

令和2年12月24日
気象研究所

令和2年7月豪雨における九州の記録的大雨の要因を調査 ～小低気圧による極めて多量の水蒸気流入で球磨川流域の線状降水帯が発生～

気象庁気象研究所は、九州に甚大な水害をもたらした令和2年7月豪雨について、線状降水帯による記録的な大雨の要因を詳細に調査しました。その結果、球磨川流域に記録的な大雨をもたらした線状降水帯は、2009年以降に九州で発生した線状降水帯のうち、最も規模が大きく持続時間も最長であることが分かりました。さらに、この線状降水帯は梅雨前線上の小低気圧によって大気下層で極めて多量の水蒸気が流入して発生し、上空の寒気流入に伴う非常に不安定な大気の状態も加わったことで、近年の豪雨の中でも最も背の高い積乱雲が線状降水帯を形成していたことが分かりました。

梅雨末期にしばしば発生する線状降水帯^{*1}による大雨のメカニズム解明は、大雨の監視・予測技術の高度化のために重要な課題となっています。

本研究では、九州に甚大な水害をもたらした令和2年7月豪雨について、線状降水帯による記録的な大雨の要因を詳細に調査しました。

その結果、線状降水帯を客観的に抽出する手法を適用したところ、7月3～8日に九州では9事例の線状降水帯が発生していたことが分かりました。これは5日間に発生した線状降水帯としては、2009年以降で最多の記録でした。また、7月3～4日に球磨川流域に記録的な大雨をもたらした線状降水帯は、長さが約280kmで13時間停滞するなど、2009年以降に九州で発生した線状降水帯のうち、規模が最も大きく、持続時間も最長を記録しました。

特に甚大な水害の発生した球磨川流域に記録的な大雨をもたらした線状降水帯は、梅雨前線南側に極めて多量の水蒸気を含む空気がある中、大気下層の収束線上で梅雨前線上の小低気圧^{*2}の影響で極めて多量の水蒸気

が流入して発生していました。これに加えて、上空への寒気流入の影響で非常に不安定な大気の状態になっていたため、近年の豪雨のなかでも最も背の高い積乱雲がこの線状降水帯を形成していたことが明らかになりました（下図）。

球磨川流域での記録的な大雨の要因

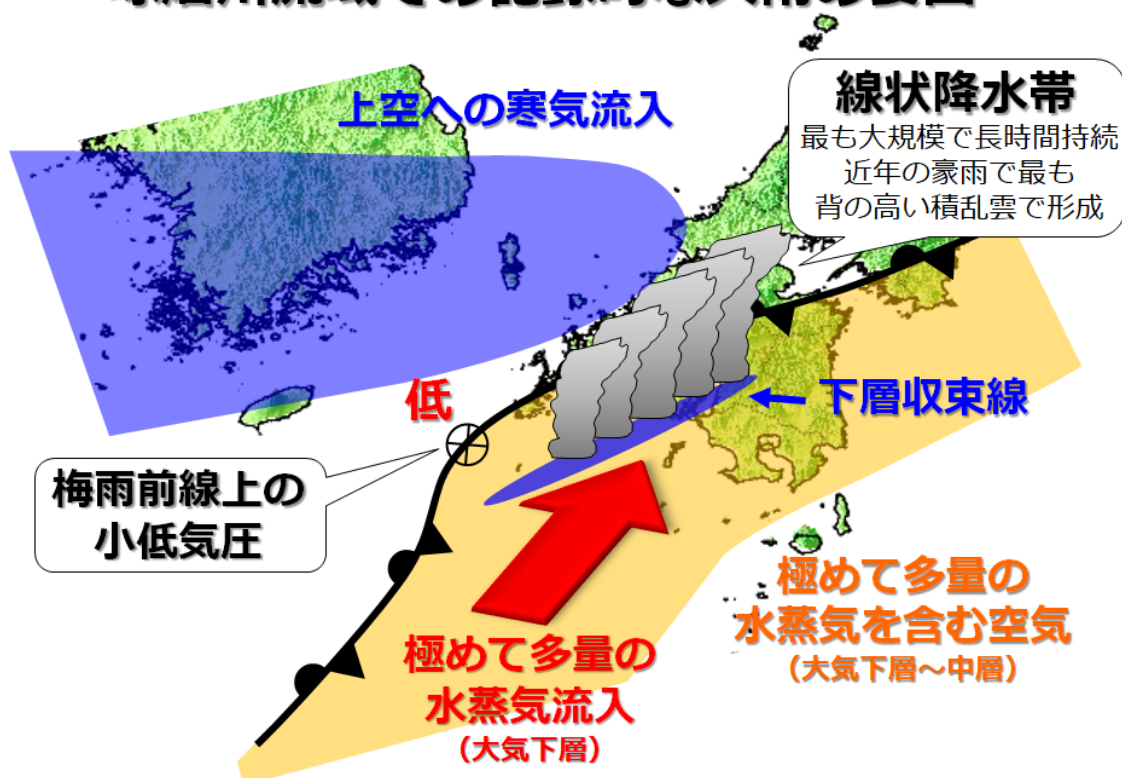


図 7月3～4日の球磨川流域における記録的な大雨の要因の概念図。

一方、9事例の線状降水帯のうち、多くの事例において梅雨前線上で小低気圧が発達しており、大気下層の水蒸気流入の強化に影響している可能性があります。なお、この小低気圧は線状降水帯が発生する数時間から1日前に明瞭化していました。

今後、さらに詳細な解析を進めるとともに、豪雨をもたらす線状降水帯の監視・予測技術の高度化に役立てるための研究を行う予定です。

本研究成果は、線状降水帯の特徴については2020年12月10日付け、記録的な大雨の要因については2020年12月24日付けで、日本気象学会が発

行する科学誌「Scientific Online Letters on the Atmosphere」に早期公開
されました。

< 発表論文 >

掲載誌： *Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)*

タイトル： Characteristics of extreme rainfall event in Kyushu district,
southwestern Japan in early July 2020

著者名： Hirockawa, Y.¹, T. Kato², K. Araki¹, and W. Mashiko¹

所 属： 1 気象庁気象研究所、 2 気象庁気象大学校

DOI： 10.2151/sola.2020-044

URL： <https://doi.org/10.2151/sola.2020-044>

掲載誌： *Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)*

タイトル： Characteristics of atmospheric environments of quasi-
stationary convective bands in Kyushu, Japan during the July
2020 heavy rainfall event

著者名： Araki, K.¹, T. Kato², Y. Hirockawa¹, and W. Mashiko¹

所 属： 1 気象庁気象研究所、 2 気象庁気象大学校

DOI： 10.2151/sola.2021-002

URL： <https://doi.org/10.2151/sola.2021-002>

<用語解説>

線状降水帯^{*1}：次々と発生する発達した雨雲（積乱雲）が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ50～300km程度、幅20～50km程度の強い降水をともなう雨域。線状降水帯の多くは暖候期に発生し、大きな災害の要因となる集中豪雨を引き起こすことがある。

小低気圧^{*2}：水平方向の広がり1000km程度、またはそれ以下の低気圧で、メソ低気圧とも呼ばれる。典型的な温帯低気圧よりも小さく、地上天気図に表さないことが多い。

問合せ先：（線状降水帯の特徴について）

気象研究所 台風・災害気象研究部 主任研究官 廣川康隆
メール：yhiroekawa@mri-jma.go.jp

（記録的な大雨の要因について）

気象研究所 台風・災害気象研究部 研究官 荒木健太郎
メール：araki@mri-jma.go.jp

（広報担当）

気象研究所 企画室 広報担当 電話：029-853-8535

1. 背景

九州では梅雨末期にたびたび集中豪雨が発生しており、その要因として「線状降水帯」が指摘されています。線状降水帯は、次々と発生する発達した積乱雲が列をなして組織化し、数時間にわたって狭い範囲に大雨をもたらす線状に伸びた強い降水域のことです。日本で発生する集中豪雨の約7割が線状降水帯によるものと考えられており（津口・加藤，2014）、線状降水帯は甚大な災害をもたらす要因の一つとして近年特に注目されています。

2020年7月上旬に九州を中心に記録的な大雨をもたらした「令和2年7月豪雨」では、特に球磨川流域で、7月3～4日に線状降水帯が発生し、大規模な河川氾濫や土砂災害が発生しました。また、7月6～7日には九州北部地方でも線状降水帯が発生し、大規模な水害がもたらされました。

このような大規模な災害をもたらす線状降水帯の正確な予測は、現状ではまだ難しく、高精度予測のためには実態解明の研究が必要不可欠です。本研究では、令和2年7月豪雨において九州で発生した線状降水帯の特徴を定量的に評価するとともに、記録的な大雨の要因について、近年九州北部地方で発生した線状降水帯による豪雨（平成30年7月豪雨、平成29年7月九州北部豪雨）との比較を通して詳細に調査しました。

2. 解析の結果

（1）線状降水帯の特徴

まず、Hirockawa et al. (2020) の手法をもとに、水平分解能5 kmに変換した解析雨量の3時間積算値を用いて、以下の四つの条件を満たすものを線状降水帯として客観的に抽出しました。

- ① 3時間積算降水量が80mm以上の分布域が線状（長軸：長さ と 短軸：幅の比が2.5以上）
- ② 面積が625km²以上、12500km²未満
- ③ ①の領域内の3時間積算降水量の最大値が100mm以上
- ④ 5時間以上ほぼ同じ位置に停滞

この結果、令和2年7月豪雨のはじめの時期にあたる2020年7月3日12時～8日12時の5日間に、九州では9事例の線状降水帯が発生していたことが分かりました（図1、図2）。

これらの線状降水帯の特徴をより詳しく調べるために、同じ手法で抽出した、2009～2019年の4～11月の期間における九州での134事例の線状降水帯、特に顕著な豪雨が発生した2009年、2012年、2017年（平成29年7月九州北部豪雨において福岡県朝倉市付近で発生）の線状降水帯との違いに着目して比較しました（図3においてそれぞれH21、H24、H29と表記）。

その結果、九州で5日間に9事例の線状降水帯が発生したことは、2009年以降では最多の記録でした。また、このうち、7月3～4日に熊本県球磨川流域に記録的な大雨をもたらした線状降水帯（図1、図2のB）は、長さが約280kmで13時間停滞するなど、2009年以降では規模が最大で、最長の持続時間を記録しました。

さらに、線状降水帯内での最大3時間降水量は、球磨川流域で発生した線状降水帯（B）が280mm以上であり、2009年、2012年、2017年に次ぐ大きな値でした（図3a）。この線状降水帯（B）内の最大総降水量は約650mmで、2017年の次に多い降水量でした（図3b）。

なお、条件①～④を変えると、抽出される線状降水帯の数や大きさ、持続時間等は変わる場合があります。上記の記録も、線状降水帯の抽出条件によって変わりうることに留意してください。

（2）記録的な大雨の要因

次に、球磨川流域に記録的な大雨をもたらした線状降水帯の発生した7月4日の事例（図2（B））について詳細に調べたところ、梅雨前線の南側に極めて多量の水蒸気を含む空気の流れ（「大気の川（Atmospheric River）」と呼ばれることがある）があり、前線上の小低気圧が九州に接近していました（図4上）。さらに、上空（250hPa）には寒気が流入（図4下）しており、大気の状態が非常に不安定となっていました。このような状況で、九州の西海上では小低気圧による流れと太平洋高気圧の縁に沿った流れ

が収束して大気下層に収束線が形成され、この下層収束線に小低気圧により極めて多量の水蒸気が流入して線状降水帯が発生・発達していました（図5）。同様に、7月6日に九州北部地方で記録的な大雨をもたらした線状降水帯も、梅雨前線上の複数の小低気圧が九州に接近し、大気下層で極めて多量の水蒸気が流入して発生していました（図6）。

ここで、球磨川流域及び九州北部地方での記録的な大雨を近年の豪雨（平成30年7月豪雨：2018年、平成29年7月九州北部豪雨：2017年）と比較しました（表1）。その結果、球磨川流域では、250hPa（高度11,000m付近）の気温が2017年に次いで低くなっていました。一方で500hPa（高度5,800m付近）では最も高温となっており、これにより大気下層から中層にかけての水蒸気量が多くなり、2018年と同等の極めて多量の水蒸気がある状況となっていました。このため大気の状態が非常に不安定となり、線状降水帯を形成する積乱雲の背の高さ（雲頂高度）が最も高くなっていました。また、大気下層の水蒸気量はいずれも同程度でしたが、令和2年7月豪雨の両事例とも、下層の風により、近年の豪雨と比べても大気下層で極めて多量の水蒸気の流入があったことが明らかになりました。

さらに、ほかの線状降水帯の発生した状況についても調査したところ、令和2年7月豪雨で抽出された線状降水帯9事例のうち多くの事例で、線状降水帯の発生前・発生時に、梅雨前線上に形成された小低気圧が九州に接近しており、大気下層の風を強めることで水蒸気流入を強化していた可能性があります（図7）。この水蒸気流入の強化によって、線状降水帯に伴う短時間の大雨が多発したとも考えられます。

3. 考察と展望

今回の研究により、令和2年7月豪雨における九州の線状降水帯の発生数（9事例）は記録的であり、そのうち球磨川流域で発生した線状降水帯の規模や持続時間も記録的であることが分かりました。また、この球磨川流域で発生した線状降水帯による降水の強さは、令和2年7月豪雨の線状降水帯の中で最大で、2009年以降に九州で発生した線状降水帯の中でも最大級であったことが分かりました。

さらに、令和2年7月豪雨では、多くの線状降水帯で小低気圧が影響していた可能性があります。これらの小低気圧は、線状降水帯が発生する数時間から1日前に明瞭化していました。なお、小低気圧に伴う大気下層の水蒸気流入量の増大に伴って記録的な大雨が発生することは、1982年7月23日の「長崎豪雨」でも確認されています（Ogura et al. 1985）。

球磨川流域に記録的な大雨をもたらした線状降水帯は、小低気圧に加えて、上空に寒気が流入して非常に不安定な大気の状態が発生していたことが分かりました。一方で、2018年と2017年のいずれの線状降水帯の事例でも明瞭な小低気圧は確認されず、また、2020年の事例に比べて風が弱く大気下層の水蒸気流入量は小さくなっていました（表1）。記録的な大雨をもたらす線状降水帯は、事例毎に違いもあるため、さらなる実態解明の研究が必要です。

今後、さらに詳細な解析を進めるとともに、豪雨をもたらす線状降水帯の監視・予測技術の高度化に役立てるための研究を行う予定です。

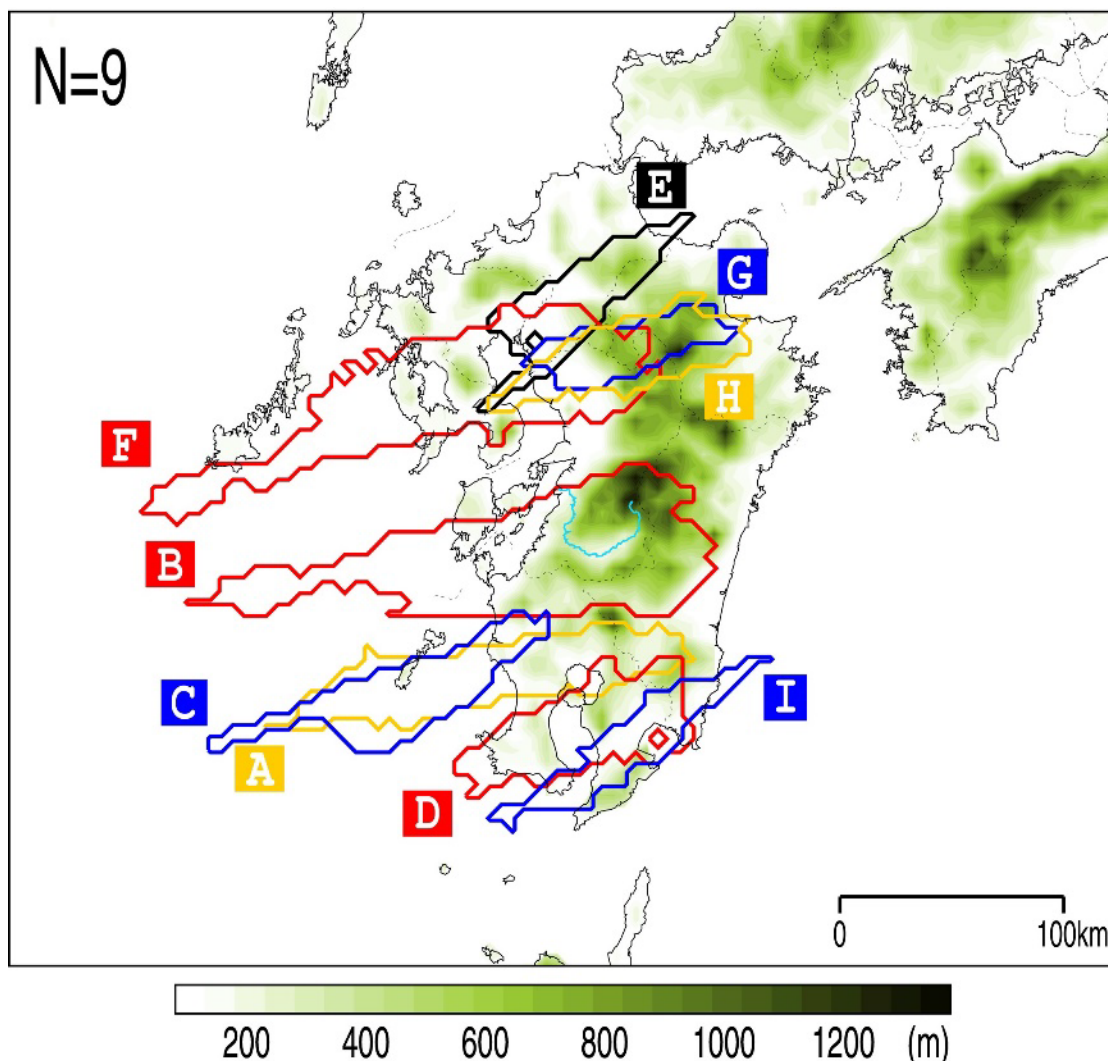


図1. 2020年7月3日12時～8日12時に九州で発生した9個(A～I)の線状降水帯の出現分布

緑色の濃淡は標高 (m)、水色の線は球磨川の流路を示す。

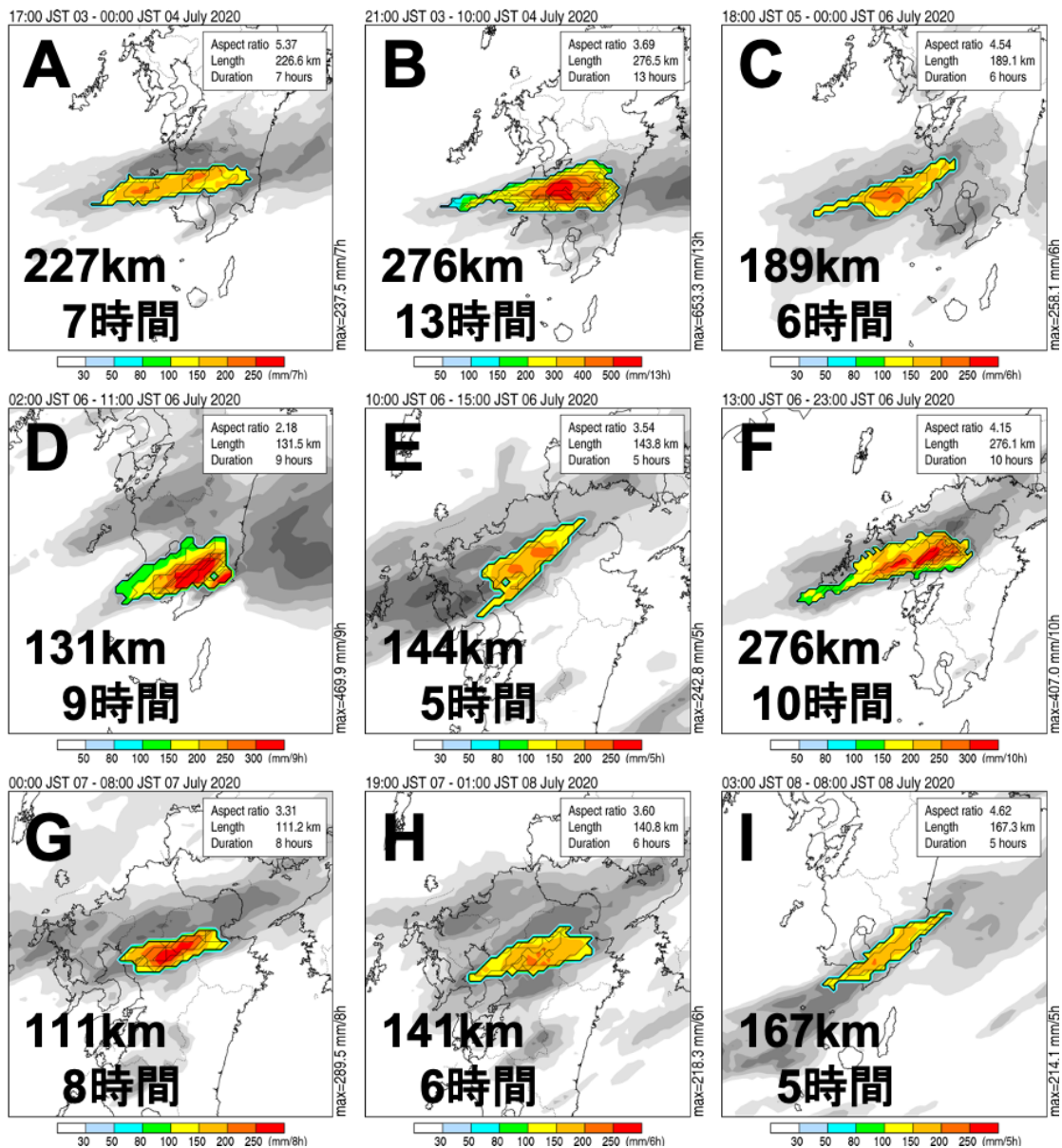


図2. 2020年7月3日12時～8日12時に九州で発生した9個の線状降水帯ごとの長さ及び持続時間

各図左上のアルファベットは図1の各線状降水帯と対応している。カラーは線状降水帯による積算降水量（mm）、白黒の陰影は線状降水帯以外の積算降水量（mm）を示す。

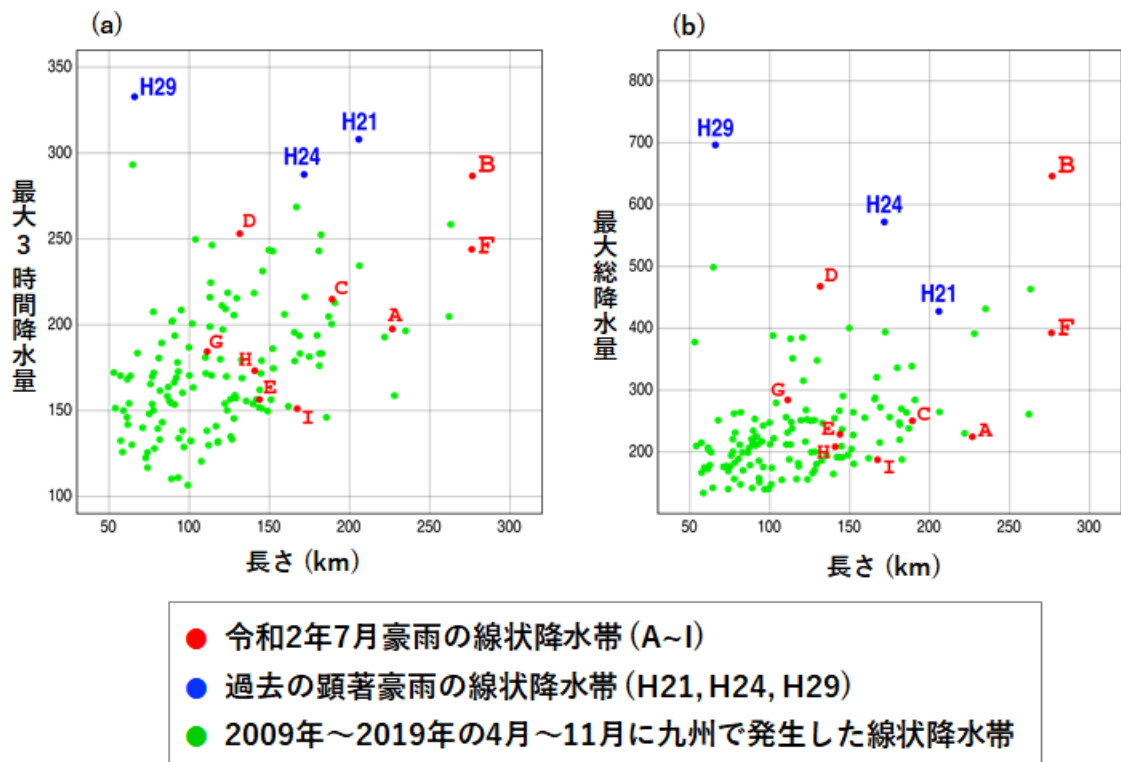


図3. 九州で発生した線状降水帯の長さ と 最大降水量 と の 関係

令和2年7月豪雨および2009~2019年の4~11月の期間に、九州で発生した線状降水帯の長さ (km、横軸) と、領域内の (a) 最大3時間降水量、(b) 最大総降水量 (mm、縦軸) との関係を示す。降水量は解像度5 kmで解析した値を用いている。アルファベットは図1と図2で示した線状降水帯と対応する。また、各図中のH21、H24、H29は、それぞれ2009年、2012年、2017年に顕著な豪雨をもたらした線状降水帯事例を示す。

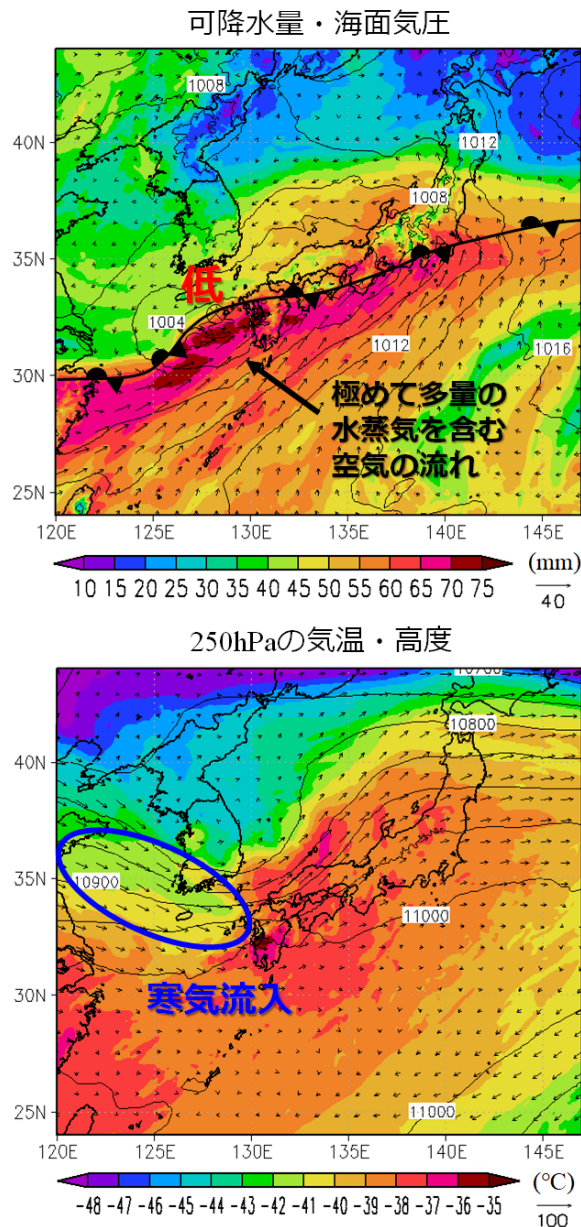


図4. 2020年7月4日3時における線状降水帯の環境場（日本付近）

上段は気象庁局地客観解析による可降水量（大気中の水蒸気の総量に相当；カラー、mm）、海面気圧（黒実線、2hPa毎）、950hPa面（高度500m付近）の風（黒矢印）、梅雨前線と前線上の小低気圧の位置についても示している。

下段は250hPa面の気温（カラー、 $^{\circ}\text{C}$ ）、高度（黒実線、m）、風（黒矢印、 m s^{-1} ）。

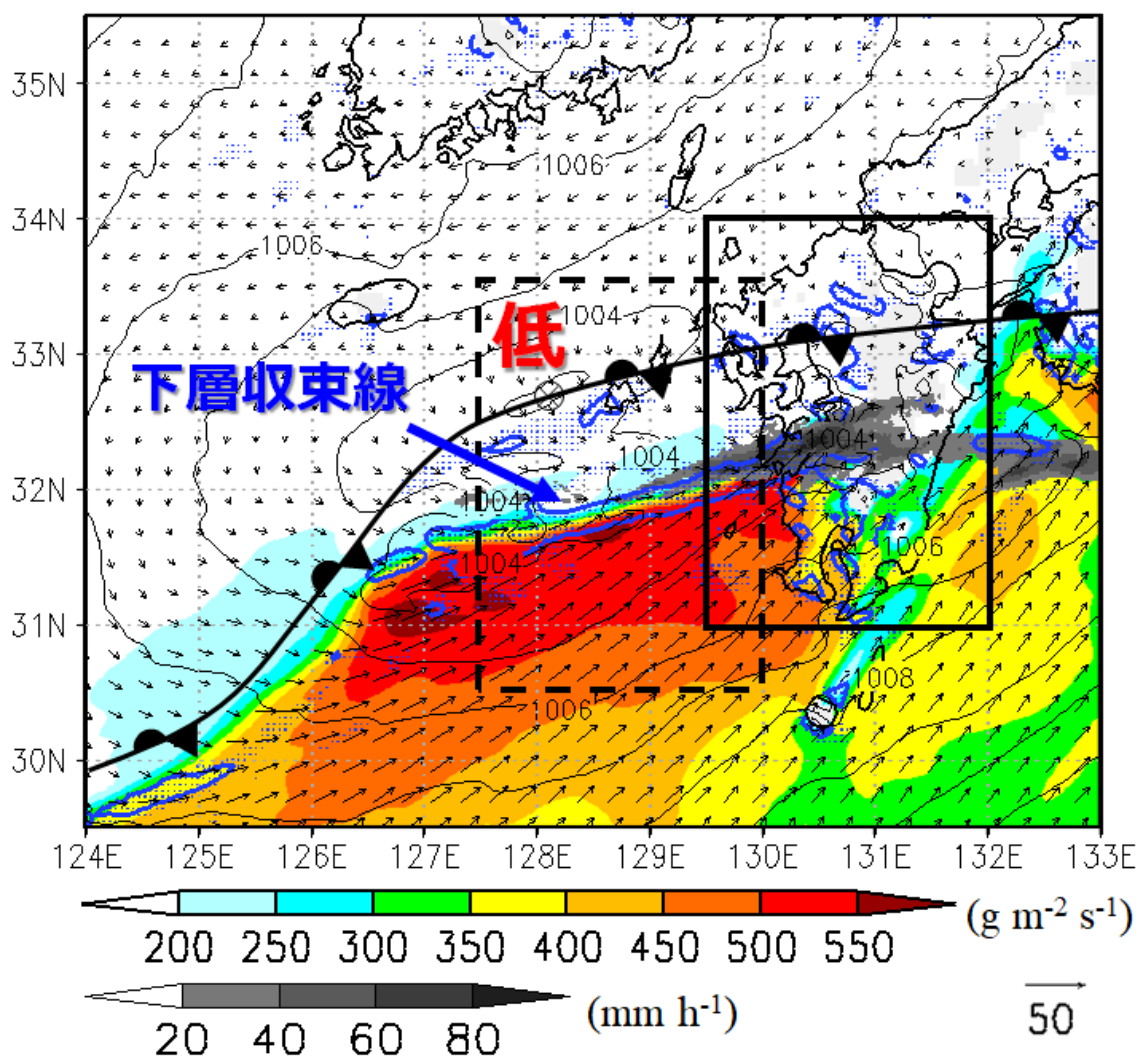


図5. 2020年7月4日3時における線状降水帯の環境場（九州付近）

気象庁局地客観解析による950hPa面（高度500m付近）の水蒸気流入量（カラー、 $\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）、風（黒矢印、 m s^{-1} ）、海面気圧（黒実線、1 hPa毎）、水平収束（青実線、 $2.0 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ；青ハッチ、 $1.0 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ）、解析雨量による前1時間降水量（陰影、mm）の分布。梅雨前線と前線上の小低気圧の位置についても示している。

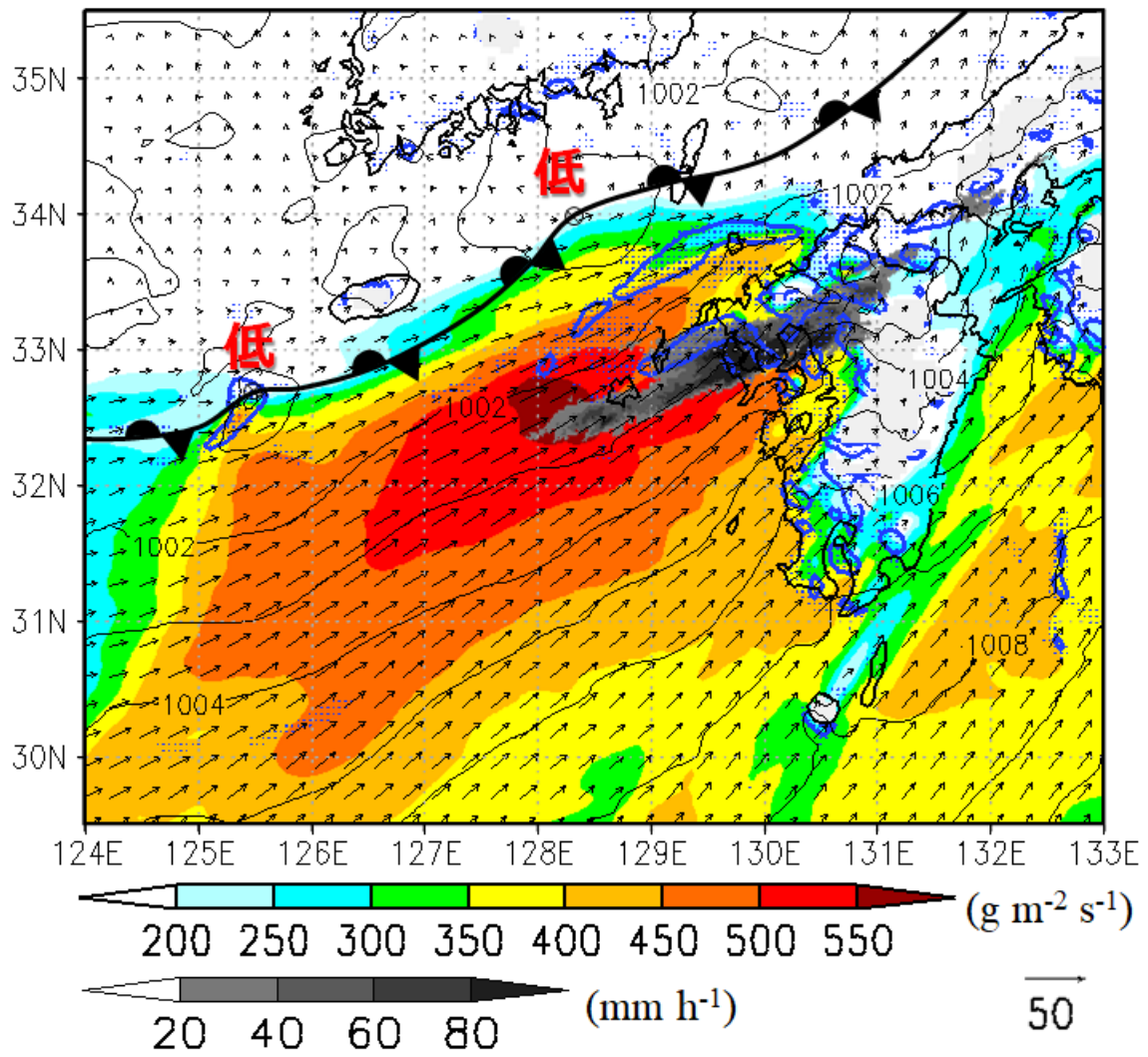


図6. 2020年7月6日13時における線状降水帯の環境場（九州付近）
表示要素は図5と同じ

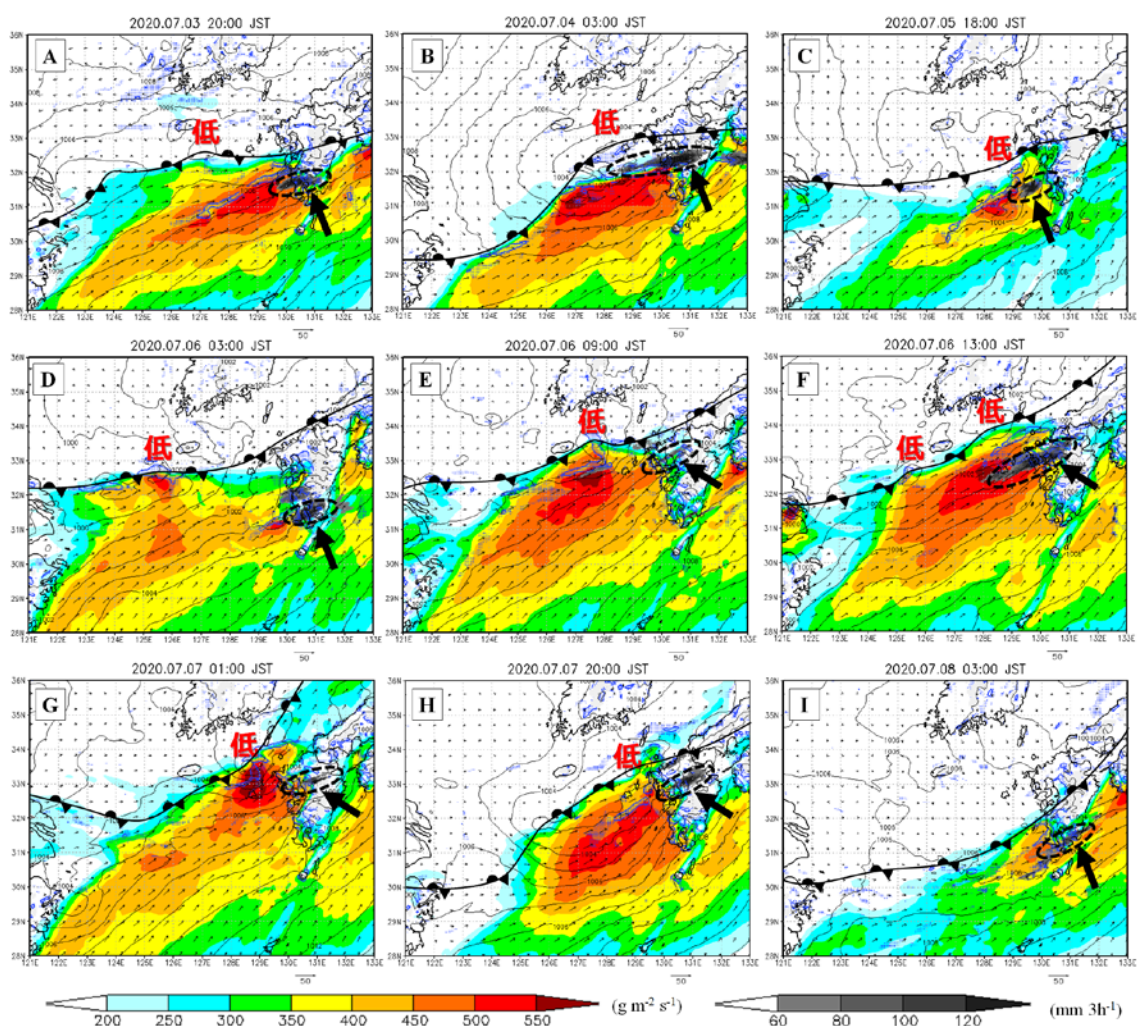


図7. 各線状降水帯の発生前・発生時における環境場

気象庁局地客観解析による950hPa面(高度500m付近)の水蒸気流入量(カラー、 $\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、風(黒矢印、 m s^{-1})、水平収束(青実線、 $2.0 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$; 青ハッチ、 $1.0 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$)、海面気圧(黒実線、1 hPa毎)、解析雨量によるこの時刻から3時間積算した降水量(陰影、mm)の分布。梅雨前線と前線上の小低気圧の位置についても示している。黒矢印で指している黒破線域は線状降水帯の位置を意味する。左上のアルファベットは図1の線状降水帯と対応している。

表 1. 令和 2 年 7 月豪雨と過去の豪雨との比較

雲頂高度はひまわり 8 号プロダクトから算出した図 6 の実線枠内の領域
 最大値（括弧内は期間最大値）。その他は気象庁局地客観解析による。
 可降水量（大気中の水蒸気の総量）と 950hPa（高度500m付近）の水蒸
 気量・水平風速・水蒸気流入量は破線枠内の領域最大値、250hPa（高度
 11,000m付近）と 500hPa（高度5,800m付近）の気温は領域平均値で、
 それぞれ線状降水帯が発生していた期間の時間平均値。

	令和2年7月豪雨		平成30年7月豪雨	平成29年7月 九州北部豪雨
	熊本県・鹿児島県 での大雨	九州北部での大雨		
線状降水帯の期間	2020年7月3日21時 ～4日10時	2020年7月6日13時 ～7日8時	2018年7月6日13時 ～7日0時	2017年7月5日12時 ～5日22時
雲頂高度 (期間最大雲頂高度)	16.8 km (17.8 km)	16.4 km (17.2 km)	16.1 km (16.7 km)	16.2 km (16.8 km)
250hPaの気温	-38.4 °C	-36.8 °C	-36.3 °C	-40.3 °C
500hPaの気温	-2.8 °C	-4.0 °C	-3.3 °C	-6.0 °C
可降水量	77.4 mm	73.2 mm	77.3 mm	64.0 mm
950hPaの水蒸気量	19.3 g kg ⁻¹	19.5 g kg ⁻¹	19.3 g kg ⁻¹	18.9 g kg ⁻¹
950hPaの水平風速	27.8 m s ⁻¹	26.1 m s ⁻¹	22.2 m s ⁻¹	13.7 m s ⁻¹
950hPaの 水蒸気流入量	582 g m⁻² s⁻¹	538 g m⁻² s⁻¹	444 g m ⁻² s ⁻¹	281 g m ⁻² s ⁻¹

<参考文献>

- Hirockawa, Y., T. Kato, H. Tsuguti, and N. Seino, 2020: Identification and classification of heavy rainfall areas and their characteristic features in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 98, 835–857.
- Ogura, Y., T. Asai and K. Dohi, 1985: A case study of a heavy precipitation event along the Baiu front in northern Kyushu, 23 July 1982: Nagasaki heavy rainfall. J. Meteor. Soc. Japan, 63, 883–900.
- 津口裕茂・加藤輝之, 2014: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析, 天気, 61, 455–469.