

# SAR画像を用いた千曲川氾濫域抽出と浸水深推定

朝位 孝二\*・白水 元\*

\* 山口大学大学院創成科学研究科

## 要 旨

令和元年10月に発生した台風19号は中部日本、東日本に甚大な被害をもたらした。長野県を流れる信濃川水系千曲川においても堤防の破堤や越水に起因する外水氾濫が発生した。本報告ではALOS2の合成開口レーダー（SAR）画像を用いて千曲川流域の浸水域と浸水深の推定を行った。長野市穂保地区のSARによる推定浸水域は国土交通省資料のそれと同等であった。浸水深については実測値と比較してばらつきがあるが、2m以上の深いところでは整合性が良かった。飯山市では定量的評価はできなかったが定性的には妥当と思われる。

## 1. はじめに

令和元年（2019年）10月1日頃に形成が始まった低圧部はその後発達を続け、10月6日3時に南鳥島近海で台風19号（Hagibis）となった。台風になった時点での中心気圧は1000hPaであったが、わずか42時間後には915hPaまで一挙に気圧が低下した。急に発達した台風19号は勢力を維持したまま小笠原諸島に接近し、12日19時前に伊豆半島に上陸した。関東地方の平野部を縦断して13日未明には福島県沖の太平洋上に抜け13日12時には温帯低気圧に変わった。

この台風により関東地方、甲信地方、東北地方になどで豪雨をもたらし、全国で死者104名、全壊家屋3308件となる甚大な被害となった（内閣府2020）。

また堤防決壊も多く国管理河川では6水系7河川14箇所、兼管理河川では宮城県、福島県、茨城県、栃木県、埼玉県、新潟県、長野県で128箇所に上る。千曲川、那珂川、阿武隈川、久慈川などの一級河川や支川などの氾濫が多く引き起こされた（内閣府2020）。

今次災害のように広域かつ多岐にわたって氾濫が発生している場合には、その被害全容を知るには多くの時間や手間を必要とする。そこで人工衛星によるリモートセンシングが災害状況把握の上で有力な手法と期待され、甚大な災害の発生後に各国の衛星によって撮影が行われている。

災害後短時間で被災地の画像を取得し被災状況の把握や二次災害の危険察知を目的として、Lバンド合

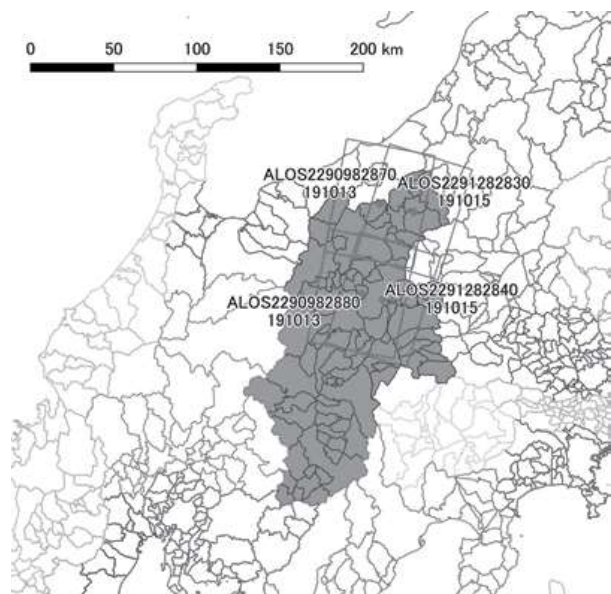


図-1 各シーンの観測範囲

成開口レーダー「PALSAR-2」を搭載した陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（ALOS-2）が運用されている。合成開口レーダー（SAR）は人工衛星から電磁波を放出し、地面におけるマイクロ波の後方散乱の強度を計測するもので、気象衛星に代表される光学画像と異なり夜間や曇天時にも観測が可能である。加えて、PALSAR-2に搭載されるLバンド帯は長波長で透過性が高く、降雨や雲による減衰に強いいため豪雨による河川氾濫や浸水などの気象災害に対して有

表-1 発災直後の千曲川流域を対象とした高分解能モード1での観測

シーン ID	観測日時 (JST)	衛星進行方向	観測方向	オフナディア角	偏波
ALOS2290982870-191013	2019/10/13 11:56	ディセンディング	右側	25.6	HH
ALOS2290982880-191013	2019/10/13 11:56	ディセンディング	右側	25.6	HH
ALOS2291282830-191015	2019/10/15 12:37	ディセンディング	左側	42.7	HH
ALOS2291282840-191015	2019/10/15 12:37	ディセンディング	左側	42.7	HH
ALOS2238710760-181024	2018/10/24 23:01	アセンディング	左側	32.4	HH

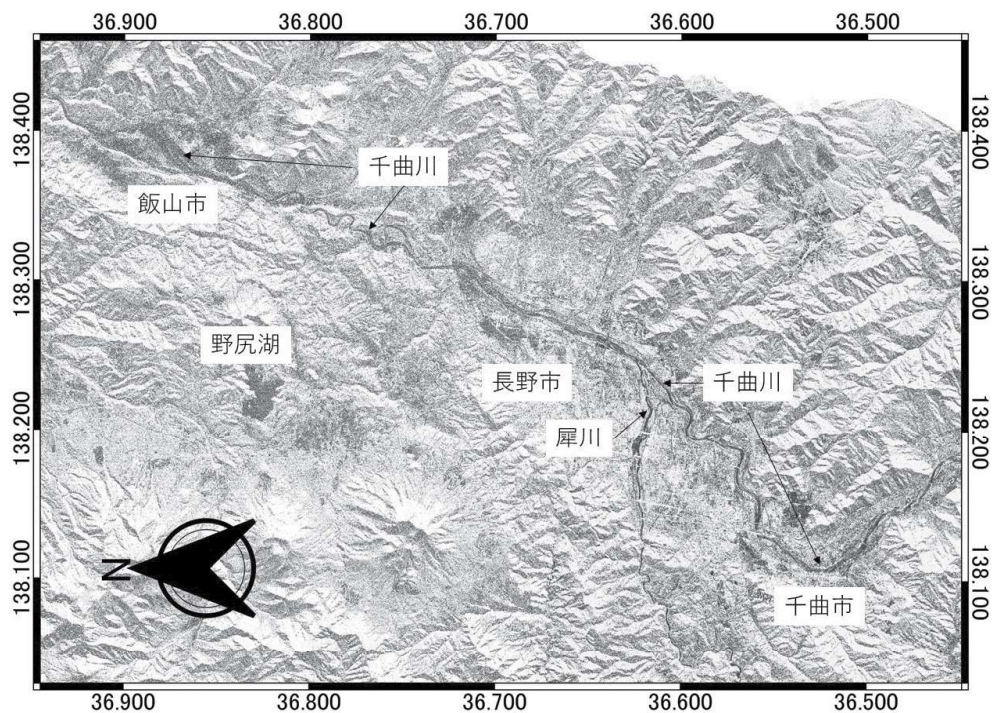


図-2 千曲川流域の観測結果

力な観測手段である。本稿ではだいち2号を運用するJAXAから提供されたPALSAR-2によるレーダー画像もとに千曲川流域の浸水域および浸水深の推定結果を報告する。

## 2. 千曲川流域の観測概要

千曲川流域を対象とした発災直後のPALSAR-2による観測は、10月13日11時56分開始、および、15日12時37分開始の高分解能モード1(単偏波、観測幅50 km、分解能3 m)のものがある。これらの観測範囲について図-1に示す。また、表-1に観測条件の概要を示す。衛星進行方向は衛星の南北の移動方向を示し、ディセンディングは南下しながらの観測であることを示

す。北上中の観測の場合はアセンディングと表現される。また、観測方向は進行方向を正面として左側にセンサを振った観測か右側に振った観測かを示す。オフナディア角は衛星の直下と衛星から観測対象中心を覗いた線とがなす角である。

本研究では、この観測のうち、浸水状況をよく反映した13日観測のシーンALOS2290982870-191013を対象に解析を行った。当該シーンのレーダー画像プロダクトは処理レベル2.1で、後述の解析時にはスペクルノイズ低減を目的にLee filter処理を付加している。また発災前の画像として2018年10月24日に観測されたALOS2238710760-181024を用いた。

図-2は2019年10月13日のSAR画像で、低散乱域を青く強調表示している。電磁波は地面に対して斜め

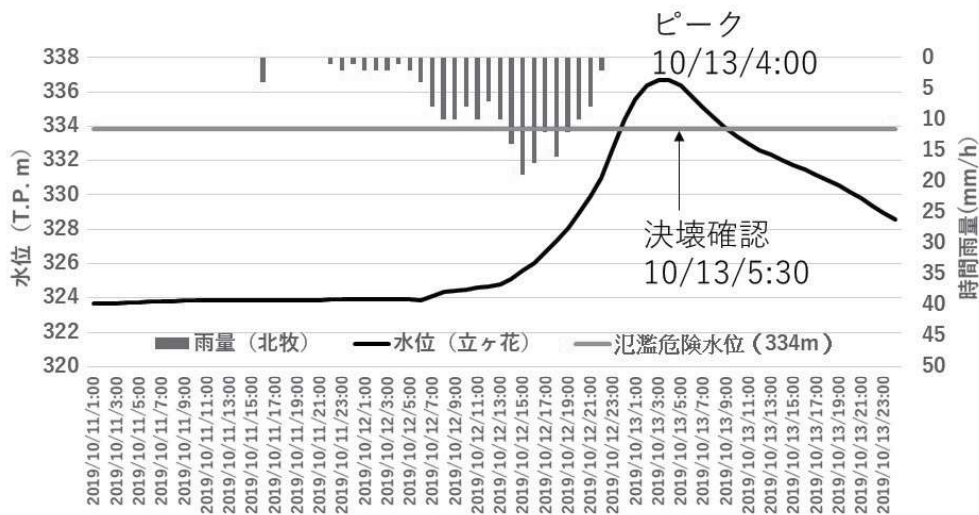


図-3 立ヶ花の水位と北牧の雨量

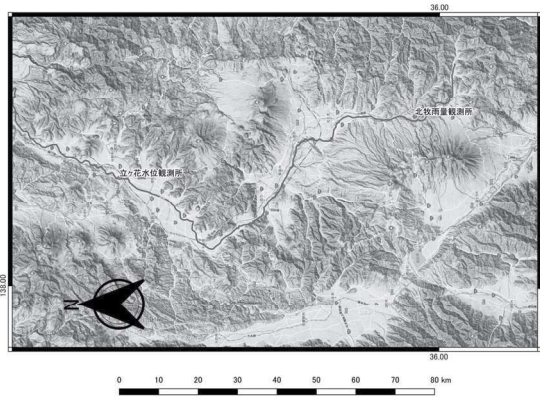


図-4 水位観測所と雨量観測所の位置

に入射するため、水面は鏡のように電磁波を入射方向とは逆方向に反射させるので散乱強度は小さくなる。一方、大地や建物の多い市街地は散乱強度が大きくなる。よって低散乱域は水域と見なすことができる。ただし、河川や湖沼など氾濫によらない水域も散乱強度は小さいため、氾濫域と自然の水域との区別を既存のマップなどで行う必要がある。

図-2には濃い青色で千曲川と犀川が捉えられている。また長野市市街部の左岸には濃い青色が広がっているが、この部分が破堤による浸水域である。また飯山市周辺にも濃い青色が広がっており、浸水を示している。

### 3. 長野市穂保地区の浸水域・浸水深

#### 3.1 河川水位の状況

長野市穂保周辺では千曲川左岸側堤防の決壊により甚大な氾濫被害を受けた。最寄りの立ヶ花水位観測所の水位を図-3に示す。観測上は破堤箇所からお

よそ8.5km下流側に位置している。水位はT.P.表示である。また参考までに、北牧の時間雨量も示している。北牧雨量観測所と立ヶ花水位観測所は80kmほど離れている。両観測所の位置関係を図-4に示す。

氾濫危険水位は334mであるが、10月12日22:00頃に氾濫危険水位に到達している。北牧における降雨のピークは10月12日14:00頃であるが、立ヶ花における水位のピークは13時間遅れて10月13日4:00である。その後水位は低下し、13日8:00に氾濫危険水位まで低下した。氾濫危険水位を超えた時間はおよそ9時間であった。

国交省資料（2020）によれば10月13日0:55に堤防越水が確認されている。立ヶ花の氾濫危険水位到達からおよそ3時間である。堤防決壊が確認されたのが同日5:30であるので、ピークからおよそ90分後である。実際に破堤したのはそれよりも早かった可能性はある。

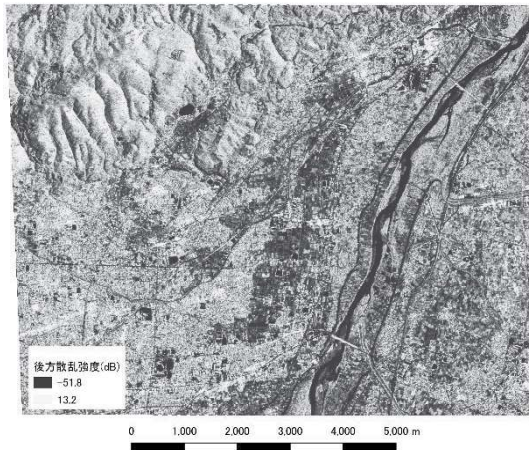
#### 3.2 長野市穂保地区の浸水域・浸水深

本節では、前述の発災直後の観測によって得られたSAR画像を解析し、長野市の穂保地区における浸水深分布を示す。また浸水痕跡高の実測結果との比較を行い、適合性を評価する。

図-5は発災前後のSAR画像である。図-5(a)が発災前（2018年10月24日12:37）であり図-5(b)が発災前（2019年10月13日11:56）である。発災後の観測時刻は堤防決壊確認時刻からおよそ6.5時間後である。観測時刻の立ヶ花の水位は332mであり、避難判断水位（T.P.333.4m）を下回っていたが氾濫注意水位（T.P.329.3m）はまだ3mほど上回っていた。

発災前の千曲川の水位は低いため砂州を確認できる。また左岸側に青色の領域が広がっているが、この場所は圃場であり、散乱強度が低下しているもの





(a) 2018年10月24日の観測

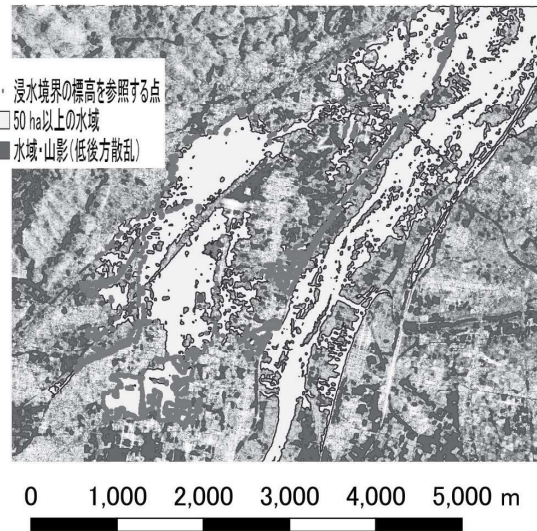
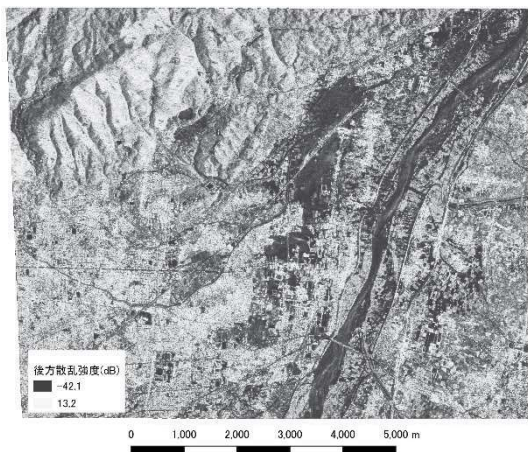


図-6 SARによる長野市穂保周辺の浸水域



(b) 2019/10/13の観測

図-5 発災前後の画像の比較

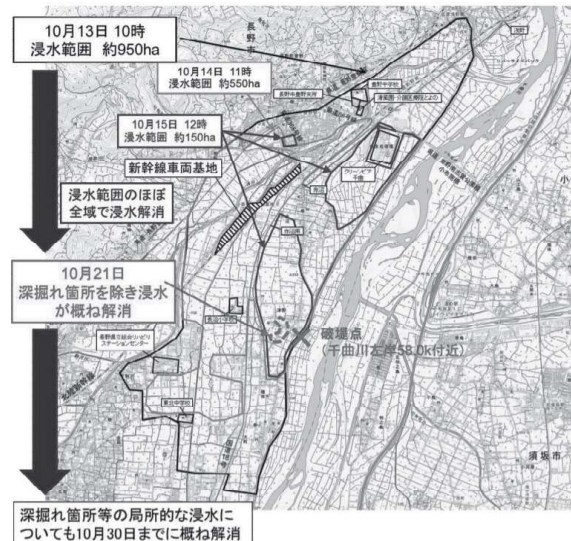


図-7 千曲川破堤箇所近傍の浸水範囲 (国土交省 2019)

と思われる。一方、発災後では前述のように千曲川の水位は低下しておらず発災前画像と比較して水面幅が広いことがわかる。また青色の範囲も広がっており浸水の様子が捉えられている。

大木 (2016) らに倣い、SAR画像から恒常的に水域である箇所を多数サンプルとし、水域の後方散乱係数の平均値 $\mu$ および標準偏差 $\sigma$ を求めた。后方散乱係数が $\mu+\sigma$ 以下となる箇所を二値化し水域として抽出した。この水域の分布を示すラスタ画像にMajorityフィルタを適用した後ポリゴン化した。そのうち、広大な面積のポリゴンについてポリゴン辺縁の地盤高データ(国土地理院5 mメッシュDEM)を参照して浸水域の水面高を仮定した。ここではその水面高を仮想水面と呼ぶ。図-6は上記の処理を行って得られた浸水域である。河川増水を含み、今回の外水氾

濫で生じた水域を黄色で示した。氾濫に起因しない水域や山影で散乱強度が低下した部分は紫色で示している。

比較のため図-7に国土交通省(2019)の浸水範囲図を示す。概ね浸水域は一致しているが、SAR画像では浸水域内において浸水と判断されない領域(黄色のポリゴンで示されていない箇所)もある。この部分は家屋建物、樹木などが密に存在している箇所であり、電磁波が散乱するため散乱強度が低くならなかったためである。

黄色で示された水域ポリゴンのうち、河川でない箇所でも水域となったポリゴンを図-6中の赤色の点で示している。この点の地盤高を仮想水面高(氾濫水域の水位)とした。複数ある仮想水面高の平均値を



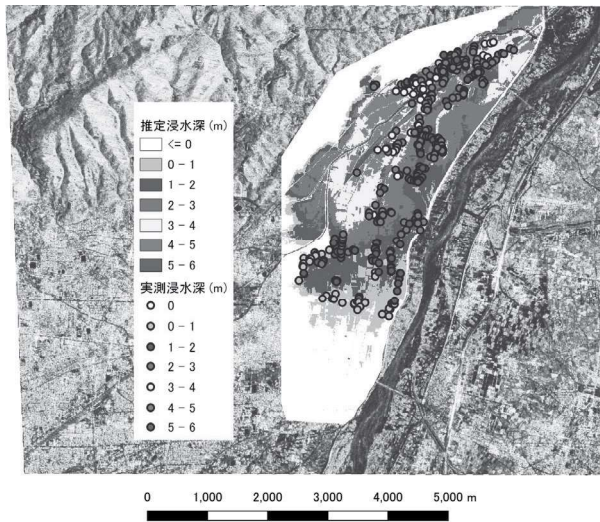


図-8 SARによる長野市穂保周辺の浸水深

この浸水域における仮想水面高とした。範囲内の地盤高と仮想水面高の差を推定浸水深として求めた。その結果を図-8に示す。ここで、図中の○は山口大学山本晴彦教授らの浸水痕跡調査の結果を浸水深分布と同様の浸水深階級で表示したものである。千曲川から西側に向かうほど地盤高は低くなるため、浸水深が大きくなるのが分かる。実測値も概ねその傾向を表している。特に新幹線車両基地のある箇所では浸水深は4~5m程度であったことが分かる。

SARによる推定浸水深と実測浸水深の比較を図-9に示す。横軸はSARによる推定浸水深で、縦軸は実測浸水深である。この図面に傾き1:1の二等分線が描かれている。この線上にデータがプロットされれば両者の数値は一致していることになり精度が良好であることを意味する。データは概ね二等分線上に集まってはいるものの、散らばりも見受けられる。実測値と推定値の平均の相対誤差は28%であり、また平均の誤差値(絶対値)は57cm程度であった。二等分線から離れたところにあるデータが平均の誤差値を大きくしているものと考えられる。

図-10に実測浸水深から推定浸水深を引いた差を示す。推定浸水深が2mより大きい箇所では本解析による推定はよく実測に対応している。浸水が浅い箇所では推定値が実測値に対して低く見積もられている。これは、図-10から確認できるように、浸水範囲の上流側や、下流側でも支流浅川の左岸側の一部で仮想水面高が低く見積もられていることが影響している。

#### 4. 飯山市・木島平村の浸水域・浸水深

本章では、前述の手法に沿って飯山市・木島平村

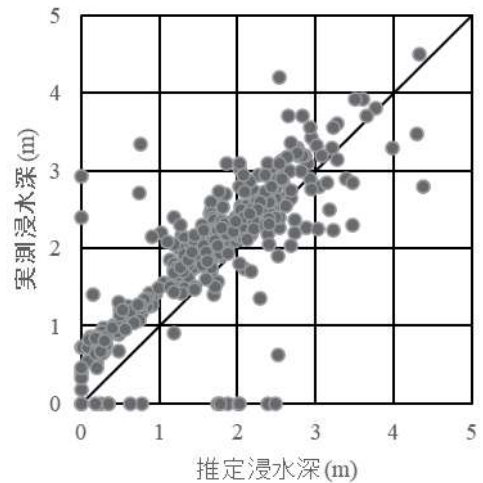


図-9 SARによる推定浸水深と実測浸水深の比較

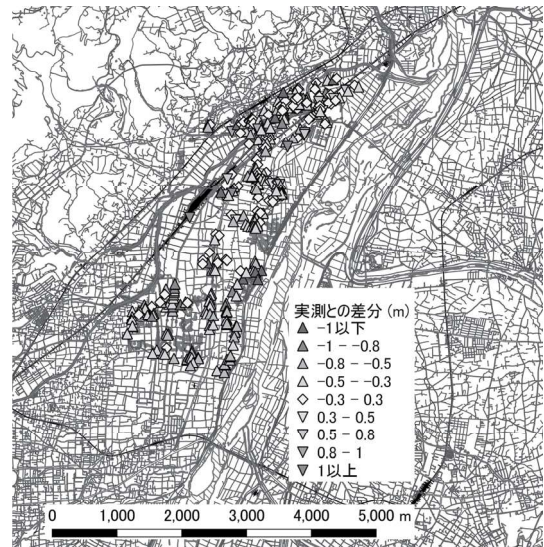


図-10 推定浸水深と実測浸水深の差

における浸水深分布を解析した結果を示す。解析にあたっては、図-11に示す1から6までの対象エリアごとに、その内部の水域を抽出し、水域ポリゴン境界の標高を参照して仮想水面高を決定した。赤く色づけされた領域を囲っている緑の線が浸水域に対応している。比較のため図-12に国土交通省(2020)国土地理院の浸水図を示す。

左岸側のエリア6、エリア1は国交省の浸水図でも浸水を確認できる。飯山市中心部のエリア3については、実際には浸水しているが、建物や家屋のため散乱強度が大きくSAR画像では浸水域とは判断されていない。

一方、右岸側では国交省浸水図では浸水域として示されていないが、千曲川支川の樽川右岸からの越水で住居1棟が一部損壊(長野県, 2020)、発災直後

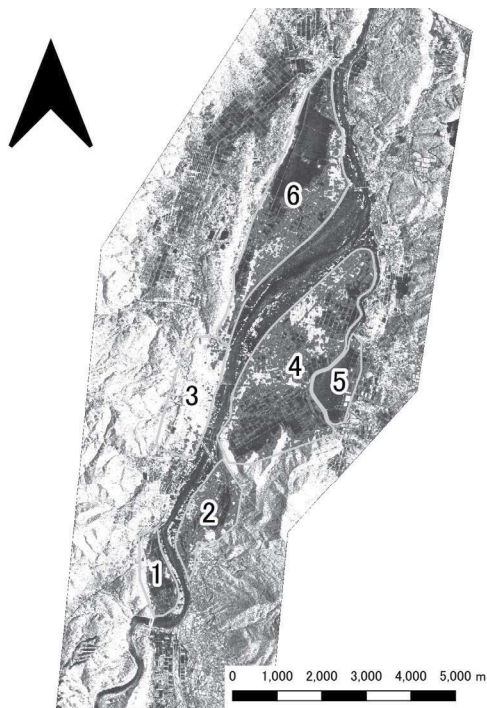


図-11 飯山市・木島平村の浸水域

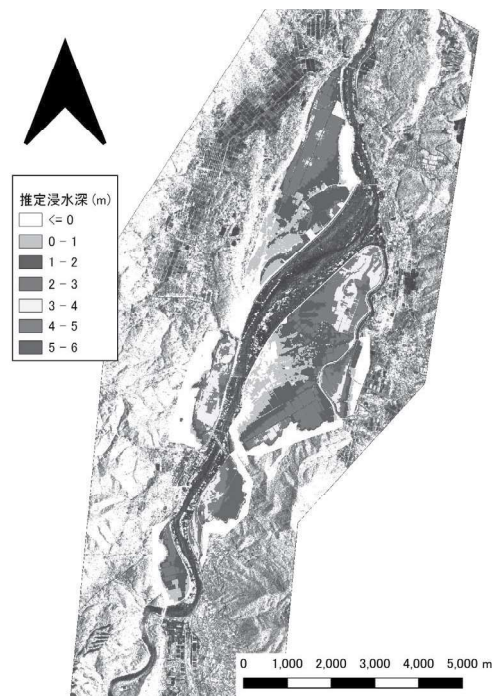


図-13 飯山市・木島平村の浸水深

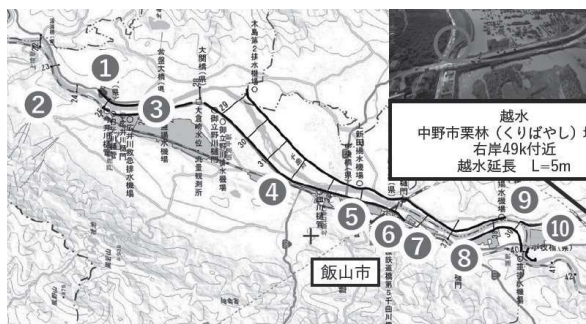


図-12 飯山市・木島平村の浸水図（国交省 2020）

に田畑が浸水した様子を収めた動画がSNSや動画投稿サイト上で共有されている。SARではエリア2, 4, 5が浸水域と判定されている。

図-13に3章と同様の方法で推定した浸水深分布を示す。この地区は実測浸水深が無いために、定量的な評価ができないため定性的な議論にとどめる。浸水深が大きいエリアは2, 3, 5となっている。エリア1と6は比較的浸水深は小さい。エリア4では全体的に浸水深は大きくはないが、北側の千曲川と接する部分近傍で浸水深が大きくなっている。これは電磁波の陰となる丘の斜面で水域と同じく低散乱となっている箇所を誤って水域として判断し、浸水域および仮想水面高を過大評価していると考えられる。これはエリア2や5も同様である。仮想水面高の選定にあたり、観測条件・地形に応じた重み付け等の対応が必要である。

## 6. おわりに

本稿は台風19号による千曲川流域の氾濫域についてSAR画像を用いて解析を試みた結果を報告したものである。堤防破堤によって甚大な氾濫被害があった長野市穂保地区および飯山市周辺の浸水域および浸水深を解析した。浸水域については概ね正しく補足しているものと思われる。一方、浸水深については、穂保地区では実測浸水深に対して精度のバラツキはあるものの、比較的実測値を再現できているものと思われる。飯山市においては検証の実測データが不足しているため定量的評価はできないが、定性的には再現できているものと思われる。

精度向上のためには仮想水面高の正確な抽出が必要である。また本解析では氾濫水位は一定と仮定しているが実際は水面勾配がついている。このことも考慮に入れた解析が必要である。

## 謝 辞

本研究は自然災害協議会の令和元年突発災害調査費および科学研究費特別研究促進費（課題番号19K24678）の支援を受けた。また山口大学大学院創成科学研究科（農学系）の山本晴彦教授からは貴重な浸水深データの提供を受けた。ここに記して深甚

なる謝意を表します。

### 参考文献

大木 真人・渡邊 学・夏秋 嶺・本岡 毅・永井 裕人・田殿 武雄・鈴木 新一・石井 景子・伊藤 拓弥・山之口 勤・島田 政信（2016）：ALOS-2 PALSAR-2 データによる平成27年8月関東・東北豪雨の洪水域把握と精度検証，日本リモートセンシング学会誌，36 巻 4 号 p. 348-359.

国土交通省（2019）：台風19号による被災状況と今後の対応について，<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001317859.pdf>

国土交通省（2020）：令和元年東日本台風記録誌，<https://www.hrr.mlit.go.jp/bosai/higasinihontaihuu/2.pdf>

長野県：令和元年東日本台風(台風第 19 号)人的被害・住家被害の状況（令和 2 年 7 月 14 日現在），<https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/kurashi/shobo/bosai/bosai/r1typhoon19/documents/200714taifuu19higai.pdf>

内閣府：令和元年台風第19号等に係る被害状況等について（令和 2 年 4 月 10 日 9:00 現在），[http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19\\_45.pdf](http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_45.pdf).