

大規模浸水被害の早期復旧（排水）を目指して ～被災状況把握・提供システムの開発～

木澤学¹・近藤春彦¹・甲斐田千枝¹

¹中部技術事務所 地震津波対策技術課（〒461-0047 名古屋市東区大幸南1丁目1-15）

我が国最大の海拔ゼロメートル地帯である濃尾平野は、大規模地震の津波などによる浸水がひとたび発生すると、広範囲かつ長期にわたり湛水する可能性が極めて高い。中部地方整備局では、広範囲な湛水エリアに対し効率的・効果的な排水オペレーションを確実に実施するため「中部管内排水計画」の策定に向けて取り組んでいる。そこで、広範囲の観測を可能とするJAXA衛星（だいち2号）を活用した初期の浸水範囲の情報を基に、湛水量（排水対象量）の推定等を行い、その結果を共有する「被災状況把握・提供システム」を開発している。本稿ではそのシステムの開発状況及び今後の開発予定について報告する。

キーワード：大規模浸水、排水計画、だいち2号、湛水量推定

1. はじめに

中部圏は、我が国の東西交通の要衝に位置し、東海道新幹線、東名・名神高速道路及び中央自動車道等の高速交通ネットワークが、大都市圏相互間を始めとする多様な交流を支えている。さらに、ものづくり産業が集積する、「ものづくり圏域」であり、層の厚い関連企業群が連携することにより、優れた技術力と価格競争力を背景とした高い国際競争力を発揮し、中部圏の経済成長を支えている。

その一方、我が国最大の海拔ゼロメートル地帯（約400km²）を抱える濃尾平野を有するなど、その地形特性から水被害に対して極めて脆弱であり¹⁾、南海トラフ巨大地震による津波、台風による高潮・洪水が発生すると、広範囲かつ長期にわたり湛水する可能性が極めて高い。事実、昭和34年の伊勢湾台風では高潮により堤防が各所で決壊し、濃尾平野のほぼ全域において最長120日を超える浸水実績がある。

長期浸水が解消されなければ浸水域内の道路等交通ネットワークは復旧に着手できないため、排水作業を的確かつ効率的・効果的に実施することが早期復旧・復興において極めて重要な課題となる（図-1）。そこで中部地方整備局では、平成25年に「濃尾平野の排水計画（第1版）」²⁾を策定・公表し、現在は計画対象エリアを中部地方整備局管内に拡大した「中部管内排水計画」の策定に取り組んでいる。

排水作業を実施する上での最大の課題は、広範囲な湛

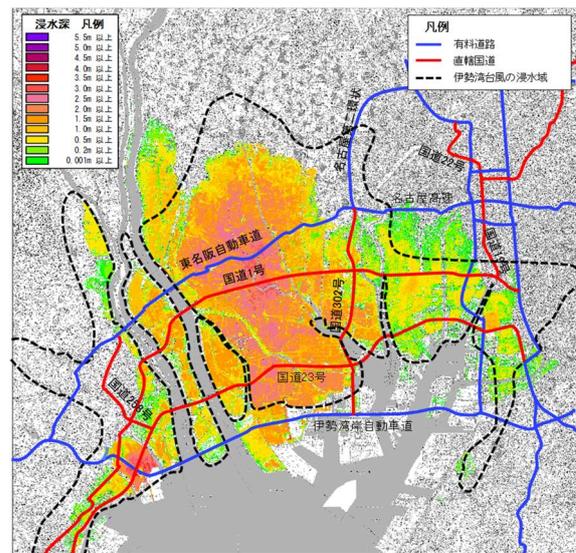


図-1 各県公表の津波想定を初期値とした、濃尾平野における自然排水後浸水想定
（浸水面積：約220km²、湛水量：約2.7億m³）

水エリアで、実現象を適確にとらえ、効率的・効果的な排水オペレーションを確実に実施できるかである。そこで、広範囲の観測が可能であるJAXA衛星を活用した初期の浸水範囲の情報を基に、一定の精度で湛水量（排水対象量）の推定等を行い、その結果を共有する「被災状況把握・提供システム」を開発している。

2. システムに求められる要件

効率的・効果的な排水オペレーションを実施する上でシステム開発に求められる要件を整理した。

(1) 浸水範囲情報の早期把握

a) 要件

排水オペレーションを実施するにあたって、最も基本で重要な情報となるのが浸水範囲であり、これを如何に迅速に把握し次の対応につなげるかが初動対応を行ううえで求められる。しかし、浸水の規模が大きければ大きいほど浸水範囲の把握は困難を極めると想定され、昼夜・天候によらず、広域な浸水情報を確実に取得できること等様々な課題がある。これらの課題の解決にあたっては広範囲の調査能力を有する衛星画像の活用を図ることとした。

b) 活用する人工衛星

災害による地上の変化を観測できる衛星は日本も含め世界各国で運用しているが、JAXAの運用する「だいち2号」は災害状況の把握等を目的として開発されていることに加え、国土交通省とJAXAが災害時の情報提供に関する協定を結んでいる。衛星画像が迅速かつ容易に取得できる体制が整っていることから、だいち2号による衛星画像を最大限に活用し、早期の浸水範囲情報を把握することとした。

c) JAXA衛星（だいち2号）による観測

地球観測衛星には光学センサを利用する衛星とだいち2号が搭載している合成開口レーダ（SAR）を利用する衛星がある。これらの特徴として光学センサは自然の放射光や反射光を観測するもので得られた画像に対して一般の写真と同様の取り扱いが可能なものの夜間観測不可、雲に遮られてしまうと観測できない欠点がある。対して合成開口レーダは衛星自らマイクロ波を放射し、その反射波を観測するもので、データの取り扱いには専門知識が必要なものの昼夜、天候にかかわらず観測可能である（図-2）。だいち2号は、日本上空を1日2回（昼12時頃、夜12時頃）通過し、少しずつ軌道をずらしながら同一地点を14日周期で繰り返し観測する。

だいち2号に搭載しているレーダ「PALSAR-2」は、災害観測に適した観測幅として左右それぞれ約400km、うち、一度の観測で観測できる幅は約50kmとなっている（図-3）。

浸水域の抽出は被災後の観測結果と直近の観測結果を比較し、反射波の変化により判読する。観測後約2時間で速報図（自動解析により変化箇所を抽出）、観測後約5時間で判読結果（自動解析により抽出された浸水による変化を専門家が判読した浸水ポリゴンデータ）がJAXAから国交省含む各関係機関に提供されるとともにJAXAホームページにて公開される。

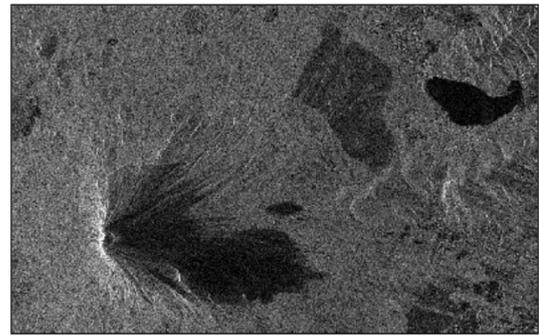


図-2 合成開口レーダによる観測例（富士山周辺）
※災害時の人工衛星活用ガイドブックより³⁾

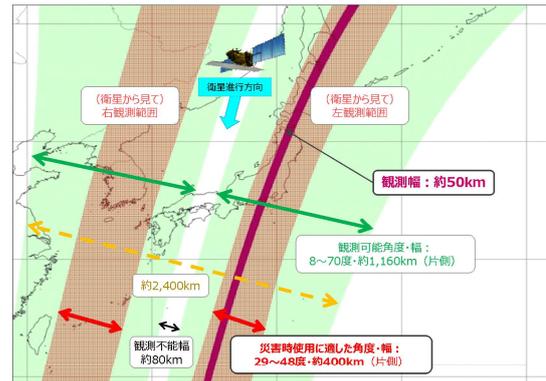


図-3 だいち2号観測可能範囲
※災害時の人工衛星活用ガイドブックより³⁾

留意点として、季節変化や土地利用の変化による災害に起因しない変化が被害箇所として抽出される可能性や、逆に浸水があっても照射したレーダの反射波が変わらなければ被害箇所として抽出されないこともある（図-4）。しかし、これらの留意点を踏まえた上で、適切に衛星画像を活用することができれば夜明け・天候回復後のヘリ調査ルート立案やドローンによる現地調査、排水ポンプ車の配備計画等の初動対応に大きく寄与することが考えられる。

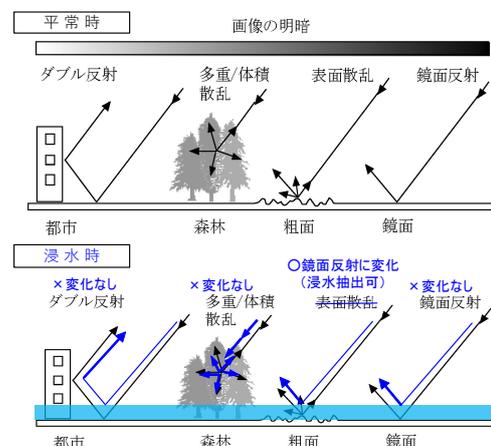


図-4 平常時と浸水時における反射波の変化
※「基礎から分かるリモートセンシング」を元に加筆⁴⁾

(2) 迅速な湛水量（排水対象量）の把握

大規模浸水の早期排水にあたっては限られた排水ポンプ車を適切かつ迅速に配置し、計画的に排水作業を行う必要がある。これを実行するには浸水箇所毎の湛水量の推定が求められる。

実際の湛水量の推定にあたっては、緊急時であることから極力担当者が判断することなく自動算出できる事が望ましい。そこでJAXAが撮影する衛星情報と国土地理院が整備している基盤地図情報の標高値から湛水量を推定することとした。なお、湛水量算出に必要な浸水範囲の情報は前節で述べた衛星画像を活用するものとしてシステムを設計した。

3. 被災状況把握・提供システムの機能

前章で整理した要件をふまえ開発している被災状況把握・提供システムはWebGISを活用しており、入手した浸水範囲の情報を地理院地図と重ね、推定される浸水範囲の水際をポリゴン描画して湛水量を推定することを可能としている。以下に主な機能を紹介する。

(1) 初期の浸水範囲の情報

本システムは発災直後における広域的な調査を前提としてだいち2号を最大限に活用できる機能を検討してきた。しかし、発災初期から時間の経過に伴い徐々に詳細な調査が可能となってくることから、本システムもそれに追従し各種調査結果を取り込む機能も設けている。

a) だいち2号観測結果（速報図）の取り込み

早期の浸水範囲の情報としてJAXAから提供されるだいち2号の速報図をシステムで取り込むことによりWEB上で地理院地図との重ね合わせを可能とした（図-5）。速報図の入手方法については、極力自動化を図ることとし、JAXAが行っている撮影通知情報のRSS配信*をシステムで直接参照することによりシステムへの取り込み作業の迅速化を図った。

*RSS：Webサイトの新着情報を配信するフォーマット。RSSとは「Really Simple Syndication」、または「Rich Site Summary」の略語。

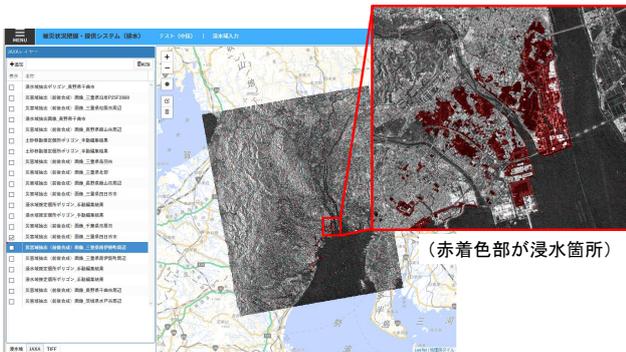


図-5 だいち2号速報図重ね合わせ

また、浸水範囲周辺の観測計画が容易に確認できるよう、JAXAホームページに掲載されるだいち2号の観測計画をシステムで表示できる機能を設けた。

b) 多様な情報源への対応

合成開口レーダは昼夜、天候を問わない特徴がある反面、得られる観測結果は視覚的な浸水状況の判別が難しい。従って条件は限られるが視覚的に浸水範囲を判別できる光学衛星による調査結果とUAV画像を取り込み可能とした。

取り込みにあたっては、システム内にオルソ処理画像をアップロードできる機能を設けるとともに、アップロード後に自動で地図上に重ね合わせ表示が行われるよう、各機関の情報がシームレスにシステム内に表示できるよう配慮した。

c) JAXA浸水ポリゴンデータ受信によるワークフロー改善

システム上での浸水面積・湛水量算定には浸水ポリゴンデータの作成が課題となる。従来、JAXA浸水判読結果は画像形式のため、職員等による画像判読作業及び浸水ポリゴンデータ作成作業を行う必要があった。

しかしながら、令和元年よりJAXAから浸水ポリゴンデータの配信が開始されたことを受け、データ取り込み機能を追加することで、職員による判読及びポリゴンデータ作成作業が不要となり、大幅な負荷軽減につながった（図-6）。ただし、前述したとおり、浸水ポリゴンデータの配信は観測後約5時間後となることに留意する必要がある。

(2) 湛水量（排水対象量）の推定

■ JAXA衛星を活用した浸水面積・湛水量算定の流れ

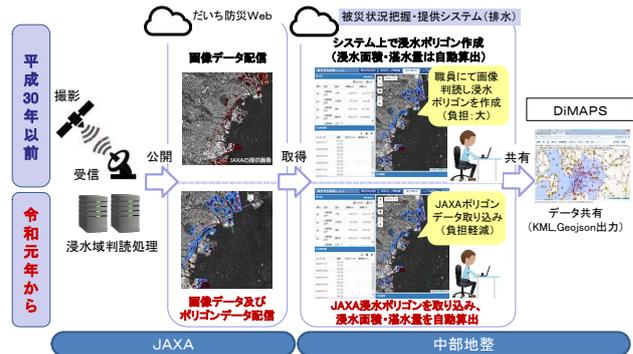


図-6 JAXA浸水ポリゴンデータ受信によるワークフロー改善

a) 湛水量の推定方法

湛水量の推定にあたっては国土地理院が整備している基盤地図情報の標高値を活用し、だいち2号等の浸水範囲調査結果をシステムに重ね合わせることで、浸水範囲の水際の推定を行うこととした。この水際をシステム上でポリゴン描画することにより、囲った水際の標高値と浸水した地形の標高値の差分をとることにより湛水量がシステム上で自動的に算出できるようにした。

さらに、排水作業計画を策定するため、排水量と水位の関係性を50cmピッチで確認できるHV算定機能を持たせた(図-7)。なお、湛水量計算にあたり、浸水範囲に対して10m間隔で走査線を引き、両端の水際の高さを読み取り浸水断面積を求め体積を計算することで、通常GISソフトで行う必要がある計算をWEBブラウザ上で軽快に計算できるように配慮した(図-8)。

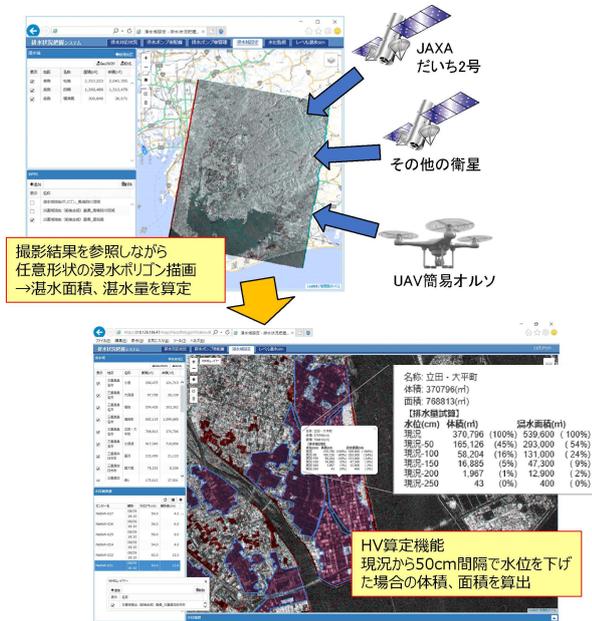


図-7 ポリゴン描画による湛水量算出
※背景図はJAXA提供サンプルを使用

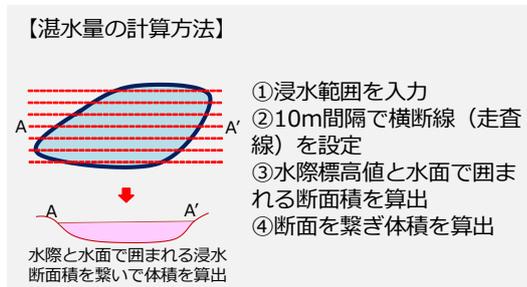


図-8 湛水量計算方法

b) 推定湛水量の表示精度の向上

合成開口レーダによる浸水解析は反射波の相違により地表面被覆の変化を抽出しているため、特に市街地等では浸水有無を必ずしも正確に表しているわけではない。そこで、濃尾平野など地形勾配がなだらかな地域においては浸水した水は水平に湛水すると想定されることから、水際推定の補完情報として標高値に応じた段採図を活用することとした。段採図の表示にあたって国土地理院が整備している色別標高図は、4000mから-1mの幅で色分けしている。しかし、濃尾平野は-1m以深のエリアが広範囲に存在するため、平野全体がほぼ同色の表示となり、適切な標高表示、水深表示ができない恐れがある。このため、濃尾平野を対象にズームレベルを大きくしても詳細な地形が判別できるよう、標高15mから-4mの幅

で色分けした独自の色別標高図タイルを作成し、ズームレベルの拡大時には独自タイルが表示されるように工夫した(図-9)。

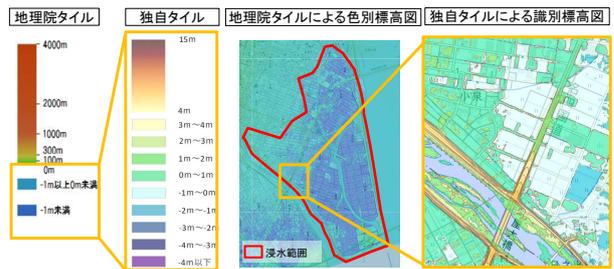


図-9 タイルの詳細化(左)とタイル詳細化による色別標高図の変更(右)

c) 付加機能の検討

本システムで推定した排水作業の対象となる湛水量を省内関係者へ情報提供できるよう、ポリゴンデータの出力機能を設けた。また、排水作業の優先度を検討する際の情報として、このポリゴンデータには算出した浸水区域内の人口を付加情報として出力できる機能を設けた。なお、出力方式はDiMAPS等のGISツールで活用できるよう汎用的なファイル形式(KML, GEOJSON)としている。

更に、排水作業の核となる排水ポンプ車等の災害対策車両の位置を表示する機能を設けた。

4. 災害での活用に向けて

実災害での検証を行うため、令和2年7月に発生した熊本県球磨川の氾濫による浸水域について、本システムを用いて浸水範囲の把握及び湛水量の算出を行った。JAXAが提供する7月4日の撮影画像及び浸水範囲解析結果をシステムで読み込み算出した結果、9地区(27浸水域)の合計面積約280万 m^2 、湛水量約310万 m^3 と算出した(図-10)。

地区	数	市町村	浸水域数	浸水面積 (m ²)	湛水量 (m ³)	更新日時
熊本 球磨・人吉_1	熊本県	人吉市	4	1,008,517	1,037,901	2020/07/08 21:43
熊本 人吉・相良_1	人吉市		2	198,131	273,814	2020/07/08 21:43
熊本 球磨_2	球磨郡 球磨村		3	400,973	89,916	2020/07/08 21:43
熊本 球磨_1	球磨郡 球磨村		1	9,224	720	2020/07/08 21:43
熊本 戸北・球磨_1	球磨郡 球磨村		1	28,438	16,847	2020/07/08 21:43
熊本 球磨_3	球磨郡 球磨村		1	12,804	333	2020/07/08 21:43
熊本 八代_1	八代市		1	7,436	3,978	2020/07/08 21:43
熊本 八代_2	八代市		9	190,259	129,312	2020/07/08 21:43
熊本 錦・相良_1	球磨郡 錦町 球磨郡 相良村		5	963,554	1,541,400	2020/07/16 17:14
合計			27	2,819,330	3,094,218	

図-10 浸水域の概要一覧(システム画面)

また、災害対策車両位置情報共有化システムと連動させた災害対策車両の現在地についても問題なく稼働していることを確認した(図-11)。今回の災害においては、7月4日5:30頃に氾濫発生情報が発表され、7月4日13:13

にJAXAが観測，JAXAによる浸水ポリゴンデータの配信が7月4日19:41であった．なお，7月4日21:30頃には本システムで共有できる状況であった．



図-11 浸水域及び災害対策車両表示（システム画面）

5. 今後の開発予定

a) 防災担当者操作訓練を踏まえたシステムの更なる深化
令和元年度までの成果として前章で述べた機能を具備したシステム開発が概成した．しかし，実使用や訓練等実務対応者の使用に伴う検証はまだ乏しい．このため，実際のオペレーションに活用できるシステムにしていくため，防災担当者を対象にした操作訓練を行い，防災担当者のシステム操作方法の習熟を図るとともに，システムにより得られる情報，排水オペレーションへの活用方法について幅広く意見交換を行う予定である．

b) 多様な情報源への対応拡大
JAXAでは令和2年度に先進光学衛星「だいち3号」の打ち上げを予定しており，引き続きJAXAと連携しながら検証・改良を行う．
また，浸水域の把握にあたっては，近年，様々な機関で独自に浸水域の判読を行い，ポリゴンデータを提供しているケースがある．

令和2年7月に発生した熊本県球磨川の氾濫では少なくともJAXAと国土院が浸水域情報の提供を行っており，JAXAにおいては，浸水ポリゴンデータを公開した．また，国土院においては被災後の早い段階からSNS情報を集約した浸水域情報を提供している．

今後，様々な機関が浸水域情報を公開する可能性があることから，シームレスな情報入手ができるよう検討やシステム改良を進める予定である．

c) 浸水解消推定機能の検討
現在具備しているHV算定機能、地形データ及び排水ポンプ車の排水能力により，医療施設等の重要施設の浸水解消となる見込み時間を推定する機能の付加を検討していく（図-12）．

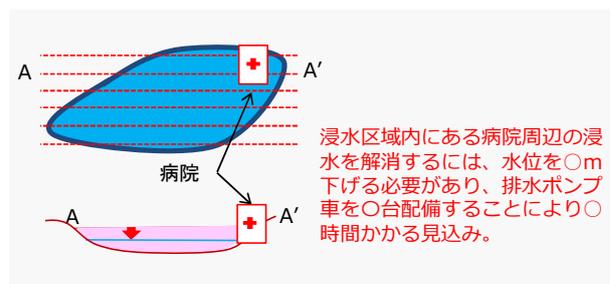


図-12 浸水解消推定機能（イメージ）

d) システムの全国展開及び精度等の検証
本システムは，全国での活用についても検討を進めており，上述の通り令和2年7月に発生した熊本県球磨川の氾濫時に浸水面積及び湛水量の算出まで行った．今回の災害時の実データの検証により，JAXA・国土院データのシステム取り込みができることを確認している．今後，本格的な全国展開を目指し，湛水量の算出精度や，時間的・運用的観点での活用方法等を検証していく予定である．

6. おわりに

気候変動による豪雨発生件数の増加が懸念され，また近年，南海トラフ巨大地震の発生確率が引き上げられるなど，大規模災害の発生が懸念されている．南海トラフ巨大地震発生時には，中部地方整備局管内でも令和元年東日本台風災害や令和2年7月豪雨のような大規模水害の危機に直面しており，災害被害の軽減にあたってはハード対策・ソフト対策が一体となった取り組みが非常に重要となってくる．訓練や実災害での試行運用を通じて本システムの実効性の確認と検証を行い，必要に応じ最新技術を取り入れ，本システムが災害対応の一助となるよう引き続き改善を行っていく所存である．

謝辞：本論文の作成にあたり，各種助言を頂きました関係者の皆様にこの場をお借りして御礼申し上げます．

参考文献

- 1) 南海トラフ地震対策中部圏戦略会議：中部圏地震防災基本戦略【第二次改訂版】，平成29年5月
- 2) 国土交通省 中部地方整備局 河川部：濃尾平野の排水計画【第1版】～南海トラフ巨大地震による津波，大型台風による高潮・洪水から命を守る～，平成25年8月
- 3) 災害時の人工衛星活用ガイドブック 水害版・衛星基礎編，平成30年3月
- 4) 日本リモートセンシング学会編，基礎からわかるリモートセンシング，理工図書，2011