

平成 29 年 7 月九州北部豪雨に関する気象学的な速報解析

加藤亮平*・清水慎吾*・下瀬健一*・前坂 剛*・櫻井南海子*・出世ゆかり*

Prompt Report of Meteorological Analysis on the July 2017 Northern Kyushu Heavy Rainfall

Ryohei KATO, Shingo SHIMIZU, Ken-ichi SHIMOSE, Takeshi MAESAKA,
Namiko SAKURAI, and Yukari SHUSSE

**Storm, Flood and Landslide Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
rkato@bosai.go.jp, shimizus@bosai.go.jp, kshimose@bosai.go.jp
maesaka@bosai.go.jp, sakurain@bosai.go.jp, shusse@bosai.go.jp*

Abstract

This work summarizes a prompt report of meteorological analysis opened to the public on a website by the Storm, Flood and Landslide Research Division of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience immediately following the July 2017 Northern Kyushu Heavy Rainfall. Analysis of near surface wind and water vapor showed that humid warm air blew from SW and WSW, and these winds converged around Fukuoka prefecture, where heavy rainfall occurred. Analysis of X-band MP radar data showed the following results: (1) heavy rainfall in Northern Kyushu was caused by a stationary linear precipitation system, which was composed of tall cumulonimbus clouds whose tops were over 15 km high; (2) the stationary linear precipitation system that caused heavy rainfall was developed by back-building type cumulonimbus formation; (3) the identification of raindrops of liquid water at the height of 8 km (-15°C level), suggests that the cumulonimbi that caused the heavy rainfall had strong updrafts.

Key words: Heavy rainfall, Linear precipitation system, Meteorological analysis, X-band MP radar

1. はじめに

平成 29 年 7 月 5 日から 6 日にかけて九州北部で集中豪雨が発生した。この豪雨に伴い土砂崩れや河川の氾濫が多発し、福岡県と大分県では死者 38 名・行方不明者 3 名、住家被害 1,400 棟以上、家屋浸水 1,500 棟以上の甚大な被害が生じた(2017 年 12 月 7 日時点, 消防庁 2017)。

このような災害時において防災科学技術研究所(以下, 防災科研)の水・土砂防災研究部門では, 気象解析の迅速な情報公開に努めている。本報告では, 豪雨発生時の気象状況(2 節)について簡単に解説し

た後, 水・土砂防災研究部門が行った気象学的な速報解析に関する情報発信(3 節)と解析結果(4 節)について紹介する。

2. 気象状況

2017 年 7 月 5 日 9 時(日本標準時; 以下同様)の地上天気図を図 1 に示す。前日に日本列島を横断した台風 3 号が温帯低気圧化し日本の東海上に位置していた。その低気圧から梅雨前線が日本列島に伸びており, 九州の北に位置していた。また中国大陆には高気圧が南下した後, 停滞していた(ブロッキング

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

グ高気圧)。さらに、太平洋高気圧が強化されており、その縁をまわるようにして南西風により東シナ海から暖かく湿った空気が九州地方へ流入していた。

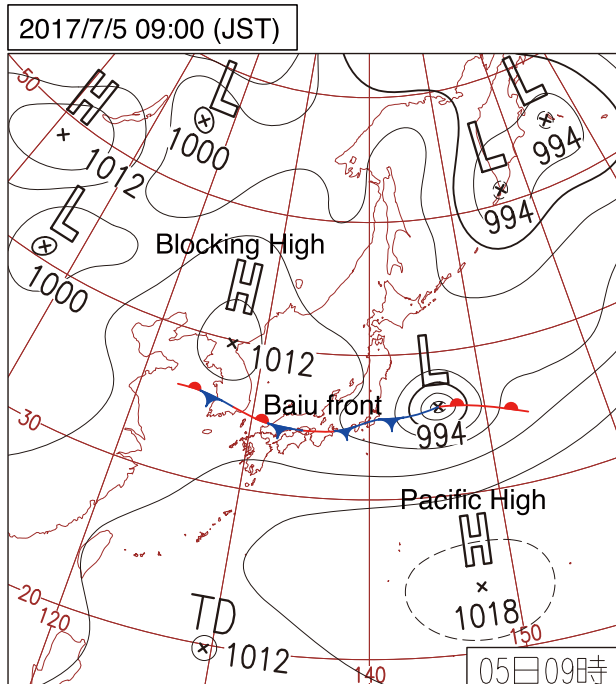


図1 2017年7月5日9時の地上天気図(気象庁)
Fig. 1 Synoptic surface weather map provided by Japan Meteorological Agency (JMA).

気象庁解析雨量(レーダによる雨量を地上雨量計による雨量で補正した雨量)による7月5日12時から18時の6時間積算雨量を図2に示す。福岡県朝倉市付近に東西に走向をもつ線状の降水域(線状降水帯)が存在し、解析された6時間積算雨量の最大値(最大6時間積算雨量)は630 mmにも及んだ。この線状降水帯の南東に位置する大分県でも線状降水帯が発生していた。

気象庁解析雨量による前1時間積算雨量の時系列を図3に示す。朝倉市付近の線状降水帯は7月5日の12時から13時の間に形成され、12時から21時の約9時間もの長時間に渡り停滞していた。より長期間(6月30日～7月10日)の降雨の時間変化については気象庁(2017)を参照いただきたい。

最後に、福岡県朝倉市の気象庁アメダスによる地上雨量計の時系列データを示す(図4)。朝倉のアメダスでは12時前から降雨が開始し、12時から21時頃までに激しい雨が断続的に降り続いた。特に15時から16時には10分間雨量が25 mmを超える($\geq 150 \text{ mm h}^{-1}$ 相当)猛烈な雨が観測されている。ま

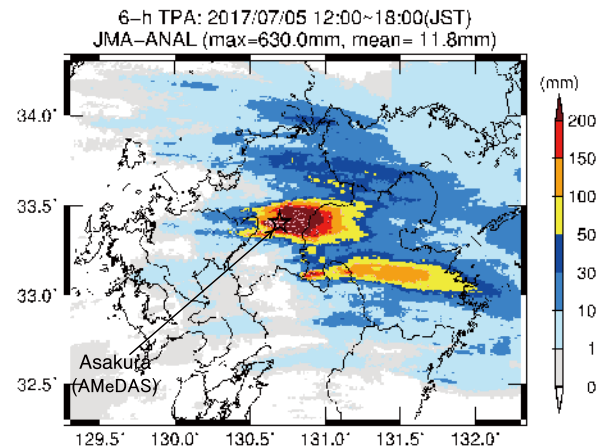


図2 2017年7月5日12時から18時までの6時間積算雨量(気象庁解析雨量)

Fig. 2 Accumulated rainfall from 12:00 JST to 18:00 JST on July 5, 2017 (Rainfall analysis provided by JMA).

た、朝倉のアメダスによる積算雨量は最大1時間雨量で129.5 mm (15:38)、最大3時間雨量で261.0 mm (15:40)、最大24時間雨量で545.5 mm (7月6日11:40)を観測し、いずれも朝倉での観測史上1位を更新している。なお、朝倉のアメダスの約10 km 東に位置する北小路公民館の雨量計(福岡県、朝倉県土整備事務所が管理)では朝倉のアメダスよりも多い雨量が観測され、7月5日の24時間積算雨量は朝倉のアメダスが516 mm であるのに対し、北小路公民館では803 mm であった。

3. 速報解析に関する情報発信

防災科研の水・土砂防災研究部門による気象学的な速報解析の情報発信に関するタイムラインを図5に示す。7月5日12時から21時にかけて九州北部で豪雨が発生した。この豪雨とそれに伴う被害を受けて、水・土砂防災研究部門では翌日の7月6日の午前に緊急会議を行い、気象学的な速報解析の結果を迅速に公開することを決定した。その後、午後に速報解析を行い、その日の夜には解析結果をWeb上に公開した(「2017年7月5日から6日における福岡県・大分県の大雨について」http://mizu.bosai.go.jp/key/20170705_north_kyushu_heavy_rain)。また、翌日には第2報として降水の三次元分布のアニメーションを追加している。

水・土砂研究部門が公開したWebサイトは新聞やWeb等の報道関係資料に50回以上引用されており、今回の迅速な情報発信が有効に活用されたこと

を示している。特に雨雲の立体構造を示す 3 次元の図は報道関係者に好評であり、新聞等にそのまま利用されたため、多くの引用回数に繋がったと思われる。このような迅速なデータ公開を可能としている

のは、レーダや気象関係のデータをリアルタイムで取得していることと、その解析ツールを日頃から整備していることによる。次節では公開した解析結果を示す。

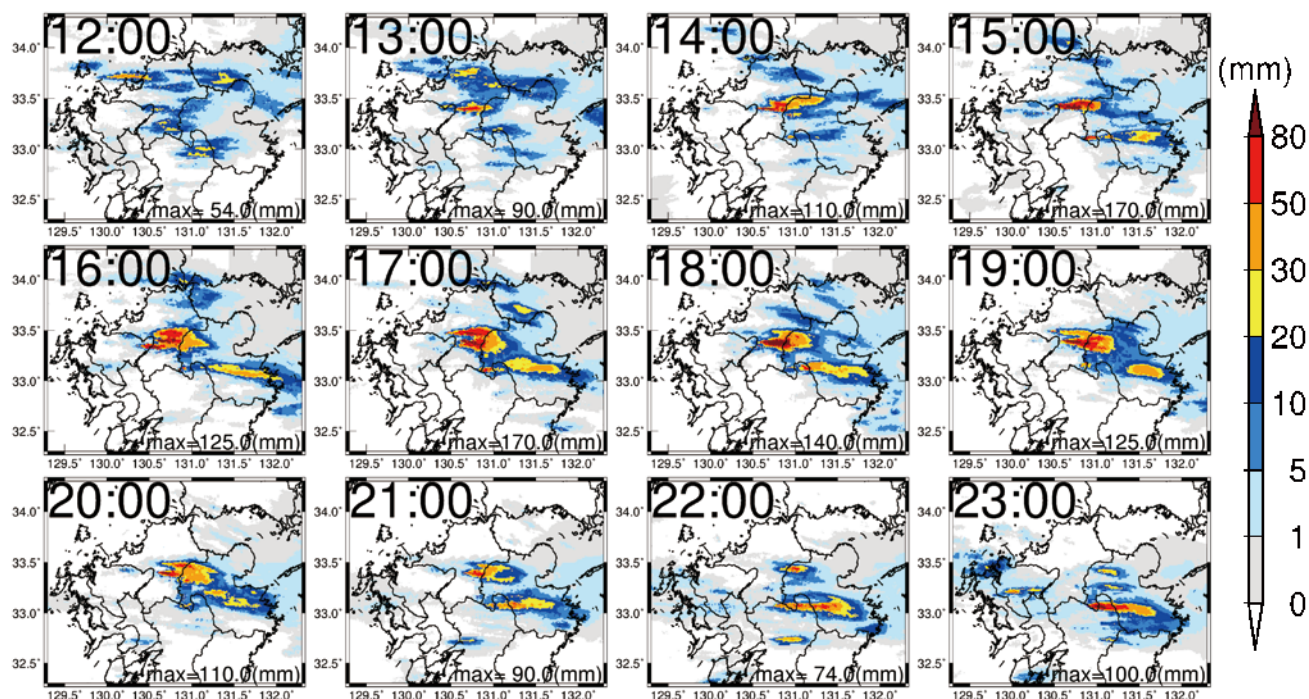


図 3 2017 年 7 月 5 日 12 時から 23 時までの前 1 時間積算雨量の時系列 (気象庁解析雨量)

Fig. 3 Time series of 1-hour accumulated rainfall from 12:00 JST to 23:00 JST on July 5, 2017 (Rainfall analysis provided by JMA).

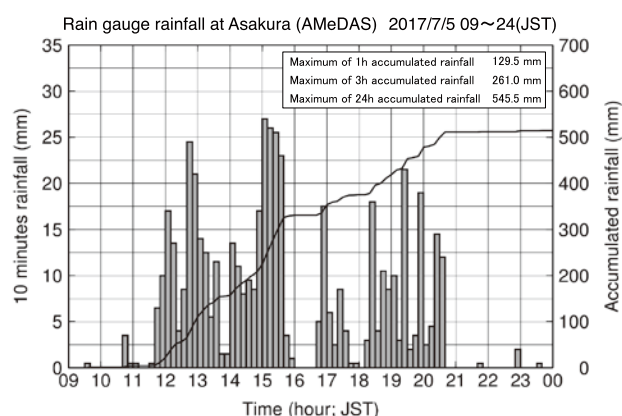


図 4 福岡県朝倉市の地上雨量計 (気象庁アメダス) による 10 分間雨量 (棒グラフ) と 2017 年 7 月 5 日 9 時からの積算雨量 (実線) の時系列

Fig. 4 Time series of 10-minute accumulated rainfall (bar) and accumulated rainfall from 09 JST on July 5, 2017 (line) observed by rain gauge of AMeDAS (JMA) at Asakura city in Fukuoka Prefecture.

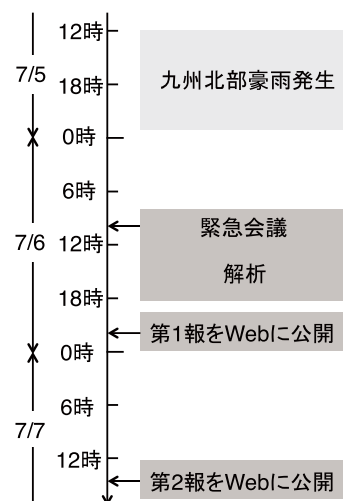


図 5 水・土砂防災研究部門による気象学的な解析の情報発信に関するタイムライン

Fig. 5 Timeline of meteorological analysis information dispatched by the Storm, Flood and Landslide Research Division.

4. 速報解析結果

4.1 地上付近の風と水蒸気

図6に福岡県朝倉市で猛烈な雨が観測されていた7月5日15時における、気象庁メソスケールモデルの解析値による地上風(矢羽)と水蒸気混合比(空気1 kg 当たりの水蒸気の質量; 等値線)を示す。福岡県付近は梅雨前線の南側に位置し、南西及び西南西から湿った空気が吹き込み合流している状況で豪雨が発生していた。Web 上には図6のような地上風と混合比の時間変化を示す動画を公開している。

4.2 降水システムの立体構造

大雨をもたらした雨雲の立体構造を図7に示す。この図は国土交通省が運用している XRAIN (eXtended RADar Information Network) の4台の X バンド MP レーダ(九千部・菅岳・古月山・風師山)によるレーダ反射強度を合成することで得られた。福岡県朝倉市付近の上空では、東西に延びる雨雲が形成されており、雨雲は高度15 kmを超えていた。梅雨期(6・7月)の梅雨前線付近において深い対流性降水のエコー頂高度は7 km程度であることが多い^{注1}、今回の豪雨は非常に発達した積乱雲群から大雨がもたらされたことが分かる。また朝倉市上空の高度5 km以下で特に強い雨が形成されていたことが分かる。雨雲の立体構造の動画も Web 上に公開している。

4.3 降水システムの時間変化

7月5日11時から16時50分までの降水強度の10分毎の時間変化を図8に示す。図の中心がほぼ福岡県朝倉市に対応する。11時から17時にかけて強い雨が継続していたことが分かる。この強い雨はいくつかの積乱雲群(積乱雲の集合体; 図8のA~D)によってもたらされており、それぞれの積乱雲群は西から東へ進んでいた。また、13時から17時にかけて形成された線状降水帯C^{注2}は東側へ移動するス

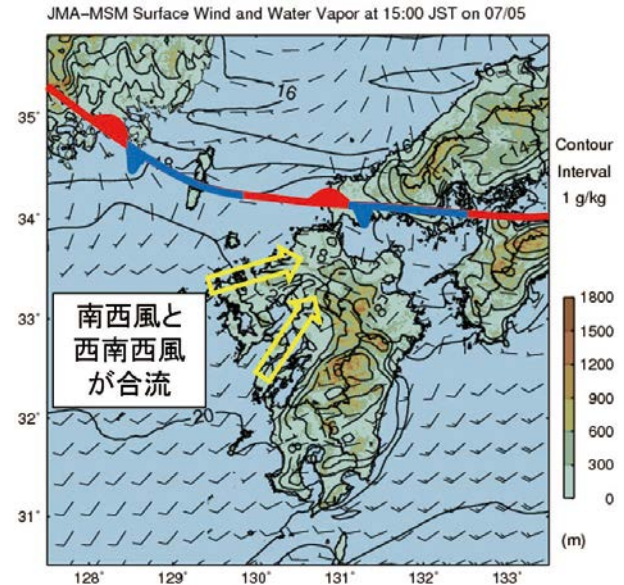


図6 気象庁メソスケールモデルの解析値による2017年7月5日15時における地表付近の風(矢羽根)と、水蒸気混合比(等値線は 1 g kg^{-1} 間隔)。長い矢羽根は 5 m s^{-1} 、短い矢羽根は 2.5 m s^{-1} の風速を示す。

Fig. 6 Surface wind (barbs) and water vapor mixing ratio (contour intervals of 1 g kg^{-1}) at 15:00 JST on July 5, 2017 from the meso-scale model analysis conducted by the Japan Meteorological Agency. Long (short) barbs indicate 5 m s^{-1} (2.5 m s^{-1}).

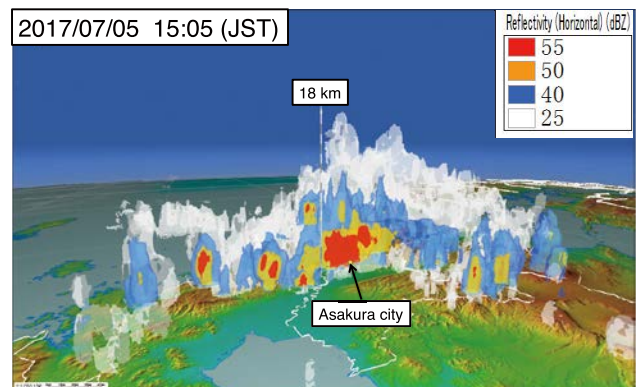


図7 4台のXバンドMPレーダを合成したレーダ反射強度の三次元分布を南西から見た様子。地図情報は国土地理院地図を利用。

Fig. 7 3D distribution of radar reflectivity viewed from the southwest at 15:05 on July 5, 2017. The reflectivity is a composite of four X-band MP radars. Map and geographical information were provided by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.

注1: 1998年~2011年(14年間)の梅雨期(6・7月)の日本付近(122° - 135°E)を対象とした熱帯降雨観測衛星(Tropical Rainfall Measuring Mission; TRMM)による降水レーダーデータを用いた統計解析(Yokoyama *et al.* 2014)によると、(1,000 hPaにおける相当温位が345Kの緯度として定義される)梅雨前線の100-200 km南側の高度6-8 km付近に深い対流性降水によるエコー頂高度の頻度のピークがあることが示されている(Yokoyama *et al.* 2014; Fig. 6c)。

注2: 線状降水帯Cは積乱雲群Bを起源とする可能性があり、今後の詳細な解析により積乱雲群のラベリングは修正される可能性がある。

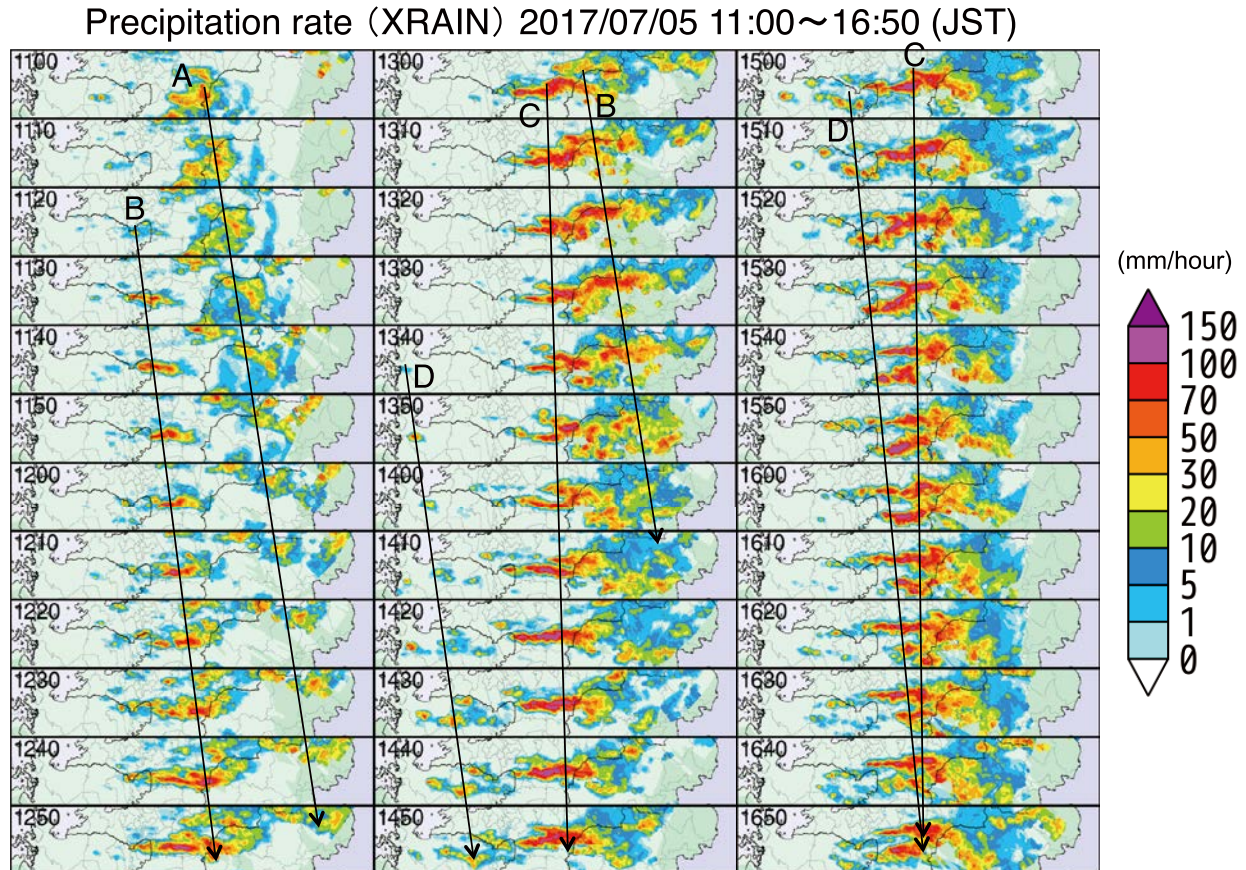


図 8 X バンド MP レーダによる降水強度の時系列
Fig. 8 Time series of precipitation rate from the X-band MP radars.

ピードが遅く、積乱雲(群)のバックビルディング型生成^{注3}が起こっていたことに対応する。この線状降水帯 C の朝倉市付近での長時間に渡る停滞が大雨の要因の 1 つであった。

4.4 降水システムの鉛直構造と降水粒子の分布

もうひとつの大雨の要因として、線状降水帯を形成する個々の積乱雲の活動度についても注目する。7 月 5 日 15 時 10 分における線状降水帯の鉛直構造(図 9a の破線の断面)としてレーダ反射強度(図 9b)と偏波間位相差変化率(Kdp^{注4}; 図 9c)を示す。反射

強度を見ると高度 14 km においても降水粒子の存在が確認され、非常に背の高い積乱雲が発達していたことが分かる。また、地上付近から高度約 8 km まで大きな偏波間位相差変化率($Kdp > 2 \text{ deg km}^{-1}$)が見られることから、その高度まで扁平な形状をした液体の雨粒が存在していたと推定できる。高度 8 km の気温は約 -15°C あったため、強い上昇流によって雨粒が完全に凍結しないまま高度 8 km まで持ち上げられていたことが示唆される。このことから、線状降水帯が長時間停滞したことだけでなく、線状降水帯を構成する積乱雲の活動が活発であったことも大雨をもたらした要因であると考えることができる。

5. まとめ

平成 29 年 7 月九州北部豪雨が発生した直後に防災科学技術研究所の水・土砂防災研究部門が行った気象学的な速報解析に関する情報発信とその解析結果について紹介した。7 月 5 日の豪雨とそれに伴う被害を受けて、水・土砂防災研究部門では翌日の 7 月

注 3：バックビルディングとは、線状降水帯の形成・維持過程の 1 つであり、線状降水帯の移動方向に対して(今回の場合は東に移動)後方に(今回の場合は西側)、新しい積乱雲(群)が次々と生成され、その積乱雲(群)が線状降水帯と併合することで線状降水帯が長時間維持される過程である。この場合、積乱雲(群)が風下に移動しても、新しい積乱雲(群)が風上に生成されるため、強い雨が長時間継続し、大雨がもたらされる。

注 4：Kdp は偏波間位相差の距離微分として定義される。偏波パラメータの詳細については深尾(2005)を参照いただきたい。粒径の大きな扁平な雨粒が支配的な領域に対して Kdp の値は正になる。

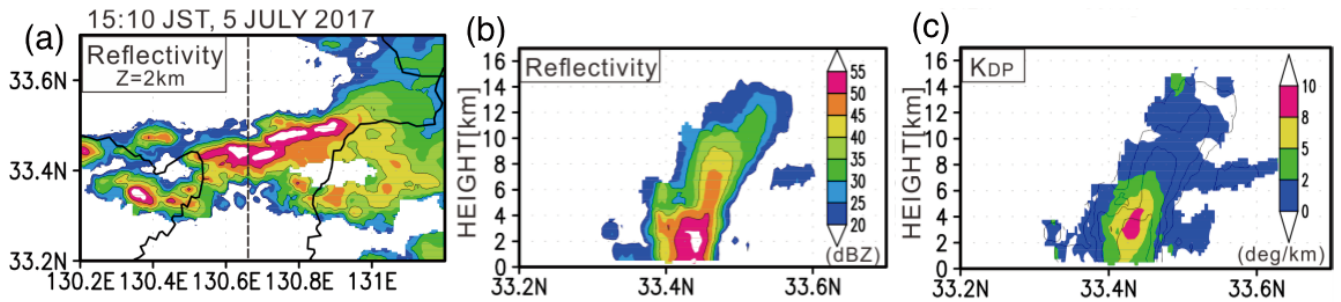


図9 XバンドMPレーダによる2017年7月5日15時10分における高度2kmのレーダ反射強度の水平分布(a)と、(a)の破線におけるレーダ反射強度(b)と偏波間位相差変化率(c)の鉛直断面図。(b)と(c)の等値線は反射強度である。
Fig. 9 (a) Horizontal distribution of radar reflectivity at 2 km height, (b) vertical distribution (cross section along dashed line in (a)) of radar reflectivity, and (c) specific differential phase at 15:10 on July 5, 2017 from the X-band MP radars. Contours in (b) and (c) indicate radar reflectivity.

6日に速報解析を行い、その日の夜には解析結果をインターネット上に公開した。この解析結果を掲載したウェブサイトは新聞等の報道関係資料に50回以上引用されており、今回の迅速な情報発信が有効に活用されたことを示している。

気象学的な速報解析は以下の通りまとめられる。

- ・福岡県付近は梅雨前線の南側に位置し、南西及び西南西から湿った空気が吹き込み合流していた状況で豪雨が発生していた。
- ・九州北部で観測された集中豪雨は、高度15kmを超える背の高い積乱雲から構成される線状降水帯が長時間停滞することで発生した。
- ・長時間停滞し豪雨を引き起こした線状降水帯は積乱雲(群)のバックビルディング型の生成により形成・維持された。
- ・高度8km(−15℃)程度まで雨粒が完全に凍結しないまま持ち上げられたことが示唆されており、豪雨を引き起こした積乱雲は強い上昇流をもっていたと考えられる。

謝辞

利用したXRAINデータは国土交通省より提供されたものである。利用したデータセットは、国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」：データ統合・解析システム(DIAS)の枠組みのもとで収集・提供されたものである。福岡県(朝倉県土整備事務所)が管理する雨量計データは川の防災情報から取得し

た。このデータの取得においては防災科学技術研究所の上米良秀行氏に協力を受けた。また、水・土砂防災研究部門の三隅良平部門長と匿名の方々に閲覧いただき、貴重なコメントを頂いた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Yokoyama, C., Takayabu, Y.N., and Kanada, S. (2014): A contrast in precipitation characteristics across the baiu front near Japan. Part I: TRMM PR observation., J. Climate, 27, 5872–5890.
- 2) 気象庁(2017)：梅雨前線及び台風第3号による大雨と暴風 平成29(2017)年6月30日～7月10日, 34 pp. (http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2017/20170711/jyun_sokuji20170630-0710.pdf, 2017.12.20)
- 3) 消防庁(2017)：平成29年6月30日からの梅雨前線に伴う大雨及び台風第3号の被害状況及び消防機関等の対応状況等について(第71報), 19pp. (<http://www.fdma.go.jp/bn/a9b0e210764154f3a5e5eb29b6a4cb884618e586.pdf>, 2017.12.20)
- 4) 深尾昌一郎・浜津享助(2005)：気象と大気のレーダーリモートセンシング, 京都大学学術出版会, 503pp.

(2018年2月5日原稿受付,
2018年3月16日改稿受付,
2018年3月16日原稿受理)

要 旨

本報告では、平成 29 年 7 月九州北部豪雨が発生した直後に防災科学技術研究所の水・土砂防災研究部門がインターネット上に公開した気象学的な速報解析の結果についてまとめた。地上付近の風と水蒸気の解析から、福岡県付近は梅雨前線の南側に位置し、南西および西南西から湿った空気が吹き込み合流していた状況で豪雨が発生したことが示された。X バンド MP レーダの解析から、以下の 3 点が示された。(1) 九州北部で観測された集中豪雨は、高度 15 km を超える背の高い積乱雲から構成される線状降水帯が長時間停滞することで発生した。(2) 豪雨を引き起こした線状降水帯は積乱雲(群)のバックビルディング型の生成により形成・維持された。(3) 高度 8 km (-15°C) 程度まで雨粒が完全に凍結しないまま持ち上げられたことが示唆されており、豪雨を引き起こした積乱雲は強い上昇流をもっていたと考えられる。

キーワード：集中豪雨，線状降水帯，気象解析，X バンド MP レーダ