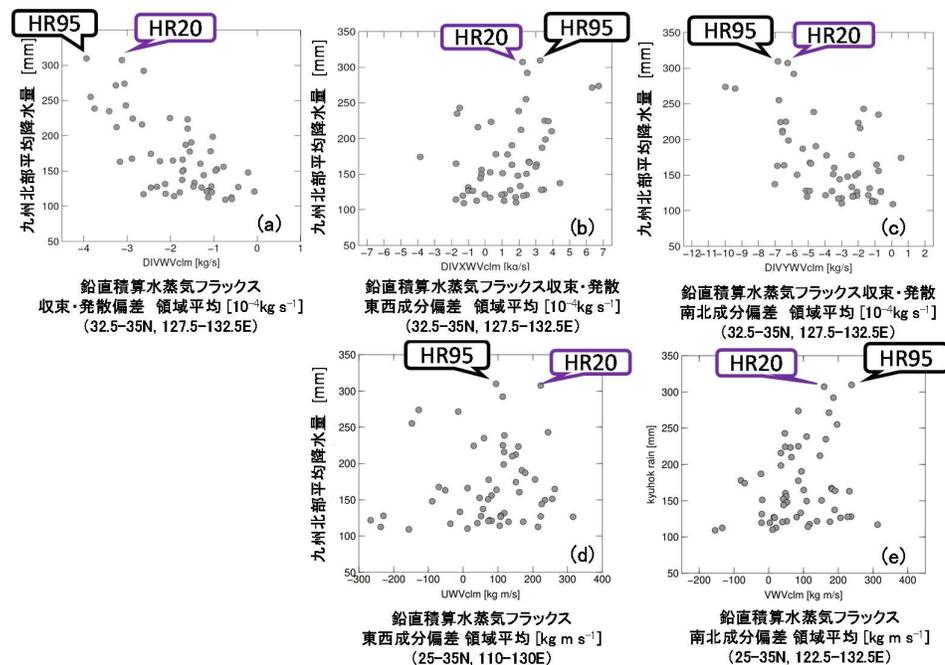
第3図 500hPa 気圧面における Q ベクトル収束・発散に伴う力学的鉛直流域(陰影)について(左列)HR20 と(右列)HR95 の比較。矢印は 500hPa Q ベクトルを表し、上段から(a)(b)解析値、(c)(d)気候値および(e)(f)気候値からの偏差を表す。



第4図 第1図に同じ。ただし(a)-(c)鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散、(d)-(f)鉛直積算水蒸気フラックス東西成分および(g)-(i)鉛直積算水蒸気フラックス南北成分を表す。合成図の等値線間隔は(a)10⁻⁴kg s⁻¹、(d)(g)40kg m s⁻¹。

ここで鉛直積算水蒸気フラックス収束偏差に対する水蒸気フラックスの東西、南北成分による寄与率を確認するために、フラックスの東西成分、南北成分に分けて散布図を作成した(第5図b,c)。両者を比較すると興味深いことに、鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散の東西成分偏差は(第5図b)、降水量が極端に多い事例で発散偏差となる傾向がある。一方、鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散の南北成分偏差をみると(第5図c)、こちらの方が降水量との対応が良い。また個別の事例をみると、鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散の南北成分収束偏差が極端に大きい時に、鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散の東西成分発散偏差が同時に極端な値を示している場合もある。HR95 や HR20 の事例では、鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散の南北成分の収束偏差は極端な値を示していないが(第5図c)、同時に鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散の東西成分の発散偏差がそれほど大きな値ではないため(第5図b)、総合的に強い収束

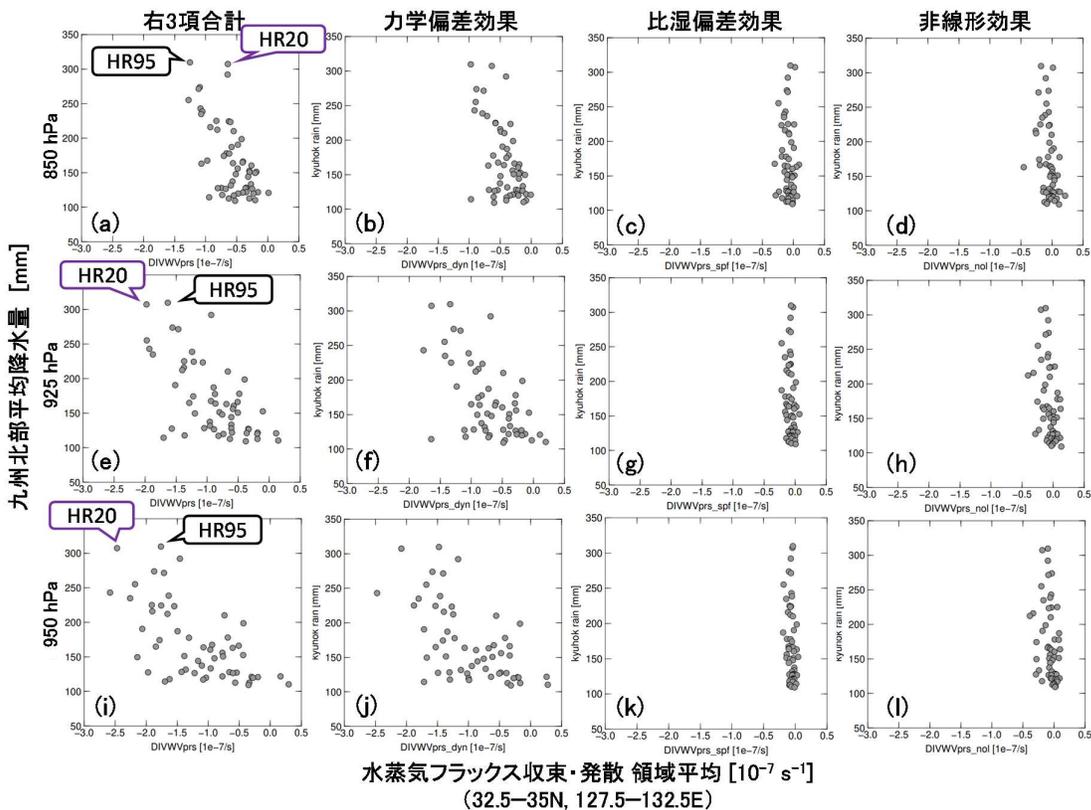
偏差となったとも言える。第5図d,eには鉛直積算水蒸気フラックスの東西成分偏差および南北成分偏差と降水量との散布図をそれぞれ示す。鉛直積算水蒸気フラックスの東西成分偏差をみると(第5図d)、HR95 および HR20 は過去の大雨事例と比較して多い方の値を示している。しかしながらその他の事例をみるとばらつきが大きく、鉛直積算水蒸気フラックスの東西成分偏差が大きい時に極端な大雨になりやすい傾向があるとは言いがたい分布となっている。一方、鉛直積算水蒸気フラックスの南北成分偏差をみると(第5図e)、平均降水量が200mm以上の事例に限れば東西成分偏差よりは降水量との対応が良いと言えるが、全体的には第5図aの収束偏差そのものや第5図cの収束・発散の南北成分偏差と比較するとばらつきが大きい。以上の特徴を整理すると、水蒸気輸送そのもの多寡もおそらく重要だろうが、降水量の変動に対しては、直接的には九州北部付近で水蒸気の収束がいかにか強いかがより重要と考えられる。



第5図 九州北部大雨時の九州北部領域平均3日積算降水量と(a)鉛直積算水蒸気フラックス収束・発散偏差の領域平均値とその(b)東西成分および(c)南北成分、(d)鉛直積算水蒸気フラックス東西成分偏差の領域平均値および(e)鉛直積算水蒸気フラックス南北成分偏差の領域平均値との散布図。

これまで鉛直積算した水蒸気フラックスの特徴について述べてきたが、最後に対流圏下層における気圧面毎の水蒸気フラックス収束・発散偏差と降水量の対応関係について確認する。第 6 図には Sekizawa et al. (2019) に基づき水蒸気フラックスの平年偏差を力学的偏差効果、比湿偏差効果および非線形効果の 3 つの項に分解して求め、更にそれらの収束・発散を計算したものと九州北部平均 3 日積算降水量との散布図を示す。一瞥して、どの気圧面においても力学偏差効果の全体への寄与が大きいことが分かる。また気圧面毎にみると、950hPa、925hPa 気圧面では HR95 よりも HR20 の収束量が大きくなっている一方(第 6 図 e,i)、850hPa 気圧面では HR95 の方が HR20 よりもかなり大きな値となっている(第 6 図 a)。

図は省略するが、収束そのものの値は小さいものの、700hPa 気圧面においても同様の傾向となっており、九州北部付近の水蒸気収束の特徴をみる際には、925hPa より下層のみならず 850hPa 付近から上層の変動も考慮する必要性を示唆している(Yokoyama et al. 2020)。一方、HR20 はごく下層の収束偏差の寄与が大きくなっており、この点については今後更に水蒸気収束の空間分布の特徴等を詳細に解析する必要がある。なお、HR95 に関しては、850hPa 気圧面における非線形効果と力学偏差効果を比較すると、非線形効果の寄与も無視できない一方、HR20 では比湿偏差による効果がどの気圧面でも不明瞭であることを述べておく。



第 6 図 第 5 図に同じ、ただし各気圧面における水蒸気フラックス収束・発散の (b) (f) (j) 力学偏差効果、(c) (g) (k) 比湿偏差効果、(d) (h) (l) 非線形効果および (a) (e) (i) それら 3 項の合計値。

4 まとめ

本稿では、梅雨期事例が多数を占めており、HR20 事例における領域平均降水量が第 1 位に匹敵している九州北部地方に着目した合成図解析を行い、HR20 や HR95 との比較を行った結果、以下のような特徴が明らかになった。

九州北部上位 10 位事例の同時合成図では対流圏上層における朝鮮半島付近の正渦度偏差や、中層における中国大陸からの連なる上昇流偏差上昇流偏差および下層における正渦度偏差が特徴としてみられた。またこれらの合成図と HR95、HR20 事例の偏差分布は概ね良く一致しているが、対流圏上層の気圧の谷に対応する正渦度偏差の経度幅が HR95 や合成図に比べて狭く、卓越する波長がやや短い特徴がみられた。更に九州北部上位 10 事例の合成図と中位 10 事例および下位 10 事例の合成図と比較した結果、より上位の事例の合成図になるほど日本付近の渦度偏差が明瞭となり、統計的に有意な領域が広がる傾向にあり、極端な大雨ほど大循環場変動の影響をより多く受けていることを示唆する結果だった。また \mathbf{Q} ベクトルの収束・発散に駆動される対流圏中層の力学的鉛直流の分布について比較を行ったところ、HR20、HR95 のいずれの事例においても平年より強い力学的上昇流がみられ、特に HR95 事例における上昇流偏差がより明瞭であった。このことから HR95 事例の方が大規模場による力学的強制の寄与が比較的大きかったことを示唆している。

鉛直積算した水蒸気フラックスおよびその収束・発散について比較を行った結果、鉛直積算水蒸気フラックス東西成分偏差については、HR20 は HR95 より明瞭だが、南北成分は HR95 より少ないなど、特徴が異なることが分かった。鉛直積算水蒸気フラックスおよびその収束・発散と九州北部大雨時の領域平均降水量との対応関係について調べたところ、ある程度の誤差幅はあるものの、線形的な相関関係がみられることが分かった。更に鉛直積算水蒸気フラックスの収束

偏差の強化は、その南北方向のフラックス偏差とよく対応しており、東西方向のフラックス偏差はむしろ収束全体を弱める効果を持つことが分かった。そういった点では HR20 や HR95 事例は南北方向の収束偏差が大雨事例の中では比較的多い方という程度ではあったが、東西方向の発散偏差がそれほど強くなかったため、全体として強い収束偏差を示していたと言える。更に 3 日平均場で解析される水蒸気収束の変動が九州北部の大雨事例における降水量との対応が比較的良く、それらは力学的偏差効果による寄与が大きいこと確認された一方、水蒸気フラックスそのものと領域平均降水量との関係は、水蒸気フラックス収束との関係と比べて不明瞭であった。

今後は水蒸気フラックス収束の空間分布や九州北部付近の水蒸気フラックス収束の力学偏差効果の実態や対流圏上層の気圧の谷の発達との関係について解析を行っていく予定である。

参考文献

- Harada, Y., H. Endo, and K. Takemura, 2020: Characteristics of large-scale atmospheric fields during heavy rainfall events in Western Japan: comparison with an extreme event in Early July 2018, *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 1207–1229.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics, *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5–48.
- Sekizawa, S., T. Miyasaka, H. Nakamura, A. Shimpo, K. Takemura, and S. Maeda, 2019: Anomalous moisture transport and oceanic evaporation during a torrential rainfall event over western Japan in early July 2018. *SOLA*, **15A**, 25 – 30.
- Takemura, K., S. Wakamatsu, H. Togawa, A. Shimpo, C. Kobayashi, S. Maeda, and H. Nakamura, 2019: Extreme moisture flux convergence of western Japan during the heavy rain event of July 2018. *SOLA*, **15A**, 49–54.
- Yokoyama, C., H. Tsuji, and Y. N. Takayabu, 2020: The effects of an upper-tropospheric trough on the heavy rainfall event in July 2018 over Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 235–255.