

「平成27年9月関東・東北豪雨及び洪水災害に 関する研究会」報告

1. はじめに

コンピーナー：藤谷徳之助* ((一財)日本気象協会)
加藤輝之 (気象研究所)

平成27年(2015年)9月9日から11日の期間, 台風第18号及び台風から変わった低気圧に向かって南から湿った空気が流れ込んだ影響で, 関東・東北地方では記録的な大雨となり, 気象庁からは, 栃木県・茨城県・宮城県に相次いで大雨の特別警報が発表された。

日本気象学会気象災害委員会では災害発生直後から, 研究会の開催について秋季大会実行委員会と連絡を取りながら検討を開始した。その結果, メソ気象研究連絡会と共催で, 「平成27年9月関東・東北豪雨及び洪水災害に関する研究会」を, 大会前日の10月27日に開催されるメソ気象研究会に引き続いて, キャンパスプラザ京都で開催することとした。研究会を計画するにあたり, コンピーナーから気象研究者, 河川研究者の方々に講演を依頼し, さらに, 関連の方にコメントをお願いした。

当日の研究会には100名以上の参加があり, 夜遅くまで熱心に講演を聴講されると共に活発な議論が交わされた。本稿では, この研究会の概要を報告する。

2. 平成27年9月関東・東北豪雨の概要と気象庁の 対応・予報結果

加藤輝之 (気象研究所)

2015年9月9日から11日かけて発生した「平成27年9月関東・東北豪雨」では, 10日21時までの48時間に栃木県内の鬼怒川水系に降水が集中し, 上流部では500 mm以上, 下流部でも300 mm以上の降水量になった。この大雨によって10日13時頃に茨城県常総市で鬼怒川の堤防が決壊した。気象庁は10日00時20分に栃木県全域, 07時45分に茨城県 (09時55分県内全域)

に特別警報を発表するなど, 8日から気象・土砂・河川情報を状況に応じて適切に発信し続けた。鬼怒川に対する指定河川洪水予報では, 10日06時30分に氾濫発生情報を発信して警戒を呼びかけた。宇都宮地方気象台では, 通常2名体制での現業作業を10日中に2名の応援を付け, 夕方には2名を追加し, さらに1名の応援を要請し, 計7名体制で対応した。それとは別に台長と次長が直接県内の全州市町に電話連絡を行い, 警戒を呼びかけた。東北の大雨では, 11日09時までの24時間に宮城県大崎市付近で降水量が300 mmを超え, 同日07時頃に同市を流れる渋井川の堤防が決壊した。気象庁は11日03時20分に宮城県全域に特別警報を発表した。

9日17時の天気予報に用いられた数値予報の結果をみると, 気象庁全球モデル(9日09時初期値)は線状の降雨域ではないものの関東北部に大雨(10日12時までの最大24時間降水量R24max:165 mm)を予想していた。また気象庁メソモデル(9日12時初期値)では, 栃木県内に実況に近い降水分布を予想しており, Rmax24(447 mm)は解析雨量の積算(605 mm)に比べてやや少ない程度だった。ただ初期値によりメソモデルが予想した線状の降水域の位置や降水量にはばらつき(Rmax24で300~500 mm)があり, その違いは大雨の要因の1つである台風第18号から変わった温帯低気圧の予想位置に関係していた。大雨の直接的要因となった線状降水帯の予想については, メソモデルは24時間前(8日21時初期値)から位置にばらつきはあるものの, 群馬県東部から栃木県付近に予想できていた。特に加藤(2015)が示した線状降水帯が発生しやすい条件をみると, 36時間前(8日12時初期値)のメソモデルの予報では栃木県付近に線状降水帯そのものを予想していなかったが, 線状降水帯発生のパテンシャルを予想できていた(第1図)。

講演後, 会場から「今後, 今回のような大雨が発生するようなことはあるのか」という質問があった。今回と同じく2つの台風と気圧の谷の南下が重なること

* (連絡責任著者) Tokunosuke FUJITANI,
(一財)日本気象協会, tfujitani@river.ocn.ne.jp
© 2016 日本気象学会

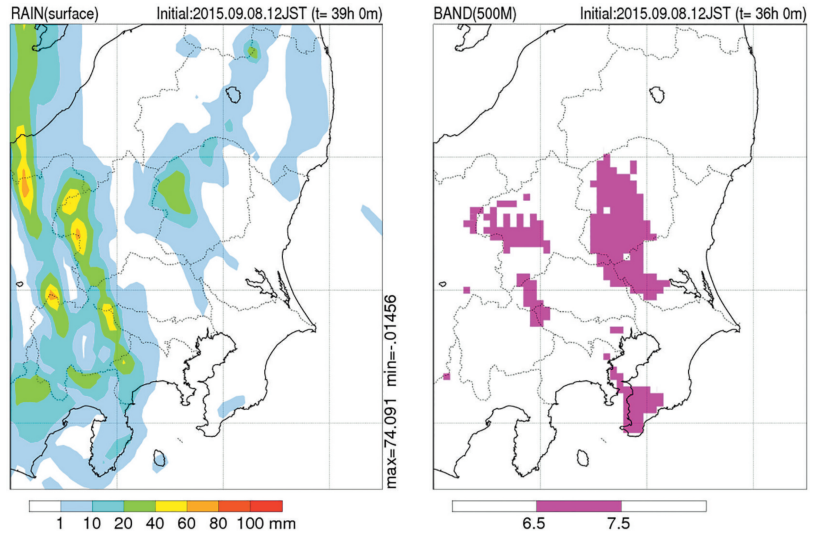
は確率的にほとんど起こらないが、異なる総観場において関東地方で線状降水帯が発生しやすい気象状態が長時間持続することがあれば同様の大雨は発生する可能性は十分あると考えられる。

3. 平成27年9月関東・東北豪雨の発生要因について

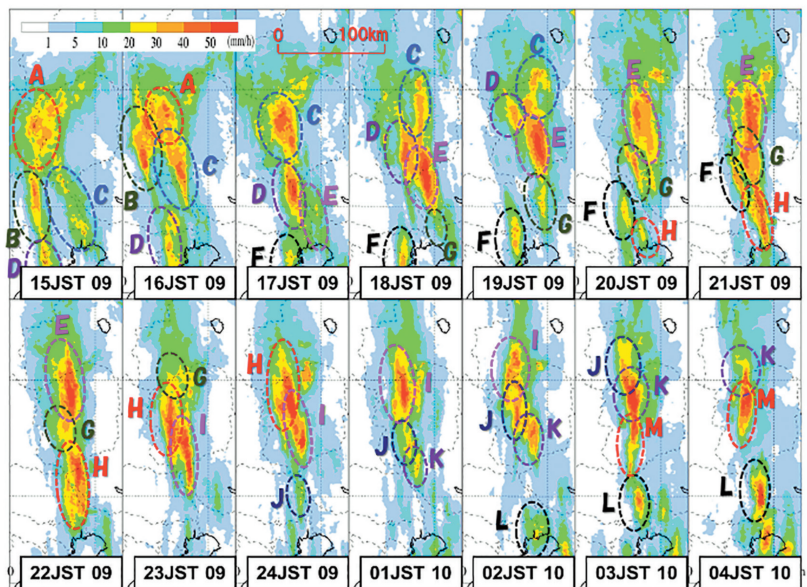
津口裕茂（気象研究所）

「平成27年9月関東・東北豪雨」について、特に栃木・茨城県で発生した大雨の発生要因に着目して事例解析を行った（気象研究所報道発表資料 2015）。

2015年9月9日から10日にかけて、関東地方には幅100～200 km、長さ500 km以上の南北にのびる“帯状の降水域”がみられた。その中でも、栃木・茨城県を流れる鬼怒川に沿った地域では特に降水量が多く、栃木県内では最大で600 mm以上に達した。この大雨により、鬼怒川の下流域に位置する茨城県常総市では堤防が決壊し、大きな被害が出た。大雨の最盛期にあたる9日15時から10日04時までの解析雨量の時系列（第2図）をみると、関東地方に大雨をもたらした“帯状の降水域”は、大雨の期間中、常に3～5本の線状降水帯によって構成されており、線状降水帯が繰り返し発生することで維持されていた。本事例では、幅20～30 km、長さ約100 kmの線状降水帯が複数連なることで、さらに巨大な降水帯（帯状の降水域）が形成されていたことが特徴である。



第1図 2015年9月8日12時初期値の気象庁メソモデルが予想した10日03時までの3時間積算降水量分布（左図）と10日00時に線状降水帯が発生しやすい条件を満たしている領域（右図の紫色域）。



第2図 2015年9月9日15時から10日04時までの解析雨量の時系列。A-Mの破線楕円は“帯状の降水域”を形成する個々の線状降水帯を示す。

大雨の最盛期直前にあたる9日21時の地上天気図をみると、日本付近には2つの台風が存在していた。台風第18号は、9日10時過ぎに愛知県知多半島付近に上陸した後、9日21時には日本海上で温帯低気圧に変わった。一方、台風第17号は9日21時には関東地方の

南東海上（東経150度，北緯30度付近）にあり，時速約25 kmで北西方向へ移動していた．2つの台風以外には，オホーツク海に中心付近の気圧が1032 hPaの高気圧が存在していたことが特徴としてあげられる．

気象庁全球・メソ解析を用いて，大雨が発生した環境場の特徴を調べた．関東地方付近の大気下層には，南東風によって多量の暖湿気塊（水蒸気）が流入していた．この暖湿気塊（水蒸気）の起源を，気象庁メソ解析を用いた後方流跡線解析によって調べたところ，関東平野内陸部の大気下層に流入していた暖湿気塊（水蒸気）は，関東地方の南海上から流入してきたものではなく，南東海上の台風第17号周辺を起源としていたことが明らかになった．また，大気の中・上層の環境場の特徴をみると，西日本の上空には深い気圧の谷，その東側の北海道付近には明瞭なリッジが存在しており，これらのトラフ・リッジの間に関東地方付近は位置していた．500 hPa気圧面のトラフ・リッジの間には風速30 m/s以上の強い南風のジェットが存在しており，関東地方上空はこのジェットのちょうど入口・右側に位置し，総観スケールでみると周囲と比較して強い上昇流場となっていた．また，相対湿度の分布をみると，関東地方上空は80%以上となっており，周囲と比較して湿っていた．つまり，関東地方上空は上昇流場となっていたために大気の状態が湿潤化しており，大雨をもたらす積乱雲の発達にとって都合の良い環境場がつけられていたと考えられる．このような状況が長時間持続したことにより，“帯状の降水域”が長時間にわたって維持され，栃木・茨城県では記録的な大雨となった．ただ，大雨の発生に対する2つの台風の影響についての解析はまだ不十分であり，今後，解析を進める予定である．

気象庁非静力学モデルを用いて，大雨の再現実験と地形に関する感度実験を行った．特に降水量が多かった栃木県北部の奥日光付近の山地の標高を低くした感度実験を行ったところ，“帯状の降水域”の位置や分布はほとんど変化しなかったが，栃木県付近の強雨域が部分的に弱まる結果となった．このことは，栃木県北部の地形が山岳域での降水の強化に寄与していたことを示唆している．

会場からは，「台風第17号と第18号のどちらに伴う暖湿気塊（水蒸気）が大雨にもっとも寄与していたのか？」，「台風第17号周辺の暖湿気塊が流入したと主張しているが，後方流跡線解析の結果と台風第17号の位置関係が不明瞭なため，理解しにくい．」といった質

問やコメントがあった．これらの質問・コメントについては，今後の解析の参考にしたいと考えている．

4. 平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川洪水に関する調査

芳村 圭（東京大学大気海洋研究所）

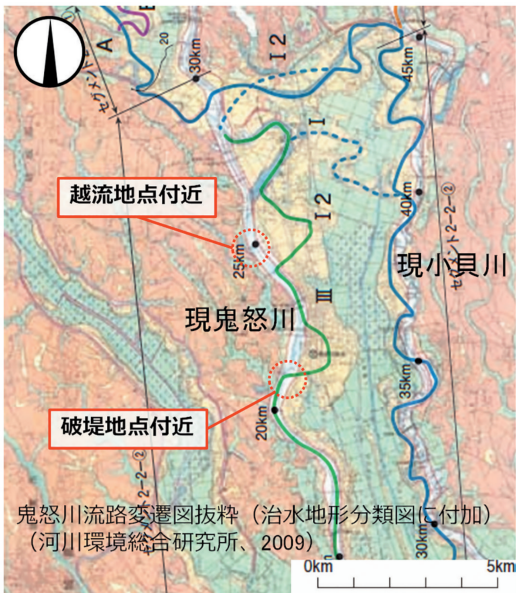
鬼怒川は栃木県日光市の鬼怒沼に水源をもち，茨城県守谷市で利根川に合流する流路長約177 km，流域面積約1760 km²の支流である．利根川水系河川整備基本方針により，計画規模（年超過確率）1/100，いわゆる100年に一度の洪水として，石井地点（利根川合流地点より75 km）において5400 m³/s，水海道地点（同11 km）において5000 m³/sを計画高水流量として設定している（国土交通省 2006）．計画高水に想定された石井地点上流域での3日間積算降水量は，1/50，1/100，1/200の超過確率でそれぞれ346 mm，362 mm，377 mmである．今回9月8日から10日にかけて降った雨量は，国土交通省と気象庁の雨量計に基づいて見積ると石井地点上流域平均で約440 mmであり，対数近似で外挿すると1/3000程度の超過確率となる．ただし，この確率雨量は1924年から1966年までの観測記録に基づいており，その後50年近いデータが考慮されていないことには注意を要する．

いずれにせよそのような珍しい大雨の結果，鬼怒川では流下能力を上回る洪水となり，下流域7か所で溢水し，9月10日12時50分には常総市三坂町地先（左岸21.0 km付近）で堤防が決壊した．それらにより，常総市だけで死者2名，浸水域40 km²，全壊家屋50を含む6000軒もの住家浸水被害が発生し，避難指示・勧告は合わせて1万人以上に発令され，4000人以上がヘリヤポートによって救助された（国土交通省 2015）（第3図）．

堤防決壊の原因については，堤防を「越水」した洪水により，堤体が削り取られたことが主因であるが，決壊箇所の上下流数百mの区間に複数の噴砂痕が見られていることから，堤防下部の砂質土に「浸透」した水により発生したパイピングが破壊を助長した可能性が指摘されている．こうした浸透が起りやすかった背景には，鬼怒川下流に特有の砂質地盤が大きく関わっている．特に当該箇所では，鬼怒川左岸側（東側）すぐそばを流れる小貝川も合わせ，昔から自然あるいは人為的に河道が比較的頻繁に付け替えられてきたところであり，地盤の砂質土はそういった旧河道に由来するものであるとも考えられる（第4図）．



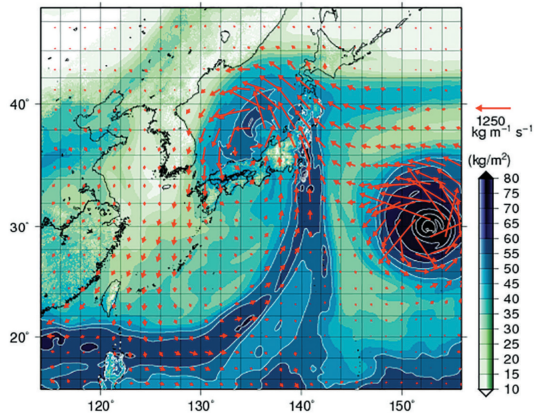
第3図 常総市三坂町の破堤箇所からみた2015年9月10日17時ごろの堤内地（住宅地側）の様子（芳村撮影）。



第4図 下妻市から常総市付近における鬼怒川の河道の変遷。青線（758年洪水時）から緑線（10世紀半ば）を経て現河道に至った。（原図は河川環境総合研究所（2009）図2.3.1より抜粋）

浸水状況の調査によると、破堤や溢水の発生箇所の直近以外は、常総市役所が破堤当日の深夜ごろから浸水し孤立したということも含め、おおむねあらかじめ公表されていた浸水想定区域図（いわゆるハザードマップ）とよく似通っていた。常総市は全体が鬼怒川と小貝川に挟まれた谷状の地形となっているが、かつて河道が蛇行していた時に形成された「自然堤防」が

INTEGRATED MIXING RATIO AND WATER VAPOR FLUX
18 JST 09 SEP 2015



第5図 非静力学大気海洋結合モデル（CRSS-NHOES）でシミュレーションされた2015年9月9日18JSTの可降水量（鉛直積算水蒸気量）分布（カラーレベル）と、水蒸気フラックスの鉛直積分（矢印）。

両川沿いに今も存在する。古い集落はそこを中心に形作られており、今回の洪水でも、溢水や破堤による水流の直撃を受けた若宮戸や三坂町を除き、幹線道路沿いに作られた新しい集落と比べると、自然堤防上の古い集落での浸水被害は小さかったようである（芳村ほか 2016）。

こういった洪水被害を減らすためには、より早期の警報等の情報発信とその周知及び避難誘導の改善などによるいわゆるソフト対策の充実も大切であるとともに、氾濫想定を周知するだけでなく浸水が拡大しないような氾濫に耐性のあるまちづくりを行うなどのハード対策も重要であると考えている（芳村ほか 2016）。一方、予測可能性という観点からは、降水など気象場の予測が大切であることは言うまでもないが、降水が陸面過程を経て河川に流出するまでの定量的なシミュレーション精度を高めていくことも極めて重要である。筆者のグループは「Today's Japan」というシステムを構築し（Yoshimura *et al.* 2008）、気象庁のメソモデル予報値を用いて日本全国の河川の流量をリアルタイムに推計している。今後、定量的な検証を行いつつ、精度向上に向けて陸面過程・河川流下過程モデルの改善を行うとともに、観測水位のデータ同化や、アンサンブル予報値を利用した確率的な流量予測などを行っていく予定である。

5. コメント（関東・東北豪雨の総観場の特徴について）

坪木和久（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

関東・東北豪雨の降雨状況や総観場・メソスケールの状況などについては、すでに本研究会の発表者の報告にそれぞれの立場からの報告がまとめられている。ここでは特に総観場の特徴について追加的なコメントを行った。

本研究会の発表者の報告にあるように、今回の豪雨は関東から東北にかけて南北にのびる線状降水帯が長時間にわたって停滞したことによりもたらされた。線状降水帯の強度は南北に一樣ではなく、あたかも鬼怒川流域を知っているかのようにそこに集中して降水をもたらした。さらに翌日は宮城県に集中した豪雨もたらされた。その特徴は1000 km スケールという大きな規模、50 mm/hr を超える強い降水強度、そして長時間の停滞ということで特徴づけられる。この線状降水帯の形成における総観場の特徴としては、大きく分けて三つの要因が考えられる。まず一つめは台風第18号とそれを北上させた気圧の谷（トラフ）である。台風第18号が発生したときその西側にはトラフが発達しながらゆっくりと東に移動してきた。トラフの東側には南風があり、その流れに乗って台風第18号は北上し、東海地方に上陸しさらに日本海に入った。このトラフは南に大きく張り出し、日本海に入った台風第18号をのみ込むようにして発達した。台風上部の暖かい空気はトラフ中央部の寒冷渦に置き換えられ、台風は温帯低気圧に変わったと想像される。トラフは大規模な反時計回りの風をもっており、その一部として、関東地方の南では、西～南西の風が長時間持続した。

二つめは台風第18号に伴う水蒸気の帯が、トラフの南端部に形成された水蒸気の帯とつながって、まるで川のような水蒸気の大規模構造を形成したことである。第5図は名古屋大学宇宙地球環境研究所で毎日実施している非静力学大気海洋結合モデルで予測された2015年9月9日18JSTの水蒸気場で、関東地方で豪雨が始まっていた時刻前後の可降水量（鉛直積算水蒸気量）の水平分布を示したものである。関東の南側には南北にのびる幅500 kmほどの多水蒸気帯があり、矢印が示すようにその大量の水蒸気が関東に向かって流れ込んでいる。この多水蒸気帯は太平洋上を南西に延び、フィリピン北部を越えて南シナ海にまで達する大規模な構造を形成している。すなわちこの気圧配置が変わらなければ、関東地方にいくらかでも水蒸気が送

り込まれるということを表している。しかもその水蒸気量は台風と同じぐらい多量のものであることが図の色から分かる。

三つめの要素は東側の台風第17号とその北にあるオホーツク海高気圧である。これらにより東北から関東にかけて東風が吹いていたことに加えて、関東地方の南東には、東～南東の風が形成された。これは台風第17号と上記の南北にのびる多水蒸気帯の間に気圧の峰（リッジ）が形成され、そのリッジの時計回りの風の一部と考えられる。図から台風と多水蒸気帯の間が乾いた領域（色の薄い部分）があることが分かる。これは下降流があることを示唆しており、その下降流がリッジを形成したと考えられる。北のオホーツク海高気圧により台風第17号はゆっくりとしか移動できず、結果として関東から東北にかけて、南東～東の風が持続した。このリッジの南東～東の風は多水蒸気帯をはさんで、トラフの南西～西の風と収束を形成した。これらのトラフもリッジもゆっくりとしか動くことができず、風の収束は長時間持続した。その結果、線状降水帯はほとんど停滞した。

トラフがゆっくりと東に移動するにつれて、この収束も東に移動し降水は弱まるが、その後発生した東北地方の大雨ではさらに台風第17号の持ち込んだ水蒸気が追加されるようにみえる。翌日10日の宮城県の大雨が発生したとき、台風第17号は少し北上し、台風の持つ多量の水蒸気と南北にのびる多水蒸気帯がつながったような構造をしている（図省略）。水蒸気の輸送を示す矢印が台風周辺の水蒸気も東北地方に流れ込んでいることを示した。つまり南から水蒸気に加えて台風の水蒸気が加わり、豪雨が形成されたと推測できる。以上のように上記のいくつもの大気中の仕掛けがきわめて巧妙にはたらいた結果、今回の関東・東北の豪雨もたらされたと考えられる。関東・東北の豪雨をもたらした線状降水帯の全体は、関東地方の南海上から東北地方北部を越えるところまで延びており、2014年8月の広島豪雨や、2000年9月の東海豪雨などでみられた線状降水帯と比べて現象論的には1桁近く大規模なものである。様々な線状降水帯が豪雨をもたらすが、その規模の点と特徴的な総観場の構造という点で今回の線状降水帯は特別なものであったといえる。

6. おわりに

本研究会では関係者から非常に興味深い講演が行わ

れるとともに、参加者からも活発な意見が出され、有意義な研究会となった。

なお、今回の鬼怒川の洪水災害に関連して、防災情報の伝達についても、議論等を行う必要があるが、研究会の時間が限られていることから、これらの話題については、別途気象災害委員会で検討を行うこととしている。(藤谷)

謝 辞

今回の研究会を開催するにあたり、資料を提供して頂いた気象庁予報部予報課および宇都宮地方気象台の担当者、会場の準備・運営をしていただいた気象学会の有志の皆様、誌上をお借りして感謝申し上げます。

参 考 文 献

河川環境総合研究所，2009：鬼怒川の河道特性と河道管理の課題—沖積層の底が見える河川—。河川環境総合研究所資料第25号，128pp。
加藤輝之，2015：線状降水帯発生要因としての鉛直シア—

と上空の湿度について。平成26年度予報技術研修テキスト，114-132。http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/20/chapter6.pdf (2015.11.11閲覧)。
気象研究所報道発表資料，2015：平成27年9月関東・東北豪雨の発生要因～2つの台風からの継続的な暖湿流の流入と多数の線状降水帯の発生～。http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H27/270918/press20150918.html (2015.11.11閲覧)。

国土交通省，2006：利根川水系河川整備基本方針。

国土交通省関東地方整備局，2015：「平成27年9月関東・東北豪雨」に係る洪水被害及び復旧状況等について（平成27年11月18日版）。

Yoshimura, K., T. Sakimura, T. Oki, S. Kanae and S. Seto, 2008: Toward flood risk prediction: a statistical approach using a 29-year river discharge simulation over Japan. *Hydrol. Res. Lett.*, 2, 22-26.

芳村 圭，中村晋一郎，鳩野美佐子，向田清峻，石塚悠太，内海信幸，木口雅司，金 炯俊，乃田啓吾，牧野達哉，鼎 信次郎，沖 大幹，2016：平成27年9月関東・東北豪雨による茨城県常総市における鬼怒川洪水に関する調査及び考察。土木学会論文集 B1(水工学)，72。