

平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川流域の洪水災害

Flood Disaster in the Kinu River Basin Caused by Kanto-Tohoku Heavy Rainfall in September 2015

佐山敬洋・寶 馨

Takahiro SAYAMA and Kaoru TAKARA

Synopsis

Kanto-Tohoku heavy rainfall in September 2015 caused a severe flood disaster at the downstream of the Kinu River, a tributary of the Tone River. Overflow and the levee breach caused a widespread flood inundation with about 40 km² in Joso city and its surrounding areas in Ibaraki prefecture. This paper presents a summary of the Kinu River flood disaster and our analysis on the rainfall-runoff process in the upstream area and the flood inundation depth distributions based on field survey and an image analysis with flood extent information.

キーワード: 鬼怒川, 破堤, 浸水深分布, 降雨流出, GPS

Keywords: Kinu River, levee breach, inundation depth distribution, rainfall-runoff, GPS

1. はじめに

平成27年9月9日から10日にかけて, 台風18号とその台風から変わった温帯低気圧及び台風17号の影響で, 南から継続的に湿った空気が流れ込み, 関東・東北地方で豪雨が発生した(気象研究所, 2015). 栃木県日光市の今市地点では9月7日0時から11日0時までの総雨量が647.5 mmに達するなど, 鬼怒川上流域で記録的な降雨量となった. 鬼怒川の水位は9月10日午前0時過ぎに川島水位観測所(45.65 km)で氾濫危険水位に達し, その後も水位が上昇し続けて, 9月10日午前6時過ぎに鬼怒川左岸25.35 km付近(茨城県常総市若宮戸)で越水が発生, 同12時50分に鬼怒川左岸21 km付近(茨城県常総市三坂町)で堤防が決壊した(関東地方整備局, 2015a, b). その結果, 鬼怒川と小貝川に囲まれた常総市の約40 km²の範囲で大規模な浸水が発生し(国土地理院, 2015), 常総市では床上浸水約4,400棟, 床下浸水6,600棟の浸水被害が発生した(内閣府, 2015).

本報は, 鬼怒川上流域の降雨流出現象を分布型流出モデルによって解析した結果(佐山, 2016)及び下流常総市周辺の浸水状況についてGPSと詳細DEMを用

いて調査・分析した結果(佐山・寶, 2016)を報告する.

2. 洪水災害の概要

2.1 鬼怒川流域

鬼怒川は, 栃木県日光市の鬼沼を水源とし, 栃木県と茨城県を流れて利根川に合流する一級河川である(Fig. 1). 幹川流路長は177 km, 流域面積は1,760 km²であり, 流域の6割以上は標高500~2,500 mの山地, その残りは平地となっている. 上流域には4つのダムが位置しており, 川俣ダムと川治ダム, 湯西川ダムと五十里ダムがそれぞれ上下流の関係にある. 鬼怒川本川が大谷川と合流するあたりから扇状地となり, 中流域までは河岸段丘が発達している. また鬼怒川と利根川の合流部から上流35から45 km付近で河床勾配が緩やかになって, 川幅が狭くなって水位が上昇する地形特性を有している.

2.2 降雨流出・河川水位の状況

9月9日から10日かけて発生した多数の線状降水帯の影響により, 鬼怒川上流域では多いところで700 mmを超える雨量を記録した. Fig. 2は気象庁レーダ・

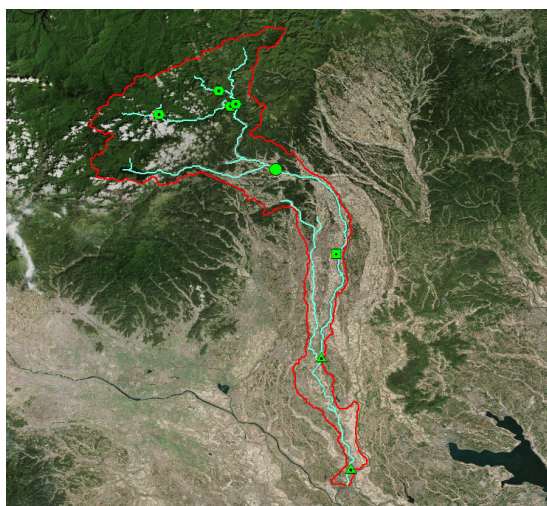


Fig. 1 Location of the Kinu River basin

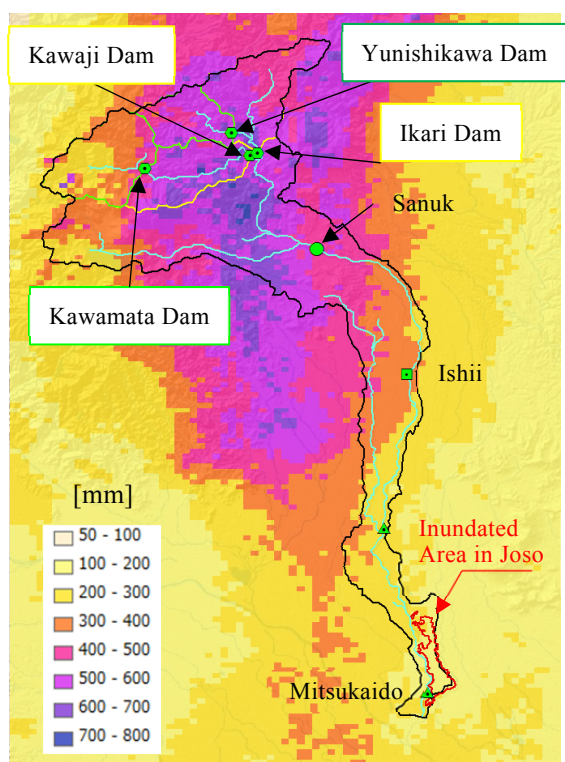


Fig. 2 Cumulative rainfall from Sep. 8 to Sep. 11 estimated by Radar-AMeDAS composite data

アメダス解析雨量による9月8日0時から12日0時までの積算雨量分布を示している。今回の豪雨は湯西川ダム及び五十里ダム流域に雨量が多く、それに比べると川俣ダム及び川治ダム流域の雨量は少ない。また今回の洪水による決壊氾濫で被害の出た常総市周辺では約200 mmの降雨があった。Fig. 3は国土交通省による65地点の地上観測雨量を最近隣法で内挿した総雨量分布を示す。川俣ダムの南側におけるモッコ平観測所の総雨量が最も多く、816 mmを記録した。鬼怒川の計画対象地点である石井地点(合流部から

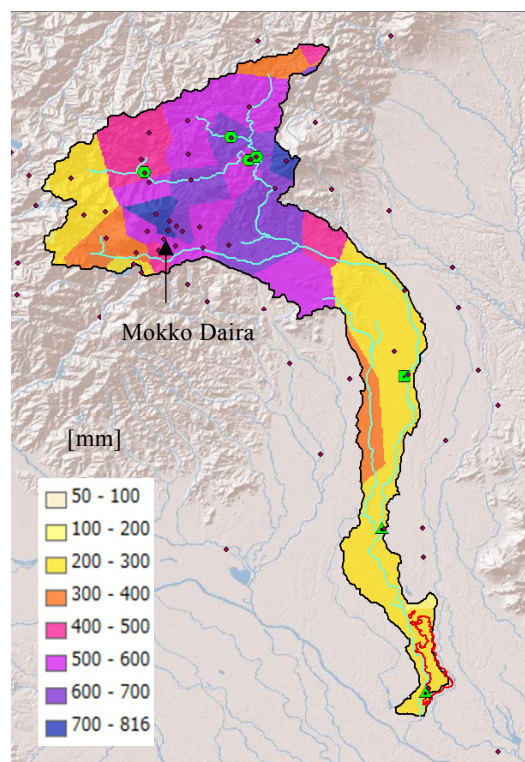


Fig. 3 Cumulative rainfall from Sep. 8 to Sep. 11 estimated by ground gauged rainfall data

上流75 km)の上流域では地上雨量観測点の密度が高いため、本研究では以降このデータを流出解析に用いる。

Fig. 4に石井地点上流の流域平均雨量と累積雨量を示す。今回の豪雨では石井地点の流域平均雨量が490 mmに達している。特に9月9日14時から10日4時にかけて流域平均で20 mm/h程度の雨が14時間にわたって継続している。国土交通省関東地方整備局(2015b)によれば、流域平均最大24時間雨量、2日雨量、3日雨量はいずれも昭和13年からの観測史上最多であり、治水計画の対象とする3日雨量(国交省調べ:501 mm)の超過確率は1/110年である。

この豪雨とともに鬼怒川本川の水位が増加し、石井地点では9月10日6時20分に水位がピークに達した。またその後約5時間後に水海道の流量がピークに達している。またFig. 5に示すように水海道では9月10日10:10から16:20の間計画高水位を超過した。

Fig. 6は当時の上流ダム群の放流・水位の状況を示している。湯西川ダムはゲート操作をしない自然調節方式のダムであり、他の3つのダムとは放流のパターンが異なっている。ただし、いずれのダムも洪水期間中にピーク流入量を有効にカットしていることが分かる。

各ダムにおける低減流量は、それぞれ湯西川ダムで522 m³/s、五十里ダムで971 m³/s、川俣ダムで289 m³/s、川治ダムで773 m³/sである。また9月8日から11

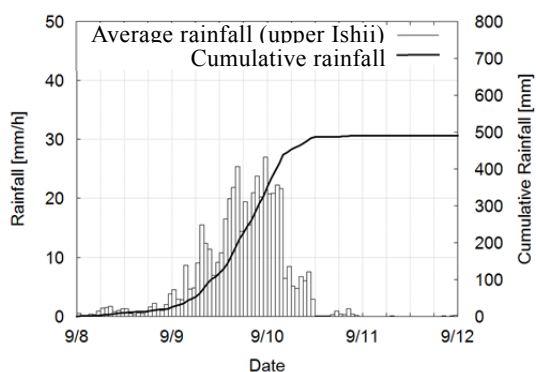


Fig. 4 Average and cumulative rainfall in the upstream area of Ishii gauging station

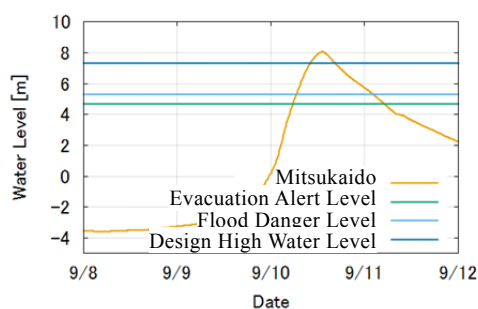


Fig. 5 Recorded water level at Mitsukaido

日までの4日間に貯留した水量は、湯西川ダムで

2,350万 m^3 、五十里ダムで3,340万 m^3 、川俣ダムで1,920万 m^3 、川治ダムで3,340万 m^3 であった(国土交通省関東地方整備局, 2015b). 4基のダムを合計すると1億1,050万 m^3 の洪水がこの期間に貯留されたことになる.

2.3 常総市周辺の浸水被害

鬼怒川では観測史上最大の洪水流量となり、10日6時頃から常総市の若宮戸地区(25 km左岸)で大規模な溢水が発生、その後12時50分頃から三坂町地区(21 km)で鬼怒川左岸の堤防が決壊した. この氾濫によって、常総市を中心に約40 km^2 が浸水し、市災害対策本部がおかれた常総市役所も浸水する被害が発生した. 常総市では死者2名の人的被害のほか、全壊家屋53棟、大規模半壊家屋1,578棟、半壊家屋3,476棟、床上浸水148棟、床下浸水3,072棟(総計8,372棟)の家屋被害が発生した. 常総市で救助された人の数は4,300名にのぼり、そのうち1,339名の人がヘリコプターによって救助された. なお常総市の被害を含めて、関東・東北豪雨による全国の被害は、死者8名、重傷者8名、住家被害の総計は19,723棟にのぼった(内閣府, 2015).

2.4 避難勧告・指示について

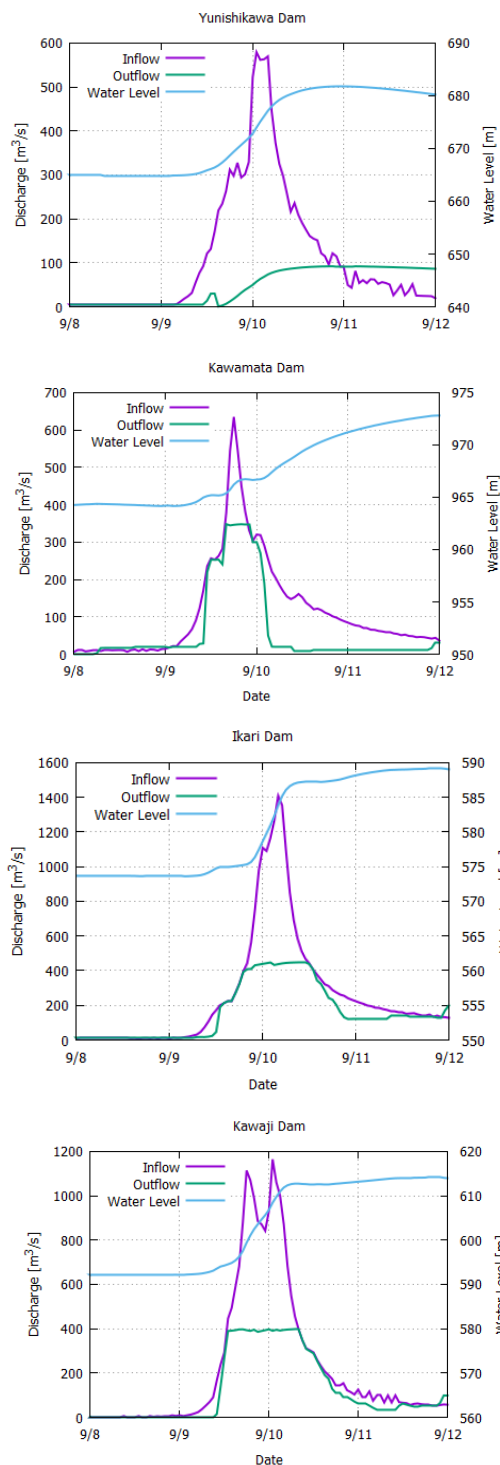


Fig. 6 Observed records of dam inflow, outflow and water level at the four dam reservoirs in the Kinu upstream area

常総市周辺の避難勧告と指示の発令状況については、内閣府による水害時の避難・応急対策検討ワーキンググループ(第1回)資料(2015)が参考になる. 同資料によれば、9月10日0時15分の時点で鬼怒川川島

地点の水位がはん濫危険水位(レベル4)を超えているため、関東地方整備局の下館河川事務所と宇都宮地方気象台・水戸地方気象台が共同で(指定河川洪水予報に基づく)氾濫危険情報を発令している。また下館工事事務所は関連市長に対して事前に実施した氾濫シミュレーション結果(堤防決壊を仮定した浸水想定域)を送信している。また気象警報・注意報として、9月10日7時45分に気象庁が茨城県に大雨特別警報を発令している。さらに常総市は浸水被害の発生した左岸地域を中心に避難勧告・指示を順次発令している。

どの場所がどの程度の浸水可能性があり、どの地点に避難場所があるかという情報は、常総市が公開するハザードマップにも記載されている。今回被害を受けた鬼怒川左岸側の水海道地区周辺は29年前に小貝川の決壊でも浸水被害を受けた場所であり、ハザードマップでも鬼怒川と小貝川の両河川に挟まれた地区の大半は浸水深1 m以上の浸水可能性が示唆されている。また後述する実際の浸水範囲はハザードマップに示されているものと概ね対応している(二瓶ら, 2016)。

3. 上流域の降雨流出現象

今回の洪水をもたらした鬼怒川上流域の降雨流出現象を明らかにするため、計画対象地点の石井地点上流域(1,230 km²)を対象に、分布型流出モデルを用いた降雨流出解析を行う(佐山, 2016)。今回の豪雨の特徴は、連続して発生した多数の線状降水帯による降雨分布である。石井上流域で約20 mm/hの降水強度が14時間にわたって継続した結果、鬼怒川上流域のダム流入量や石井地点の河川流量がどのように増加したかを分析する。本解析では、まず上流ダムの影響を受けない湯西川ダムと川俣ダムにおいて、降雨流出現象の準定常状態に着目して流出特性を明らかにしたうえで、石井地点上流域の降雨流出解析を行う。

Fig. 4に石井地点上流の流域平均雨量と累積雨量を示している。今回の豪雨では石井地点の流域平均雨量が490 mmに達する。特に9月9日14時から10日4時にかけて流域平均で20 mm/h程度の雨が14時間にわたって継続する。また国土交通省関東地方整備局によれば、流域平均最大24時間雨量、2日雨量、3日雨量はいずれも昭和13年からの観測史上最多であり、治水計画の対象とする3日雨量(国交省調べ: 501 mm)は1/110の年超過確率に相当する(国土交通省関東地方整備局, 2015)。

降雨の時系列をより詳細に確認するため湯西川ダム上流域の平均雨量と累積雨量に着目する。降雨の

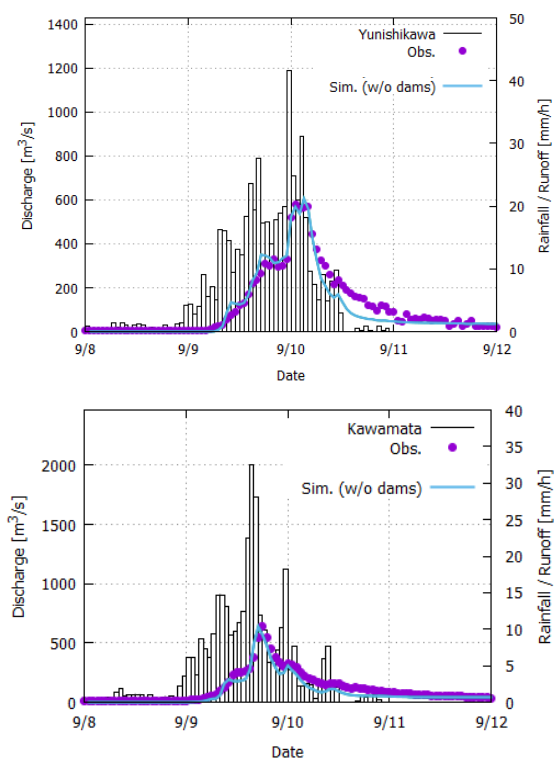


Fig. 7 Observed and simulated inflows to Yunishikawa and Kawamata dams reservoirs

時系列は、図中に示すように三段階に分けて捉えることができる。①9月9日 13:00までに約140 mmの前期降雨があり、②その後20 mm/hの降雨強度が10時間継続したのち、③9日23時以降に降雨強度がさらに増加して4時間で120 mmの雨が降った。140 mmの前期降雨の後に高強度の雨が継続的に降ることによって、ダムへの流入量がどう変化したかを議論する。なお湯西川ダム流域(面積 $A = 102 \text{ km}^2$)の洪水到達時間 t_p を以下の角屋・福島(1976)の式から算定すると、

$$t_p = CA^{0.22} r_e^{-0.35} \quad (1)$$

$C = 290$ (丘陵山地流域), $r_e = 12.8 \text{ mm/h}$ とした場合、 $t_p = 329$ 分 (5.5 時間)となる。

Fig. 7に湯西川ダム及び川俣ダムにおける上流域平均雨量と実績流入量を示す。図の右軸は降雨強度と流出高を示しており、この結果から、湯西川ダムでは9月9日の18時頃から約6時間にわたって流入量がほぼ一定になり、その後上記の③の期間に流出高が増加している。川俣ダムでは降雨強度が湯西川ダムに比べて小さいが、湯西川ダムと同様に流出高がほぼ一定となる期間が4時間継続する。ただし、両流域とも②の期間の流出高は降雨強度に比べて約50 %小さくなっており、森林斜面からの損失を伴って準定常状態となっていることが想定される。

本解析では100 m空間分解能の分布型流出モデルによって石井上流域の降雨流出現象を解析する。こ

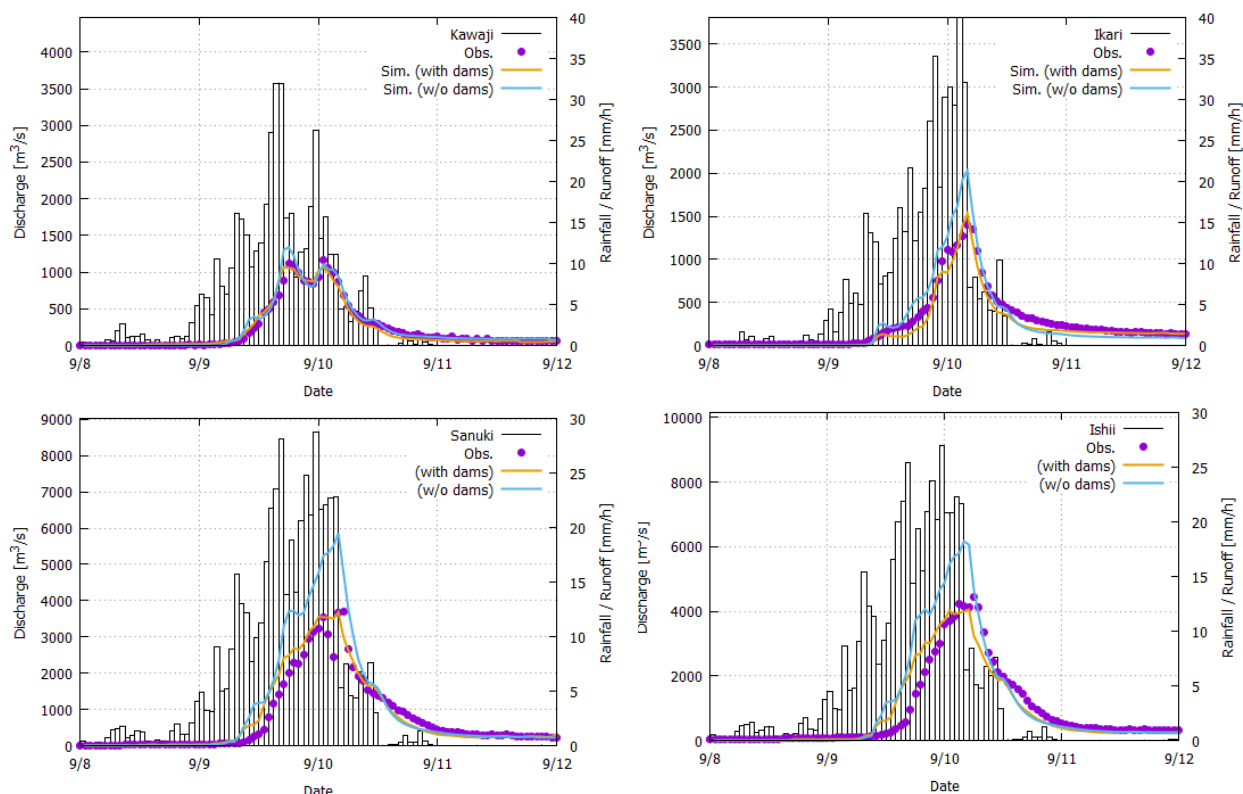


Fig. 8 Observed and simulated river discharges and dam inflows with dam reservoirs (orange) and without dam reservoirs (blue)

ここでは土木研究所ICHARMで開発を進めてきたRRIモデル(佐山ら, 2015)を用いる。RRIモデルは降雨流出と洪水氾濫とを流域スケールで一体的に解析する分布型モデルであるが、この解析では鬼怒川上流を対象にしているため氾濫の影響は考慮していない。流域全体を山地森林・都市・農地・水域に分けたうえで、RRIモデルのパラメータを設定する。なお、流出に支配的なパラメータである山地森林域の透水係数 k_a と基岩への浸透を規定する透水係数 k_{gv} は上記の値を使用した(キャリブレーションの結果、石井上流の大谷川流域については k_{gv} を 1.0×10^{-6} m/sとした)。

Fig 7に湯西川ダム及び川俣ダムへの流入量の解析結果を示す。ハイドログラフの低減部でモデルは観測に比べると過小評価となるが、ピーク流量を含めて良好な流出量の再現結果が得られる。特に上記で着目したダム流入量が一定となる期間の流出傾向を妥当に再現している。紙面の都合上図は省略しているが、基岩への浸透をゼロと仮定した場合の湯西川ダム流入量の解析結果は、ハイドログラフ立ち上がり部を過大評価し、流出高が降雨強度と概ね等しくなる20 mm/h前後で降雨流出が準定常状態になる。これらの結果は、基岩への浸透を考慮したように、流出に支配的な領域(この場合は土壤中の飽和帯)から継続的な損失を考慮することが、鬼怒川上流域の降

雨流出現象を再現するうえで重要なことを示唆している。

Fig. 8は同じパラメータを用いて他のダムへの流入量や河川流量を推定した結果である。この計算ではダム操作をモデル化するのではなく、各ダムからの実績放流量を境界条件として設定している。湯西川・川俣ダムと同様、他の地点でも概ね妥当に流出量が再現できていることが確認される。

ダム群による流況制御の効果を検証するため、上述の分布型モデルを用いてダムが無い場合を想定した解析を実施した。Fig. 8に五十里ダム・川治ダムへの流入量、佐貫地点・石井地点の河川流量を示す。観測流量と併せてダムが無い場合(青)とダムがある場合(放流量を境界条件として計算した結果: 橙)を比較している。Fig. 6に示したように今回の洪水では湯西川ダムによる洪水調節の影響が大きく、その結果、五十里ダムへの流入量も約500 m³/s低減している。さらに佐貫地点・石井地点の河川流量に着目すると、ダムが無い場合のピーク流量は約6,000 m³/sと推定され、ダムがある場合に比べて約1.4倍大きくなる。

4. 最大浸水深の空間分布推定 (佐山・實, 2016)

今回の大規模浸水の実態解明や浸水と被害との関

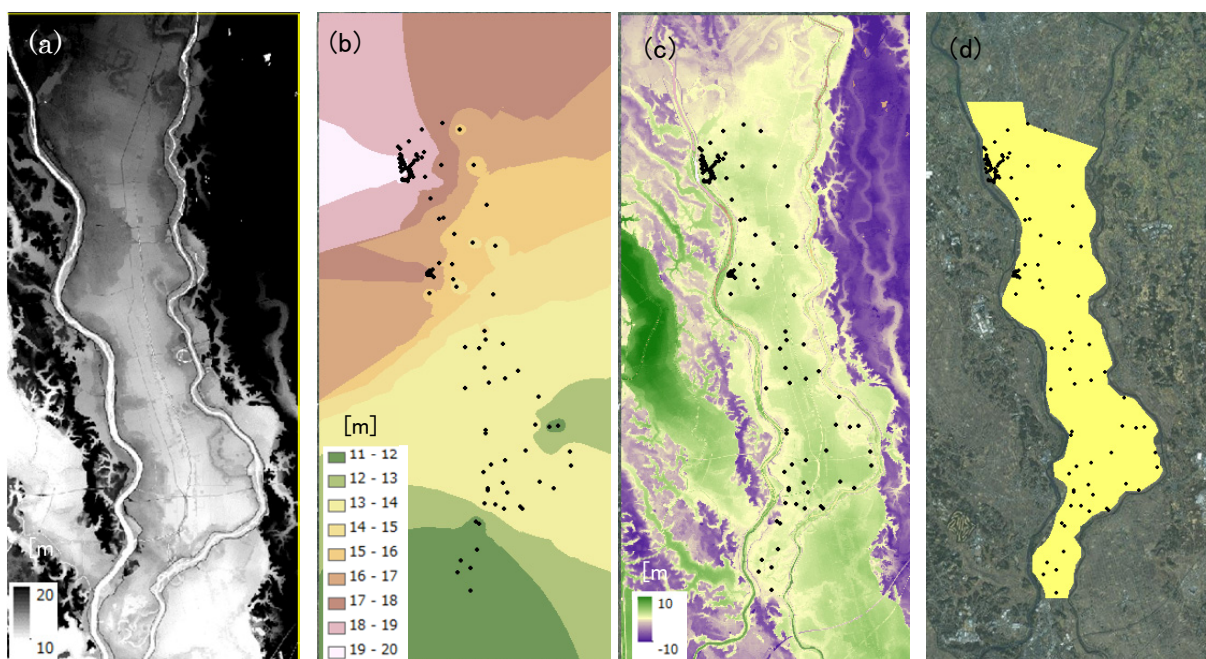


Fig. 9 Steps for estimating the maximum inundation depth distributions: (a) 5-m DEM, (b) 133 points of inundation water level measurements and their spatial interpolation (c) maximum inundation level – DEM and (d) coverage of this analysis

係を明らかにするためには、浸水痕跡を詳細に調査することが大切である。災害調査報告に記録される最大浸水深の情報は、その後の浸水解析の検証や被害状況の把握にも用いられるため系統的にアーカイブしておくことも大切である。河川砂防技術基準における災害調査の記述では、痕跡や住民の聞き取り調査等から、浸水深、流速、時刻等を把握し、必要に応じて再現計算結果等と併せて浸水の広がりを把握することが推奨される（国土交通省, 2014）。

既往の浸水痕跡調査は、最大浸水深を計測するのが一般的である。ただし、浸水深の計測においては、どの地点を基準に取るかによって結果が異なるため、その利用には注意を要する。一方、ここで着目する最大浸水時の水位標高(本論では浸水位と呼ぶ)は、特に今回のように周囲一帯が浸水する場合、水面の局所的な変化が小さいため、浸水深に比べて値の空間的代表性が大いと考えられる。最新のGPS受信機と、航空レーザ測量による数値標高情報を活用することで、簡便に浸水深の空間分布を推定できる可能性がある。

本論は、平成27年の関東・東北豪雨で鬼怒川の越水・破堤氾濫が発生した常総市周辺を対象に、計35地点の浸水位を計測し、浸水位の空間分布から数値地盤高を差し引く方法によって、5 mの分解能で浸水深の空間分布を推定する。浸水位の計測データや一部の分析結果は、著者らの所属機関から速報9を発表しているが、本論では使用した計測機器や解析方

法をより詳細に説明するとともに、浸水の実態解明を目的として、土地条件と浸水深との関係性、また最大浸水位に基づく水位勾配の推定結果を示す。さらに、一部の計測データを検証用に用いることによって、浸水深分布の推定精度を明らかにする。

4.1 最大浸水深の推定方法

平成27年9月12日に現地の被災状況を視察し、9月15日と16日の二日間再度現地を訪れ浸水痕跡調査を実施した。今回の計測は第一著者が単独で実施し、浸水域の周囲を囲むようにまず20地点の浸水位を計測したうえで、市外域で浸水深の大きい水海道地区や、破堤・越水が発生した三坂町、若宮戸地区などを重点的に全35地点で計測した。浸水位の測定では、まず下記の高性能GPSで計測地点の地盤高を計測し、そこから浸水痕跡までの比高を巻尺で直接測定して測位した。以下では使用したGPS受信機と解析に利用した地理情報、および解析の手順について説明する。

[1] 国土地理院が提供する航空レーザ測量による数値標高モデル(5 m空間分解能)をダウンロードし、Fig. 9(a)に示す地域を切り出す。この数値標高モデルは、航空機に搭載したレーザスキャナから計測して得られた高精度のメッシュ標高情報であり、高さの精度は、標準偏差で0.3 m程度である。

[2] 133 地点で計測したピーク浸水痕跡の標高値(浸水位)を空間内挿する(Fig. 9(b))。本報ではクリギング

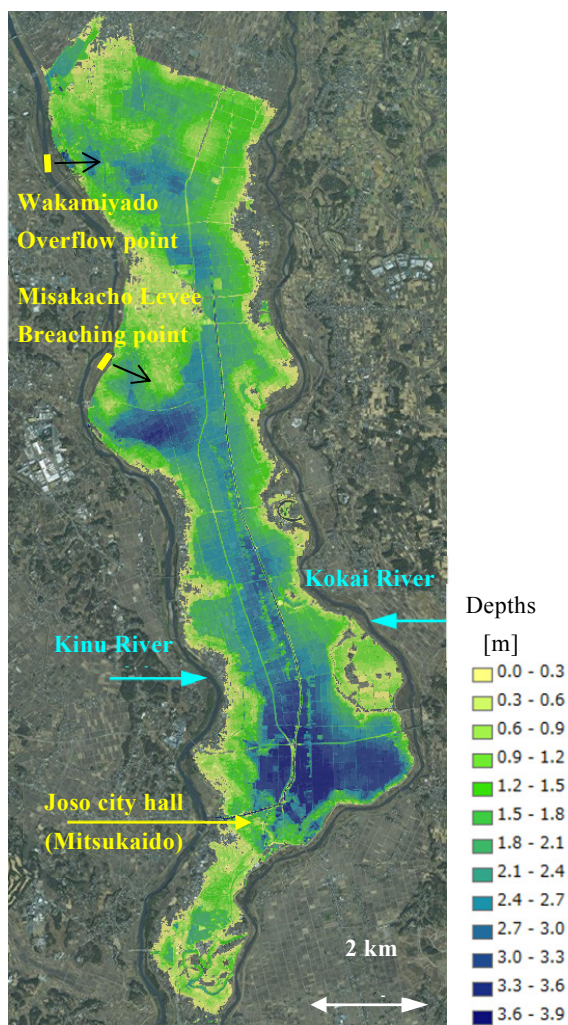


Fig. 10 Estimated maximum inundation depths

による空間内挿を採用した。

[3] Fig. 9(b)の浸水位の空間分布から Fig. 9(a)の標高を差し引いて浸水深の空間分布を求める (Fig. 9(c))。この段階では、浸水していない地域は負の値となり、また鬼怒川右岸のように今回の計測対象外で、かつ実際には浸水していない地域でも正の値となっているので注意が必要である。

[4] 鬼怒川と小貝川に囲まれた本解析の対象領域を示すマスク (Fig. 9(d)) を作成し、Fig. 9(c)で対象領域外及び対象領域内で値が負の場所を除去し、最大浸水深の空間分布を得る。

4.2 浸水深推定結果

最大浸水深分布の推定結果を示す。全体的な傾向として、常総市の南東部の浸水深が大きく、深いところでは約 3.8 m に達する。また鬼怒川・小貝川沿いは、自然堤防上に立地する集落が多く、その背後にある水田地帯に比べて相対的に浸水深が小さいことが分かる。ただし、水海道の市街地などでも 1~2 m 程度の浸水域が広がっている。浸水深分布の計測誤差について、浸水深のみを計測している 174 地点を対象に実測値と推定値の関係を見たものが Fig. 11 である。平均誤差は-0.09m、誤差 RMSE 値は 0.50m となった。誤算の要因としては、①RTK-GNSS による標高測定値と数値標高モデルの標高値の差異があること (誤差 RMSE : 0.34m)、②浸水位の空間内挿に伴う誤差 (クリギングの交差検証による推定誤差: 0.34 m) が考えられる。以下、南部から順に浸水深分布の拡大図を Fig. 12 から Fig. 14 に示す。

(1) 南部：水海道地区周辺

Fig. 12 に示す水海道地区の周辺では、水海道本町の商店街 (Fig. 12(b)) など浸水深が約 1.8~2.0 m に達するなど市街地の浸水も大きい。水海道地区には東西方向に新八間堀川 (Fig. 12(a)) が流れており、9 月 12 日の調査時点では、国交省によるポンプ排水も含めて、この河川が氾濫水を鬼怒川に排水する役割を果たしていた。また図中東側でみられるように、今回の浸水では、小貝川の堤防付近まで浸水が発生しており、Fig. 12(d) に示す大和橋付近の集落でも浸水深は 1.6 m 程度と推定された。なお、浸水域の南限は、つくばみらい市の北部であり、測点 24 の周辺と想定される。

(2) 中南部：三坂新田・東町地区周辺

Fig. 12 より北側に位置する Fig. 13 の範囲では、小貝川沿いの東町の浸水深分布が特徴的である。この地区の西側には、小貝川旧河道の自然堤防である微高地があり、この地形が鬼怒川からの氾濫水の大量流入を防いだものと考えられる。Fig. 13 に示した浸

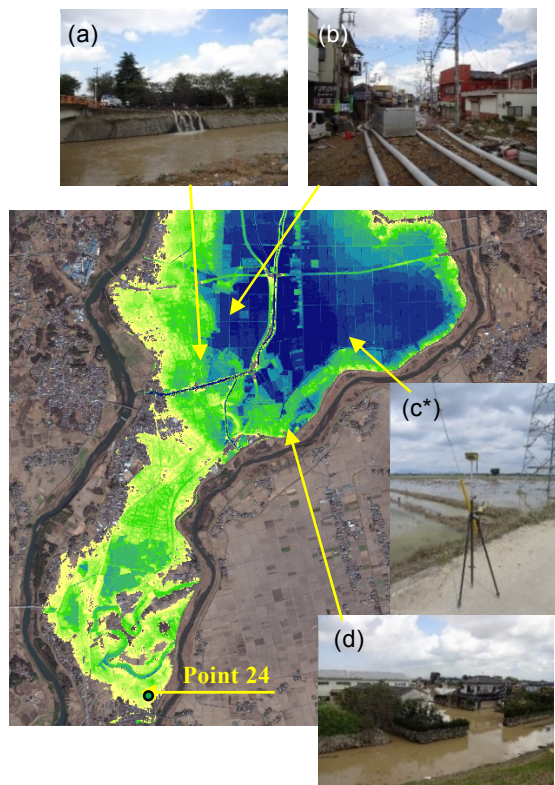


Fig. 12 Estimated maximum inundation depths (southern part: near Mitsukaido) (a) Shinhakken-hori river, (b) Mitsukaido-honmachi, (c*) Hiramachi, (d) from the embankment of Kokai River near Yamato Bashi (Photos are taken by the authors on Sept. 12 or Sept 15 and 16 with asterisk*)

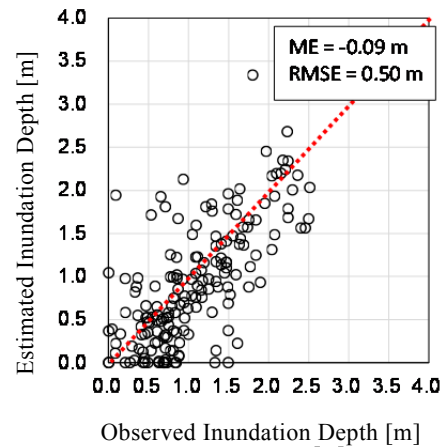


Fig. 11 Comparison between observed and estimated inundation water depths

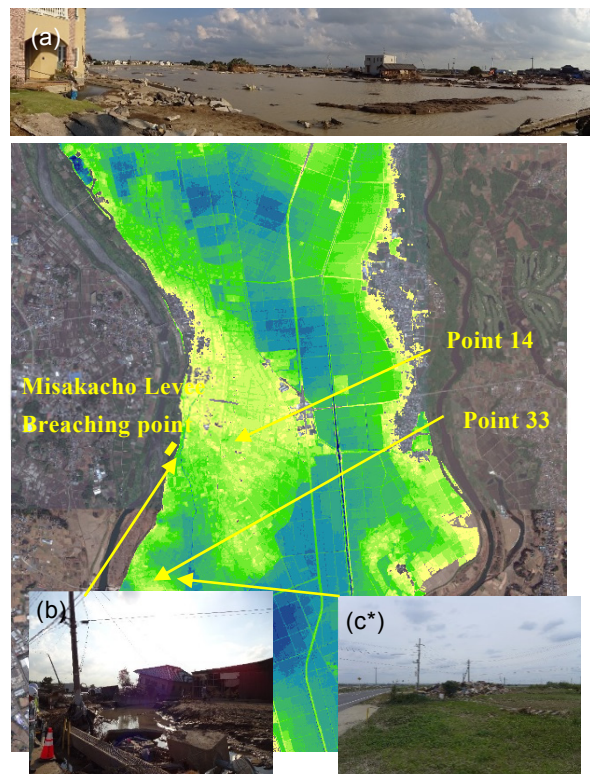


Fig. 14 Estimated maximum inundation depths (mid-north part: near Misakacho) (a), (b) At near breaching points and (c*) measurement point No. 33. (Photos are taken by the authors on Sep. 12 or Sep. 15 and 16 with asterisk*)

水位の空間分布を見ても、この地域の浸水位は周囲より低くなっていることが分かる。その他、Fig. 13 の範囲の国道294号上では、北部の浸水深が1.0~1.2 m程度、南部が1.6~1.8 m程度と推定された。

(3) 中北部：三坂町周辺

Fig. 14 は三坂町の破堤地点を含む領域の推定浸水深分布である。破堤地点近傍の浸水深については、東京理科大学グループによる重点的な最大浸水位計

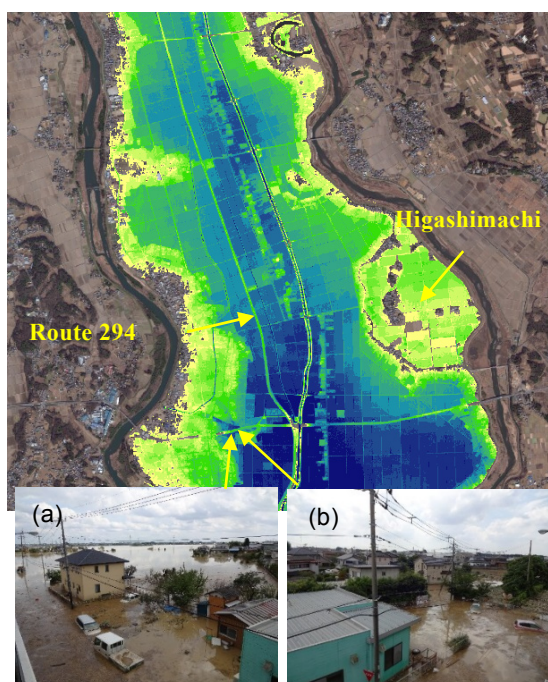


Fig. 13 Estimated maximum inundation depths (mid-south part), (a), (b) from Kanto Joso line (Photos are taken by the authors on Sep. 12)

測の結果、局所的な浸水深の分布も概ね妥当に推定できていると考えられる。ただし、用いた標高情報には破堤に伴う地形変化の影響は考慮できていないので注意が必要である。なお三坂町の破堤地点周囲はFig. 9(a)からも明らかなように周囲に比べてやや標高が高い。その結果、破堤近傍の局所的な現象を除き、浸水深は相対的に小さく、一方で早い流速がこの地域に甚大な被害をもたらしたものと考えられる。

(4) 北部：若宮戸、原宿周辺

対象地域の最北部に位置するFig. 15の範囲では、若宮戸や原宿地区などで浸水深が大きく、例えばFig. 15(a*)に示す測点12の店舗でも1 mの浸水が確認された。対象地域の北東部に位置する水田域は、当初の推定結果によれば0.3～0.5 m程度の浅い浸水域が広がっている状態であったが、この地域では明確な浸水痕跡は確認されていなかった。また国土地理院(2015)によるヘリコプター空撮による推定結果でも、この地域は浸水なしと判読されていた。そのため、10月15日に再調査を行い、浸水域の北限を明確にして、推定の対象領域を示すマスクを変更することによって、北部の浸水域の過大評価を解消した。

5. 浸水範囲に基づく浸水深の空間分布推定と浸水量の推定

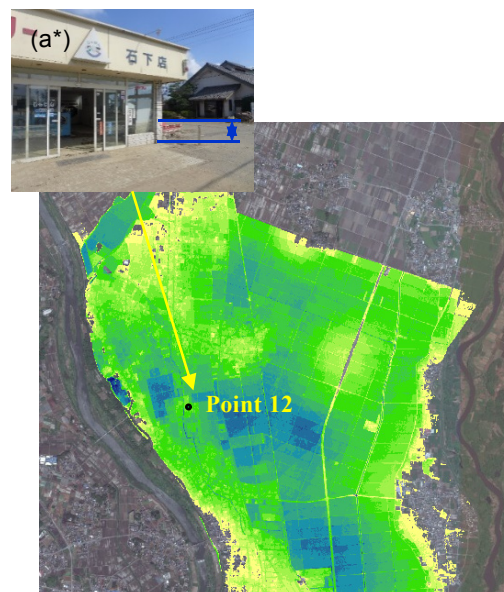


Fig. 15 Estimated maximum inundation depths (northern part) (a*) Near wakamiyado, Harajyuku (Photos are taken by the authors on Sep. 12 or Sep. 15 and 16 with asterisk*)

上述の結果は、各地点の最大浸水深の空間分布を推定したものであるが、今回の洪水では上流側から浸水が始まって下流に伝播するまでに時間差がある。従って、浸水量を推定するためには、特定の時刻の浸水深分布を推定することが大切となる。浸水深分布を氾濫域の情報から推定する具体的な手法は以下の通りである。

- [1] 浸水範囲のポリゴン情報をGIS上でポイント情報に変換し、各ポイントに標高情報と4.で推定した最大浸水位の情報を付与する。
- [2] 各ポイントで、4.で推定した最大浸水位から標高情報を差し引いた値を求める。各ポイントは浸水範囲の境界を示しており、その標高値を当該時刻の浸水位とみなす。つまり最大浸水位から各ポイントの標高値を差し引いた値が、当該時刻における最大浸水位からの低減水深を示す。
- [3] 各ポイントの低減水深を通常クリギングによって空間内挿し、最大浸水位からの低減水深の空間分布を推定する。
- [4] 最大浸水位の空間分布から③の推定結果を差し引いて、当該時刻の浸水位を求める。また4.と同様に標高情報を差し引いて浸水深の空間分布を推定する。

この方法で推定した浸水深分布の時系列をFig. 16に示す。提案手法は上述の浸水痕跡調査の結果も活用する方法である。各ポイントの標高を当該時刻の水位とみなして直接空間内挿する方法に比べて、最大からの低減量を内挿する本手法は、全ての地点で計測に基づいて推定した最大浸水深を上回らないという特性を有する。

本手法で推定した浸水深の空間分布から浸水量を求めた結果をFig. 17に示す。この結果9月11日10時、13時の時点で約3,800万 m^3 の浸水量となり、この値は

国土交通省(2015b)の試算(3,400万 m³)よりやや大きな結果となった。

6. まとめ

本報は平成27年9月の関東・東北豪雨によって発生した鬼怒川流域の洪水災害を対象に、災害の概要、上流域の流出特性、常総市周辺の最大浸水深調査、浸水域に基づく浸水量推定の結果を報告したものである。

今回の洪水は、以下のようにいくつかの局面があり、それぞれ5時間程度の時間差がある。

[1] 石井地点上流域で積算雨量が計画雨量(1/100: 402 mm)を超えた(9月10日 2時頃)。

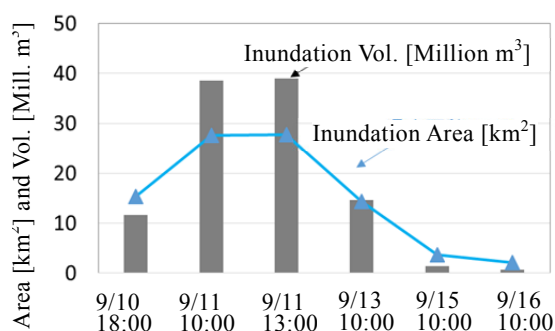


Fig. 17 Inundation area and estimated volumes

[2] 平方の水位が計画高水位を超えた(7時頃)。

[3] 三坂町で鬼怒川堤防が決壊した(13時頃)。

[4] 常総市役所で大規模浸水が始まった(20時頃)。

災害後に振り返れば順に災害事象が展開していることが分かるが、被災中にその展開を予想することは極めて難しい。その理由が、モニタリング技術の問題か、予測技術の問題か、情報伝達の問題か、情報を受け取る側の意識の問題かなどを今後明らかにしていくことが大切であろう。また、仮に行政や住民が災害事象の展開をある程度予想できたとしても、

今回のような大規模な浸水を伴う洪水に対する住民避難の形態がどのようにあるべきかを議論する必要がある。今回被災した常総市のように両側が河川で挟まれる地域で豪雨の発生時に広域避難が現実的かどうか、高層階を有する建物への避難か、垂直避難を優先するかなど、災害の実態を踏まえた行動計画が必要である。

本報で分析の対象とした上流域の降雨流出現象については、特に降雨流出現象の準定常状態に着目して流出解析を行った。上流の湯西川ダム流域などにおいては、20 mm/h前後の降雨が約10時間継続した。洪水到達時間よりも長い期間で高降雨強度の雨が降り続いた結果、降雨流出現象が準定常に達したことが想定された。実際に観測流入量は6時間にわたってほぼ一定となっていた。ただし、その流量は10 mm/hに相当し、分布型流出モデルを用いた解析では土層から基岩への浸透など損失を考慮することがハイドログラフの再現にとって重要であった。

下流部常総市周辺の浸水調査については、RTK-GPSを用いた最大浸水位の痕跡調査結果を空間的に内挿し、レーザプロファイラによる標高データを差し引くことによって浸水深の空間分布を推定した。大規模浸水に対する最大浸水深の空間分布情報を整理してアーカイブすることは、今後の解析等の検証にも不可欠である。最大浸水深の調査に比べて、RTK-GPSによる浸水位情報は、データの共有や統合もしやすく、LP標高データとあわせて浸水深の空間分布を推定できることを示した。

さらに国土地理院による浸水域の推定情報と上述の最大浸水位の推定結果に基づいて、浸水域から浸水量を推定する方法を提案した。今回の分析結果によれば、最大浸水量は3,800 m³であった。

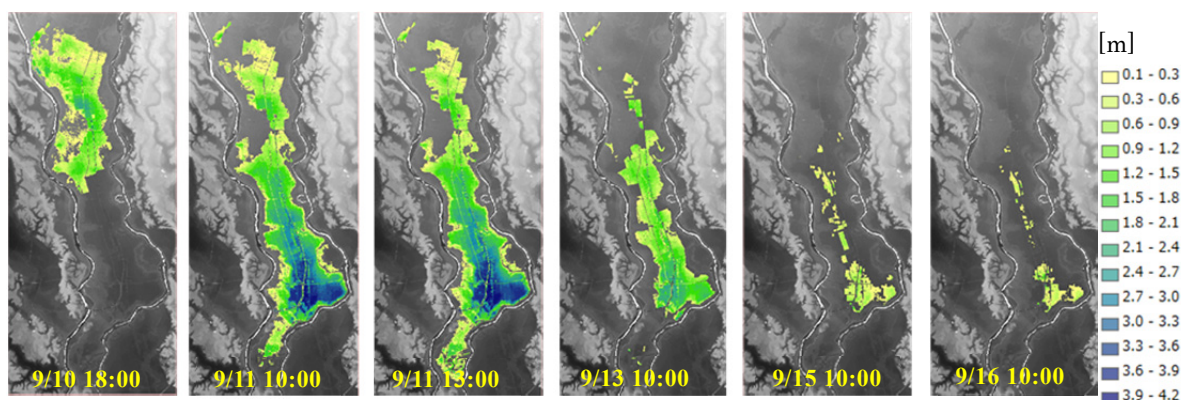


Fig. 16 Inundation depths distributions at different time estimated by the maximum inundation depths and inundation extent information

謝 辞

本洪水調査と解析に際しては、国土交通省関東地方整備局から気象・水文データを、国土地理院から浸水域の推定結果を、東京理科大学二瓶泰雄教授のグループから現地調査の結果をご提供いただいた。また土木学会・地盤工学会合同調査団と文部科学省(特別研究促進費)の調査団員の皆様には貴重なご意見をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 角屋 睦・福島 晟 (1976): 中小河川の洪水到達時間. 京都大学防災研究所年報 19B: 143-152.
- 気象研究所 (2015): 平成27年9月関東・東北豪雨の発生要因, <http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H27/270918/press20150918.html>.
- 国土交通省 (2014): 河川砂防技術基準(調査編), http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/index2.html.
- 国土交通省関東地方整備局 (2015a): 台風17号及び18号による出水状況報告(平成27年9月18日現在, 河川班), http://www.ktr.mlit.go.jp/saigai/kyoku_dis00000275.html.
- 国土交通省関東地方整備局 (2015b): 第1回 鬼怒川堤防調査委員会資料(平成27年9月28日現在), http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000632889.pdf.

- 国土地理院(2015): 平成27年9月関東・東北豪雨の情報, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27.taihuu18gou.html>.
- 佐山敬洋・小杉賢一朗・岩見洋一 (2015): 山体地下水の流動を表現する分布型降雨流出モデルの開発. 土木学会論文集B1(水工学) Vol. 71, No. 4: I_331-I_336.
- 佐山敬洋 (2016): 上流域の流出特性と分布型降雨流出解析, 平成27年9月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書, 2015年関東・東北豪雨災害 土木学会・地盤工学会合同調査団関東グループ編, pp. 39 - 44.
- 佐山敬洋・寶 馨 (2016): 平成27年9月関東・東北豪雨に伴う鬼怒川氾濫の浸水深分布推定, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 72, No. 4, I_1171-I_1176.
- 水害時の避難・応急対策検討ワーキンググループ(第1回) (2015): 茨城県常総市における避難勧告等の発令状況, <http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigaiworking/>.
- 内閣府 (2015): 平成27年9月関東・東北豪雨による被害状況について(台風18号等による大雨に係る被害等を含む), <http://www.bousai.go.jp/updates/h27typhoon18/index.html>.
- 二瓶泰雄・大槻順朗・永野博之・服部泰士・桜庭拓也・倉上由貴・田中昌宏・富田邦裕 (2016): 2015年関東・東北豪雨における鬼怒川の洪水氾濫・家屋被害・堤防被災状況, 河川技術論文集, 第22巻, pp. 321-326.

(論文受理日: 2016年6月27日)