

電波不感帯地域における居住者と生産空間に対する 防災力向上に向けた雨量・氾濫情報提供システムの検討

New attempt of a heavy rainfall / flooding warning system for inhabitants and agricultural production spaces
in the radio dead zone area

北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院
(株) 福田水文センター
(株) 福田水文センター
(株) 福田水文センター
(株) ハイテックシステム
北海道大学大学院工学研究院

○学生員 杉山拓大(Takuhiko Sugiyama)
正会員 今日出人(Hideto Kon)
正会員 久加朋子(Tomoko Kyuka)
正会員 橋場雅弘(Masahiro Hashiba)
正会員 土田宏一(Koichi Tsuchida)
西山典志(Noriyuki Nisimura)
瀧川憲(Akira Takikawa)
フェロー 清水康行(Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

近年、短時間での局地的豪雨や線状降水帯の形成等に伴う集中豪雨、2019 年台風第 19 号のような広域豪雨に伴い、これまで想定されていた以上の大規模災害が全国各地で頻発している。なかでも、2016 年北海道豪雨災害¹⁾や 2017 年九州北部豪雨²⁾、2019 年台風第 19 号³⁾では、比較的整備の進んだ一級河川(直轄区間)に比べ、中小規模の河川において急激な水位上昇に伴う河岸侵食や堤防決壊、氾濫といった被害が数多く認められた³⁾。さらに、2016 年北海道豪雨災害では農業地域においても農作物の浸水被害、農地の土壌流失や土砂堆積が生じ¹⁾、その影響はポテトチップスのイモ不足など全国に波及した。このように、近年の災害事例から北海道の特徴を鑑みると、国内他地域と比べて農地経営規模が大きく、ひとたび被害が発生すると、その影響は地域にとどまらず全国に波及していくと考えられる。

北海道では現在、「世界の北海道」をキャッチフレーズに「北海道総合開発計画」を背景とし、食糧供給基地としての持続的発展に向けた取り組みが行われている。しかしながら、食糧供給基地としての防災力に焦点を当てると、都市域等の人口密集地と異なり、道内地方に対する豪雨時の雨量や河川水位情報の提供は少なく、“人口密度が少ない地域であるが農業生産の活発な地域”における気象・氾濫および住民避難情報はソフト・ハード面ともに遅れている現状にある。とりわけ、道内のこのような地方の大部分は携帯電波の電波不感帯地域(http://www.nttdocomo.co.jp/area/?icid=CRP_TOP_to_CRP_AR_EA)に該当しており、国内他地域と異なり、常時観測施設を設置することで豪雨時の降雨や水位データ等の観測と情報提供を行うことが難しいといった課題ある。

このように、地方の中小河川では降雨に伴う水位変化といった防災上非常に重要な情報が得られず、想定以上の降雨イベントが生じた際、河川の実情の把握ができないうえに行政から住民へどのような避難行動をとるべきか適切な指針を伝えることが困難な状況にあることが分かる。また、民家の比較的小さい農村地域を流れる中小河川はハザードマップの整備が進んでいない場所も多く、氾濫時の農地の被災ポテンシャルに関する情報も比較的

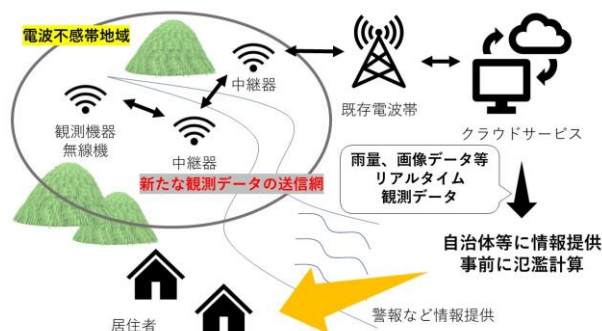


図-1 雨量・氾濫情報提供システム概要

少ない状況にとどまっている。さらに、それら情報を踏まえた農業地域の災害対策も今後必要になってくると考えられる。

そこで、本研究では北海道内の電波不感帯に位置する集落(農村地域)における防災力向上を目的とし、まずは居住者および生産空間たる農地の双方の安全性を確保するための安価な雨量・氾濫情報提供システムの開発を行う。具体的には、降雨時に山間部の雨量や河川水位情報を観測するために、LPWA(Low Power Wide Area)通信を利用したクラウドシステムの無線端末を厚真川水系ハビウ川上流域に設置すると共に、得られたデータを用い、降雨と河川水位、氾濫危険性との関係を把握し、避難や氾濫情報提供へと活用する方法について考察した。

2. 雨量・氾濫情報提供システムの概要

図-1 に、本研究で検討する雨量・氾濫情報提供システムの概要を示す。本システムは、既存の通信インフラのない環境で観測した水文情報を無線と中継機を用いて既存の電波通信帯まで送信し、クラウドサービスを用いてリアルタイムで自治体職員が過疎地を流れる河川の状況等を監視できる環境を提供するものである。

なお、本論では無線を用いたデータ送受信技術については別途報告として詳細は言及せず、現地観測にて得られる降雨データと水位データおよびシステム構築に向けた活用について検討する。

本検討では、上記観測システム（図-1）を厚真川水系ハビウ川上流域に設置し、降雨時の雨量と河川水位データを取得した。

3. ハビウ川諸元と観測機器設置

3.1 ハビウ川諸元

図-2 に厚真川、ハビウ川および観測機器設置位置を示す。ハビウ川は北海道厚真町を流れる 2 級水系厚真川水系の 1 次支川であり、流域 40.6km^2 、勾配 $1/250$ 、川幅約 $10\text{m}\sim 25\text{m}$ 、厚真川水系河川整備計画において計画高水流量が設定されていない非常に小さな河川である。河川沿いには農地が広がる他、家屋も十数軒ほど点在しているが、流域の大部分は携帯電波の電波不感帯に該当している。

ハビウ川流域では、2018 年、胆振東部地震により多数の山腹斜面にて尾根付近のみを残した表層崩壊が発生した⁴⁾。流域では、斜面表層の保水性の高い降下火砕堆積物の流失に伴い、以前に比べて降雨時の流出特性や土砂生産特性が変化している可能性も懸念される。このため、本研究ではハビウ川上流域を対象とし、降雨の流出特性を把握すると共に、降雨時に河道内の状況を把握し、早めに避難情報につなげるための治水安全性向上に向けたシステム開発の対象地とした。

3.2 ハビウ川における氾濫危険水位の推定方法

ここでは、ハビウ川にどの程度の流量が流れることで氾濫危険水位に到達するかについて、非定常平面 2 次元氾濫解析より検討を行った。数値解析モデルには iRIC ソフトウェアに梱包された Nays2D Flood（清水 2003⁵⁾）を用いた。

計算条件は下記の通りである。計算初期の地形データには胆振東部地震発生後に計測の河川 LP データ（北海道建設部提供）を用いた。計算範囲は、図-2 に示す観測地点から下流域を対象とし、ハビウ川を中心に全長 1.7km 、幅 85m の範囲に約 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ の計算格子を作成した。また、格子作成時、低水路内に少なくとも 5 セル程度が該当するようにした。

計算の水利条件は、ハビウ川の流量ピークが降雨後すぐに到達することから、初期の流量を $0.15\text{m}^3/\text{s}$ （観測地点における 2019 年観測期間のおおよその最小流量に該当）とし、2 時間かけて流量が $10\text{m}^3/\text{s}$ まで線形的に増加、以後、流量 $10\text{m}^3/\text{s}$ が 1 時間続く、計 3 時間実施することとした。これより、流量変化に伴う低水路内の水位変化と氾濫の有無、氾濫箇所、氾濫時の水位を確認した。

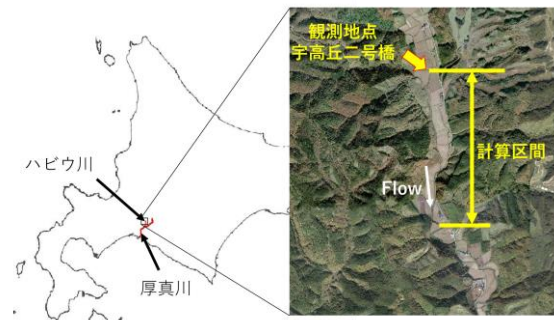


図-2 厚真川とハビウ川の位置図と、観測機器の設置位置

なお、各セルの粗度係数には 0.035 を与えた。

3.3 ハビウ川現地データの取得

観測機器は、ハビウ川上流（図-2、厚真川との合流点より約 7km 上流）にあたる北海道勇払郡厚真町宇高丘にある二号橋の横に位置する河岸と河道内に設置した。観測機器は、転倒マス型雨量計（太田計器製作所、OT-501S）、水位計（応用地質株式会社、S&DLmini）、自動撮影カメラ（ハイクカム、SP2）とし、水位計は 10 分ごとに計測、自動撮影カメラは 10 分ごとに 15 秒撮影を行う設定とした。カメラの画像は現地の状況を確認するほか、STIV 法⁶⁾による表面流速の解析と流量の算定を行った。なお表面流速の解析ソフトには、KU-STIV⁷⁾を使用した。H-Q 曲線の作成を行うことで出水時の流量データを得られるようにした。観測は 2019 年 9 月 3 日から開始した。

図-3 にハビウ川に最も近い AMeDAS（厚真）における降雨データの経年データを示す⁸⁾。図より、本流域付近の降雨強度は比較的小さく、過去 20 年で 4 度、最大の日降水量が 100mm を超える降雨を記録する程度のような地域であることが分かる。図-3 に示すとおり、過去の最大日降水量は 187mm である。2019 年の降雨は、突出して大きな値は記録しておらず、最大日降雨は例年程度の 61mm （9 月 23 日）であった。2019 年の最大降雨は、本観測機器設置後に記録されており、今回、複数回の降雨イベントの現地データを取得できた。

4. 結果と考察

4.1 ハビウ川における氾濫危険箇所と水位の推定

図-4 に、氾濫計算で確認された計算内の最大水位のコンター図を示す。また、図中に氾濫可能性の高い場所（A, B, C）を示す。図-4 より、上流域（図-4 の A 地点）で

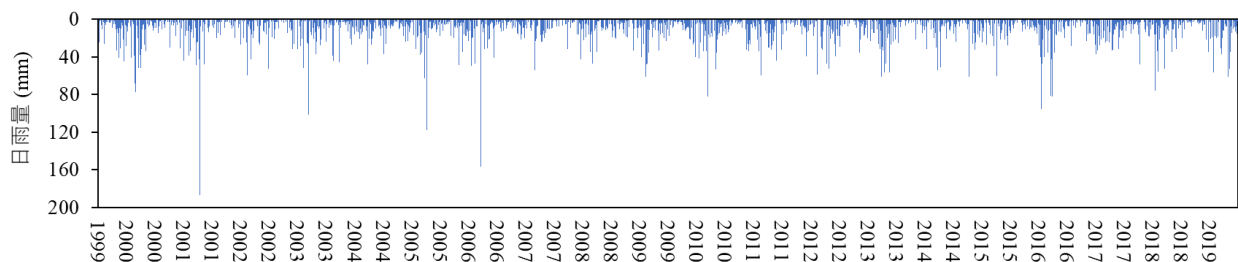


図-3 厚真流域付近の日降雨量の経年変化（AMeDAS、厚真）

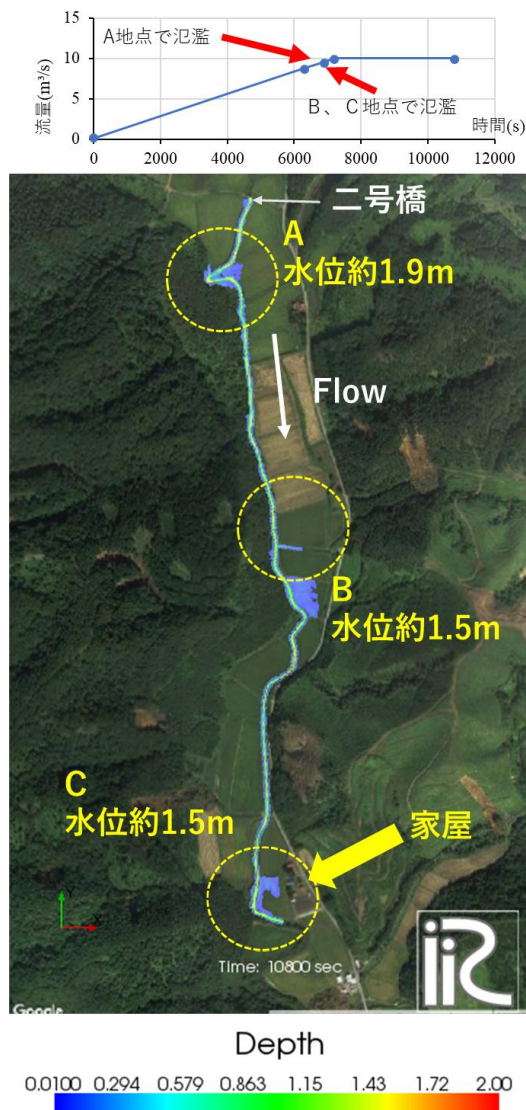


図-4 氾濫計算における最大水深コンター図および
ハイドログラフ

は、2m に満たない水位で氾濫している箇所があることが分かる。氾濫は3か所で確認され、上流地点が最も早く、次いで下流2地点がほぼ同時に越水氾濫した。これらの氾濫は、いずれも本計算条件での流量ピーク ($10\text{m}^3/\text{s}$)

前に生じ、時間経過とともに氾濫域が広がった。

氾濫場所と農地・民家の位置との関係を見ると、本水理条件下では越水氾濫箇所隣接した農地のみが直接浸水している。また、浸水箇所が家屋に迫っている様子(図-4のC地点)が確認された。このことから、ハビウ川のような小川では比較的小さな流量でも越水氾濫が発生し、家屋まで氾濫が到達する可能性が高いことが分かる。今回は $10\text{m}^3/\text{s}$ まで流量が増加と想定して計算を行ったが、さらに大規模な降雨に伴い短時間で流量増加する場合まで想定して計算しておくことも必要と考えられる。また、こうした計算から得られた氾濫危険性マップを市町村など行政側に提供することで、事前に局所的な河岸の嵩上げやハザードマップの作成などの対策が行いやすいものと考えられる。

ただし、ハビウ川も含め、厚真川水系では2018年胆振地震以前の水位情報が殆ど存在せず、災害前後における流域内の流出特性の変化については分かっていない状況にある。このため、上記の事前に予測した氾濫危険性のみでなく、地元の居住者が以前の降雨時の水位上昇の感覚をもとに避難を判断することをできる限り避けるため、観測機器を用いて河川の情報を取得し、リアルタイムでの雨量や河川水位の変化を把握することで、氾濫の危険性を居住者に伝えるためのシステムを構築することも重要と考えられる。また同時に、本流域での多数の斜面崩落後の流出特性の変化も検討し、把握していくことも重要であると考えられる。

4.2 ハビウ川における降雨に伴う河川水位と流量変化

図-5に、現地観測にて得られた2019年9月3日から11月13日までの時間降水量(mm)と観測水位、H-Q曲線より作成した流量ハイドログラフの時間変化を示す。図中の観測水位は、観測地点付近に設けた基準点からの差で表示している。

図-5より、観測された降雨イベントはいずれも1時間降水量がいずれも15ミリに満たなかったが、水位、流量ともに大きな変化が確認されたことが分かる。図-5によると、9月23日や10月4日の降雨時、平水時の水位は短時間で60～70cm程度上昇したことが分かる(本地点の平水時の水深は15～20cm程度)。

図-5より、9月23日と10月4日の2回の降雨について

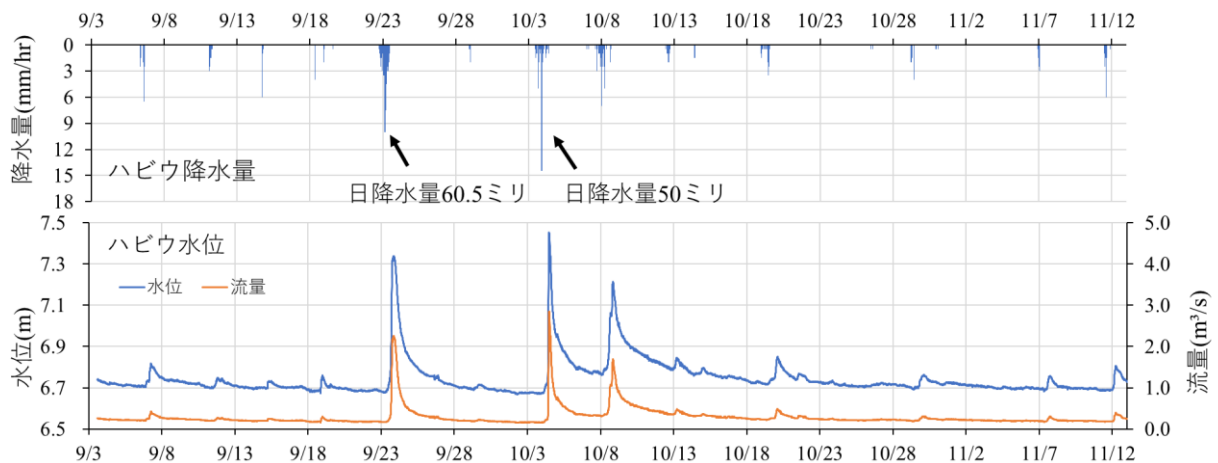


図-5 観測地点における時間降水量(mm)、水位、流量



図-6 10月4日の現地の状況
左：9時24分、右：12時

て総降雨量に対する水位変化を比較すると、総降雨量の多い9月23日より、降雨ピーク値の大きい10月4日の方が水位の上昇量が大きいことが分かる。これは、厚真川水系の土壌は保水性の高い降下火砕堆積物で構成されており、小規模の降雨であるほど雨の大部分が土壌に貯留されるためと考えられる。また、降雨ピークが観測された時間と水位・流量ピークとの時間を比較すると、9月23日は降雨ピークの約3時間後、10月4日は降雨ピークの約1.5時間後に水位、流量ともにピークを迎えたことが確認され、雨量が多いほど降雨ピークと水位・流量とのピーク時間の差が小さくなる傾向が見られた。これについては、小規模の降雨ほど一旦土壌に貯留され、流出時間に差ができていたためと考えられる。

なお、水位上昇の様子を図-6に示す。9月23日の今回の降雨規模では、図-5に示す通り、最大2.8m³/sほどの流量が流れたと推察され、事前の数値計算結果と比較すると、氾濫危険性は低かったことが分かる。

4.3 雨量データ（観測値とXRAINデータの比較）

図-7に、観測地点の雨量データとX/CバンドMPレーダ(XRAIN)リアルタイム雨量情報による当該地点の雨量データの比較を示す。雨量データは、9月23日及び10月4日のものを用いた。XRAINデータはDIASデータ俯瞰・検索システムより観測機器を設置した地点の1分間の雨量データを積算することによって求めた⁹⁾。X/CバンドMPレーダは、CバンドMPレーダ雨量をXバンドMPレーダ雨量と組み合わせることで、従来のXRAINに比べて高精度な観測を可能にしている。道内では、X/CバンドMPレーダ(XRAIN)配信が適用されており、現在、北見や知床半島付近を除いた道内全域がカバーされている。

図-7より、当該区間の雨量データとX/CバンドMPレーダ(XRAIN)データを比較すると、今回の規模の雨量条件下において、両者の差は比較的小さいことが分かる。これより、今後の降雨分布と流出特性の検討には、X/CバンドMPレーダ(XRAIN)リアルタイム雨量情報を用いる。ただし、今回の降雨イベントはいずれも低気圧及び前線によるものであり、台風や線状降水帯などによる局地的な降雨イベント発生時の誤差は、今回収集したデータのみでは検討できない。この点について、今後も継続して調べる予定である。

5. まとめ

本研究では、過疎地や電波不感帯地域における居住者と生産空間に対する防災力向上に関する提案を行うことを目的に、雨量・氾濫情報提供システムに関して検討を行った。結果、上述の事前の数値計算による氾濫危険箇

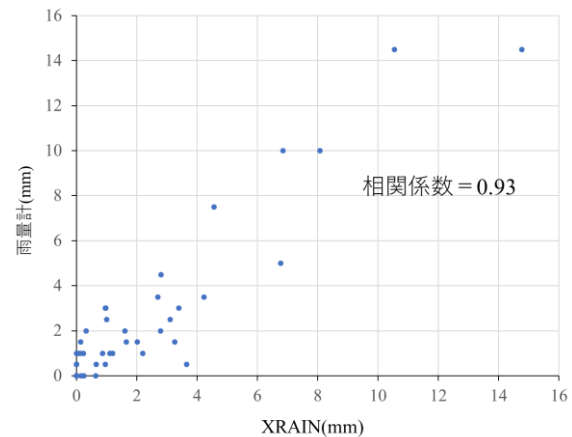


図-7 観測地点における実測およびXRAINの雨量データの比較

所の推定と、実河川に設置した水位観測データ、無線を利用したクラウドシステムを連携することで、ある程度リアルタイムでの運用が可能になると考えられる。しかしながら、厚真川水系のように流域の大部分で山腹から表土層が流失した場合の流出・氾濫特性については不明確な点が多く、改めて確認・検証する必要がある。この点は、土層内での降雨の貯留も考慮した分布型流出解析モデルを用いて現在検討中であり、結果は発表にて紹介する。また、今回収集できたデータは非常に限りがあいため今後も観測等を継続的に続けて検証していく必要がある。

6. 謝辞

本研究は、ロバスト農林水産工学国際連携研究教育拠点構想および、一般財団法人北海道河川財団による北海道胆振東部地震における厚真川流域の土砂災害に関する分野横断型研究の支援を受け実施された。また北海道建設部にデータ提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

7. 参考文献

- 1)土木学会 2016年8月北海道豪雨災害調査団：2016年8月北海道豪雨災害調査団報告書，2017年4月
- 2)京都大学 防災研究所：2017年九州北部豪雨災害調報告書，平成30年3月
- 3)国土交通省：令和元年台風第19号等による被害状況について（第48報）
- 4)基礎地盤コンサルタンツ株式会社：平成30年胆振東地震調査報告書
- 5)清水康行：河道平面形状の形成における河床・河岸変動特性の相互関係について，水工論文集，第47巻，2003年2月
- 6)藤田一郎・河村三郎：ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み，水工学論文集，第38巻，pp.733-738，1994.
- 7)KU-STIV ver1.4.4.3 株式会社 ビーシステム
- 8)気象庁：過去の気象データ・ダウンロード，<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- 9)DIASデータ俯瞰・観測システム，<http://search.diasjp.net/finder>