

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

一 広志
(日本気象予報士会四国支部)

要旨

平成 29 年 7 月九州北部豪雨と平成 24 年 7 月九州北部豪雨との双方について、観測データから得られる水蒸気輸送の状況から大雨の発生メカニズムを考察した。豪雨発生地を中心に設定した気象官署および特別地域気象観測所網から成る考察対象領域における水蒸気の収束・発散と、豪雨発生地を指向する地上風による水蒸気輸送量との二者について、豪雨発生地における降水量との関係を調べた。平成 29 年と同 24 年の各事例ともに、降水量は考察対象領域における水蒸気の収束量が大きくなるにつれて増す傾向が認められる。平成 29 年の事例においては、豪雨発生地を指向する地上風系が形成されており、これによる水蒸気輸送が大雨をもたらしていると考えられる。平成 24 年の事例では豪雨発生地を指向する地上風系が形成されておらず、水蒸気の収束量と降水量との相関関係は 29 年の事例に比べると弱くなっており、水蒸気の収束以外の要因がより強く作用していたことが推察される。

1. はじめに

平成 29 (2017) 年 7 月 5 日から 6 日にかけて、福岡県筑後地方および大分県西部で記録的な大雨が発生し、気象庁はこの大雨を「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」と命名した。津口 (2017) はこの大雨の発生要因として、線状降水帯がほぼ同じ場所に長時間にわたって停滞したことに併せ、九州北部では上空における寒気の流入により大気の状態が不安定になっていたことを挙げている。また、気象庁非静力学モデルによる数値シミュレーションを行ない、標高がおよそ 1000 m の脊振山地が線状降水帯の強化・維持に寄与していた可能性があることに言及しているが、地形のどのような要素がいかんして降水の強化にどの程度の影響を及ぼしたのかについての具体的な考察には至っていない。

石原、實 (2018) は平成 24 (2012) 年 8 月 13、14 日に京都府宇治市周辺で発生した大雨について、その原因となったメソスケールの線状降水帯の構造を解析している。その結果、この大雨は太平洋高気圧縁辺の下層ジェットを伴う対流不安定層のすぐ北側に発生しており、6 つのメソスケール線状降水帯によってもたらされたことを明らかにしている。これらは、積乱雲が風上で繰り返して発生し、風下で降雨が続くバックビルディング型、積乱雲が進行するとともにその先端および側方から新たな積乱雲が

生じるバックアンドサイドビルディング型、強い収束に起因し、積乱雲群の走向と直交する方向への降水システムの移動に特徴づけられるスコールライン型に分類され、解析雨量で最大 400mm に達する大雨をもたらしている。大雨期間の初期と後期においては紀伊水道方面からの暖湿な南西流が六甲山南麓付近で収束することによって降水をもたす対流セルが生成されていることに基づき、六甲山の地形が降水の発生に関与していることに言及している。

本稿は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨と平成 24 年 7 月九州北部豪雨について、福岡県筑後地方から大分県西部にかけてもたらされた大雨の発生メカニズムを観測データから得られる水蒸気輸送の状況から検証し、これら 2 事例における大雨の成因について比較することを目的とする。

2. 総観場と降水の概況

平成 29 年 7 月九州北部豪雨の 7 月 5 日 9 時の地上天気図を図-1 に示す。梅雨前線が朝鮮半島南部から日本海および瀬戸内海を経て関東地方の沿岸に達し、関東東方沖に及んでいる。関東東方沖の前線には 994hPa の低気圧が存在している。小笠原東方沖には 1018hPa の高気圧が、沖縄南方沖には 1012hPa の熱帯低気圧がそれぞれ存在している。7 月 5 日の日降水量は福岡県の朝倉で 516mm、大分県の日田で

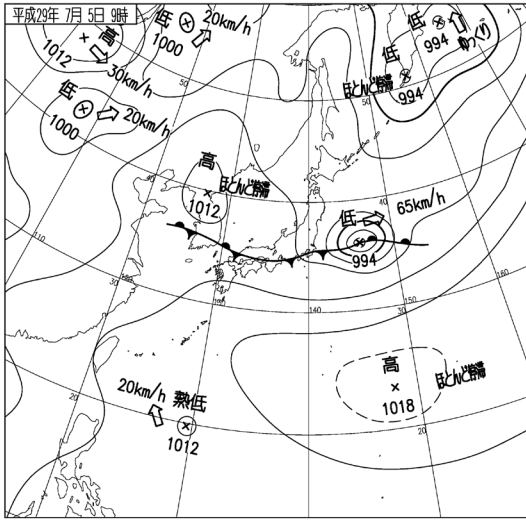


図-1 地上天気図 (平成 29 年 7 月 5 日 9 時)

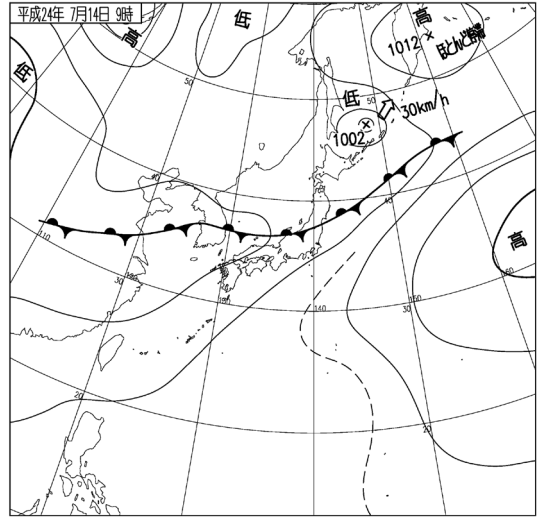


図-2 地上天気図 (平成 24 年 7 月 14 日 9 時)

336mm に達し、朝倉の最大 1 時間降水量は 129.5mm に及んでいる。

平成 24 年 7 月九州北部豪雨の 7 月 14 日 9 時の地上天気図を図-2 に示す。梅雨前線は中国大陸から朝鮮半島、日本海を経て北陸および東北地方南部に達し、東北地方のはるか沖に至っている。同日の日降水量は福岡県の黒木で 415mm、大分県の日田で 237mm を記録している。

3. 考察に使用するデータ、物理量

本考察で採り挙げる観測点の位置関係を図-3 に示す。本考察においては、以下のデータおよび物理量を使用する。

① 福岡の上層における指定等圧面ごとの東向き水蒸気輸送量ならびに北向き水蒸気輸送量

水蒸気輸送量は、(対象とする福岡の指定等圧面の絶対湿度) × (その指定等圧面の西風成分、南風成分) で与えられる。

② 九州島における地上相当温位ならびに絶対湿度の分布

③ 福岡県筑後地方ならびに大分県西部における地上の水蒸気の収束・発散

豪雨が発生した福岡県筑後地方ならびに大分県西部を中心として、ここを取り囲む形で配置されている気象官署と特別地域気象観測所で構成される考察対象領域を設定した。気象官署と特別地域気象観測所に限定した理由は、気圧と相対湿度の観測が行な



図-3 本考察で採り挙げる観測点の位置関係

われており、水蒸気輸送量を求める基となる絶対湿度の算出が可能であることである。考察対象領域の設定に用いた観測地点と水蒸気輸送量の差の算出方法は以下の通りである。

- 南北方向：(飯塚の絶対湿度 × 同南風成分) - (熊本の絶対湿度 × 同南風成分)
- 東西方向：(日田の絶対湿度 × 同西風成分) -

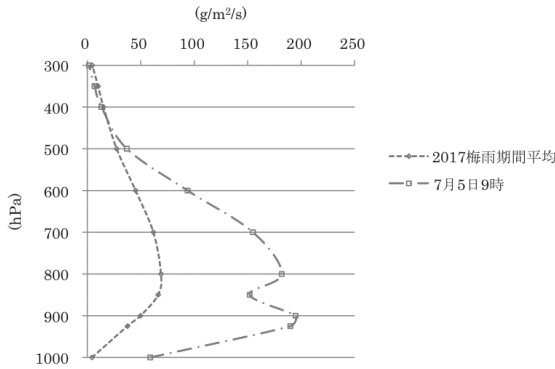


図-4(a) 福岡における東向き水蒸気輸送量の鉛直分布 (平成29年7月5日9時)

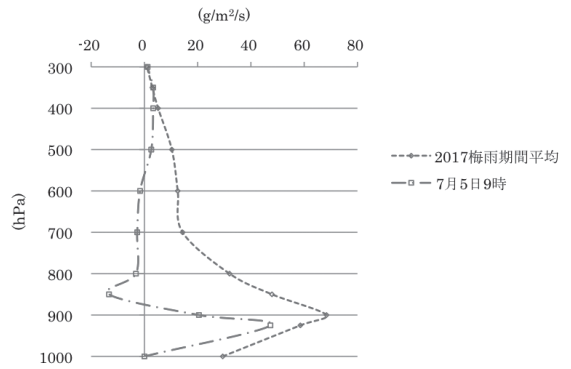


図-4(b) 福岡における北向き水蒸気輸送量の鉛直分布 (平成29年7月5日9時)

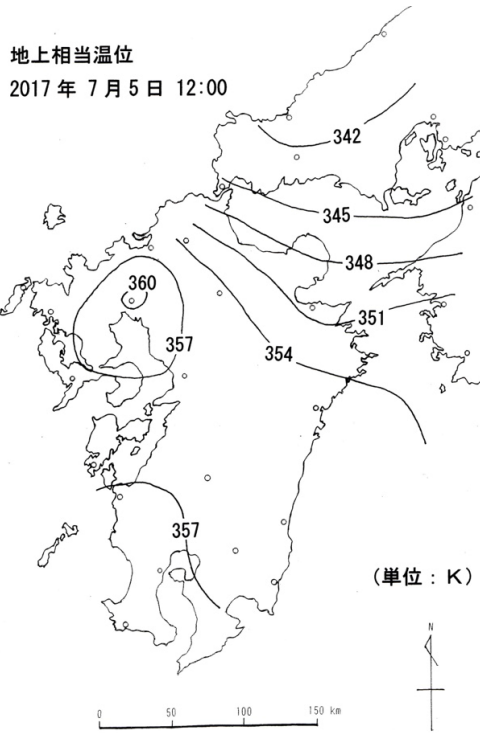


図-5 九州島とその周辺における地上相当温位の分布 (7月5日12時)

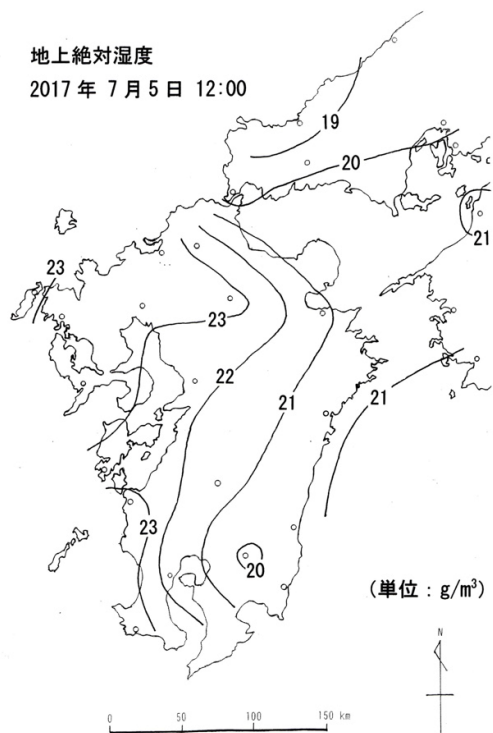


図-6 九州島とその周辺における地上絶対湿度の分布 (7月5日12時)

(佐賀の絶対湿度×同西風成分)

この値が正ならば発散、負ならば収束となる。水蒸気の収束・発散量は、これら二者の和で近似して取り扱う。

④ 豪雨発生地周辺の地上風の豪雨発生地を指向する方向の成分

⑤ 豪雨発生地周辺の気象官署と特別地域気象観測所

における豪雨発生地を指向する方向の水蒸気輸送量

⑥ 豪雨発生地周辺の地上相当温位傾度

東西方向の傾度は (佐賀の値-日田の値)、南北方向については (熊本の値-飯塚の値) で求めた。

4. 考察の結果

i) 平成29年7月九州北部豪雨の事例

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

平成 29 年 7 月 5 日 9 時の福岡の東向き、北向きそれぞれの水蒸気輸送量の鉛直分布を図-4(a), (b) に示す。地上から 500hPa 面に至るまで東向きの水蒸気輸送量が平成 29 年の梅雨期間の平均値を上回っていることに注目される。とりわけ 700hPa 面、900hPa 面、925hPa 面のそれぞれにおいては標記期間の平均値より標準偏差の 2 倍以上大きい値を示しており、西風成分による水蒸気輸送が活発であったことがわかる。

一方、北向きの水蒸気輸送量は標記期間の平均値を下回り、南風成分による水蒸気輸送は不活発であった。

降水イベントの発生期にあたる 5 日 12 時の九州島とその周辺における地上相当温位の分布状況を図-5 に示す。観測点の標高が 1000 m を超える阿蘇山を除くすべての九州島の特別地域気象観測所と気象官署において 350K を超えており、佐賀における値

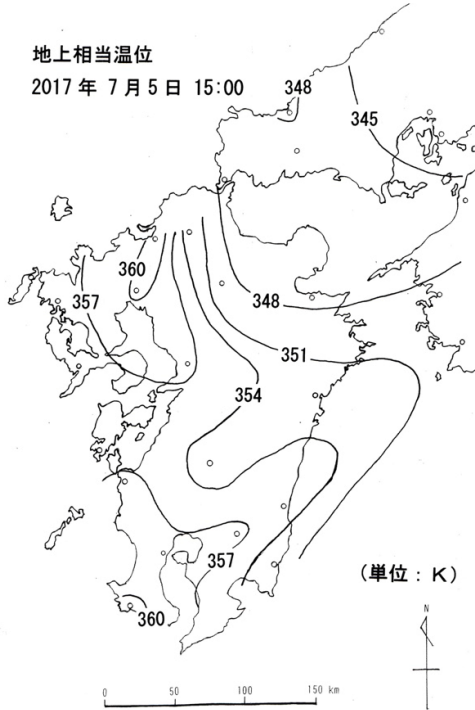


図-7 九州島とその周辺における地上相当温位の分布 (7月5日15時)

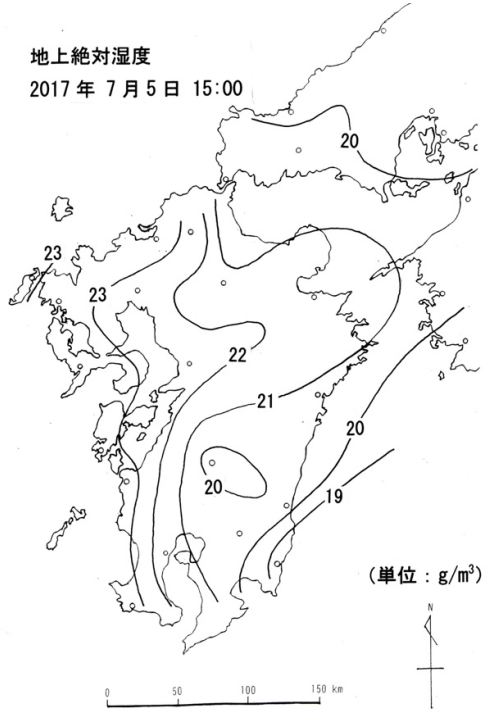


図-8 九州島とその周辺における地上絶対湿度の分布 (7月5日15時)

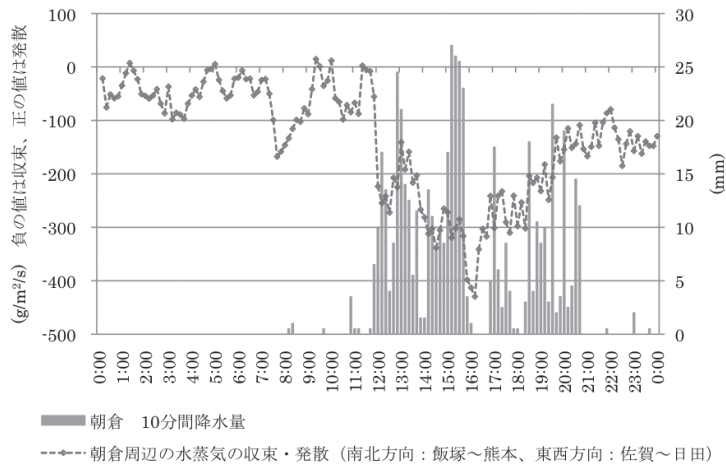


図-9 朝倉周辺における水蒸気の収束・発散と朝倉の降水量の推移

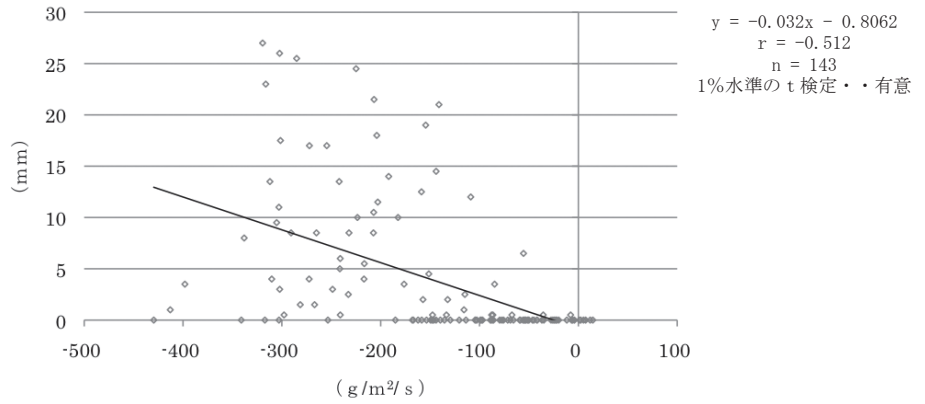


図-10 朝倉周辺における水蒸気の収束・発散と朝倉の10分間降水量との関係

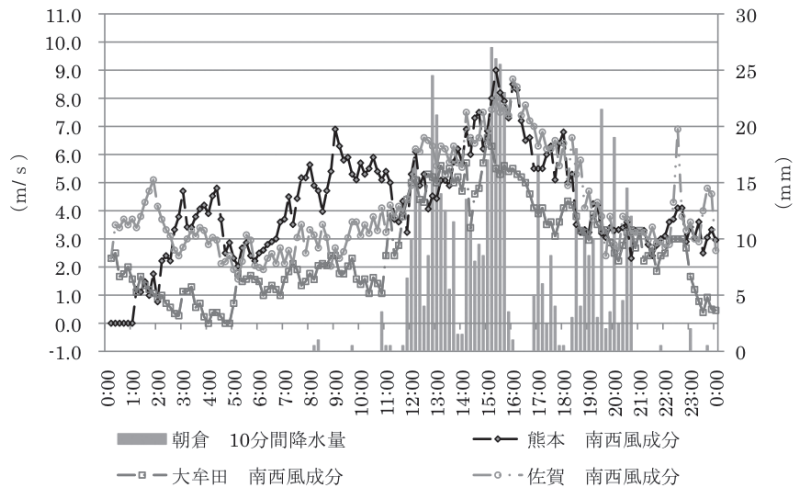


図-11(a) 熊本、大牟田、佐賀における南西風成分と朝倉の降水の推移

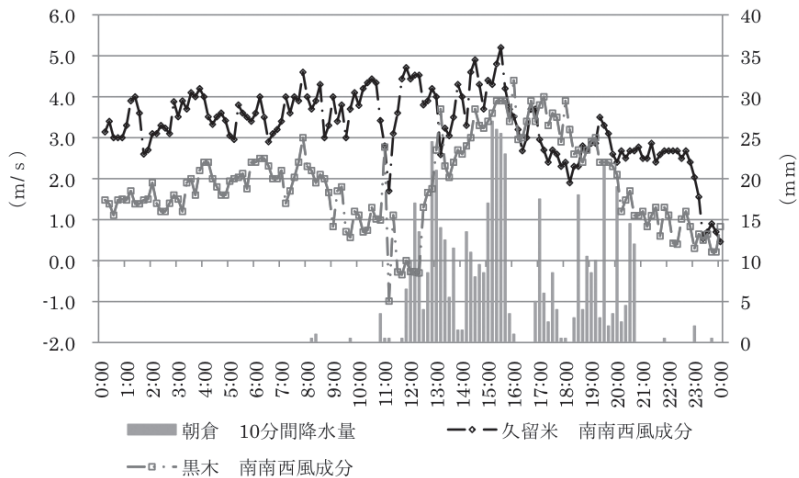


図-11(b) 久留米と黒木における南南西風成分と朝倉の降水の推移

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

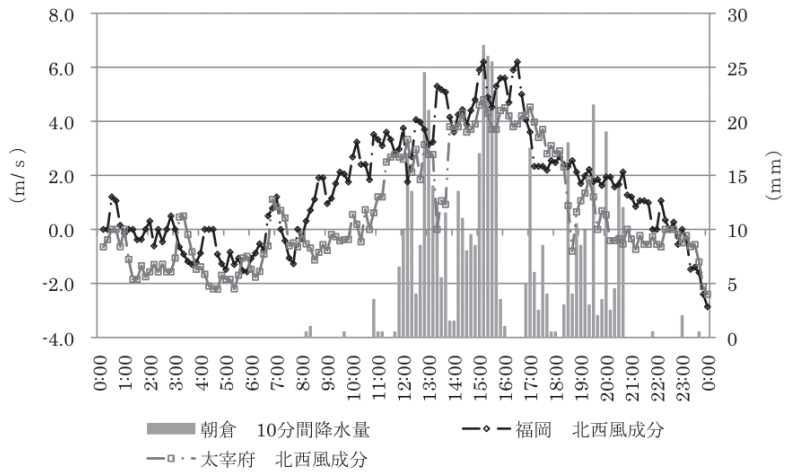


図-11(c) 福岡と太宰府における北西風成分と朝倉の降水の推移

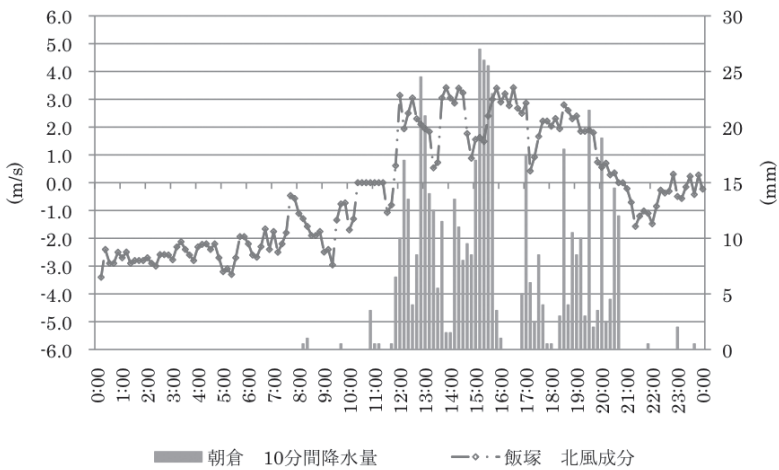


図-11(d) 飯塚における北風成分と朝倉の降水の推移

表-1 豪雨発生地（朝倉）を指向する地上風成分と朝倉における降水量との関係

目的変数 y	説明変数 x	回帰式 $y = ax + b$	相関係数 r	1%水準の t 検定の結果
朝倉の 10 分間 降水量 (mm)	福岡における地上の北西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 1.697x + 1.048$	0.542	有意である
	太宰府における地上の北西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 1.790x + 2.522$	0.545	
	飯塚における地上の北風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 1.822x + 4.096$	0.575	
	熊本における地上の南西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 1.351x - 2.073$	0.386	
	大牟田における地上の南西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 2.555x - 3.147$	0.642	
	佐賀における地上の南西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 2.052x - 5.004$	0.542	
	久留米における地上の南南西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 1.870x - 2.555$	0.246	
	黒木における地上の南南西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 2.217x - 0.596$	0.362	

※ データ数 n = 144

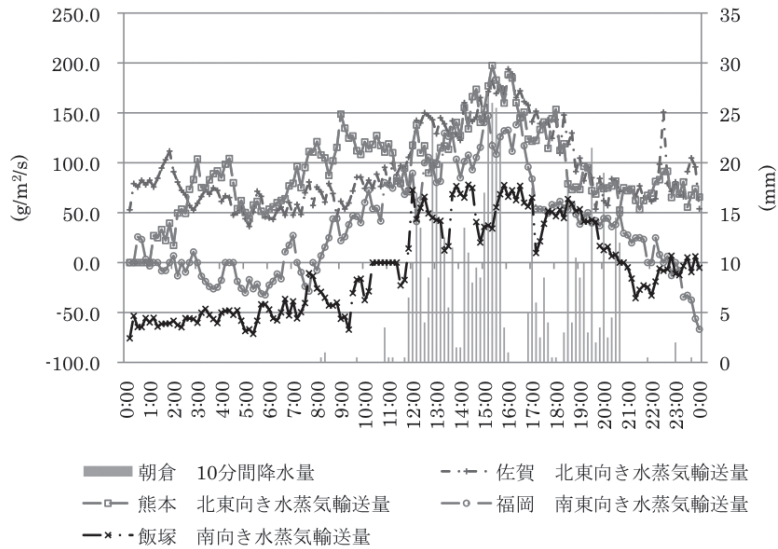


図-12 熊本、佐賀、福岡、飯塚における水蒸気輸送と朝倉の降水の推移

表-2 豪雨発生地（朝倉）を指向する水蒸気輸送量と朝倉における降水量との関係

目的変数 y	説明変数 x	回帰式 $y = ax + b$	相関係数 r	1%水準の t 検定の結果
朝倉の10分間 降水量 (mm)	熊本における北東方向の水蒸気輸送量 (10分間平均値 $g/m^2/s$)	$y = 0.063x - 2.272$	0.402	有意である
	佐賀における北東方向の水蒸気輸送量 (10分間平均値 $g/m^2/s$)	$y = 0.093x - 5.164$	0.549	
	福岡における南東方向の水蒸気輸送量 (10分間平均値 $g/m^2/s$)	$y = 0.073x + 0.968$	0.552	
	飯塚における南方向の水蒸気輸送量 (10分間平均値 $g/m^2/s$)	$y = 0.082x + 4.054$	0.576	

※ データ数 n = 144

は360K以上に及んでいる。九州島北東部から四国西部、中国地方西部にかけては傾度が大きくなっており、福岡県中部から大分県南部にかけての354Kの等値線が地上の梅雨前線に相当するものと考えられる。併せて、同日同時刻の絶対湿度の分布状況を図-6に示す。九州島における絶対湿度は宮崎県の都城を除くすべての観測点で20g/m³を上回っており、とりわけ北西部の福岡、日田、佐賀、佐世保、長崎の各地点で23g/m³以上に達していることに注目される。これらより、降水イベントの発生期には九州島北西部に極めて暖湿な気塊が存在していたことがわかる。降水イベントが活発化した15時における地上相当温位と絶対湿度の分布を図-7、図-8にそれぞれ示す。地上相当温位は福岡と佐賀で360Kを超えており、豪雨発生地付近での東西方向の傾度が大きくなっている。絶対湿度は九州島西岸で高くなっている。

朝倉における降水量と前章で設定した豪雨発生地を取り囲む領域における地上の水蒸気の収束・発散との推移を図-9に、この二者の相関関係を図-10にそれぞれ示す。これより、収束が強くなるにつれて降水強度が増す傾向が認められ、これら二者の間には1%水準のt検定で有意な負の相関関係が存在する。

降水イベントの発生前より、熊本と佐賀では南西寄りの風、福岡では北西寄りの風、豪雨発生の北に位置する飯塚では北寄りの風が卓越している。併せて、熊本～佐賀間の大牟田では南西寄りの風、久留米と黒木では南南西寄りの風、福岡～佐賀間の太宰府では北西寄りの風がそれぞれ継続しており、採り挙げた各地点の位置関係に基づくと、これらの卓越する風は豪雨発生地付近で収束することが予想される。上述した各観測点における地上風の豪雨発生

表-3 豪雨発生地（朝倉）周辺の地上相当温位傾度と朝倉における降水量との関係

目的変数 y	説明変数 x	回帰式 $y = ax + b$	相関係数 r	1%水準の t 検定の結果
朝倉の 10 分間 降水量 (mm)	熊本～飯塚間の地上相当温位傾度 (10 分間平均値 K)	$y = 1.457x + 1.782$	0.530	有意である
	佐賀～日田間の地上相当温位傾度 (10 分間平均値 K)	$y = 0.551x - 0.363$	0.425	

※ データ数 n = 143

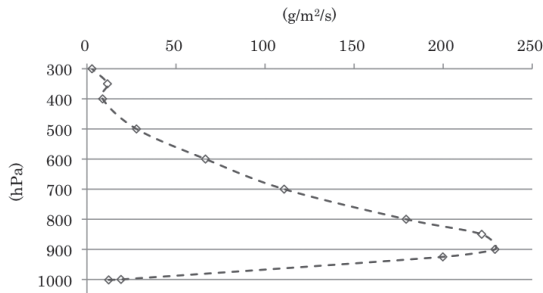


図-13(a) 福岡における東向き水蒸気輸送量の鉛直分布（平成 24 年 7 月 14 日 9 時）

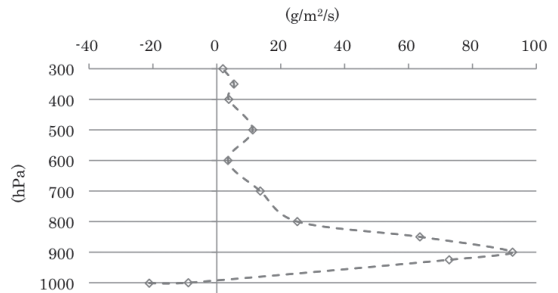


図-13(b) 福岡における北向き水蒸気輸送量の鉛直分布（平成 24 年 7 月 14 日 9 時）

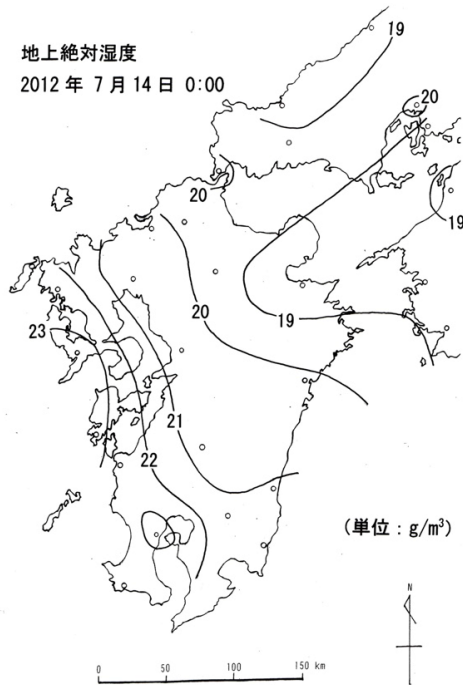


図-14 九州島とその周辺における地上相当温位の分布（7 月 14 日 0 時）

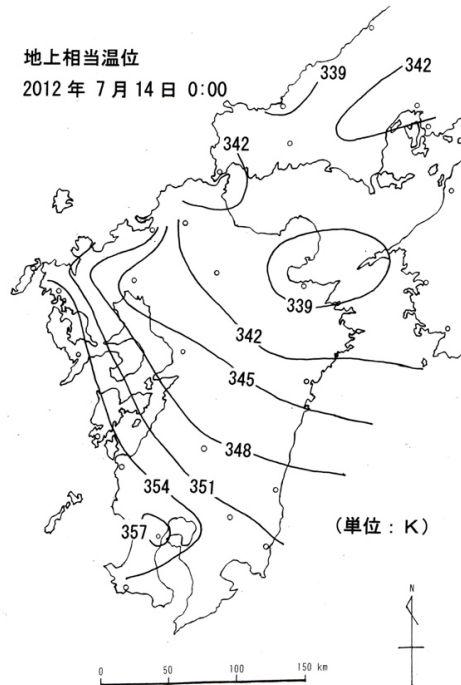


図-15 九州島とその周辺における地上絶対湿度の分布（7 月 14 日 0 時）

地を指向する卓越方向の成分と朝倉の降水との推移を図-11(a)～(d)に示す。各観測点ともに、朝倉での降水がピークとなる 15～16 時に地上風の卓越

方向の成分が最大となっている。これら二者の間に存在する相関関係を表-1に示す。すべての観測点において正の相関関係が認められ、豪雨発生地を指

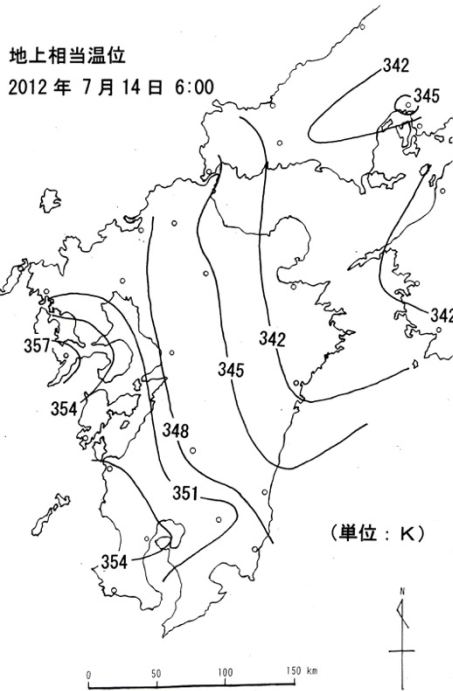


図-16 九州島とその周辺における地上相当温位の分布 (7月14日6時)

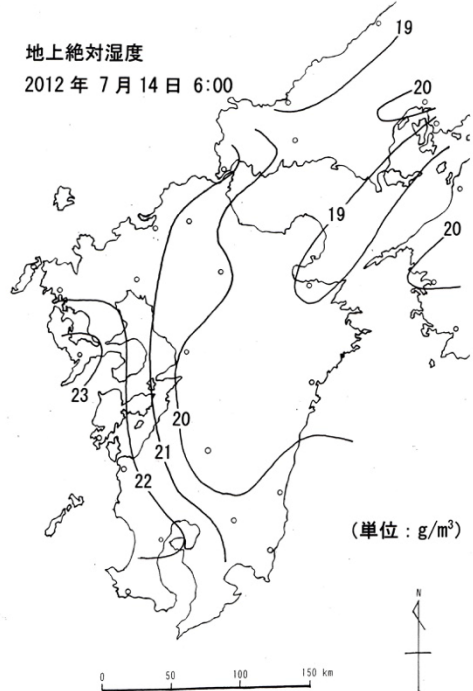


図-17 九州島とその周辺における地上絶対湿度の分布 (7月14日6時)

向する地上風成分が増すに連れて朝倉での降水量が増加する傾向がある。熊本、久留米、黒木の各地点においては相関係数 r の値が 0.4 を下回っているが、得られた相関関係はすべての観測点において 1%水準の t 検定の結果有意である。

併せて、熊本と佐賀では南西風成分、福岡では北西風成分、飯塚では北風成分のそれぞれによる水蒸気輸送量の推移を調べた。その結果を図-12に示す。各地点とも朝倉での降水のピーク時付近の 15～16時に最大値が出現している。これらに基づき、朝倉とその周辺における記録的大雨は、地表付近における北寄りの風、北西風、南西風のそれぞれがもたらす水蒸気がほぼ同じ空間領域で収束したことによって発生したものと推察される。降水イベントの発生前からのこれらの風向からの水蒸気輸送は、九州島北東部の梅雨前線に水蒸気を大量に供給し続けていたことを意味する。先述の4観測点における卓越方向の水蒸気輸送量と朝倉の降水量との関係を表-2に示す。この二者の間にはいずれの観測点においても1%水準の t 検定の結果有意と判断される正の相関関係があり、水蒸気輸送量とともに降水量が増す傾向が認められる。

地上相当温位傾度と朝倉における降水量との関係を表-3に示す。前章の⑥)で述べた2地点間の値の差が大きくなるにつれて降水量が増す傾向があり、豪雨発生地点の西側および南側に暖湿気塊が存在する条件下で前線傾度が拡大している時に多降水となっている。

ii) 平成24年7月九州北部豪雨の事例

平成24年7月九州北部豪雨においては、福岡県筑後地方ならびに大分県西部での大雨は13日から14日にかけて発生している。平成24年7月14日9時の福岡における水蒸気輸送の鉛直分布を図-13(a), (b)に示す。925hPa面から800hPa面にかけて東向きの水蒸気輸送量がおおよそ $180 \sim 230 \text{ g/m}^2/\text{s}$ に達しており、925hPa面から850hPa面にかけては平成29年7月5日9時における値を上回っている。

14日0時の九州島とその周辺の地上相当温位の分布を図-14に示す。九州島西岸に354K以上の領域が形成されている。傾度は九州島北西部で大きく、豪雨発生地付近では比較的緩やかである。同時刻の絶対湿度の分布を図-15に示す。地上相当温位の分布状況と同じく、九州島北西部の極大域付近での傾度が大きい。降水イベントが活発化している同日6

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

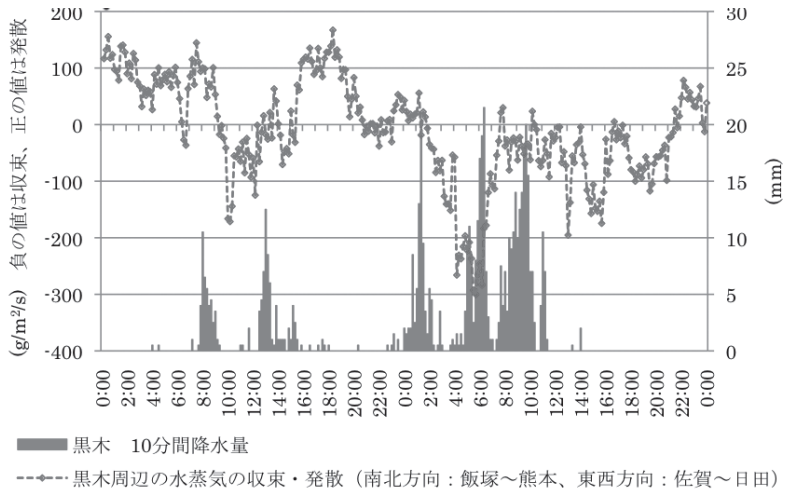


図-18 黒木周辺における水蒸気の収束・発散と黒木の降水量の推移

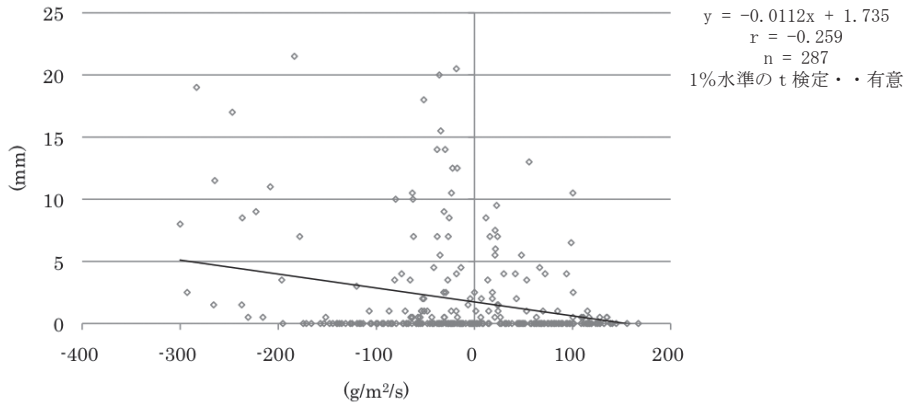


図-19 黒木周辺における水蒸気の収束・発散と黒木の 10 分間降水量との関係

表-4 豪雨発生地（黒木）を指向する地上風成分と黒木における降水量との関係

目的変数 y	説明変数 x	回帰式 $y = ax + b$	相関係数 r	1%水準の t 検定の結果
黒木の 10 分間 降水量 (mm)	熊本における地上の南西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 0.639x + 1.002$	0.296	有意である
	佐賀における地上の西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 0.453x + 2.016$	0.220	
	福岡における地上の北西風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 0.509x + 2.709$	0.277	
	飯塚における地上の北風成分 (10 分間平均値 m/s)	$y = 0.173x + 2.052$	0.072	有意でない

※ データ数 n = 288

時の地上相当温位と絶対湿度の分布状況を図-16、図-17にそれぞれ示す。両指標値ともに長崎で最大値を示しており、九州島西部での傾度が大きくなっている。豪雨発生地付近の傾度は比較的緩やかであ

る。

13日から14日にかけての黒木における降水量とその周辺の地上の水蒸気の収束・発散との推移を図-18に、この二者の相関関係を図-19にそれぞれ

表－5 豪雨発生地（黒木）を指向する水蒸気輸送量と黒木における降水量との関係

目的変数 y	説明変数 x	回帰式 $y = ax + b$	相関係数 r	1%水準の t 検定の結果
黒木の 10 分間 降水量 (mm)	熊本における北東方向の水蒸気輸送量 (10 分間平均値 $g/m^2/s$)	$y = 0.028x + 1.038$	0.276	有意である
	佐賀における東方向の水蒸気輸送量 (10 分間平均値 $g/m^2/s$)	$y = 0.020x + 1.991$	0.209	
	福岡における南東方向の水蒸気輸送量 (10 分間平均値 $g/m^2/s$)	$y = 0.024x + 2.690$	0.275	
	飯塚における南方向の水蒸気輸送量 (10 分間平均値 $g/m^2/s$)	$y = 0.008x + 2.042$	0.066	有意でない

※ データ数 n = 287

表－6 豪雨発生地（黒木）周辺の地上相当温位傾度と黒木における降水量との関係

目的変数 y	説明変数 x	回帰式 $y = ax + b$	相関係数 r	1%水準の t 検定の結果
黒木の 10 分間 降水量 (mm)	熊本～飯塚間の地上相当温位傾度 (10 分間平均値 K)	$y = -0.023x + 1.936$	-0.035	有意でない
	佐賀～日田間の地上相当温位傾度 (10 分間平均値 K)	$y = 0.253x + 1.017$	0.249	有意である

※ データ数 n = 287

示す。平成 29 年 7 月の事例と同様に収束が強くなるにつれて降水量が増す傾向があるが、相関係数は 29 年の事例に比べて弱い。また、本事例においては豪雨発生地を指向する明瞭な地上風系の形成は認められない。熊本、佐賀、福岡、飯塚の各地点における豪雨発生地を指向する地上風成分と黒木の降水量との関係を表－4 に示す。飯塚の北風成分と黒木の降水量との間には有意な相関係数は認められず、他の 3 地点についても 1%水準の t 検定では有意であるものの相関係数 r の値は 0.3 未満である。併せて、これら 4 観測点における豪雨発生地を指向する地上風成分による水蒸気輸送量と黒木の降水量との関係を表－5 に示す。相関係数 r の値は先述の地上風成分と降水量との関係と同程度にとどまっている。以上より、当事例は 29 年の豪雨に比べると地上風の降水生成への寄与は小さいと考えられる。

豪雨発生地点周辺の地上相当温位傾度と黒木の降水量との関係は、東西方向については西側に暖湿気塊が存在する条件下で傾度が大きくなると多降水となる傾向があるものの相関係数は 29 年の例に比べて小さく、南北方向については二者の間に有意な関係は認められない（表－6）。

5. まとめ

平成 29 年 7 月の豪雨は、観測データの解析に基づく、九州島北西部に極めて暖湿な気塊が存在する状況の下、豪雨発生前より豪雨発生地を指向する地上風が卓越しており、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もたらす水蒸気が福岡県筑後地方から大分県西部付近にかけての領域で収束することによって発生したものと考えられる。一方、平成 24 年 7 月の豪雨については、福岡の 925hPa 面から 850hPa 面にかけての東向きの水蒸気輸送量は平成 29 年の事例を上回っているが、福岡県筑後地方ならびに大分県西部での地上における水蒸気の収束と降水量との対応は 29 年の事例に比べると弱いうえで豪雨発生地を指向する地上風系も形成されておらず、地表付近における水蒸気の収束以外の降水を強化させる要素がより強く作用していることが考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、本学名誉教授の深石一夫先生、(一般社団法人) 日本気象予報士会の大矢康裕氏、志摩恭臣氏、大谷和男氏から有意義な多くのご助言をいただきました。また、英文要旨は（一般

社団法人) 日本気象予報士会の難波良彰氏に校閲していただきました。

ここに心より御礼申し上げます。

参考文献

石原正仁, 寶 馨 (2018) : 2012 年 8 月 13, 14 日に宇治市周辺に発生した大雨 第 1 部 大雨をもたらした線状降水帯群のメソ構造. 天気, 65, 5-23
津口裕茂 (2017): 「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」の発生要因について～線状降水帯の形成・維持メカ

ニズム～

<http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H29/Happyoukai2017/02.pdf>

- 一 広志(2017):2017年7月九州北部豪雨の観測データからの発生メカニズムの検証. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 第142号, 17-20
福岡管区气象台 (2012) : 災害時気象速報 平成 24 年 7 月九州北部豪雨
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201201.pdf

The difference of Northern Kyushu downpour generation mechanism in July between the 2017's case and the 2012's, focused on water vapor flux

Hiroshi HAJIME (CAMJ)

The Northern Kyushu downpour of the July 2017 case appears that it generated a different water-vapor-flux mechanism from the one of July 2012, throughout the local-observatory-data investigations about 'vapor convergence & divergence' and 'transported vapor mass' linking to each precipitation.

Firstly, both cases of 2017 and 2012 shows the same precipitation character which increases with its area vapor convergence.

The 2017's case verifies the near-ground wind system caused a strong vapor flux, which headed for the heavy-precipitation area, however the 2012's one does not.

The 2012's weaker correlation between vapor flux and precipitation suggests that it contains some other effective factor.