

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属	役職	
	にへい やすお 二瓶 泰雄	東京理科大学 理工学部土木工学科	教授	
②技術研究 開発テーマ	名称	車両通行情報を活用した洪水氾濫モニタリングシステムの構築		
③研究経費 (単位：万円)	平成 年度	平成 年度	平成 年度	総合計
※端数切り捨て。	249万円	249万円	万円	498万円

④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)

氏名	所属機関・役職 (※平成 年3月31日現在)
柳沼 秀樹	東京理科大学理工学部土木工学科・講師
小野村 史穂	東京理科大学理工学部土木工学科・助教

⑤研究の目的・目標 (様式流域-1、流域-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)

近年全国各地で異常豪雨に伴う洪水氾濫が発生している。H30年西日本豪雨での岡山県小田川の堤防決壊により広域の洪水氾濫が発生し、岡山県倉敷市真備町では51名が死亡し、逃げ遅れて自衛隊や消防などに救助された人が2000人以上に及んだ(真備町の人口の約1/10)。2019年では、台風19号、21号により広域の浸水被害が発生し、100名超の死者が発生した。このためのハード・ソフト対策の整備・展開が求められるが、ソフト対策として、いつ、どこで洪水氾濫が発生し、洪水氾濫が数時間先にどのように移動するかを把握する手法が皆無である。

本研究では、車両通行情報に関する交通センシング技術に基づくリアルタイム洪水氾濫状況のセンシング技術を開発・応用する。このために、交通センシング新技術として、①ETC2.0等による車両通行情報に基づく洪水氾濫エリア同定、及び、②車載型浸水深センサに基づく移動型浸水深計測技術の開発を行う。①では、洪水氾濫事例におけるETC2.0プローブデータを収集し、出水時・平常時データより得られる車両通行状況や、水害時の時々刻々の洪水氾濫状況データ(主に氾濫シミュレーションによる結果)を整理し、ETC2.0プローブデータによる洪水氾濫範囲の推定可能性を検証する。②では、車載型を念頭とし、実車両に取り付けた浸水センサの計測特性について実験的に検討する。

本システムの社会実装により、現状の氾濫情報をほぼリアルタイムで把握可能となり、河川～氾濫原における流域治水施策における避難行動等のソフト対策として大きく寄与するものと期待される。

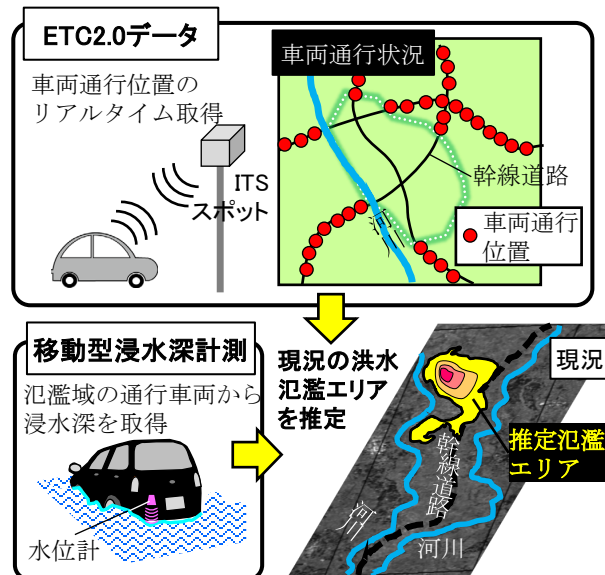


図-1 ETC2.0データによる洪水氾濫マップ推定の概要

⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

1. 車両通行情報に基づく洪水氾濫モニタリング手法の概要と解析条件について

(1) ETC2.0 の概要

電子料金収受システム (Electronic Toll Collection (ETC) system) は、有料道路の料金収受として開発・利用され、有料道路上の料金所をノンストップで通過できる。この ETC は、高度道路交通システム (ITS, Intelligent Transport System) の一つであり、渋滞緩和などに大きく貢献している。その後継である「ETC2.0」は、道路上に設置された ITS スポット (ETC2.0 路側機) と自動車間で双方向の高速・大容量通信を行い、従来の ETC よりも広範囲の渋滞・交通規制情報や安全運転支援の提供が可能となっている。ITS スポットにて、車両内に蓄積されたデータを ITS スポット通過時に一斉送信する方式を取っている (<https://www.go-etc.jp/etc2/index.html>)。ITS スポットの設置間隔は都市間高速道路で約 10~15km、と市内高速道路で約 4km であり、設置数は 1700 か所に上る。このため、一般道を走行した際のデータは高速道路上の ITS スポット近傍を通過する際にサーバーに送信されることとなり、一定のタイムラグが生じるものと考えられる。車両から ITS スポットに送信されたデータは、プローブサーバー、インターネットを介してリアルタイムで道路管理者に送られ、種々のモニタリングや分析に活用されている。なお、ETC2.0 ではプライバシー保護のため一般プローブの特定情報、すなわち車両の始動および停車の前後 500m 程度のデータについては取得不能とすることで、車両の特定といったリスクに配慮している。

ETC2.0 の収集データは大別して、①走行履歴データと②挙動履歴データである。①走行履歴データは時間や緯度経度、速度などの位置情報を中心としたデータである。②挙動履歴データは、時間、前後左右の加速度、ヨー角速度などである。

本研究では、国土交通省より出水後に収集するプローブデータ様式を対象に整理、分析を行っているが、処理内容はリアルタイム実行可能なものである。

(2) 対象洪水イベントと氾濫シミュレーションについて

ETC2.0 による車両通行データと実際の洪水氾濫状況を比較し、ETC2.0 データによる洪水氾濫域推定の可能性を検討する。対象洪水イベントは、2015 年関東・東北豪雨時の鬼怒川、2018 年西日本豪雨時の小田川、2019 年佐賀豪雨時の六角川周辺、2020 年 7 月豪雨の球磨川、とする。検討対象機関や解析手法は表 1 に示すとおりであり、解析には MIKE by DHI を用い、河道内流況の一次元計算と氾濫域の平面二次元計算を行った。2019 年台風 19 号・21 号時の千曲川や千葉県一宮川なども調査しているが ETC2.0 のデータ取得が間に合わなかったため、今回は解析対象から除外する。

表 1 対象洪水時例の概要

イベント	河川	地域	計算期間	氾濫種類
関東・東北豪雨	鬼怒川	茨城県常総市	2015/9/10 - 11	外水
西日本豪雨	小田川	岡山県倉敷市真備町	2018/7/6 - 7	外水
佐賀豪雨	六角川	佐賀県武雄市	2019/8/27 - 28	内水
令和 2 年 7 月豪雨	球磨川	熊本県人吉市	2020/7/4	外水

(3) ETC2.0 のデータ解析方法

ETC2.0 のデータ整理には、ArcGIS Pro2.5.1 (ESRI 社製) を使用し、ETC2.0 の位置情報を地図上に描画した。データを一定時間間隔 (1 時間等) に分け、各時間帯における通行状況や走行挙動を調べた。その結果と氾濫シミュレーション結果を重ね、車両通行状況と洪水氾濫の関係を比較した。ETC2.0 のデータ解析期間は、各洪水の発災日を挟む 10 日間のデータとした。特に、発災前日と当日、翌日の 3 日間に関しては、詳細に検討した。

2. 車両通行情報による洪水氾濫モニタリング結果と考察

(1) 1時間毎の車両通行状況と氾濫状況の比較

a) 2015年鬼怒川事例

ETC2.0による車両通行状況と氾濫解析による氾濫範囲をプロットしたものを図-2に示す。車両通行状況はピンク色の点で示し、氾濫範囲は浸水深コンターで図示している。これより、(a)溢水開始直後(9/10 7-8時)では、南北を通る国道294号線(図中点線)を中心に車両通行が確認され、この時点では車両通行に与える洪水氾濫の影響が少ないと考えられる。次に、(b)10-11時では、溢水地点から洪水流が南下したことに伴い、国道294号線上では車両通行範囲も南側にずれている。さらに、堤防決壊後の(c)15-16時では、洪水氾濫範囲を避けるように車が通行している。同じことは(d)20-21時の時点でも確認され、鬼怒川と小貝川に挟まれた氾濫範囲内の車両通行がほぼ行われていない。

以上より、車両通行状況と氾濫範囲は良好な対応関係が見られる。ただし、車両通行状況のデータ数は決して十分ではなく、特に、主要幹線道路(ここでは国道294号線など)以外の生活道路では、平常時でも車両通行データ自体がない時間帯が大多数である。そのため、ETC2.0データより洪水氾濫範囲を推定するのは主要幹線道路とその周辺に限定され、生活道路を含む道路網では難しいと考えられる。

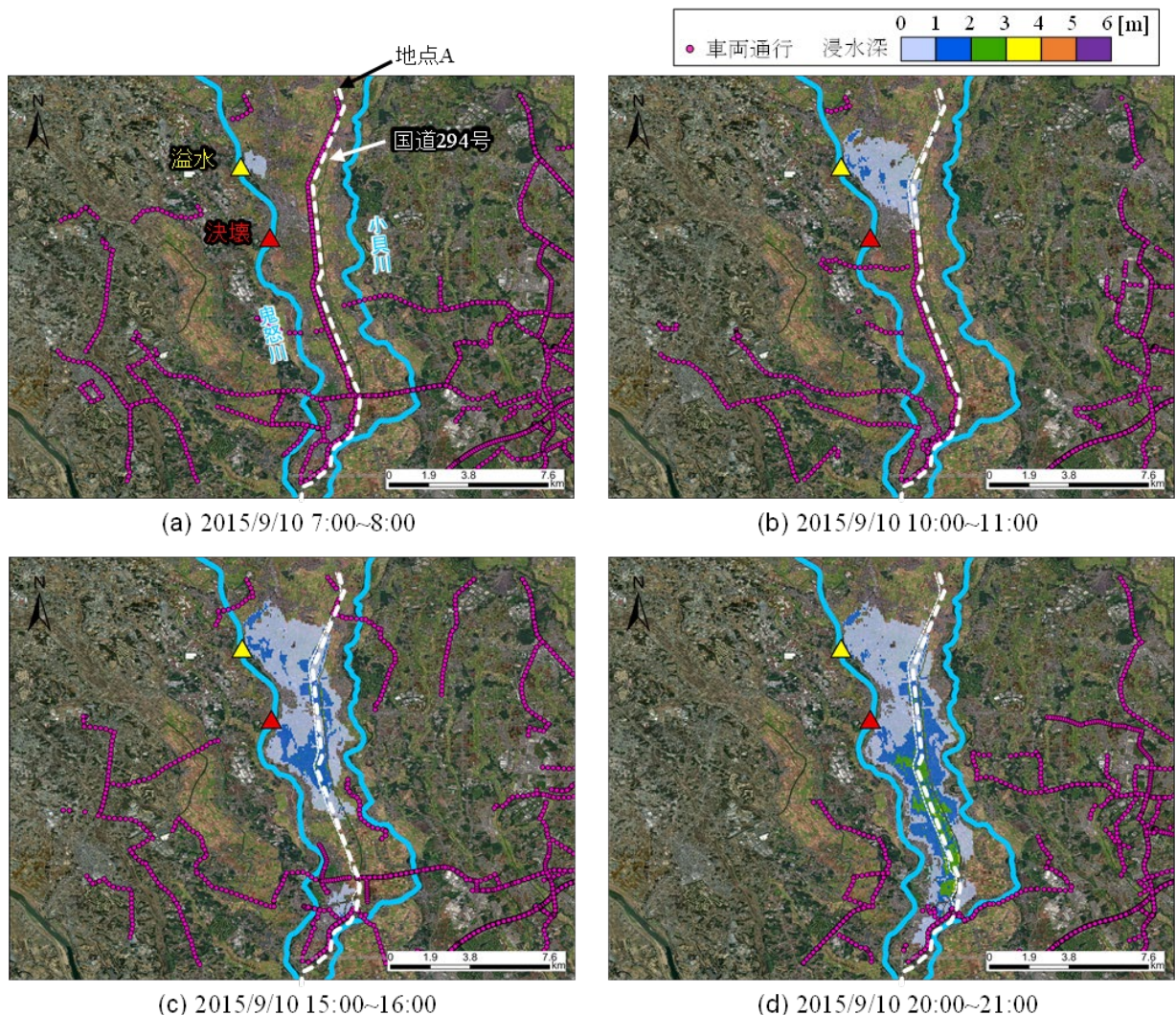


図-2 2015年鬼怒川洪水氾濫時における車両通行状況と浸水深マップの比較

b) 2018年小田川事例

図-3は、小田川における洪水氾濫状況と車両通行状況を重ねたものであり、見方は図-2と同じである。これより、(a)2018/7/7 1-2時は、深夜であるために車両通行量そのものが少なく、氾濫域との関連

は薄い。(b)6-7時では、小田川北側の図中西部と中央部において洪水氾濫が発生しており、そのエリアの車両通行は発生していない。また、この時刻では、図中東側の車両通行は確認される。次に、(c)12-13時では、小田川と高梁川に挟まれるエリア全体に浸水が広がっており、そのエリアにおいて車両通行は確認されていない一方で、氾濫域外縁部の走行が認められる。さらに、(d)16-17時には西側から氾濫域外縁部にアクセスする車両の動きも確認でき、これらの挙動は、2015年鬼怒川洪水と類似する。また主要幹線道路以外の車両通行データが少ないことも、2015年鬼怒川と一致している。

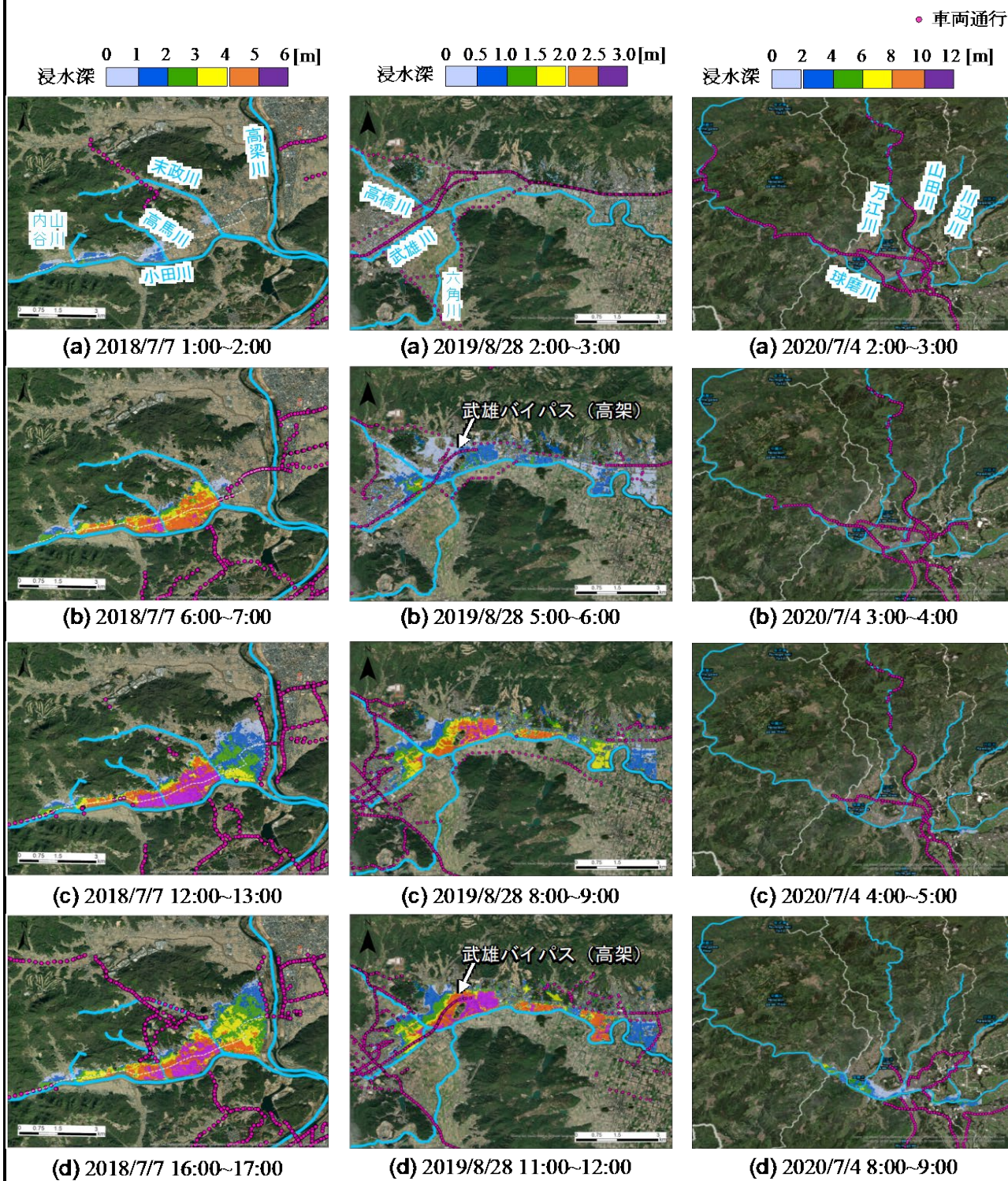


図-4 2018年小田川洪水氾濫時における車両通行状況と浸水深マップの比較

図-3 2019年六角川洪水氾濫時における車両通行状況と浸水深マップの比較

図-5 2020年球磨川洪水氾濫時における車両通行状況と浸水深マップの比較

c) 2019 年六角川事例

六角川における氾濫と車両通行状況（図-4）としては、(a)8/28 2-3 時の段階では一部降雨による浸水が発生しているが、浸水深が浅いため車両通行は生じている。浸水深が増大した(b)5-6 時では、高架道路である武雄バイパスを除いて浸水域内の車両通行量が激減している。浸水深が増大した(c)8-9 時や(d)11-12 時では武雄バイパス上を除いて浸水範囲内に車両通行は見られず、2015 年鬼怒川や 2018 年小田川と同じ結果となった。以上より、浸水深が浅い状況を除き、外水・内水氾濫ともに車両通行データから氾濫範囲を推定可能であることが示唆された。また、高架道路の取り扱いの重要性も示唆された。

d) 2020 年球磨川事例

熊本県人吉市周辺は山に囲まれ、高速道路付近以外は ETC2.0 プローブデータが少なく、1 時間の通行台数が 10 台に満たないなど、ほかの事例と比較しても地域性が確認された。車両通行量と浸水深を比較すると（図-5）、(a)2-3 時までには人吉市を中心に通行実績がある。しかし、(b)3 時以降にはそれまで通行のあった西側の球磨川下流方面は通行実績がなくなる。さらに、(c)4 時以降は通行していない箇所が更に東側へと遷移している。氾濫シミュレーションと比較しても渡地区が浸水してからちょうど浸水範囲の境界で通行実績が途切れている。他の事例と同様に、洪水氾濫と車両通行情報の関係性は非常に良好であることがわかる。しかし、前述の通り、現時点における当該地域の ETC2.0 プローブデータ量は十分とは言えず、浸水範囲を推定するには他のデータなどを活用する等の対策が必要である。

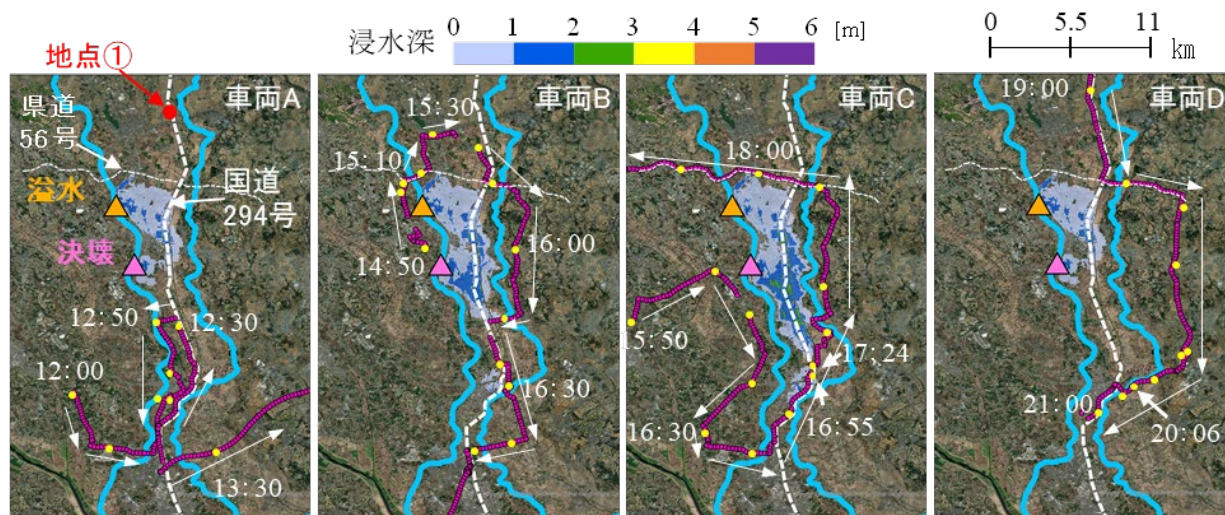


図-6 2015年鬼怒川氾濫における車両1台毎の通行軌跡(車両位置はピンク色の点、黄色の点は10分毎の位置)

(2) 車両一台毎の解析

より詳細に ETC2.0 により得られる車両情報を把握するために、車両 1 台に着目し、洪水氾濫発生時の車両挙動を確認する。2015 年鬼怒川洪水事例に関して、9 月 10 日における 4 台の車両の軌跡図を図-6 に示す。図中の左側から、便宜上車両 A, B, C, D と呼ぶ。まずは車両 A について、12:00 頃から 12:30 頃にかけて国道 294 号を北上した。しかし、12:49 頃には左折を繰り返した後、南下している。堤防決壊が生じたのは 12:50 頃であり、車両 A は氾濫流から避難するような通行をした可能性がある。

次に、車両 B は 15:00 頃に鬼怒川を渡り、県道 56 号を東側に移動していたが、その直後から一度、北側を大回りして再び県道 56 号線に戻り小貝川を渡った。さらに 16:00 から 16:30 の間に車両 B は一度国道 294 号を通行している。これらのことからこの時間帯において、県道 56 号付近には氾濫が発生したことにより、車両 B は迂回した可能性が考えられる。

車両 C は、車両 B とすれ違いながら、16:33 頃鬼怒川左岸側から北上した。16:55 にデータが途切れ（エンジンを切り）、約 40 分後に走行を再開した。その際、国道 294 号ではなく横の小道を使用し、小貝川を横切った。その後 17:46 頃に車両 C は県道 56 号を車両 B と異なりそのまま通行しており、車両 B が通過してから約 3 時間後には県道 56 号線付近の水が引き、通行可能になったことが伺える。

最後に、車両 D は 19:06 に国道 294 号を南下してきたが途中で左折し、迂回・南下して 20:00 頃に小貝川を横断した。国道 294 号が通行できたならば迂回路を使用する必要はないので、この時点では浸水している様子が伺える。

以上より、車両1台毎の挙動に着目した結果、それぞれの時間帯において、通れなくて迂回する様子や、数時間後には通行できた様子をうまく捉えていた。しかし車両の挙動は運転手の自由意思によって決まるものであり、偶然の可能性もあるが、どの車両も浸水範囲を避けていることは明らかであるため、このような挙動の車両データが大量に存在すれば浸水範囲を推定するのに使用できる。

(3) 洪水氾濫エリア抽出指標の検討

生活道路全体では、車両未通行の道路が洪水の影響を受けているかの判別が容易ではない。そのため、主要幹線道路における Time-Space 図 (TS 図、横軸：幹線道路上の起点からの距離、縦軸：時間) 上に車両通行実績と浸水深をプロットしたところ、車両未通行区間と浸水状況の関係性が確認された。この知見を発展させ、洪水時における時々刻々の通行量を平常時の値で除した「無次元車両通行量」の TS 図を作成し、浸水状況と良好な対応関係が確認された (図-7)。これより、洪水氾濫エリア抽出のための一つの指標として無次元車両通行量の基本的な有効性を確認した。

氾濫域外を走行する車両が氾濫域到達時に U ターンする傾向にあることに着目し、浸水域外縁部の検出を試みた。ETC2.0 データに格納されている流入・流出ノード (交差点) 情報の反転から U ターンを検知し、氾濫部以外での U ターンや用事を済ませてからの往復と行った例外を除くために車両速度が 30km/hr 未満かつ 10 分以内の転回であるといった条件により氾濫域遭遇時の U ターン判定を行った。2018 年小田川事例における 7/7 13:00-14:00 を例にすると、浸水範囲を囲むように U ターン地点が点在している (図-8)。この様に、U ターン地点が浸水範囲推定のための指標として有効であり、ETC2.0 プローブデータから推定可能であることが明らかになった。

3. 車載浸水センサに関する基礎実験

車両搭載型浸水センサ開発のために、車両に取り付けられたセンサが浸水を検知できるかを評価するための基礎実験を実施した。具体的には、実際の車両 (乗用車、セダンタイプ) の下部に複数個の圧力式水位計 U20 (Onset 社製) を取り付け、プール内で浸水させ、水位計測状況の評価した。ホースから定常な給水を行うことで水位を上昇させ、目標水深 27cm に到達した後は水位を維持し、排水・水位を下降させた。その結果、車両下部に取り付けられた水位計はいずれの位置においても検証値と概ね良好に一致し、正常に浸水を検知できる可能性が示された。

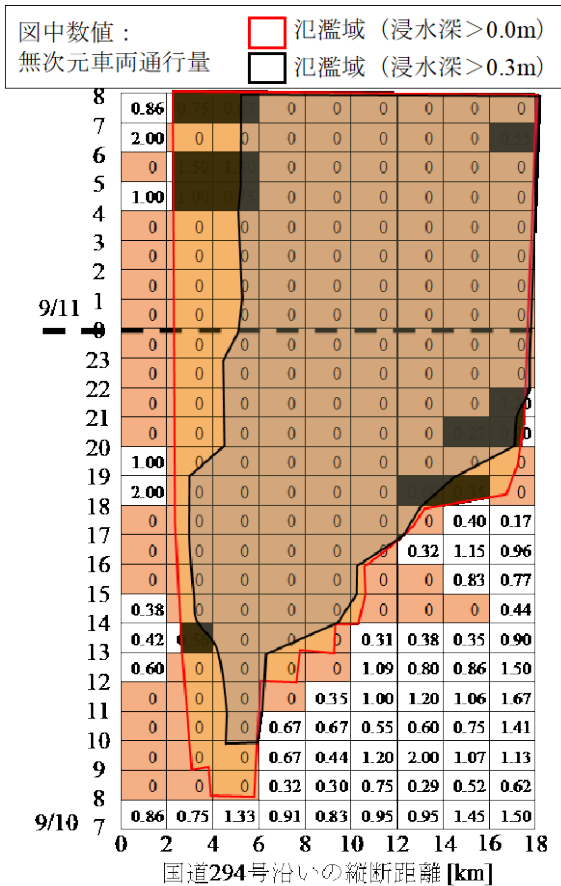


図-7 通行量 (表中の数値) と氾濫範囲 (赤枠内) Time-Space 図 (横軸の起点: 地点 A)

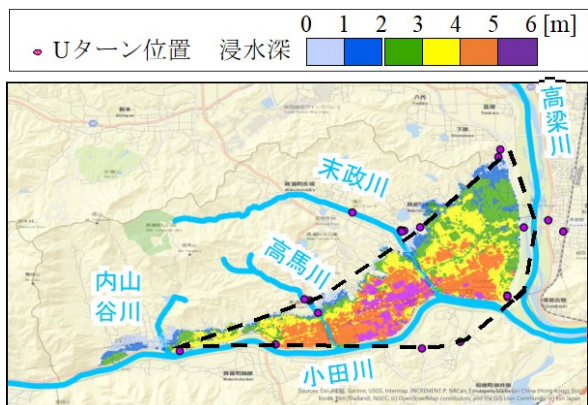


図-8 小田川事例における氾濫域と U ターン発生位置 (2018/7/7 13:00~14:00)

⑦研究成果の発表状況・予定

(本研究の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

- ・これまでに発表した代表的な論文
 - ・著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
 - ・国際会議、学会等における発表状況
 - ・主要雑誌・新聞等への成果発表
 - ・学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
 - ・研究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況
 - ・企業とのタイアップ状況
 - ・特許など、知的財産権の取得状況
 - ・技術研究開発成果による受賞、表彰等
- ・2020年度土木学会論文集B1(水工学)に論文投稿, 水工学講演会で発表
本間升一朗, 太田皓陽, 柳沼秀樹, 小野村史穂, 片岡智哉, 二瓶泰雄: 洪水氾濫モニタリングとしての車両通行情報の活用可能性の検討土木学会論文集B1(水工学), Vol.76, No.2, pp.I_721-I_726, 2020.11.
- ・2020年度土木学会年次学術講演会に投稿, 発表
本間升一朗, 柳沼秀樹, 小野村史穂, 二瓶泰雄: ETC2.0を用いた洪水氾濫時の車両通行状況把握の試み, 土木学会第75回年次学術講演会講演概要集, pp.II-233_1-2, 2020.9.

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

なし

⑨表彰、受賞歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

なし

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や流域計画・流域管理政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

(1) ETC2.0による車両通行情報による氾濫域推定可能性及び評価指標の検討

ETC2.0の本格稼働以後の氾濫事例として、2015年関東東北豪雨時の鬼怒川、2018年西日本豪雨時の小田川、2019年佐賀豪雨時の六角川、2020年7月豪雨時の球磨川を対象に、ETC2.0による車両通行情報を収集し、それを用いて洪水氾濫エリアの推定可能性を評価した。その結果、外水・内水氾濫ともに車両通行データから氾濫域を推定可能であることが示唆された。また、TS区やUターンによる氾濫外縁部の検知方法を提案した。今後は、より多くの事例収集を行うと共に、洪水氾濫の前半から後半にかけての推定可能性を詳細に検討する必要がある(2019年台風19号、21号時の千曲川や千葉県一宮川のETC2.0データは収集中である)。

ETC2.0は現状では普及途上であるが、旧規格の車載器が使用不可になる等の制約から普及台数が加速度的に伸びる可能性もあり、地方におけるデータ数不足といった課題は徐々に解消されることが期待できる。

(2) 車載型浸水深センサーの実験的検討

初年度には、車載型を念頭とした超音波センサーの浸水深計測に関する基本性能や課題について、室内実験を通して検討した結果、超音波センサーの限界が露呈した。最終年度には、実車両に水圧式センサーとつけた上で浸水実験を実施し、基本的な計測性能を評価した。浸水実験では水は流下していないため、氾濫水が流速を有する場合や車両が走行している場合に想定される動圧の影響については別途検討する必要がある。

⑩研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、流域計画・流域管理政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本システムの社会実装により、主要幹線に限られるが道路の通行状況を把握できると共に、それに基づいて氾濫範囲をほぼリアルタイムで把握することが可能となる。そのため、以下の効果が期待される。

1) 河川～氾濫原における流域治水施策における避難行動等のソフト対策として大きく寄与するものと期待される。すなわち、より精緻な氾濫状況の把握が、適切な避難情報の発令につながる。それに加えて、近隣住民の避難行動をより促し、逃げ遅れゼロの具現化に寄与するものと考えられる。

2) 洪水氾濫時には、氾濫状況の詳細な把握のために現地に出向くことがあるが、リアルタイムで通行可能な道路が不明である。また、排水ポンプ車の配置を決める際も、氾濫状況だけでなく、道路状況も併せて把握できることは非常に有用である。本研究成果により、この課題は解消できる可能性が高い。