

水蒸気輸送に着目した平成30年7月豪雨時における 愛媛県南予北部の降水の特徴 ～平成29年7月九州北部豪雨の事例との比較～

一 広 志*

1. はじめに

平成30年7月豪雨がもたらした大雨によって、愛媛県においては南予地方で土砂災害や浸水による甚大な被害が発生した。筆者はこの時の南予北部における大雨の成因について考察を行なった。西日本領域における前線傾度が大きく、対流不安定となっている条件下で、鹿児島島の850hPa面以下の下層より大量の水蒸気が南から輸送され、これが西日本で収束することによって大雨が生じている。さらに、より小さいスケールの現象から見ると、瀬戸内海沿岸の低圧部に起因して生じる南寄りの風が輸送する水蒸気が愛媛県南予北部で収束したことが発生の原因であると推察される(一 2018a)。

また、前年の顕著な大雨事例として、平成29年7月九州北部豪雨が挙げられる。筆者はこれによって福岡県筑後北部の朝倉で発生した記録的な大雨の成因についても地上における風系とそれによる水蒸気輸送の観点から比較考察した。その結果、筑後北部において発生した大雨は、九州北西部に暖湿な気塊が存在する状況下で、福岡方面からの北西風、佐賀および熊本方面からの南西風、飯塚方面からの北寄りの風のそれぞれが福岡県筑後から大分県西部付近で収束していたことによって生じたものと判明した(一 2018b)。

以上より、100mm/dayのオーダーに達する大雨の発生には、発生地を指向する下層風の収束とこれによって輸送される大量の水蒸気が必要条件ではないかと考えられる。本報はこれを踏まえ、平成30年7月豪雨によって愛媛県南予北部で発生した大雨について、水蒸気流入量との関係を明らかにし、平成29年7月九

州北部豪雨の事例と比較検討し類似点を明らかにすることを目的とする。

2. 考察の方法

南予北部への水蒸気流入量を大雨発生前後の降水イベントの期間において算出し、単位面積当たりの量を本調査では「収束量」と表現することとする。この量を南予北部の豪雨発生地の降水量の推移と対比し、水蒸気流入量と降水量との関係を明らかにする。この地域の地上風による水蒸気流入量は、①松山における北風成分、②宇和島における南風成分、③大分における西風成分の各々について(上述の観測地点における絶対湿度の10分間平均値×上述の地上風成分)にて求めた。水蒸気流入量の計算の基となる絶対湿度は、Tetensの式より水蒸気圧 e (hPa)を求め、 $217e/T$ (T は絶対温度Kで表した気温)にて算出した。水蒸気流入量と降水量との関係を明らかにする考察は、平成29年7月九州北部豪雨についても、①佐賀における南西風成分、②福岡における北西風成分、③飯塚における北風成分を用いて解析を実施し、2事例の比較考察を行なう。

本考察は、地上観測のみから大気下層における水蒸気輸送量に相当する物理量を算出することを試みた解析であり、大気の鉛直構造には触れていないが、地上観測網は高層観測に比べて空間的に密に展開されていることに加え、24時間連続して観測が行なわれており、狭いスケールでの擾乱の構造と特徴の把握にあたっては考察を進める際に最初に着目される存在である。本稿のような事例解析を積み重ね、擾乱の構造と特徴の把握にあたっての着眼点や考察手法が明確にされれば、防災活動を展開するにあたっての基礎資料としての役割を果たし得ると考えられる。

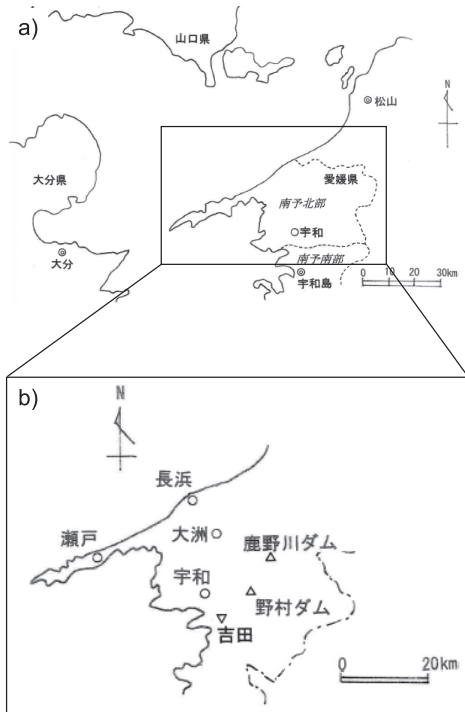
* Hiroshi HAJIME, 日本気象予報士会四国支部
kitutuki@jasmine.ocn.ne.jp

© 2020 日本気象学会

3. 考察の結果

3.1 平成30年7月豪雨による南予北部の大雨事例

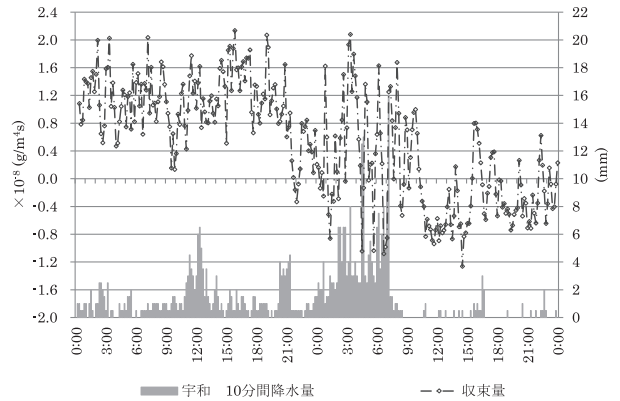
本大雨事例の考察に用いた観測点を第1図に示す。南予北部における3方向（松山における北風成分、宇和島における南風成分、大分における西風成分）からの10分間平均水蒸気流入量の和をこれら3地点を通る経緯線で取り囲まれた領域の面積（東西方向107km、南北方向68kmの7276km²）で除して得られたものを本稿では「収束量」と定義し、この収束量と、南予北部の宇和における降水の推移を第2図に示す。収束量の値が正ならば対象とした領域への水蒸気の流入、負ならば対象領域からの水蒸気の放出が生じている可能性が高い。収束量は降水イベントが活発化する前の7月5日の正午頃からピーク前の6日の20時頃にかけて $0.4 \times 10^{-8} \sim 2.0 \times 10^{-8} \text{g/m}^2\text{s}$ で推移している。降水のピーク時においてはこの値は正と負が顕著に発現しており、水蒸気の流入と放出が激しく繰り返されている。



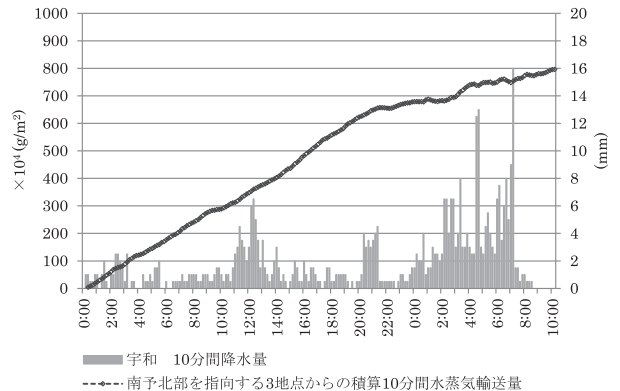
第1図 調査地域の概要（平成30年7月豪雨）。(a)大分および愛媛県主要部、(b)愛媛県南予地方詳細。◎は気象官署および特別地域気象観測所、○は地域気象観測所、△は国土交通省設置の雨量計、▽は愛媛県設置の雨量計を示す。

る。水蒸気流入量は、ピーク以前と同程度かむしろ少なくなっている。

南予北部における水蒸気流入と降水の発現状況とを把握するため、先述した3方向からの10分間平均水蒸気流入量のそれぞれに600(s)を乗じて次元を(g/m²)にして三者の和を求め、これを6日0時から10分毎に積算した値（積算10分間水蒸気輸送量と称する）と宇和における10分間降水量との時系列を第3図に示す。積算10分間水蒸気輸送量は7月6日の21時以降は増加の割合が減少し、宇和における降水が活発化した7日の3時の値はおよそ $700 \times 10^4 \text{g/m}^2$ である。宇和の降水のピーク時には積算10分間水蒸気輸送量が増加する割合に比べて降水量の増加する割合が大きくなっている。南予地方の各地における積算10分間水蒸気輸



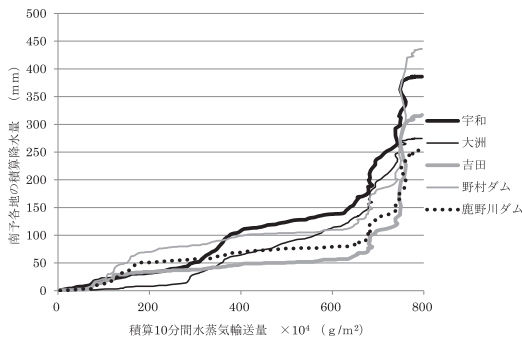
第2図 南予北部における収束量と宇和の降水。2018年7月5日0時～7日24時。



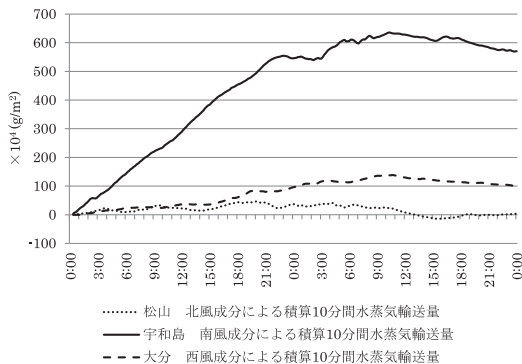
第3図 南予北部を指向する3方向からの積算10分間水蒸気輸送量と宇和における10分間降水量との推移。7月6日0時～7日10時10分。

送量と積算10分間降水量との推移を第4図に示す。各観測点ともに6日0時からの積算10分間水蒸気輸送量が $700 \times 10^4 \sim 750 \times 10^4 \text{g/m}^2$ に達した時点で降水量が大幅に増加している。7日の朝の降水のピークは、佐田岬半島の瀬戸における地上風の南風から北風への急変と、南予北部の各 AMeDAS 地点（瀬戸、長浜、大洲、宇和）での気温の低下を伴っており（図略）、前線の南下に起因する低温な気塊の流入によるものと推定される。

積算10分間水蒸気輸送量について、松山、宇和島、大分の観測点ごとの値の推移を第5図に示す。6日0時から宇和における降水のピークである7日7時まで



第4図 南予北部を指向する3方向からの積算10分間水蒸気輸送量と南予各地の積算降水量の推移。
7月6日0時～7日10時10分。（積算10分間水蒸気輸送量の最大値発現時まで）

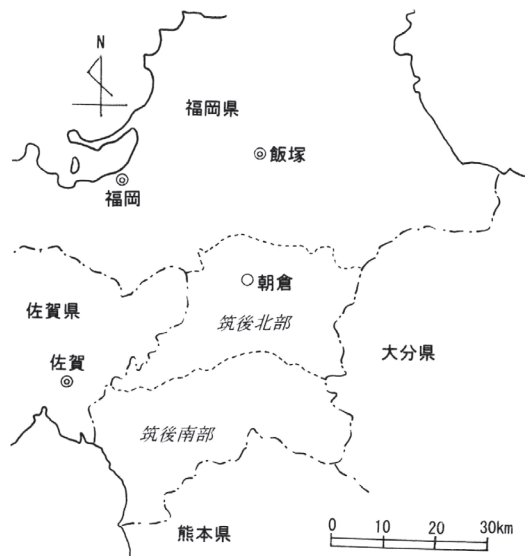


第5図 宇和島、松山、大分の各地点の南予北部を指向する積算10分間水蒸気輸送量の比較。
7月6日0時～7日24時。

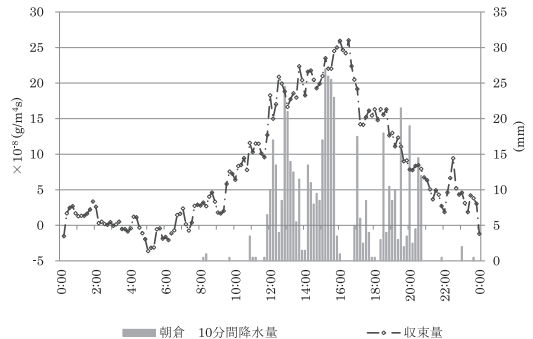
の期間における観測点ごとの積算10分間水蒸気輸送量は、松山における北風成分が $30 \times 10^4 \text{g/m}^2$ 、宇和島における南風成分が $600 \times 10^4 \text{g/m}^2$ 、大分における西風成分が $120 \times 10^4 \text{g/m}^2$ であり、宇和島における南風成分による水蒸気輸送量が上記3地点の合計値の80%を占めている。

3.2 平成29年7月九州北部豪雨の事例

当事例の考察に用いた観測点を第6図に示す。福岡県筑後北部を指向する佐賀の南西風成分、福岡の北西風成分、飯塚の北風成分の3方向による10分間水蒸気流入量の和をこれら3地点を通る経緯線で取り囲まれ



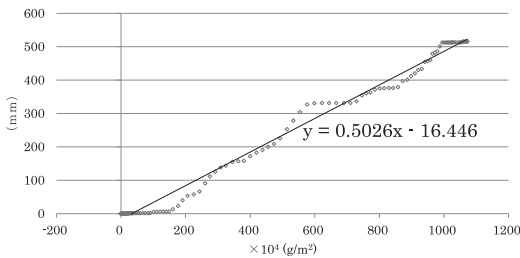
第6図 調査地域の概要（平成29年7月九州北部豪雨）。◎は気象官署および特別地域気象観測所、○は地域気象観測所を示す。



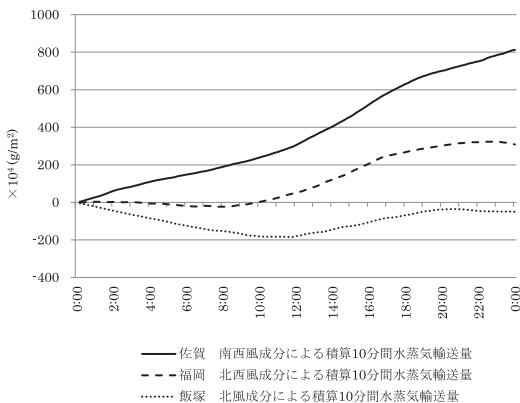
第7図 筑後北部における収束量と朝倉の降水の推移。
2017年7月5日0時～24時。

た領域の面積（東西方向36km、南北方向42kmの1512km²）で除して得られる収束量と、朝倉における降水との推移を第7図に示す。降水のピーク時における収束量は $25 \times 10^{-8} \text{g/m}^4 \text{s}$ を上回っており、前述の平成30年7月豪雨の期間中の最大値の10倍以上に及んでいる。朝倉の10分間降水量を目的変数 y (mm)、先述の3方向からの10分間平均水蒸気流入量の和を説明変数 x (g/m^2) とすると、両者の間には $y = 0.503 \times 10^{-4} x - 16.45$ の一次式で示される正の相関関係が存在する^[注1]。7月5日の0時を起点とする上述の3地点からの積算10分間水蒸気輸送量と朝倉の積算降水量との対応に着目すると、若干の変化の緩急を繰り返しているが一次式でほぼ近似することができる比例関係にある（第8図）。

観測地点ごとの積算10分間水蒸気輸送量の推移を第9図に示す。朝倉での降水イベントがほぼ終了した5日21時までの期間における観測点ごとの値に着目すると、飯塚からの北風成分による値は朝倉での降水イベ



第8図 朝倉を指向する3方向からの積算10分間水蒸気輸送量と朝倉の積算降水量。7月5日0時～24時。



第9図 佐賀、福岡、飯塚の各地点の筑後北部を指向する積算10分間水蒸気輸送量の比較。7月5日0時～24時。

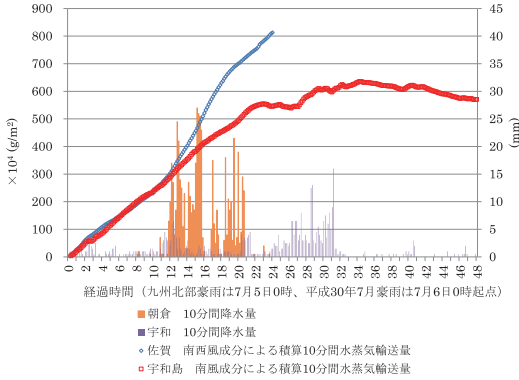
ントの開始前と終了後においては正の南風成分が卓越するため $-35 \times 10^4 \text{g/m}^2$ となるが、福岡からの北西風成分は $315 \times 10^4 \text{g/m}^2$ を示し、佐賀からの南西風成分については $720 \times 10^4 \text{g/m}^2$ を超えており、南西寄りの風による水蒸気輸送量が大きいたことがわかる。

4. 2事例で水蒸気輸送量と積算降水量との対応に違いが生じた要因

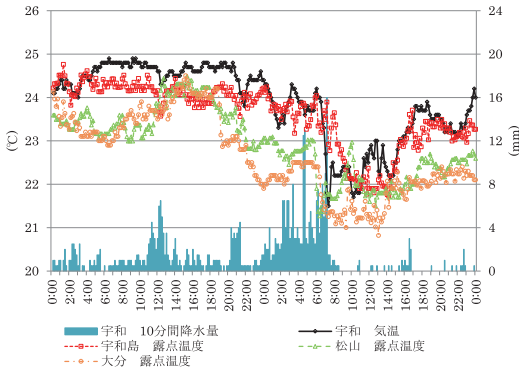
以上の2事例において、豪雨発生地における降水量および気温とそこに供給される水蒸気量を算出している3観測点の積算10分間水蒸気輸送量ならびに露点温度の推移に着目し、降水量に差異が生じた要因の考察を進める。豪雨発生地に水蒸気を最も多く供給している観測点は、平成30年7月豪雨では宇和島、平成29年7月九州北部豪雨では佐賀である。2事例において水蒸気を最も多く供給している観測点の積算10分間水蒸気輸送量と豪雨発生地の降水量との推移の比較を第10図に示す。

平成30年7月豪雨による南予北部の大雨事例においては、積算10分間水蒸気輸送量の増加する割合が鈍化した後に降水のピークが生じているが、平成29年7月九州北部豪雨ではこの増加する割合が大きくなった時点において降水イベントが活発化している。平成30年7月豪雨における宇和島、松山、大分の露点温度と宇和の気温ならびに降水量との推移を第11図に示す。降水イベントが活発化する前においては比較対象の中で宇和の気温が最も高い値で推移している。これより、宇和島、松山、大分の各地点の気塊の温度と水蒸気量に変化することなく宇和に達したと仮定すると、凝結せずに水蒸気として大気中に含有し得る状況にあったと考えられる。これに対し、平成29年7月九州北部豪雨における佐賀、福岡、飯塚の露点温度と朝倉の気温ならびに降水量の推移に着目すると（第12図）、降水イベントは朝倉の気温が佐賀、福岡、飯塚の各地点の露点温度を下回った時点で活発化しており、これらの地域の気塊の温度と水蒸気量に変化することなく朝倉に達したと仮定すれば、凝結が生じる。

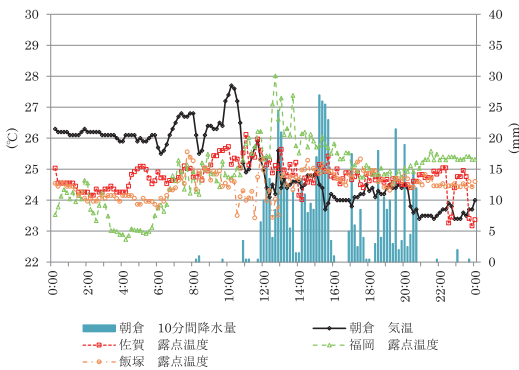
以上を要約すると、平成30年7月豪雨の南予北部の大雨においては、降水イベントのピーク前から水蒸気の流入が続いていたが、水蒸気供給地にあたる観測地点の露点温度より豪雨発生地の気温が高かったことにより、大気中に水蒸気を含有する余地が存在していたことが指摘される。降水のピークは南予北部への水蒸気輸送量が増大したのではなく、前線の南下に起因



第10図 2事例における水蒸気輸送量が最多となる観測点の積算10分間水蒸気輸送量と豪雨発生地の降水量の推移。



第11図 平成30年7月豪雨時における愛媛県南予地方とその周辺の気温、露点温度、降水量の推移。



第12図 平成29年7月九州北部豪雨時における佐賀県から福岡県筑後地方の気温、露点温度、降水量の推移。

すると考えられる低温気塊の流入によってもたらされている。平成29年7月九州北部豪雨においては、水蒸気供給地にあたる観測地点の露点温度より豪雨発生地の気温が低いため凝結が活発化し、記録的な降水量の発生に至ったものと考えられる。降水のピークは豪雨発生地を指向する水蒸気輸送が最大となった時点とほぼ一致しており、豪雨発生地における降水量はそこを指向する水蒸気輸送量に比例する傾向が認められる。この違いが、積算10分間水蒸気輸送量と積算降水量との対応に差をもたらした可能性がある。ただし、これらの他、各地の地形による降水量の増幅効果の違い等について検討不足である上、そもそも豪雨発生地周辺の水蒸気に関するデータの得られる気象官署ならびに特別地域気象観測所での水蒸気の流れのみを解析しており、対象とする地点での収束・発散を正確に捉えられていない可能性もあると考えている。

5. まとめ

平成30年7月豪雨による南予北部の大雨においては、南からの水蒸気の流入が卓越し、水蒸気の流入量は豪雨発生前と降水のピーク時とでほぼ同等か、降水のピーク時の方がむしろ少ない状態であった。降水のピークは前線の南下によるものと推察される気温の低下に対応しており、積算10分間水蒸気輸送量の増加する割合が鈍化した後に現れている。降水イベントのピーク以前は水蒸気供給地にあたる宇和島、松山、大分の各地点の露点温度より豪雨発生地である宇和の気温が高く、豪雨発生地において水蒸気を大気中に含有させ得る余地があったものと考えられる。平成29年7月九州北部豪雨では、降水イベントが活発化する前に南西風成分による佐賀での10分間水蒸気輸送量の増加する割合が拡大しており、佐賀、福岡、飯塚の各地点の露点温度より豪雨発生地の朝倉の気温が低く、豪雨発生地に流入する水蒸気は滞留することなく凝結し、記録的な降水量の発生に至ったと推測される。

付 記

本稿の3.1節は、「平成30年7月豪雨 愛媛大学調査団報告書」(愛媛大学, 2019年3月刊) のp4-7「1.1.3 愛媛県南予地方の大雨の成因」(筆者執筆)からの引用を骨子としている (一 2019)。

謝 辞

本調査を遂行するにあたり、元鳥取地方気象台長の

松村 哲氏から懇切にご指導いただき、(一社)日本気象予報士会の皆様から有意義な多くのご助言をいただきました。

青柳暁典氏をはじめ、複数の編集委員の方からは本調査全般にわたって貴重なご意見をいただきました。

ここに心より御礼申し上げます。

後 注

[注1] 1%水準の t 検定の結果は有意で、相関係数 r の値は0.606である。

参 考 文 献

- 一 広志, 2018a: 平成30年7月豪雨における愛媛県南予地方の大雨の成因について. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, (145), 1-4.
- 一 広志, 2018b: 水蒸気輸送に着目した平成29年7月と平成24年7月の九州北部豪雨の比較. 愛媛の地理, (25), 25-36.
- 一 広志, 2019: 愛媛県南予地方の大雨の成因. 平成30年7月豪雨愛媛大学調査団報告書. 愛媛大学, 4-7.