

豪雨災害リスクのリアルタイム予測システムの構築
— システム構成と令和元年台風 19 号時の事例検証 —
Development of a Real-Time Prediction System for Heavy Rainfall Disaster Risks
- System Configuration and Verification on Typhoon No. 19 in 2019 -

皆川裕樹*・吉田武郎*・工藤亮治**・相原星哉*・北川 巖*

*農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門（〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6）

**岡山大学大学院 環境生命科学研究科（〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1）

MINAKAWA Hiroki*・YOSHIDA Takeo*・KUDO Ryoji**・AIHARA Seiya*・KITAGAWA Iwao*

*National Institute for Rural Engineering (2-1-6 Kannonndai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609)

**Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

(3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530)

(Received 4 December 2020, Accepted 22 February 2021)

Abstract

A real-time risk prediction system for inundation disasters that occur because of heavy rainfall was developed. The short-term precipitation forecast, up to 15 hours, by the Japan Meteorological Agency was input in the distributed water cycle model; then, calculations were performed and information was updated every hour. The risk of a disaster due to heavy rainfall was judged by combining the inner water risk that is expressed by the cumulative rainfall over a period of 24 hours prior to the time of evaluation and external water risk that is measured using the river discharge at the time of evaluation. Taking Typhoon No. 19 in the first year of Reiwa as an example, when the results were verified at the Yattajima and Toride points in the Tone River basin, the peak position of the calculated flow rate matched well with the observed water level. The difference in the upstream and downstream peak occurrence time due to the outflow delay was also expressed. Simultaneously, we could evaluate the time transition of the wide-area distribution of the inland and external water risks and characteristics of each site. The information in this system is expected to contribute to the avoidance of heavy rain disasters and mitigation measures for heavy rainfall disasters, such as the early preparation of drainage facility operation when heavy rain is predicted, the early judgement for evacuation and measures to prevent damage on agriculture.

Key words: Heavy rainfall disaster, Inner water risk, River water risk, Real-time assessment

要 旨

全国の豪雨災害リスクをリアルタイムで予測するシステムを構築した。気象庁が毎時配信する 15 時間先までの短時間降水予報を分布型水循環モデルに入力して計算を実施し、リスク情報を 1 時間毎に更新する。豪雨災害のリスクは、評価時点から過去 24 時間の累積雨量で示す内水リスク指標と、評価時点の河川流量を用いる外水リスク指標のレベルから判定される。令和元年台風 19 号を事例に、利根川流域の八斗島および取手地点で結果を検証すると、計算流量と観測水位のピーク発生時刻がよく合っていた上、流出遅れによる上下流のピーク発生時刻の違いも表現されていた。さらに、内水および外水リスクの広域分布を示すと共に、地点別の豪雨災害リスクの特徴とその時間推移を評価できた。本システムは、排水施設の早期準備といった豪雨時の対応態勢強化等への貢献が期待される。

キーワード: 豪雨災害、内水リスク、外水リスク、リアルタイム評価

1. はじめに

近年は、活発な線状降水帯や巨大台風に伴う激しい豪雨が毎年のように発生しており、各地で水害を引き起こしている。豪雨時の被害を回避・軽減するためには、水害に対する意識の向上に加え、事前に

被害予測等の情報を知ることが重要で、例えば避難勧告等に関するガイドライン（内閣府，2019）では、防災情報を警戒レベル1から5のような段階で提供するとともに、レベル別に取りべき行動の関係を明確化し、防災意識の高い社会の構築を目指している。また気象庁は、豪雨時の防災情報の判断基準として、数値モデルによって評価された土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数を配信している。河川の洪水や浸水被害に関する事前情報としては、各地域で整備されているハザードマップがあり、浸水リスクが高い場所や災害発生時の避難場所および経路を周知している他、国土交通省が運営する川の防災情報では、河川の水位・流量、カメラ映像等のリアルタイム情報を配信している。防災業務の関係者は、有事の際にはこれらの情報を収集し、状況を注視しながら施設操作の判断等を行う。

令和元年は、大きな台風等による豪雨災害が複数回発生した。その中でも、2019年10月12日から13日にかけて東海～東北地方に上陸した過去最強クラスの台風である令和元年台風19号（以下、Hagibis）による被害が記憶に新しい。Hagibis時は、全国の広い範囲で記録的な豪雨が発生し、最大24時間雨量では新潟～東北の100ヵ所以上の観測点で観測史上1位の値を更新するなど、まさに記録的なイベントであった。この豪雨に伴い、国土交通省（2019a）によると関東・東北地方を中心に、国及び県管理河川において計140箇所ですべり決壊し、国管理河川だけでも約25,000haの浸水被害が発生した。一方、床上・床下浸水被害の多くが内水氾濫によるものであった点も本台風の大きな特徴で、国土交通省は今後内水氾濫の対策を進めることとしている。さらにこの時の降雨・河川状況を見ると、久慈川、阿武隈川、千曲川等の複数の河川流域で大雨特別警報の解除後に新たに氾濫発生情報を発表していた点も興味深い。広大な後背流域を抱える大河川では、上中流域で降雨量のピークが発生した後に、流出遅れ等の影響によって、下流では時間差で河川水位のピークが観測されることがあるため、その地点だけではなく流域を広く見て河川の危険度を判断することが重要といえる。

農業分野においても、このような緊急時には県や土地改良区の関係職員が農業用ダムや排水機場で警戒態勢に入り、河川部局等と連携しながら対応にあたる。農林水産省（2019）によると、Hagibis時には農作物被害が約95億円、農地や施設等を含む農林水産業全体では34都府県の合計では被害額が3,000億円を越えたとされ（内閣府，2020）、可能な限り被害回避と軽減を図ることが望まれる。しかし、農業分野では広域に配置されている農地や河川関連施設の状況を面的にカバーする観測網は持っておらず、豪雨災害の発生に関係する内水、外水の状況把握は職員の見まわりや関係先からの情報提供等に頼らざるを得ない。さらに近年は、流域治水の理念に沿って農業用ダムの事前放流や田んぼダム等の農地を活用した豪雨対策の気運が高まっており、これらの対策を確実に発揮していくためにも、地区内を面的に見るリスク情報を早期に把握することが肝要となる。数値モデルで出力される河川流量を用いて洪水リスクを評価した研究はいくつか見られるが（例えばYoshimura et al., 2008）、関連施設の管理には上記のように内水に由来する面的な情報も効いてくるため、これらを同時に評価して示すことが有益と考えられる。そこで本研究は、全国を対象とした豪雨災害リスクのリアルタイム配信サービスの創出を目的として、内水および外水のリスクを予測可能な評価システムのプロトタイプを構築した。ここでは、そのシステム構成および、Hagibis時の状況を事例としたリスク評価の検証結果を報告する。

2. 豪雨災害リスク評価システムの構成

Fig. 1に、開発したシステムの全体構成の概要を示す。農村工学研究部門内に設置されているサーバーに配置された本システムが全国の気象データを受信し、その都度に内部の数値モデルが作動して全国の河川流量を更新する。さらに降水量については15時間先までの予測データを受信することで、現在

から 15 時間後までの毎時のリスク情報をリアルタイムで評価することができる。以下に詳細を示す。

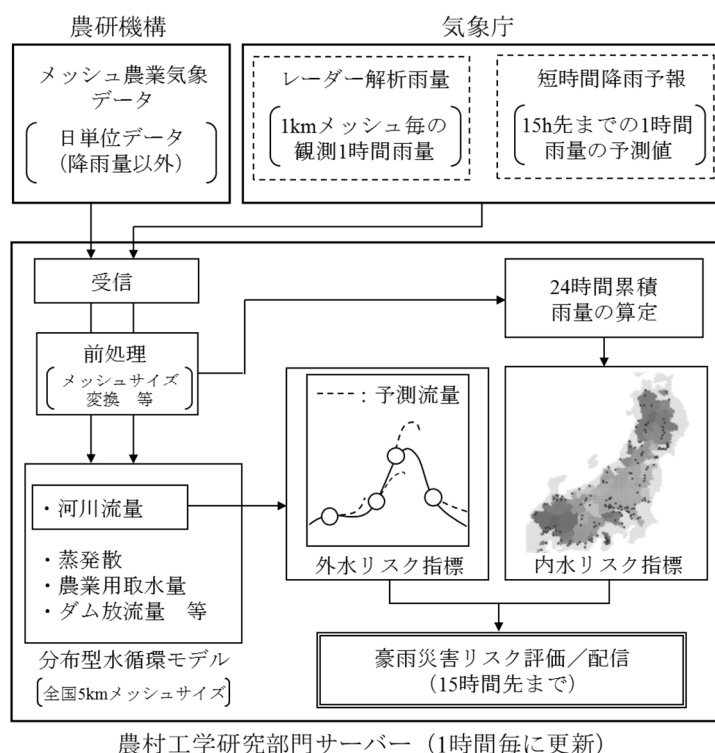
2.1 河川流量を計算するための数値モデル

河川流量の計算には、分布型水循環モデル（吉田ら，2012）を日本全国の河川流域に拡張した全国モデル（工藤ら，2016；Kudo et. al., 2017a；Kudo et. al., 2017b）を適用した。本モデルでは、1 メッシュのサイズは 5km×5km で、全国を 16,272 個のメッシュに分割している。各メッシュは標高データを持っており、周辺 8 メッシュで標高を比較して最も勾配が急なメッシュを下流に選択して疑似河道網を発生させている。各メッシュは中央にある 1 本の河道とその両側の斜面で構成され、土壌が飽和状態となった場合に発生する地表水の流れは斜面流として扱い、それらが流入する河道流れはキネマティックウェーブ法で追跡される。

同モデルは、これまで広域の水循環解析を対象に構築されてきたことから、出力は日単位で開発されてきた。ただし、一般的に洪水時の流況やリスクを算定するためには雨量や流量のピークが重要となるため、日単位では時間解像度が粗く不適である。よって本システムでは、同モデルの計算過程を 1 時間単位で実施し出力するよう改良した。

2.2 使用する気象データ

本システムで使用する気象データの一覧を Table 1 に示す。全国の時間単位の降水量に関しては、気象庁から配信される全国のレーダー解析雨量（以下、解析雨量）及び 15 時間先までの短時間降水予報の値を用いており、その他の気象要素は農研機構が配信するメッシュ農業気象データシステム（大野，2014）から日単位で得る。それぞれの詳細をみると、解析雨量とは気象庁が保有する気象レーダーから得られる面的な観測情報を全国の地点雨量観測結果を用いて補正したデータであり、配信される前 1 時間の降水量分布の観測値を 1km メッシュの空間解像度で得ることができる。短時間降水予報は、予測時間によって計算方法と空間解像度が異なる。1 時間～6 時間先までの予報値は 1km メッシュで得ることができ、解析雨量から推定された雨域の移動速度情報に沿って将来の雨域移動を予測するとともに、地形の効果や直前の降雨量の変化から雨量



農研機構研究部門サーバー（1時間毎に更新）
Fig. 1 豪雨災害リスク配信システムの構成

Table 1 使用する気象データの詳細

気象要素	単位	空間解像度	配信元
レーダー解析雨量	mm/h	1km	気象庁 (1時間間隔受信)
短時間降水予報	mm/h	1km	
・1時間～6時間先 ・7時間～15時間先		5km	
平均相対湿度	%	1km	農研機構 メッシュ農業気象 データシステム (日間隔受信) *NAROデータ
最高相対湿度	%	1km	
最低相対湿度	%	1km	
最高気温	℃	1km	
最低気温	℃	1km	
平均気温	℃	1km	
全天日射量	MJ/m ² /day	1km	
平均風速	m/s	1km	

の発達、衰退を考慮している。一方、7時間～15時間先の予報値については、数値予報モデルであるメソモデル（日本及びその近海の気象を対象とした気象庁の数値予報モデル）と局地モデル（日本領域の気象を対象とした気象庁の数値予報モデル）をそれぞれ統計的に処理した結果を組み合わせた情報であり、5kmメッシュで発信される。またメッシュ農業気象データ（NAROデータ）は、アメダス等の気象データ標高などを考慮しつつ補間したものであり、1kmメッシュ間隔で提供される。NAROデータは、各要素について9日先までの予報値が配信される。本システムで適用した分布型水循環モデルは5kmメッシュで構築しているため、これらの気象データは受信した際にシステム内部で前処理を行い、計算メッシュに合わせたデータが自動生成される。その後、モデル内の各計算メッシュIDに対応する気象データが入力される。

3. 豪雨災害リスクの評価および検証方法

3.1 リスクの評価指標

本研究では、リスクを事象（災害）が起こる危険度と定義し、豪雨災害リスクの要因を内水氾濫に起因するもの（内水リスク）と外水氾濫に起因するもの（外水リスク）に分類する。それぞれの指標について以下の様に設定する。

内水氾濫は、その地区に降った雨量が排水能力を超えて地区外に排水しきれず、低位部に水が集まることで発生する浸水被害である。そのため、内水リスクを表す指標（内水リスク指標）には雨量情報を使用する。この指標は、内水氾濫の発生

機構を念頭において様々な条件を設定可能である。本研究では、農地（主に水田）の湛水防除を目的とした排水計画の計画基準降雨に連続1日～3日雨量が設定されることを参考に、リスクを判定するメッシュ毎に算定した評価時点から過去24時間分の累積雨量値を用いることとする。即ち、評価する時刻が現在である場合は過去24時間分の解析雨量の合計を用いる。予測を行う際には、現在から評価時刻までの短時間降水予報の合計値に、合計が24時間分となるように過去の解析雨量値を加えた値となる（Fig. 2）。外水リスクの指標（外水リスク指標）には、外水氾濫が河川流量の増加に起因すると考えられることから、システム内の各メッシュで毎時計算される評価時点の流量値を用いる。

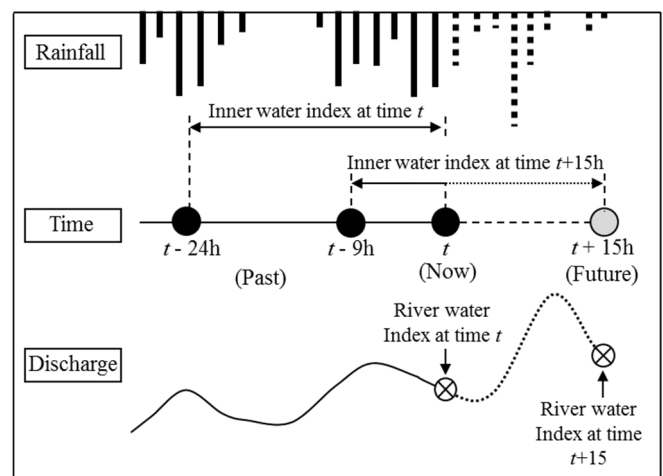


Fig. 2 内水および外水リスク指標の概念図

3.2 リスクレベルの判断基準

リスクレベルは、前述の内水・外水リスク指標がある閾値を超えるかどうかで判断する。閾値には、事前に全国の全てのメッシュにおいて算出した、指定する再現期間の降水量及び河川流量のクオンタイルを用いる。閾値に採用する確率規模は、ここでは農業用の施設計画に用いられる10年確率未満であれば豪雨災害の危険性は小さいと判断してレベル1とする。10年確率を超えて、水田の湛水防除事業等の計画に用いられる30年確率までをレベル2、30年～50年確率の間でレベル3、さらに大規模災害に繋がる恐れのある50年から80年確率までをレベル4、河川計画等に用いられる100年確率までをレベル5、同200年確率までをレベル6とする。さらに200年確率を超える極端現象の場合を最大のレベル7として、7段階に設定する。

内水リスクレベルの閾値は、事前に入手した全国のアメダスデータ（1978年～2019年）を5kmメッ

シユに内挿した日雨量より決定した。具体的には、データ期間中の各メッシュの日雨量に対して Gumbel 分布を当てはめ、メッシュ毎に上記の確率日雨量の値を算定して閾値に設定した。外水リスクレベルの閾値には、前述の雨量値およびその他の気象情報を本システムに組み込まれている分布型水循環モデルに入力し、メッシュ毎に計算されるデータ期間中の流量値に対して同様の手法で確率流量を算定し、閾値に設定した。

それぞれのリスクレベルを Fig. 3 に示すようなマトリックスにプロットすると、危険度合いとその要因（内水由来、または外水由来）を視覚的に認識できる。豪雨災害のリスクは 2 つの指標から総合的に判断することとなるが、ここでは 2 つのうち高い方のレベルを採用すると、例えば

Fig. 3 中の Case 1 は内水リスクがレベル 3、外水リスクがレベル 1 に分類され、総合的なリスクはレベル 3 と判断できる。また、両方のリスクが同じレベルにある場合は 2 つの要因が複合的に作用して危険度が増すと考え、更に 1 段階上のリスクレベルを採用する等が考えられる（同図中の Case2 では、総合的なリスクはレベル 6 となる）。2 つのリスクレベルは各メッシュで毎時算定され、時間毎にプロットすることでレベルの時間推移も評価できる。ただし、このリスクレベルは災害の外力となる内水および外水リスクから評価したものであり、実際の被害発生に関わる水防施設の整備状況等の影響は考慮されていない。

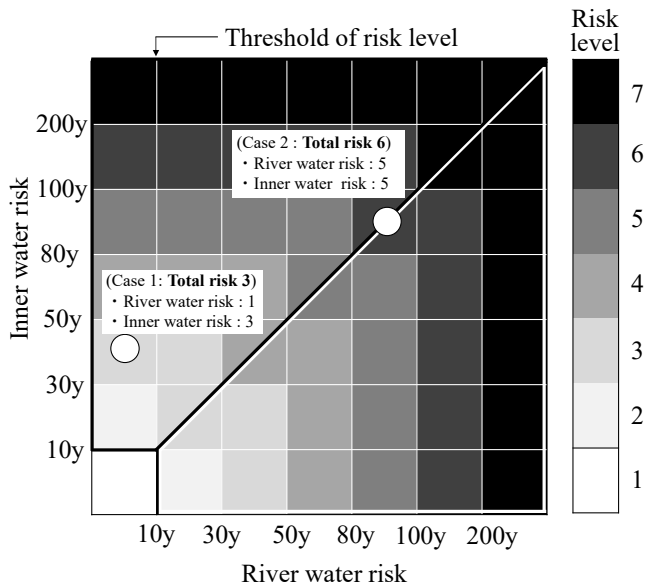


Fig. 3 設定したリスクレベル評価のマトリックス例

3.3 短時間降雨予報の予測スキルの検証方法

15 時間先までの内水リスクの予測には、リスク指標の算定に用いる短時間降水予報の精度が関係する。そこで、以下の手順により本研究で対象とする Hagibis 時の解析雨量と短時間降水予報を比較して、個別イベント時の予測の適合度（予測スキル）を評価する。対象期間は 2019 年 10 月 9 日 9:00 から 10 月 16 日 8:00 までの計 168 時間として、システムが受信した短時間降水予報および解析雨量を内部で前処理した後の 5km メッシュデータを用いる。次に、各メッシュにおいて、1 時間先から 15 時間先までの短時間降水予報の予測時間別の値と、同時刻の解析雨量の値を比較して、予測誤差を算出する。ここでの誤差は、短時間降水予報の値から解析雨量の値を差し引くことで評価することとし、誤差がプラスの場合は予報値が過大、マイナスの場合は予報値が過小と評価される。予測スキル評価は、毎時の値とリスク指標に用いる 24 時間累積雨量のそれぞれで実施する。

3.4 計算流量の検証方法

外水指標となる計算流量の結果を確認するため、ここでは水文水質データベース（国土交通省，2002）より、東海から東北地方にかけての 1 級河川の計画基準点 162 地点を選定し、過去の水位及び流量データを入手する（選定した水位流量観測点及び、後述するリスク評価の検証地点を Fig. 6 に示す）。ただし現在（2020 年 11 月時点）において選定した観測点では信濃川水系の一部を除くほとんどの地点で Hagibis 時の観測流量の確定値が公表されていないため、流量については基本的には 2018 年 12 月まで、水位に

については Hagibis 時を含む 2019 年 12 月までの情報を得た。計算流量の検証のため、各地点で流量と水位の両方が入手できた最近年のデータから水位-流量曲線を作成し、2019 年の Hagibis 時の観測水位から流量の推定を試みたが、多くの地点で外挿推定となるため結果は参考値に留めることとし、ここでは確定値が公表されている水位情報を基に計算流量の検証を行う。

4. 結果と考察

4.1 短時間降水予報の予測スキルの検証結果

全メッシュで前述の手法により予測スキルを評価した。ここでは後述する Fig. 6 の取手地点の 1 メッシュを対象とした結果を述べる。まず、毎時の予測スキルの評価結果を見ると (Fig. 4), 1 時間先の予報値と解析雨量の誤差は 9 mm 過大から 10mm 過小の範囲となっており、期間全体での絶対誤差の平均は約 0.45 mm であった。最長の 15 時間先においては、台風襲来前の 10 月 11 日 15 時の時点において最大で 30 mm の過大予測がみられた。また、過小評価の最大値は 14.6 mm で、絶対誤差の平均は約 1.6 mm であり、予測時間と共に予測スキルは低下することが確認された。同様に解析雨量との相関係数で比較すると、1 時間先では約 0.90 に対して、15 時間先では 0.40 と低下していた。

次に 24 時間累積雨量での誤差をみると Fig. 5 のようになった。この図は、各時点における 1 時間先、8 時間先、15 時間先の 24 時間累積雨量の予測値と、実際に観測された各時点の 24 時間累積雨量との差を表しており、例えば差が正の場合はその時点における予測値が解析雨量に対して過大であったことを意味する。1 時間先の予測では影響するのは 1 時間分の予報値だけとなるため、時間雨量と同様の結果であったが、15 時間先では毎時の予報値の誤差が影響し、時間雨量の誤差が最大となった 10 月 11 日 7 時の時点で 74.2 mm の過大評価となった (同時点の解析雨量の 24 時間累積値は 16.6mm)。その後、10 月 12 日 0:00 時点では、逆に 48.4mm の過小評価となっていた。検証地点における 24 時間累積雨量の最大値は 10 月 12 日 21:00 時点で 144.4mm となったが、同日 20:00 の時点で 15 時間先の予測値は 196.2 mm となっており (約 36%の過大)、実際よりも内水リスクのレベルが高く評価されていたことになる (検証地点でレベル 2 と判断する閾値が 196 mm/24h)。このように、Hagibis 時の検証地点においては、15 時間先予測では誤差の幅が大きくリスクの過大評価もみられたが、例えば 8 時間先の予測では解析雨量との誤差が 30mm 未満に収まっており、リスクレベルの評価にも影響はなかった。今後、前線性の豪雨も含めた複数のイベントを対象として、予測スキルの検証を進める必要がある。

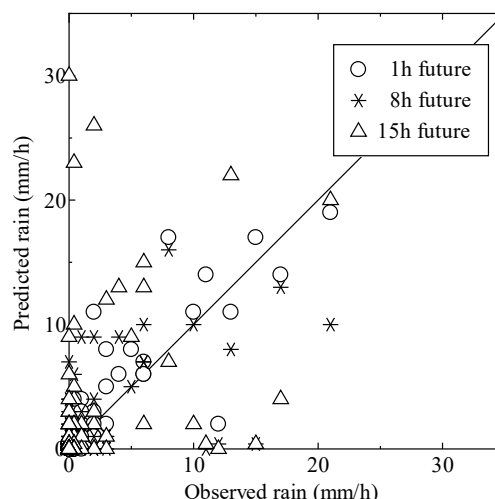


Fig. 4 リードタイム別の降水短時間予報のスキル (取手地点の例)

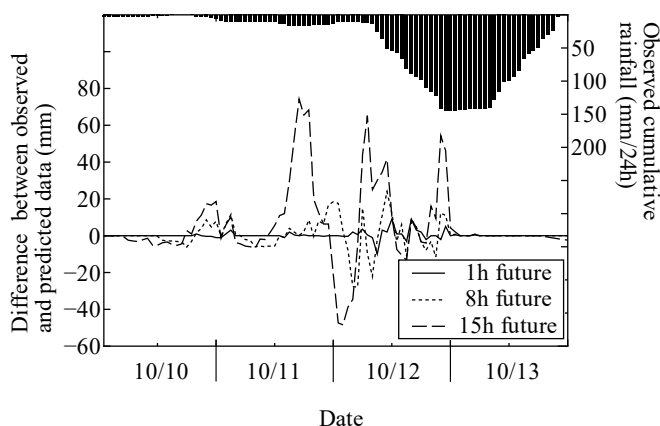


Fig. 5 累積 24 時間雨量の推移とその予測スキル (取手地点の例)

4.2 計算流量の検証

まずそれぞれの基準点において、流量計算に影響するモデル上の流域面積を算定し、水文水質データベースの観測所詳細諸元情報で公表されている値との比を求めた。ただし、事前に GIS 上にプロットした基準点の位置とモデル内の疑似河道データを目視で比較し、主要な河道から基準点の位置が明らかに外れていた場合は、その基準点のメッシュ位置を主要河道上に移動させる調整を行った。その結果、選定した地点の約 52% で面積比が公表値の 0.9-1.1 の範囲となり、約 84% が 0.7-1.5 の範囲に含まれていた。0.7 未満および 1.5 以上の流域（約 16%）はデータの詳細な確認が必要のため、現時点では検討から除外した。

検証地点の代表として、利根川の中流域に位置する八斗島地点（公表値との流域面積比 1.03）と取手地点（同、0.93）におけるハイドログラフを Fig. 7 に示す。計算流量に対する比較データが観測水位である点に注意されたいが、両地点とも出水の立ち上がりおよびピーク到達のタイミングはよく合っていた。これは、本システムにより外水リスクの時間的な評価が可能であることを意味する。また、上下流の関係となる両地点で流量ピーク到達時間のズレも的確に表現されていた。観測水位で見た場合の両地点のピーク到達時間差（約 17 時間）より、計算での時間差はやや短かった（11 時間）ものの、上流に降った雨が時間遅れを伴って下流で出水する現象を表現できていた。

この両地点の 2018 年の水位、流量から策定した水位-流量曲線により流量を外挿推定すると、八斗島地点のピーク流量は約 7,700 m³/s となり、同地点での計算ピーク流量（3,287 m³/s）は過小評価である可能性が示された。これは、本システムが流出計算に用いられる複数パラメータについて吉田ら（2012）の研究例を全国共通で準用している段階であることと、モデル内部において河川流量に影響を与

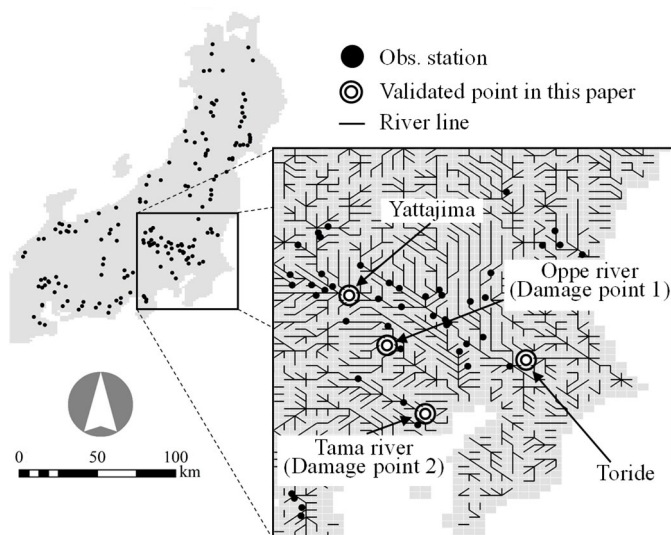


Fig. 6 基準点位置とリスク評価の検証地点

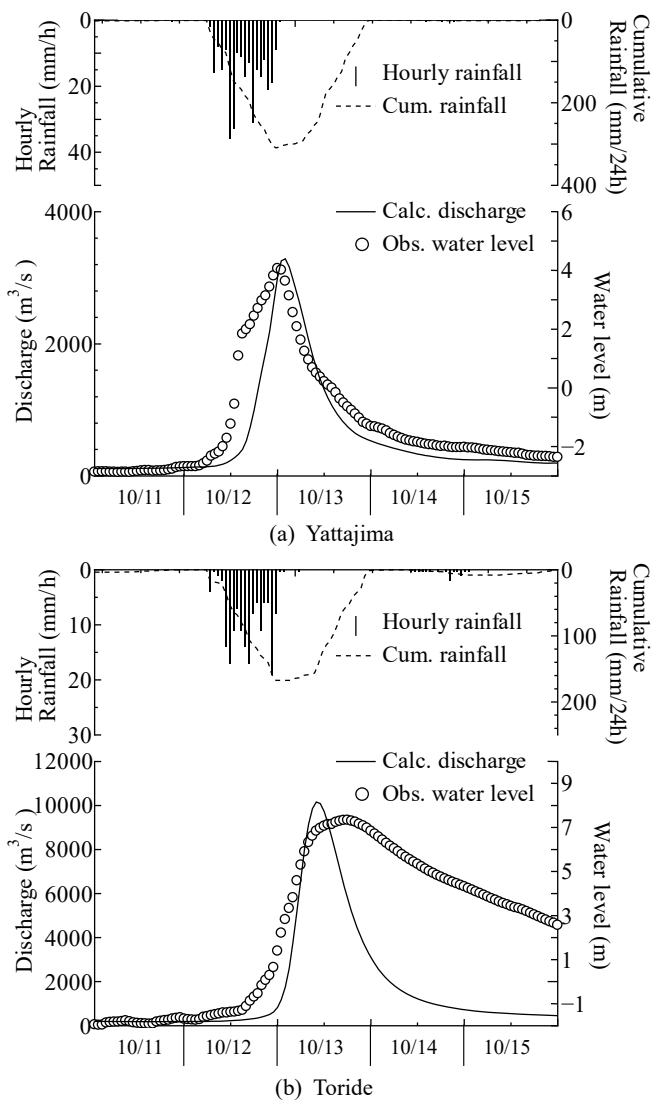


Fig. 7 計算流量及び観測水位ハイドログラフの比較
(2019年10月11日0:00～10月15日23:00)

える表面流出過程の機構をやや簡易的に扱っていることが影響していると考えられる(工藤ら, 2016). 流出計算パラメータの詳細な検証や, 必要に応じて流出計算過程の改良をする等, 今後の対応が必要である. 一方, 取手地点では同イベント時のピーク流量の速報値は $8,750 \text{ m}^3/\text{s}$ との報道があり, 計算流量のピーク ($10,159 \text{ m}^3/\text{s}$) はやや過大評価であった可能性があるものの, 速報値と比較してピーク値の相対誤差は 16%程度と良い精度で再現されていたと考えられる. また Hagibis 時は, 取手地点上流にある田中・稲戸井調節池で約 $10,700 \text{ 万 m}^3$, 菅生調節池で約 $9,000 \text{ 万 m}^3$ の貯留があった(国土交通省, 2019b) ことも流況に影響していた可能性があるが, 本システムではその影響を考慮していない. これらの検証は, 確定値の公表を待って継続したい. また取手地点では, 観測水位がピークから十分低下するまでにかなりの時間がかかっていた特徴があるが, その速度に対して計算流量の低下速度が早い. これは洪水流量の伝播にキネマティックウェーブ法を適用していることが要因と考えられる. これにより, 低平地域ではリスク低下の判断が早期になる場合が想定される点には留意する必要がある.

4.3 豪雨災害リスクの評価結果

4.3.1 広域でみたリスクレベルの時間推移

3章の手法によって, Hagibis 時の豪雨災害リスク指標を評価した結果を広域で見る. Fig. 8 の a) に示す 10 月 13 日 0:00 時点では, 内水リスクレベルは関東から東北地方の広い範囲にかけて最大のレベル 7 と評価され, レベル 5 や 6 の危険な地域も多く存在していた. 一方, 取手地点を含む関東地方の太平洋側では降雨量がさほど多くなく内水由来のリスクは低かった. 外水リスクは, a) 時点で内水リスクが高い地域を中心に上昇していたが, b), c) と時間が進むにつれて, 遅れて利根川下流域でリスクレベルが上昇していく現象が示された.

4.3.2 地点別にみたリスクレベルの時間推移

Fig.6 の検証地点において, リスクレベルの時間推移を地点別に詳細に評価した結果を Fig. 9 に示す. ここでは, リスクの時間推移をわかりやすく見るため, 3章の手法で判定されたリスクレベルを離散値で示すのではなく, 24 時間累積雨量および河川流量から換算した連続値として示した. 具体的には, 各リスクレベルの閾値を内分した値を示している.

同じ河川の上下流の関係にある八斗島, 取手を見ると, 両地区とも最大レベルは 7 まで上昇したものの, 前述のようにリスクの由来が異なることが表現できた. 八斗島では, イベント開始直後に内水リスクが上昇し, 12 日 15:00 時点ではレベル 7 まで上昇した. 外水リスクは, 前述の過小評価の可能性もあるものの, 内水リスクに比べると大きくは上昇しなかった. 取手地点では, 内水指標レベルは 10 年確率未満(レベル 1)であったが, 上流の影響を受け流量は 200 年確率を超えるレベル 7 まで上昇しており(13 日 9:00 時点), 外水由来のリスクが高まった地点といえる. また上下流の比較で, リスクレ

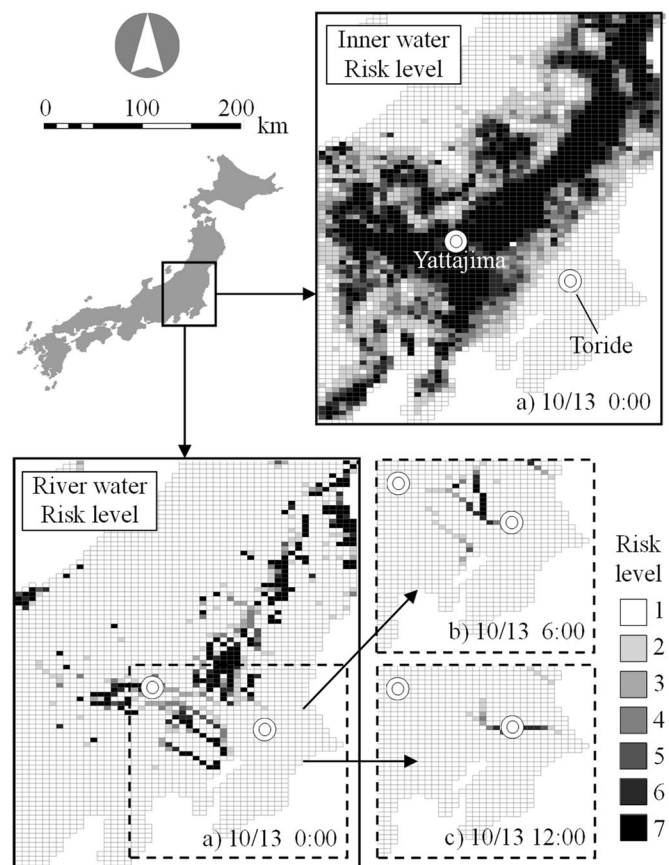


Fig. 8 広域のリスクレベル分布とその時間推移

ベルの時間遅れもはっきりと見られた。さらに、Hagibis 時に関東地域で浸水被害を受けた 2 地点を事例にみると、実際に外水氾濫が発生した被害地点 1 (越辺川と都幾川の合流地点付近) では、12 日の午後には外水リスクが増加しており、その後夜にかけて、追って内水指標も増加し、両レベルが最大の 7 まで上昇していた。その後、内水、外水の順番にレベルが低下した。本地点は外水と内水により総合的に豪雨災害のリスクが高まった地点といえる。一方、内水氾濫による浸水被害が報告された被害地点 2 (多摩川沿い二子玉川駅付近) では、内水リスクがレベル 3 (50 年確率程度の値) で現実的には十分大きいものの、総合的には外水由来のリスクが目立つ結果となった。本地点は都市域に位置するため、特に内水氾濫については短時間の降雨強度が効いてくるなど、農地域とは発生機構が異なると考えられることから、本研究で設定した指標ではリスクを十分に評価できない可能性がある。このような地域でどのような指標を用いるのが良いか等、今後の検討課題に挙げられる。

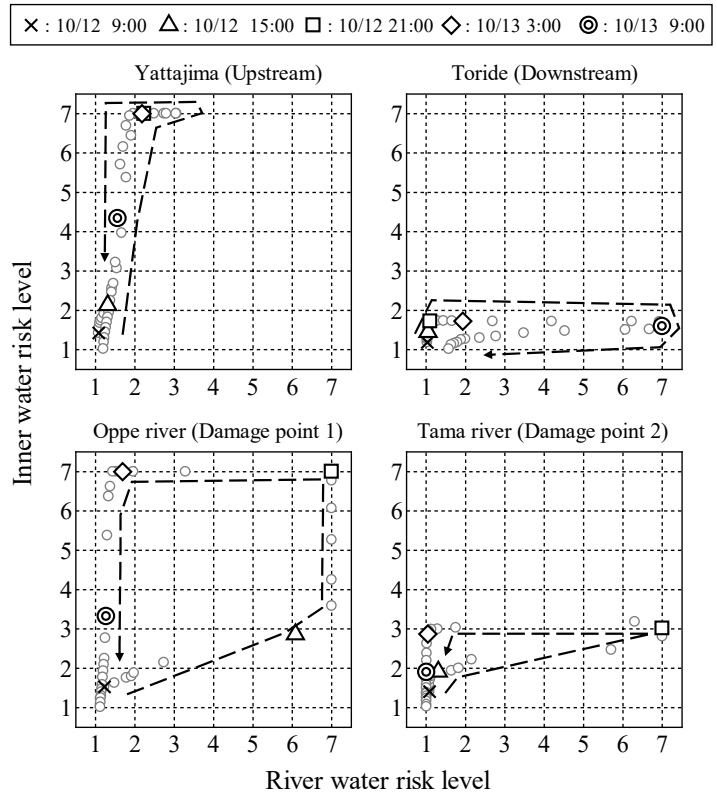


Fig. 9 地点別に見たリスクレベルの時間推移
(図中の○は毎時の結果を示す)

4.4 リスク情報の活用方法と今後の課題

豪雨イベント時、自治体や土地改良区等の施設管理・操作者が施設管理所等に事前待機して対応にあたる際に、気象情報に加えて農地等の被害発生に係る指標値が地区別に示されることで、農地被害の回避・軽減に向けた具体的なオペレーションの検討が可能になる。また広範囲で同時多発的に被害が想定される場合にも、準備に係る時間的余裕に繋がる。地域住民を対象とすると、都市域では事前避難の検討ができる。農村では農業機械や収穫作物の移動といった被害回避行動の早期判断に加え、田んぼダムのような豪雨対策の確実な実施など、農家自身による自助・共助活動への支援となると考えている。一方で、このような災害に係る情報を配信する場合は、判断ミスや二次災害を防ぐためにも、リスクレベル判断に用いる指標値の予測スキルを吟味する必要がある。本研究では1つのイベントを対象に検証したが、今後は複数イベントを通じた結果の検証を全国的に実施するなど、精査を進める予定である。また現時点で、洪水時の流量の計算精度にも課題があり、原因を洗い出すと共に、必要に応じて計算手法の改良等も検討したい。さらに計算メッシュの高解像度化 (1km メッシュ等) や、地域の特徴や土地利用に応じたリスク指標の検討なども今後の課題である。

5. まとめ

本報告では、豪雨災害を回避・軽減するための情報配信を目的に構築した豪雨災害リスク予測システムの構成と、Hagibis 時を事例とした適用結果の検証を行った。内水リスクを表す指標には評価時点から過去 24 時間分の累積雨量値を、外水リスク指標には河川流量を用いて豪雨災害のリスクを評価した。

その結果、大川である利根川において計算流量ピークのタイミングが観測水位とよく整合が取れており、上流に降った雨量の影響が下流に伝わることで発生するリスクの時間遅れ現象が評価できていた。さらに、実災害が発生した中小河川である越辺川においても外水と内水のリスクが総合的に高まる様子が評価でき、地点毎にリスクの由来と時間推移を示すことができた。一方で、内水リスク予測に関する15時間先までの短時間降水予報は予測時間と共に精度が低下することが確認された他、地点によっては流量ピークの過小評価や、流量の低減が実際より早いことでリスクを低く見積もってしまう可能性が明らかになるなど、精度向上に向けた課題点が示された。また、農地域と都市域では豪雨災害の発生機構が異なるため、同じ指標を用いると十分に現象を評価できない可能性もあることも示唆された。今後、リスク評価の指標について吟味したうえで、本システムの情報配信インターフェースの表示項目や現場に役立つ情報など、使用者の意見を反映させながら構築していきたい。

謝辞：本研究は内閣府官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）「ほ場の保水機能を活用した洪水防止システム開発（2018年～2020年）」によって実施された。また本システムの構築にあたり、アドバンスソフト株式会社の助力を得た。ここに記して深謝の意を表す。

引用文献

- 気象庁 HP：降水短時間予報の精度検証結果，https://ds.data.jma.go.jp/fcd/yoho/kotan_kensho/kotan_hyoka.html（確認日：2020/11/05）
- 気象庁（2019）：令和元年東日本台風（台風第19号）による大雨，暴風等 令和元年（2019年）10月10日～10月13日（速報），<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html>（確認日：2020/11/05）
- 国土交通省水管理・国土保全局（2002）：水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp/>
- 国土交通省（2019a）：令和元年台風第19号による被害等，https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou_suigai/1/pdf/11_R1T19niyoruhigai.pdf（確認日：2020/11/05）
- 国土交通省（2019b）：『令和元年10月台風19号』出水速報（第3報），https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000760776.pdf（確認日：2020/11/05）
- 工藤亮治・吉田武郎・堀川直紀・増本隆夫・名和規夫（2016）：気候変動が広域水田灌漑に及ぼす影響の全国マップとその不確実性，応用水文，28，pp.11-20.
- Kudo, R., Yoshida, T. and Masumoto, T. (2017a) : Uncertainty analysis of impacts of climate change on snow processes: Case study of interactions of GCM uncertainty and an impact model, *Journal of Hydrology*, 548, pp.196-207.
- Kudo, R., Yoshida, T. and Masumoto, T. (2017b) : Nationwide assessment of the impact of climate change on agricultural water resources in Japan using multiple emission scenarios in CMIP5, *Hydrological Research Letters* 11(1), pp.31-36. DOI : 10.3178/hrl.11.31.
- 内閣府（2019）：避難勧告等に関するガイドライン①（避難行動・情報伝達編），http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/pdf/hinan_guideline_01.pdf（確認日：2020/11/05）
- 内閣府（2020）：令和元年台風第19号等に係る被害状況等について，http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_45.pdf（確認日：2020/11/05）
- 農林水産省大臣官房統計部（2019）：作物統計被害調査，<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/higai/index.html>（確認日：2020/11/05）
- 大野宏之（2014）：メッシュ農業気象データシステム <https://amu.rd.naro.go.jp/>（確認日：2020/11/05）
- 吉田武郎，増本隆夫，工藤亮治，谷口智之，堀川直紀（2012）：広域水田灌漑地区の用水配分・管理モデルの実装による流域水循環のモデル化，農業農村工学会論文集，277，pp.9-19.
- Yoshimura, K., Sakimura, T., Oki, T., Kanae, S. and Seto, S. (2008) : Toward flood risk prediction: a statistical approach using a 29-year river discharge simulation over Japan, *Hydrological Research Letters*, 2, pp.22-26. DOI : 10.3178/hrl.2.22