

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP2）

「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」

テーマⅡ 衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発

# 衛星画像による災害自動判読 標準化ガイドライン

令和5年3月

公益財団法人 日本測量調査技術協会

## 目 次

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. 標準化ガイドラインの概要</b> .....             | <b>1</b>  |
| 1.1 ガイドライン導入への流れ.....                    | 1         |
| 1.1.1 戦略的イノベーション創造プログラム第2期（SIP2）の概要..... | 1         |
| 1.1.2 「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」の概要.....       | 2         |
| 1.1.3 テーマII「被災状況解析・共有システム開発」の概要.....     | 6         |
| 1.2 サブテーマ2「衛星データ解析技術開発」の概要.....          | 8         |
| 1.2.1 サブテーマ2実施前の状況と目標設定.....             | 8         |
| 1.2.2 開発実施計画の策定.....                     | 9         |
| 1.2.3 サブテーマ2の役割.....                     | 10        |
| 1.2.4 社会実装.....                          | 12        |
| 1.2.5 アウトプット目標の達成状況.....                 | 13        |
| 1.2.6 解析技術の標準化.....                      | 14        |
| 1.3 本ガイドラインの作成実施体制.....                  | 15        |
| <b>2. 解析プロダクトの標準化</b> .....              | <b>16</b> |
| 2.1 解析結果提供フォーマットの標準化.....                | 16        |
| 2.1.1 対象とする災害現象.....                     | 16        |
| 2.1.2 提供プロダクトのフォーマット.....                | 18        |
| 2.1.3 留意事項.....                          | 21        |
| 2.1.4 解析プロダクト標準項目.....                   | 23        |
| 2.2 個別プロダクト説明資料の作成・共有.....               | 24        |
| 2.2.1 浸水エリア（光学画像）.....                   | 24        |
| 2.2.2 浸水エリア（SAR）.....                    | 26        |
| 2.2.3 土砂災害.....                          | 28        |
| 2.3 解析プロダクト提供タイムライン.....                 | 30        |
| 2.3.1 標準モデル.....                         | 30        |
| 2.3.2 災害対応事例.....                        | 31        |
| <b>3. 精度検証・評価の標準化</b> .....              | <b>35</b> |
| 3.1 被災地抽出の精度評価方法の具体化.....                | 35        |
| 3.1.1 精度評価の考え方.....                      | 35        |
| 3.1.2 利用する検証用データ.....                    | 37        |
| 3.2 評価結果の説明資料の作成・共有.....                 | 42        |
| 3.2.1 精度検証結果.....                        | 42        |
| 3.2.2 留意点.....                           | 47        |
| <b>4. 災害AI学習用教師データの作成</b> .....          | <b>48</b> |
| 4.1 教師データ作成方法.....                       | 48        |
| 4.1.1 浸水エリア.....                         | 48        |
| 4.1.2 土砂災害発生エリア.....                     | 53        |

|       |                |    |
|-------|----------------|----|
| 4.2   | 教師データ一覧.....   | 57 |
| 4.2.1 | 浸水エリア.....     | 57 |
| 4.2.2 | 土砂災害発生エリア..... | 59 |

# 1. 標準化ガイドラインの概要

## 1.1 ガイドライン導入への流れ

### 1.1.1 戦略的イノベーション創造プログラム第2期（SIP2）の概要

SIP2は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議が司令塔機能を発揮して、府省の枠や旧来の分野を超えたマネジメントにより、科学技術イノベーション実現のために創設した国家プロジェクトである。国民にとって真に重要な社会的課題や、日本経済再生に寄与できるような世界を先導する12の課題に取り組んできた。各課題を強力にリードする各プログラムディレクター（PD）を中心に産学官連携を図り、基礎研究から実用化・事業化、そして出口戦略までを見据えて一貫通貫で研究開発を推進してきた。経済成長の原動力であり、社会を飛躍的に変える科学技術イノベーションを強力に推し進めていくものである。

SIP2の特徴を以下に示す。

- 社会的に不可欠で、日本の経済・産業競争力にとって重要な課題を総合科学技術・イノベーション会議が選定
- 府省・分野横断的な取組み
- 基礎研究から実用化・事業化までを見据えて一貫通貫で研究開発を推進。規制・制度、特区、政府調達なども活用。国際標準化も意識
- 企業が研究成果を戦略的に活用しやすい知財システム

表 1.1-1 SIP2の全テーマ

| No. | 課題                        | 課題名                         |
|-----|---------------------------|-----------------------------|
| 01  | サイバー空間基盤技術                | ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術    |
| 02  | フィジカル空間基盤技術               | フィジカル空間デジタルデータ処理基盤          |
| 03  | セキュリティ(サイバー・フィジカル・セキュリティ) | IoT社会に対応したサイバー・フィジカル・セキュリティ |
| 04  | 自動走行                      | 自動運転(システムとサービスの拡張)          |
| 05  | 材料開発基盤                    | 統合型材料開発システムによるマテリアル革命       |
| 06  | 光・量子技術基盤                  | 光・量子を活用したSociety 5.0実現化技術   |
| 07  | バイオ・農業                    | スマートバイオ産業・農業基盤技術            |
| 08  | エネルギー・環境                  | 脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム        |
| 09  | <b>防災・減災</b>              | <b>国家レジリエンス(防災・減災)の強化</b>   |
| 10  | 健康・医療                     | AIホスピタルによる高度診断・治療システム       |
| 11  | 物流(陸上・海上)                 | スマート物流サービス                  |
| 12  | 海洋                        | 革新的深海資源調査技術                 |

## 1.1.2 「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」の概要

### (1) 研究概要

「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」では、大規模災害に対し、国民一人ひとりの確実な避難、広域経済活動の早期復旧を目指して、国や市町村の意思決定の支援を行う情報システムを実現する。

近未来に想定される南海トラフ地震や首都直下地震、ゼロメートル地帯の広域・大規模水害等への対応においては、自助、共助、公助による自律的な最善の対応ができる社会（災害時の Society 5.0）を構築する必要がある。大規模災害時の避難支援や緊急対応の情報提供や広域経済活動の復旧支援、気候変動で激化する風水害対策の強化、さらには市町村等行政の対応力の向上のため、国や市町村の意思決定の支援を行う情報システムを構築し、国家レジリエンス（防災・減災）を強化することにより、現在、そして次世代の人々が安心して生きていける社会の実現を目指す。

図 1.1-1 に「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」研究開発の全体像を示す。また、表 1.1-1 に「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」の全テーマを示す。

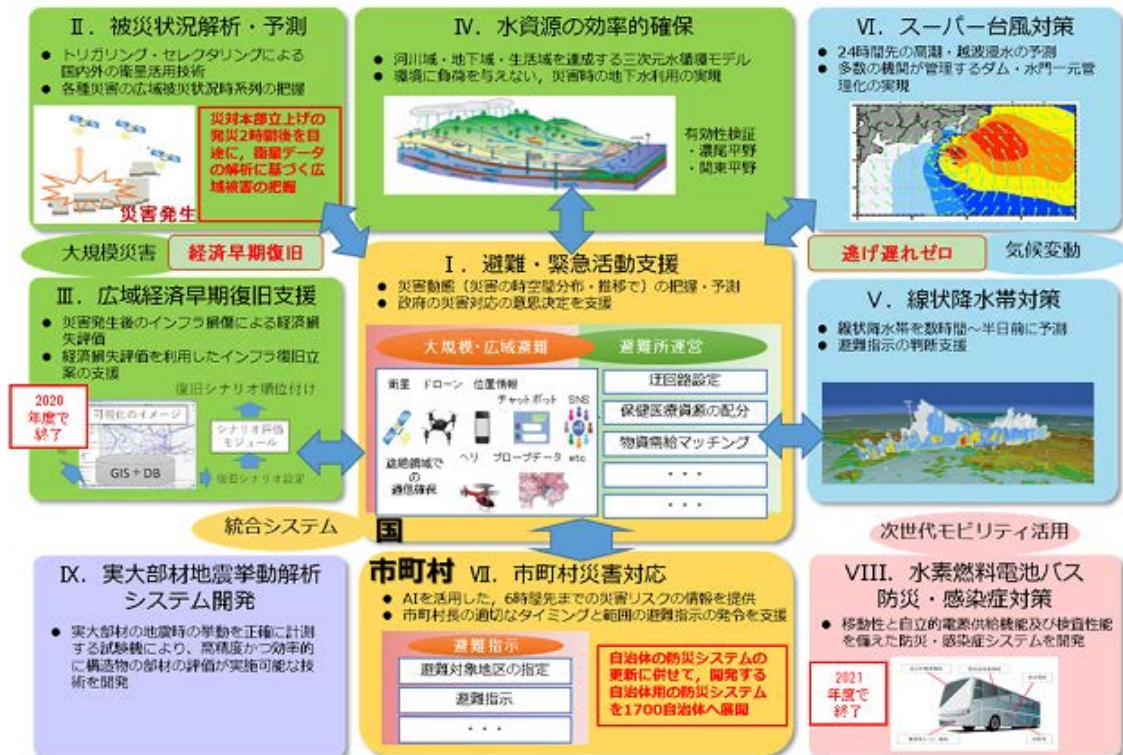


図 1.1-1 「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」研究開発の全体像（内閣府 HP）

表 1.1-2 「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」の全テーマ

| No.  | 支援・対応               | 開発課題                              | 開発テーマ                            |
|------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| I    | 避難・緊急活動支援           | 避難・緊急活動支援統合システム開発                 | 避難・緊急活動支援統合システムの研究開発             |
| II   | 被災状況解析・予測           | 被災状況解析・共有システム開発                   | 衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発    |
| III  | 広域経済早期復旧支援          | 広域経済早期復旧支援システム開発（2020年度で終了）       | 産官学協働による広域経済の減災・早期復旧戦略の立案手法開発    |
| IV   | 水資源の効率的確保           | 災害時地下水利用システム開発                    | 災害時や危機的渇水時における非常時地下水利用システムの開発    |
| V    | 線状降水帯対策             | 線状降水帯観測・予測システム開発                  | 線状降水帯の早期発生及び発達予測情報の高度化と利活用に関する研究 |
| VI   | スーパー台風対策            | スーパー台風被害予測システム開発                  | スーパー台風被害予測システムの開発                |
| VII  | 市町村災害対応             | 市町村災害対応統合システム開発                   | 避難判断・訓練支援等市町村災害対応統合システムの開発       |
| VIII | 次世代モビリティによる防災・感染症対応 | 水素燃料電池バス防災・感染症対策システム開発（2021年度で終了） | 水素燃料電池バスを基盤とした防災・感染症対策システムの開発    |

## （2）目標

- 将来の大規模災害に対し、国民の安全・安心と、我が国の国際プレゼンス・産業力の確保に貢献する。
- 国民一人ひとりが確実に避難できるようになることで、逃げ遅れによる死者ゼロを目指す。
- 広域経済を早期に復旧することで、被災者がいち早く通常の生活に戻ることができる社会を実現する。

## （3）出口戦略

- **確実な社会実装を実現するため研究開発当初から実装先となる関係機関が参画**  
実装イメージを当初から設定し、研究開発の実装先となる関係機関が当初から参画し、ユーザーサイドのニーズを研究開発段階から反映していくことで確実な社会実装を実現する。
- **政府の意思決定支援及び国民の適切な避難行動を可能にする避難・緊急活動支援統合システムの実装**  
「避難・緊急活動支援統合システム」は、各省庁等が災害対応の充実を図るため

それぞれのシステムを運用するとともに、政府としての応急活動等に必要なものについて、関係機関と連携しつつ、内閣府が運用する。

○ 災害対応の最前線に立つ市町村の意思決定を支援する市町村災害対応統合システムの実装

「市町村災害対応統合システム」は、既存システムの更新時期に併せて導入を促進する。

**(4) 達成に向けた研究開発内容**

○ 避難・緊急活動支援統合システムの開発

- ・ ビッグデータを活用した災害時の社会動態把握や、衛星等を活用した被害状況の観測・分析・解析を、政府の防災活動に資するよう発災後 2 時間以内に迅速に行える技術
- ・ スーパー台風、線状降水帯について、広域応急対応や避難行動等に活用できるよう、必要なリードタイムや確からしさを確保して予測する技術

○ 市町村災害対応統合システムの開発

- ・ 短時間でビッグデータを解析し、避難対象エリアの指定や避難勧告・指示を行うタイミングの判断に必要な情報を自動抽出する情報処理技術

**(5) 実施体制**

プログラムディレクター (PD) は研究開発計画の策定や推進を担う。PD を議長、内閣府が事務局を務め、関係府省庁、専門家が参加する推進委員会において研究開発の実施等に必要な調整等を行う。サブ・プログラムディレクター (SPD) は研究開発計画の策定や推進にあたり PD を補佐する。分野横断的な知見を有するイノベーション戦略コーディネーター (戦略 C) が、各研究開発のテーマにおいて実用化に向けた支援を行う。管理法人は、国立研究開発法人防災科学技術研究所が務め、公募・委託、資金管理、課題の進捗管理、広報・成果発信等を行う。

図 1.1-2 に「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」実施体制の組織図を示す。

**(6) 関係府省**

内閣官房、内閣府、警察庁、総務省、消防庁、文科省、厚労省、農水省、経産省、国交省、気象庁、海上保安庁、環境省

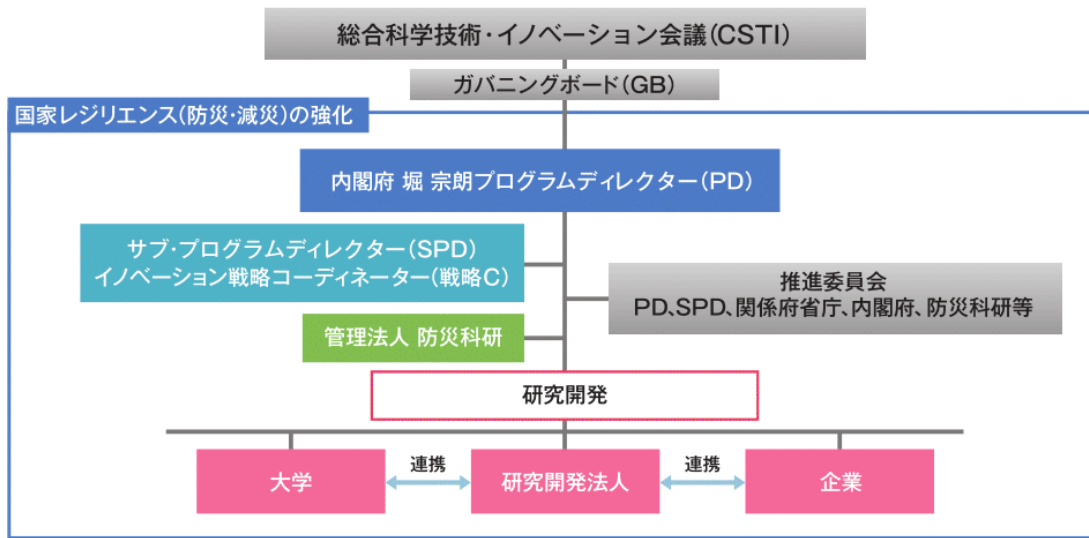


図 1.1-2 「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」実施体制の組織図（内閣府 HP）



### 1.1.3 テーマⅡ「被災状況解析・共有システム開発」の概要

#### (1) 研究概要

自然災害の発生エリアを観測・予測データから推定し、その情報から衛星等による観測を行い、広域被災状況把握及びシミュレーション結果と共に災害対応機関へ迅速に提供する技術を開発する。被災状況を把握する技術、洪水氾濫・火山降灰・火災延焼シミュレーションにより広域被災予測を行う技術を開発する。これらの技術により、災害発生直後から広域な被災状況把握及び予測を可能とする統合システムを実現する（図 1.1-3）。

#### (2) 研究開発の目的

「第5期科学技術基本計画」（平成28年1月22日閣議決定）において、国及び国民の安全・安心の確保と豊かで質の高い生活の実現のために、災害を予測・察知してその正体を知る技術、発災時に被害を最小限に抑えるために、早期に被害状況を把握し、国民の安全な避難行動に資する技術や迅速な復旧を可能とする技術等の研究開発を推進することが取り上げられている。大規模災害発災時には、社会インフラの分断・損壊等により、被災状況が把握できない「状況不明エリア」が広域に渡って生じるおそれがあるが、このような状況下においても広域避難・緊急活動を政府として確実に実施するためには、広域かつ迅速に災害状況を把握する必要がある。近年、多くの SAR 衛星、光学衛星が運用されるようになり、こうした衛星を活用した即時的な被災状況解析・予測技術の実現を目指す。



図 1.1-3 テーマⅡ「被災状況解析・共有システム開発」の目指すもの（防災科研資料）

### (3) 研究開発の最終目標（アウトカム）

関係機関と連携しつつ、国が被災状況解析・共有システムを運用し、衛星データの情報を一元化・共有することで、発災直後の被災状況を把握する。さらには、災害対応主体が被災状況に基づきリアルタイムの広域の被災予測を行うことで、政府の大規模災害等に対する緊急対応の充実に図るとともに、確実な避難を実現する。

### (4) 技術的課題と目標（アウトプット）

迅速かつ確実な判断とこれに基づく災害対応を阻む最大の要因は、被害の全貌把握に時間を要していることである。このため、衛星データ等を用いて、一定の条件下において、昼夜、天候を問わず、数百 km 四方の範囲の被害状況を政府の防災活動に資するよう発災後 2 時間以内に観測・分析・解析する技術を開発する。

### (5) コア技術

災害発生前の予測情報を活用し災害発生を事前にあるいは直後に把握し、観測すべきエリアを特定するトリガリング情報生成技術と国内外 200 機の衛星と連携・協調し短期間の観測及び迅速なデータを提供するリモートセンシング観測を最適化する衛星コンステレーションを活用した技術を開発する。

### (6) 研究開発の内容

迅速かつ確実な判断とこれに基づく災害対応の確実な実施のため、衛星データや、ビッグデータを、AI 等を活用して解析することで被災状況を把握するとともに、ニーズに応じて被災状況を共有する、被災状況解析・共有システムを開発する。本システムは、データに基づく被災状況解析を補完することで、リアルタイムで広域の被災状況を予測する機能を備える。また、本システムは、テーマ I で開発する「避難・緊急活動支援統合システム」と有機的・統合的にシステム化することを前提として開発する。

### (7) サブテーマ

テーマ II はさらに開発対象ごとに、以下のサブテーマ 3 件で構成されている。

#### テーマ II

- ・サブテーマ 1 衛星データ等即時一元化・共有システム開発
- ・サブテーマ 2 衛星データ解析技術開発
- ・サブテーマ 3 災害別予測・解析技術開発

## 1.2 サブテーマ2「衛星データ解析技術開発」の概要

本タイトル「衛星画像による災害自動判読 標準化ガイドライン」は、以下に示すような背景から実施されたサブテーマ2の研究開発項目の一つとして作成されたものである。

### 1.2.1 サブテーマ2実施前の状況と目標設定

#### (1) 開発前の状況

今まで災害発生直後は、被災状況を把握する情報は断片的であり、網羅的な情報が乏しい状況であった。そのため、災害の全体像の把握に時間を要し、今後の状況を予測することが困難なため、特に大規模災害時に的確な災害対応が実施できない恐れがあった。

#### (2) 課題

災害発生直後の被災状況を広域かつ網羅的に把握するためには、地球観測衛星の活用が必須である。しかし、衛星データの取得方法、衛星データを迅速に解析するための技術、これら技術を組み合わせた早期の情報提供（例えば、政府の災害対策本部会議が開催される発災2時間後）を行うための技術が確立していなかった。

#### (3) 開発目標の設定

そこで、これらの課題を解決するために、以下の開発目標を設定した。

##### ① 技術開発

発災直後の国内外の最適な衛星観測データが解析グループに迅速に提供され、それらの衛星データをAI等によって自動的に迅速に解析した成果(1次プロダクト)、及び引き続き専門家によって詳細に解析した成果(2次プロダクト)を配信し情報共有する技術及びシステムを開発する。

##### ② 解析技術高度化と社会実装

解析技術及び共有システムを活用した関係省庁と連携した実証実験や実災害対応を通じて、解析技術及び共有システムの評価検証や改善を実施すると共に、実運用に向けての課題点を抽出し高度化を目指す。あわせて解析システム・情報配信システム全体の社会実装に向けての構築を実施する。

##### ③ 解析技術の標準化

本研究開発によって習得した技術を系統的にまとめることにより、データ収集から解析、成果提供までの手続き、データやプロダクト情報、解析精度評価等に関する標準マニュアル的なガイドラインを作成する。これらは、情報配信先として可能性のある国・地方自治体・指定公共機関等へ提供することを想定したものである。

## 1.2.2 開発実施計画の策定

### (1) 1年次(2018年) 解析システム概略設計

- 衛星データを利用した土砂災害及び浸水災害を対象に被災状況抽出のための手法開発を検討する。
- 発災後2時間程度の短時間で成果を提供することを念頭にしたシステムの概略設計を行う。

### (2) 2年次(2019年) 解析システム開発

- SAR及び光学衛星データからAI等による被災状況の自動抽出を目的として、学習モデル構築のための教師データの整備を行う。
- 浸水災害については、浸水域・浸水深等、土砂災害については、がけ崩れ、土石流、地すべり等に関する現況把握を対象にリアルタイム判読技術を開発する。

### (3) 3年次(2020年) プロトタイプ構築

- 衛星データから、AI等の機械学習の技術を用いて被災状況を迅速に抽出することで、短時間で情報提供する手法を開発する。
- 衛星データの取得及び解析結果をワンストップシステム上と連携させるシステムを開発する。
- 以上を包括したプロトタイプシステムを構築する。

### (4) 4年次(2021年) 解析技術高度化と実災害対応

- プロトタイプシステムを実災害へ適用し、被災状況抽出に関するプロダクト提供までのタイムライン確立と解析精度検証を行う。またワンストップシステムへの情報配信を実施する。
- 災害未満衛星データの併用、アルゴリズム改良等により、解析アルゴリズムの高度化を行う。
- 解析手順や精度検証方法等の標準化の取り組みにより、将来的な国内規格化を目指した検討を実施する。
- 関係省庁や民間を含めた外部機関への情報提供を目指した社会実装の取組みを開始する。

### (5) 5年次(2022年) 解析技術確立と社会実装展開

- 災害未満衛星データの併用、アルゴリズム改良等により、自動判読の誤抽出低減や被災状況抽出精度向上を行う。
- 実災害対応継続により、実運用レベルへのシステム高度化を行う。
- 国、地方自治体等の指定公共機関への提供へ向けた標準化ガイドラインの作成を行う。
- 関係省庁や民間を含めた外部機関への社会実装体制構築を継続する。

### 1.2.3 サブテーマ2の役割

サブテーマ2「衛星データ解析技術開発」は、テーマII「衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発」全体の目標を達成するために、以下の役割を担う。

- サブテーマ1で開発する「衛星データ等即時一元化・共有システム」、通称「衛星ワンストップシステム」上で提供（アップロード）された災害時あるいは定常時の衛星データを確保する。
- サブテーマ2で開発する「衛星データ自動処理・提供システム」、通称「衛星データ解析システム」上で上記衛星データを取り込み（ダウンロード）データ解析を行う。衛星データはAI等の機械学習に基づいた自動解析が行われ、被災エリアを自動抽出する。
- 緊急災害時には、以下の2種類の成果を出力する。
  - ・ 自動処理による迅速性重視の1次プロダクト
  - ・ さらに目視判断を加えた専門家による精度重視の2次プロダクト
- 上記プロダクトは、「衛星ワンストップシステム」を通じて、国・地方自治体・指定公共機関へ、必要に応じて、サブテーマ3で開発される「災害別予測シミュレーションシステム」へ配信する。

サブテーマ2における「テーマII 衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術」全体に対する位置づけを図1.2-1に示す。また、システム全体の構成とデータの流れを図1.2-2に示す。

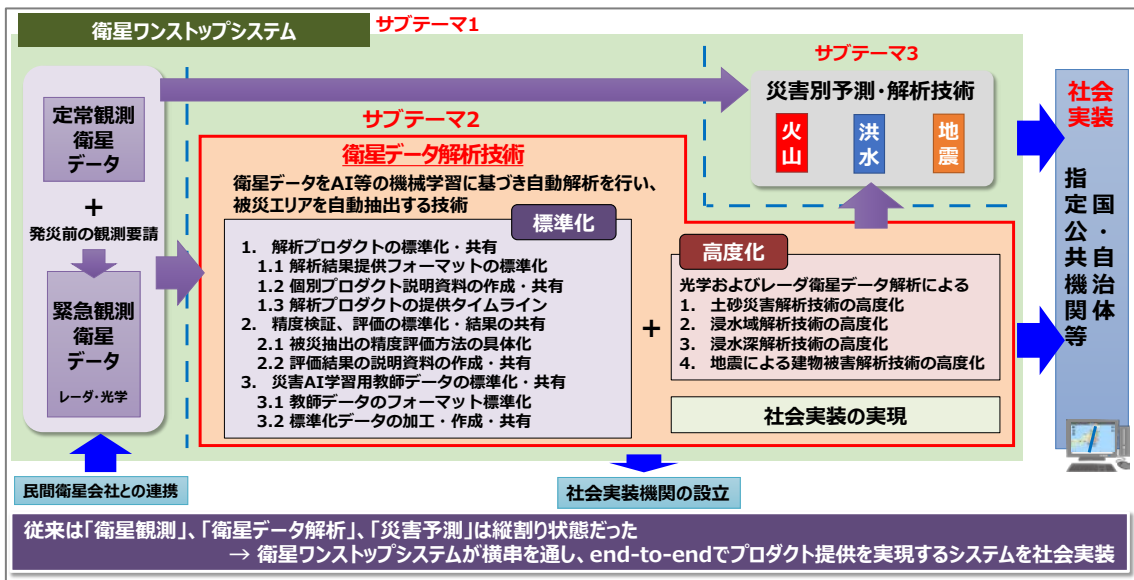


図 1.2-1 サブテーマ2のテーマII全体に対する位置づけ

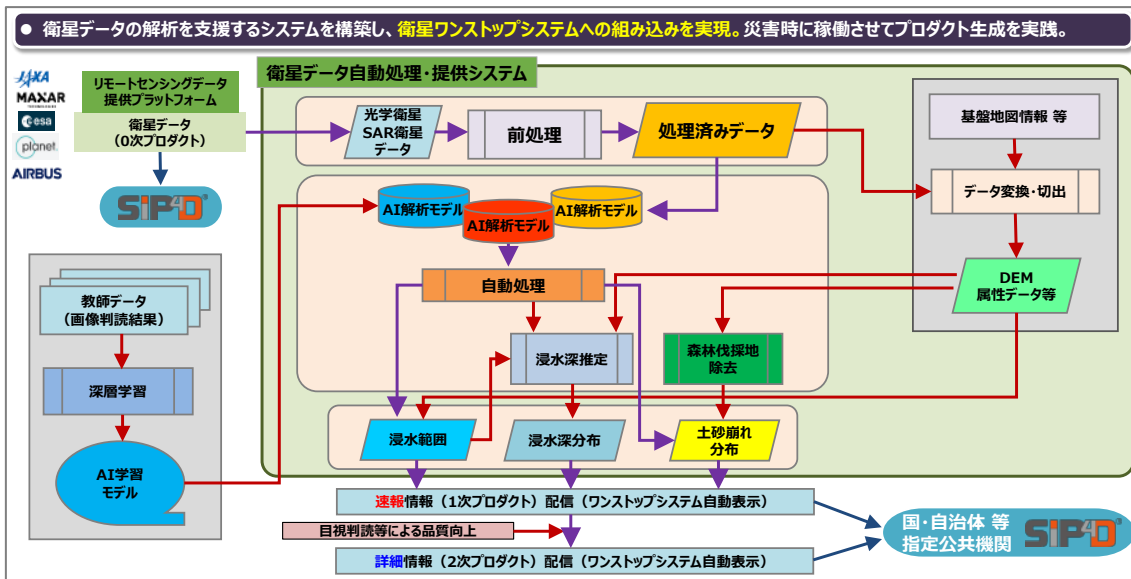


図 1.2-2 テーマ 2 における「衛星データ解析システム」の構成

## 1.2.4 社会実装

衛星画像データリアルタイム判読技術は、今後も打ち上げ予定の国産衛星 (ALOS3/4等) や海外衛星に対して判読技術を追加実装し、広域かつ判読処理能力の向上を実現する必要がある。衛星画像データリアルタイム判読技術は「衛星データ等即時一元化・共有システム」に組み込まれるとともに、SIP4D を主とした他災害対応システムとの連携を図り、災害発生時に迅速な情報提供を行う。また、判読技術に係る仕様について、精度検証方法及び検証データの共通化および標準化、データのフォーマットやデータ記述方式の標準化の取り組みを行い、将来的な国内規格化を見据えた検討を実施する。さらに、本システムを実際に運用する組織体制を含めた形で社会実装への取組を行う。

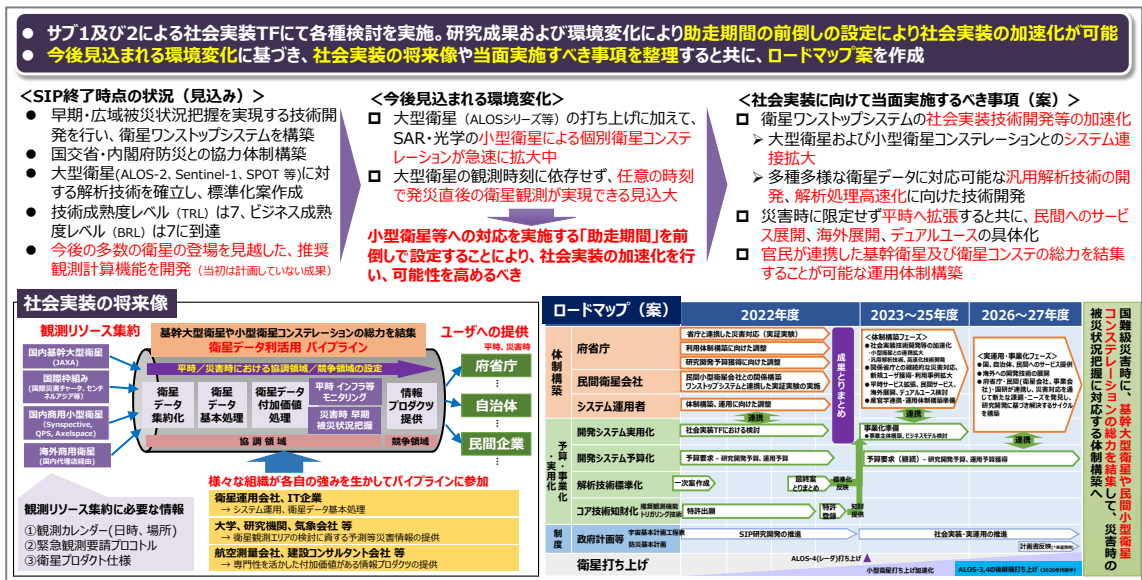


図 1.2-3 社会実装のあるべき姿 (防災科研資料)

## 1.2.5 アウトプット目標の達成状況

### (1) 技術開発の達成状況

- 定常観測衛星および緊急観測を受け付ける衛星からのデータ取得および機械学習に基づく被災状況の解析結果の導出が可能な自動処理システムとして確立した。
- 高度化したシステムにより、令和3年及び4年に発生した実災害に対し、13件の土砂災害及び浸水災害に適用させ、衛星ワンストップシステム上に2次プロダクトまですべて配信した。
- 学習モデルの改良及び災害未満データの利活用により、自動判読による被害状況抽出精度を向上させることが可能となった。また衛星データ取得後、速報（1次プロダクト）はほぼ2時間以内、詳細情報（2次プロダクト）はほぼ5時間以内で提供可能となった。

### (2) 社会実装の達成状況

- 関係省庁及び外部機関等と連携した実証実験や実災害対応を通じて、解析技術や共有システムの課題発見および改善を継続的に実施し、社会実装としての解析技術及びシステムの有効性を示した。
- 解析技術の標準化として、解析プロダクトの標準化・共有化、精度検証・評価の標準化及び共有化、災害 AI 学習用教師データの標準化・共有化が整備可能となり、解析技術の標準化ガイドライン作成などを目標とした社会実装実現化を促進した。
- 社会実装タスクフォースを設立し、継続活動を実施。今後の活動について、サブグループ間での実施可能性が確認された。



## 1.2.6 解析技術の標準化

### (1) 標準化の必要性

#### ○ 標準化ガイドラインの作成目的

- ・ 「衛星画像による災害自動判読標準化ガイドライン」は、サブテーマ2「衛星データ解析技術開発」において、解析システムの開発や開発技術の高度化を実施すると同時に、別途作成したものである。
- ・ 本標準化ガイドラインでは、実災害対応を通じての成果として、解析プロダクトの標準化、精度検証・評価の標準化、災害 AI 学習用教師データの作成についてまとめている。
- ・ 今後、実災害時に衛星データから解析プロダクトを作成あるいは被災地状況把握を実施しようとする場合に、本標準化ガイドラインを参照することにより、一般的・標準的な手法としての、利用データ定義、データフォーマット、データ入手手続き、解析処理フロー、解析結果の精度評価及び精度検証方法等についての情報を得ることができる。また今回開発した解析技術についての理解を大いに促進させることができる。

#### ○ 標準化ガイドラインの利用対象者

- ・ 本標準化ガイドラインは、主として国（国土交通省及び関係省庁）・地方自治体・指定公共機関等で、災害に関係すると想定される方々を念頭に置いて作成されている。
- ・ 一方で本標準化ガイドラインは、公益財団法人日本測量調査技術協会の HP に一般公開することにより、民間会社や個人のレベルでいつでも利用することが可能である。

### (2) 標準化ガイドラインの構成

- 標準化ガイドラインの概要 ➡ 第1章
- 解析プロダクトの標準化 ➡ 第2章
- 精度検証・評価の標準化・結果の共有 ➡ 第3章
- 災害 AI 学習用教師データの作成 ➡ 第4章

|   |   |
|---|---|
| <p>● 衛星データによる被災エリア抽出のための解析技術の標準化ガイドライン案を策定</p>                                    | <p>1. 標準化ガイドラインの概要（本テーマの位置づけ、実施背景、本ガイドラインの構成、実施体制など）</p>  |
| <p>衛星画像による災害自動判読<br/>標準化ガイドライン<br/>(案)</p> <p>令和5年3月</p> <p>公益財団法人 日本測量調査技術協会</p> | <p>2. 解析プロダクトの標準化</p> <p>2.1 解析結果提供フォーマットの標準化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>対象とする災害現象（凡例で示す枠が定義の事象を示す）</li> <li>提供プロダクトのフォーマット（解析結果のメタデータ仕様）</li> <li>留意事項（判読不能または誤抽出の留意事項）</li> <li>解析プロダクト標準化項目（案）（標準化項目シートの留意事項）</li> </ul> <p>2.2 個別プロダクト説明資料の作成・共有（メタデータ仕様の留意事項、解析プロダクトの標準化項目）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>浸水エリア【光学画像】（浸水域抽出の処理概要）</li> <li>浸水エリア【SAR画像】（浸水域抽出の処理概要）</li> <li>土砂災害（土砂移動箇所解析手法）</li> </ul> <p>2.3 解析プロダクト提供タイムライン</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>標準モデル（SAR衛星、光学衛星の緊急観測から解析完了まで）</li> <li>災害対応事例</li> </ul> <p>3. 精度検証・評価の標準化・結果の共有</p> <p>3.1 被災抽出の精度評価方法の具体化（Ground Truthおよびその比較方法）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>精度評価の考え方（評価指標の区分）</li> <li>利用する検証用データ</li> </ul> <p>3.2 評価結果の説明資料の作成・共有</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>精度検証結果</li> <li>留意点（衛星種別ごとの特徴）</li> </ul> <p>4. 災害AI学習用教師データの作成</p> <p>4.1 教師データ作成方法（形式は深層学習モデルに依存）</p> <p>4.2 教師データ一覧（教師データ作成リスト）</p> |

図 1.2-4 「標準化ガイドライン」の全体構成

### 1.3 本ガイドラインの作成実施体制

- 公益財団法人 日本測量調査技術協会
- アジア航測株式会社
- 国際航業株式会社
- 株式会社パスコ

## 2. 解析プロダクトの標準化

### 2.1 解析結果提供フォーマットの標準化

#### 2.1.1 対象とする災害現象

- 本ガイドラインは、衛星画像から AI 解析モデルにより浸水エリア及び土砂災害発生エリアを自動抽出する一般的な手法をとりまとめたものである。
- 本ガイドラインが対象とする災害現象を図 2.1-1 及び図 2.1-2 のとおりとした。

## (1) 浸水エリア

- 「浸水範囲」と「浸水深」を捉えようとしている。
- 外水氾濫と内水氾濫の区別はしない。
- 災害時の迅速な解析結果提供を優先するため、湖沼・ため池・水田・河川等、平常時の水域と災害による浸水域は区別しない。



**外水氾濫** 河川の堤防が決壊または溢水（河川の水の溢れ）により、市街地や農地などの陸域が浸水する現象のこと



**内水氾濫** 平坦な土地に強い雨が降ると、排水用の水路や小河川の水が排水しきれず陸域が浸水する現象のこと

図 2.1-1 「浸水エリア」が対象とする現象について

## (2) 土砂災害発生エリア

- 土砂が流出（移動）した範囲を捉えようとしている。
- がけ崩れ、土石流、地すべりの各現象の区別はしない。



### がけ崩れ

地中にしみ込んだ水分が土の抵抗力を弱め、雨や地震などの影響によって急激に斜面が崩れ落ちる現象のこと



### 土石流

山腹や川底の石の土砂が、長雨や集中豪雨などによって、一気に下流へ押し流される現象のこと



### 地すべり

斜面の一部あるいは全部が地下水の影響と重力によってゆっくりと斜面下方に移動する現象のこと

図 2.1-2 「土砂災害発生エリア」が対象とする現象について

## 2.1.2 提供プロダクトのフォーマット

### (1) 基本的な考え方

- 災害対応者にとって災害発生を示唆する箇所の端緒をつかむことができ、次なる行動への示唆に繋がることで、衛星によるプロダクトの目的は達成したと考える。
- 人命にかかわる災害においては、早期の災害情報収集及び迅速な解析結果の提供が優先されると考える。
- 衛星データ（0次プロダクト）及び衛星データ解析結果（1次・2次プロダクト）は、災害発生からの経過時間ごとに、以下に示すような段階的な提供を行う。
- 本ガイドライン（一次案）では、機械学習導入による速度重視の提供プロダクト（1次プロダクト）を対象とする。

|         |                           |
|---------|---------------------------|
| 0次プロダクト | 発災エリアを含む広域警戒エリアを特定するプロダクト |
| 1次プロダクト | 機械学習導入による速度重視のプロダクト       |
| 2次プロダクト | 専門家の判読による確実性重視のプロダクト      |

### (2) 衛星データ

- 地球観測衛星には、自然の反射光を利用する光学衛星と、自らマイクロ波を出し、その散乱波（反射波）を観測するレーダ衛星に大別される。
- 光学衛星データはSPOT6/7を主とし、Pleiades、WorldView-3も活用する。また、可視バンド（RGB）に加えて、近赤外バンド（NIR）も利用する。
- レーダ衛星データはALOS-2を主とし、Sentinel-1も利用する。
- 光学衛星データはパンシャープン処理された8bitsデータに変換して活用する。

表 2.1-1 主な光学衛星

| 衛星           |           | SPOT6/7 | Pleiades-1A, 1B | WorldView-3 |
|--------------|-----------|---------|-----------------|-------------|
| 地上分解能        | パンクロマティック | 1.5 m   | 0.5 m           | 0.31 m      |
|              | マルチスペクトル  | 6 m     | 2 m             | 1.24 m      |
| 量子化ビット数（情報量） |           | 12 bits | 12 bits         | 11 bits     |
| 観測幅          |           | 60 km   | 20 km           | 13.1 km     |
| 観測頻度         |           | 毎日      | 毎日              | 4.5 日       |
| 観測波長帯        |           | 可視+近赤外  | 可視+近赤外          | 可視+近赤外等     |

表 2.1-2 主なレーダ衛星

| 衛星    | ALOS-2         | Sentinel-1                           |
|-------|----------------|--------------------------------------|
| 地上分解能 | 3 m<br>高分解能モード | 5×20 m<br>Interferometric Wide Swath |
| 観測幅   | 50 km          | 250 km                               |
| 回帰日数  | 14 日           | 12 日                                 |
| 観測波長帯 | Lバンド（約 24 cm）  | Cバンド（約 5 cm）                         |

### (3) 衛星データの詳細度

浸水エリア及び土砂災害エリアの判読縮尺目安、視認性等を表 2.1-3 に示す。

表 2.1-3 浸水エリア及び土砂災害エリアの判読視認性等

|          | 光学衛星 (例: SPOT6/7)                             | SAR 衛星 (例: ALOS-2)  |
|----------|---|---|
| 位置精度     | 10m (CE90) <sup>注1)2)</sup>                   | 6.73m (Stripmap L2.1) <sup>注4)</sup>  |
| 判読上の縮尺目安 | 1:10,000 <sup>注3)</sup>                       | 1:50,000 概査 (画像全体の俯瞰) <sup>注5)</sup><br>1:25,000 精査 (谷単位の判読) <sup>注5)</sup><br>1:10,000 判定 (斜面単位の判読) <sup>注5)</sup> |
| 判読の視認性   | 225 m <sup>2</sup> <sup>注3)</sup><br>(最小判読単位) | 浸水害の場合 <sup>注6)</sup><br>概ね 50m四方以上<br>土砂災害の場合 <sup>注7)</sup><br>土砂移動面積の大きさ等による                                     |

#### 【参考資料】

- 注1) CE90 (the Circular Error at the 90th percentage)  
検証に使用された地点の 90%が半径<CE90>未満の範囲内に収まる。
- 注2) SPOT Imagery User Guide, AIRBUS DEFENCE AND SPACE Intelligence  
CE90 GCP なし 20m、Reference 3D によるオルソ製品 10m  
<https://www.satim.co.jp/satellite/spot/spot6-7/>
- 注3) 判読上の縮尺目安と最小判読単位は Copernicus EMS Rapid Mapping を引用  
<https://emergency.copernicus.eu/index.html>
- 注4) ALOS-2/PALSAR-2 Calibration and Validation Results Ver. 2021.9  
[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos-2/pdf/PALSAR2\\_CalVal\\_Results\\_JAXA\\_v202109.pdf](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos-2/pdf/PALSAR2_CalVal_Results_JAXA_v202109.pdf)
- 注5) 水野ら(2020):「合成開口レーダ (SAR) 画像による土砂災害判読の手引き」、国土技術政策総合研究所資料、No. 1110、令和 2 年 4 月。
- 注6) 災害時の人工衛星活用ガイドブック 水害版・浸水編 (JAXA/国土交通省)  
<https://www.mlit.go.jp/common/001227723.pdf>
- 注7) 災害時の人工衛星活用ガイドブック 土砂災害版 (JAXA/国土交通省)  
<https://www.mlit.go.jp/common/001227722.pdf>

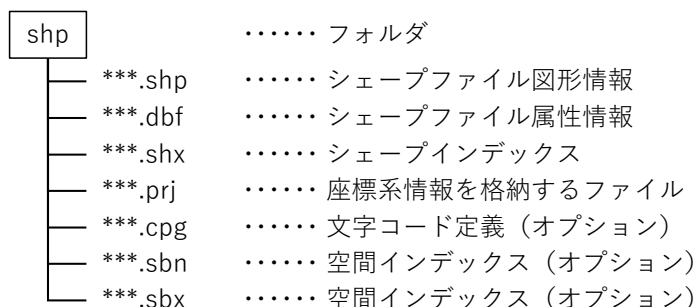
#### (4) 解析プロダクト

浸水エリア・土砂災害発生エリア、浸水深は以下に示すファイル構成で作成する。

##### ④ 浸水エリア・土砂災害発生エリア（共通）

AI 等によって予測された浸水エリア及び土砂災害発生エリアをポリゴンデータ (Shape 形式) として作成し、以下のファイル構成をまとめたフォルダを作成する。座標系は平面直角座標系もしくは UTM 座標系とする。

「shp」フォルダを作成し、shpフォルダ内にシェープファイルを構成するファイルを配置する。ファイル名（以下の「\*\*\*」部分）は同一名称とし、半角英数字（日本語は含まない）とする。



##### ⑤ 浸水深

浸水深は GeoTiff 形式とし、以下のファイル構成で整理する。座標系は平面直角座標系もしくは UTM 座標系とする。



## 2.1.3 留意事項

### (1) 時点について

浸水や土砂災害の状況は、時間の経過ごとに変化する。そのため、衛星画像が示す状況の時点を明確にするため、衛星観測日時、判読（抽出）結果データの公表日時を明確にしておく必要がある。

### (2) 判読不能または誤抽出の原因

センサの特徴や地表面の状態等により、観測が困難または誤抽出の原因となるケースがある主な原因を以下の表に示す。

表 2.1-4 判読不能または誤抽出の原因

|      | 光学   | SAR  |
|------|--|--|
| 浸水被害 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○雲・霧の影響</li> <li>○雲・地物の影による影響</li> <li>○入射角が大きい場合は地物の倒れ込みや画質の低下がある</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○湛水期の水田、ビルの多い都市</li> <li>○レイオーバー、レーダシャドウ</li> </ul> |
| 土砂災害 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○雲の影響</li> <li>○伐採地、既存崩壊地、季節の変化</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○面積の小さい土砂移動箇所</li> <li>○レイオーバー、レーダシャドウ</li> </ul>   |

#### ① 雲の影響【光学】

光学画像の場合、雲があると地表面の観測ができないため、浸水や土砂災害の発生を検出できない。

#### ② 伐採地、既存崩壊地、季節の変化（紅葉など）【光学：主に土砂災害】

抽出対象である土砂移動箇所は、森林であった箇所が森林でなくなり、土や砂などが地表面に露出した状態となることが多い。この状態の色と類似する伐採地、既存崩壊地は、誤抽出の原因となり得る。また、紅葉により樹木の葉が土や砂の色に近い状態となる場合も、誤抽出の原因となり得る。

#### ③ 湛水期の水田、ビルの多い都市部【SAR：浸水被害】

田植え時期の水田は、ほぼ水面となるため、後方散乱強度解析では浸水と誤抽出する。また、都市部においては、建物立地エリアが全て浸水しないと浸水域の抽出が困難である。なお、JAXA・国土交通省のガイドブックによると、ALOS-2においては、概ね50m<sup>2</sup>以上の浸水域の判読が可能とされている。

※出典：JAXA・国土交通省(2018)：「災害時の人工衛星活用ガイドブック／水害版・浸水編」

#### ④ 面積の小さい土砂移動箇所【SAR：土砂災害】

JAXA・国土交通省のガイドブックによると、土砂移動面積が大きいほど、土砂移動箇所の抽出率が高くなること、土砂移動面積が1,000m<sup>2</sup>よりも小さい場合は抽

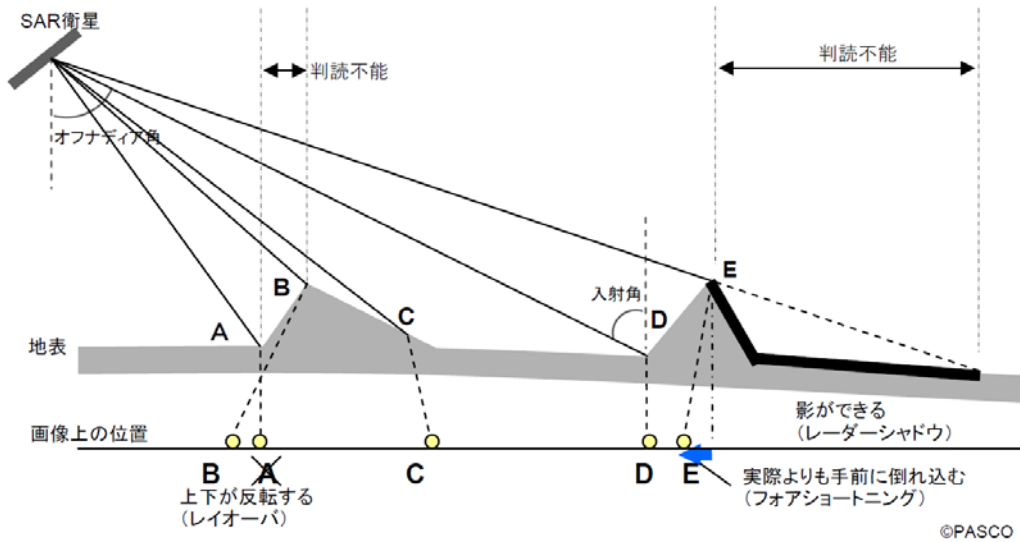


出が困難であることが示されている。

※出典：JAXA・国土交通省(2018)：「災害時の人工衛星活用ガイドブック／土砂災害版」

### ⑤ SAR 画像に特徴的な現象

SAR 衛星はマイクロ波を斜めに照射するため、SAR 画像には以下の図表に示す現象が発生する。



※出典：水野ら(2014)：「2 偏波 SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法(案)」、国土技術政策総合研究所資料、No.791、平成 26 年 6 月。

図 2.1-3 SAR 画像に特徴的な現象

表 2.1-5 SAR 画像に特徴的な現象

| 現象         | 説明  |
|------------|---|
| レイオーバー     | 図-2.1.3 の B は、建物の壁や急斜面など（入射角よりも急な勾配をもつマイクロ波に正対する面）では、上部の方が下部よりもアンテナに近くなるため（通常は上部の方がアンテナから遠い）、画像上では上下が反転し白くつぶれる。 |
| フォアショートニング | 図-2.1.3 の E は、高い建物や山などが実際の平面位置よりアンテナに近い位置に表示される。  |
| レーダシャドウ    | 図-2.1.3 の E より衛星アンテナから遠い場所は、電磁波照射源の反対側斜面が陰影部となる。  |

※出典：水野ら(2014)：「2 偏波 SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法(案)」、国土技術政策総合研究所資料、No.791、平成 26 年 6 月。

## 2.1.4 解析プロダクト標準項目（案）

浸水及び土砂災害の AI 判読結果を説明するメタデータの標準項目を表 2.1-6 に示すとおりとした。

表 2.1-6 解析プロダクト標準項目（案）

| KEY        | 文字型  | サイズ | フォーマット           | 備考  |
|------------|------|-----|------------------|---|
| 災害種別 ID    | Int  | 5   | 1 か 2 の数字        | 1: 浸水<br>2: 土砂災害  |
| 観測衛星タイプ    | Int  | 5   | 0 から 2 の数字       | 0: 光学・レーダ両方<br>1: 光学衛星<br>2: レーダ衛星                                  |
| 観測衛星名      | Text | 30  | 右記の半角文字列         | SPOT 6, SPOT 7<br>Pleiades-1<br>WorldView-3<br>ALOS-2<br>Sentinel-1 |
| 衛星画像観測日時   | Text | 30  | YYYY/MM/DD HH:MM | UTC   |
| 比較衛星画像観測日時 | Text | 30  | YYYY/MM/DD HH:MM | UTC   |
| レイヤ名称      | Text | 200 | ※1               |   |
| 解析手法       | Text | 60  | ※2               |   |
| コメント       | Text | 200 |                  |   |

※1: [衛星名称]▲[プロダクツ名称]▲[衛星画像観測日時 YYYY/MM/DD HH:MM]観測)  
▲は半角スペース

例 「レーダ衛星 ALOS-2 の災害前後カラー合成画像による推定浸水エリア  
(2020/07/04 観測)」

※2: 例 「SAR 画像の災害前後のカラー合成による推定浸水エリア」  
「SAR 画像の災害前後のカラー合成による推定土砂災害エリア」  
「光学画像による推定浸水エリア」  
「光学画像による推定土砂災害エリア」

## 2.2 個別プロダクト説明資料の作成・共有

### 2.2.1 浸水エリア（光学画像）

#### （1）浸水範囲の抽出

畳み込みニューラルネットワーク（CNN）による光学衛星画像のセマンティック・セグメンテーションを利用する。解析の流れは以下に示す通りである。

- ① 衛星画像（可視画像(B, G, R)、フォールスカラー画像(G, R, NIR))を目視判読し、浸水範囲のポリゴンデータを作成する。
- ② 学習用データと検証用データを分ける。
- ③ 学習用データをもとに深層学習を実施する。
- ④ 深層学習の結果をもとに推論を実施(深層学習モデルにより浸水域を抽出)する。
- ⑤ 推論結果（ラスタ画像）を必要に応じてベクター化する。

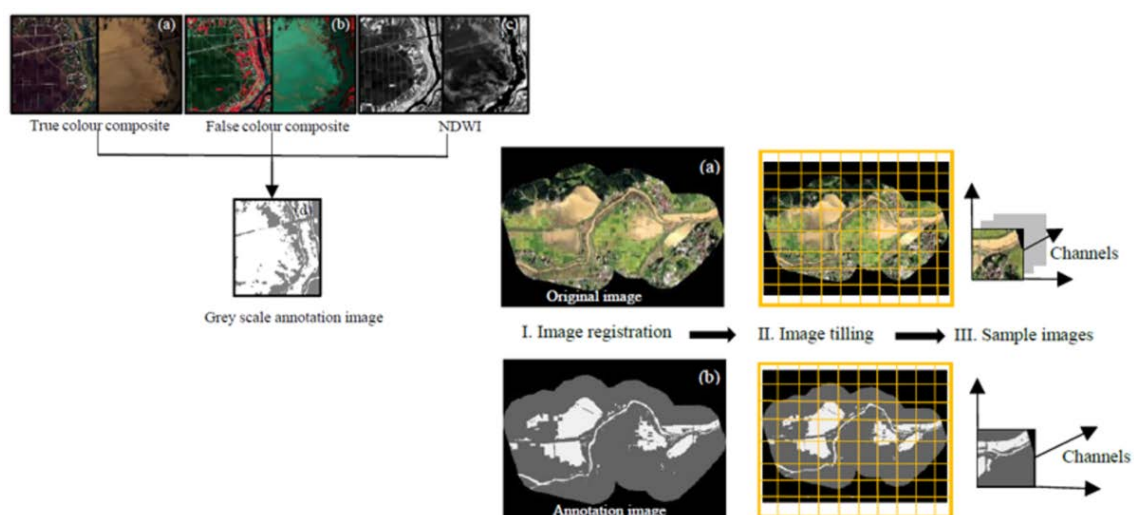


図 2.2-1 AI 学習による浸水域抽出の処理概要

#### 【学習パターンの検討】

- SPOT 等の光学衛星画像を用いて、深層学習による浸水域を自動抽出
- 各バンドの 8bits パンシャープン画像を入力
- セグメンテーションモデル（U-Net）を適用
- 学習パターンは表 2.2-1 の通り

表 2.2-1 浸水域抽出のための学習パターン

| 学習パターン          | Ch 数 | 災害後 |   |   |     | 災害前（災害未満）        |   |   |     |
|-----------------|------|-----|---|---|-----|------------------|---|---|-----|
|                 |      | B   | G | R | NIR | B                | G | R | NIR |
| 後のみ True Color  | 3    | ○   | ○ | ○ |     |                  |   |   |     |
| 後のみ False Color | 3    |     | ○ | ○ | ○   |                  |   |   |     |
| 後のみ 4 バンド       | 4    | ○   | ○ | ○ | ○   | <b>災害未満画像の活用</b> |   |   |     |
| 前後 True Color   | 6    | ○   | ○ | ○ |     | ○                | ○ | ○ |     |
| 前後 False Color  | 6    |     | ○ | ○ | ○   |                  | ○ | ○ | ○   |
| 前後の各 4 バンド      | 8    | ○   | ○ | ○ | ○   | ○                | ○ | ○ | ○   |

(2) 浸水深分布の推定

- 日本全国の数値標高モデル (DEM) を事前収集し、浸水深解析用データベースをクラウド上に整備
- 浸水深推定の流れを図 2.2-2、浸水深分布の推定方法を図 2.2-3 に示す。

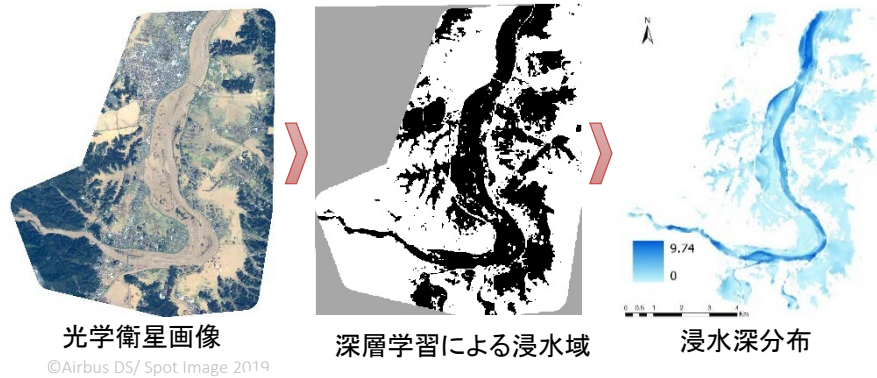


図 2.2-2 浸水深分布の推定の流れ (イメージ)

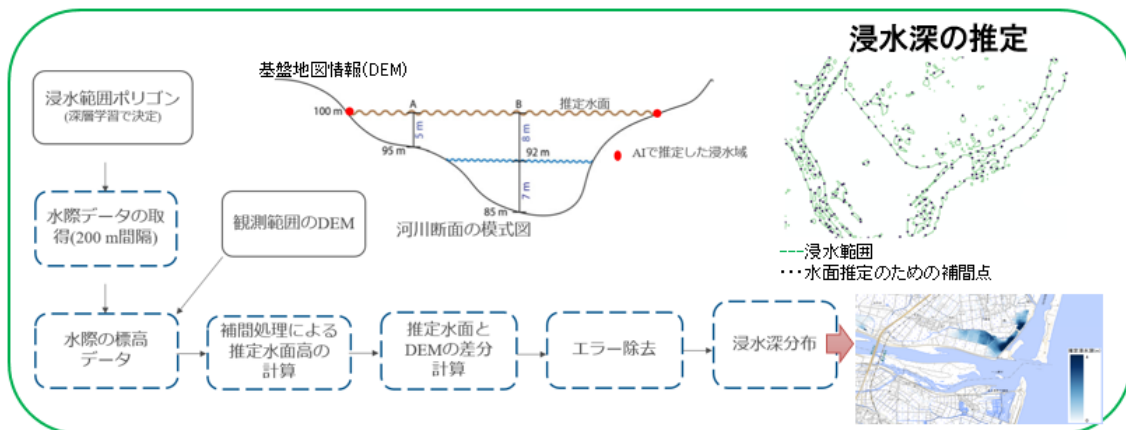


図 2.2-3 浸水深分布の推定方法

※出典：出典：R.G.C.J. Kapilaratne ら (2022)：「RAPID FLOOD MAPPING FROM HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS」、18th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society, pp. 156-158.

## 2.2.2 浸水エリア (SAR)

### (1) 第1段階－速報版－

#### ① ALOS-2／単時期

単時期の後方散乱強度にしきい値を設定し、浸水範囲を推定する。

浸水深の推定には、国土地理院基盤地図情報5mメッシュ標高データを利用する。

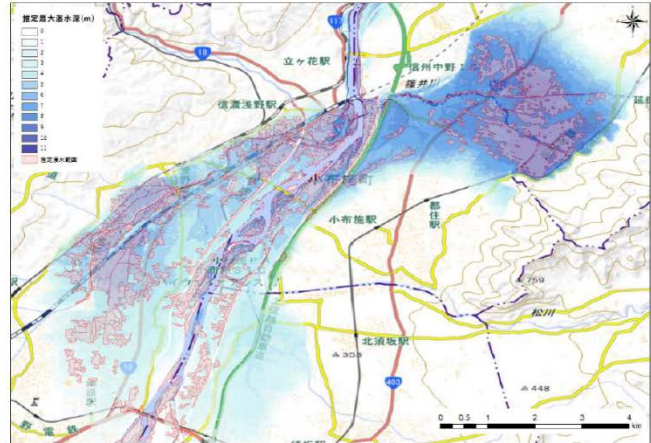
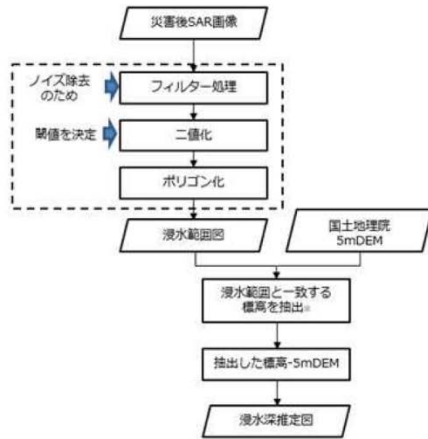


図1 単時期画像を用いて浸水情報を抽出した流れ

図2 浸水範囲・浸水深推定結果(長野市穂保地区)

### 図 2.2-4 浸水範囲・浸水深の推定／単時期

※出典：虫明ら(2021)：「衛星 SAR データによる浸水情報抽出」、令和3年度土木学会年次講演会。

#### ② ALOS-2／2 時期

2 時期の後方散乱強度の差分計算を行い、設定したしきい値に基づき、浸水範囲を推定する。浸水範囲に市街地を含む場合、市街地内の浸水範囲の推定が困難な場合があることから、市街地周辺の農地等の浸水範囲を活用する。

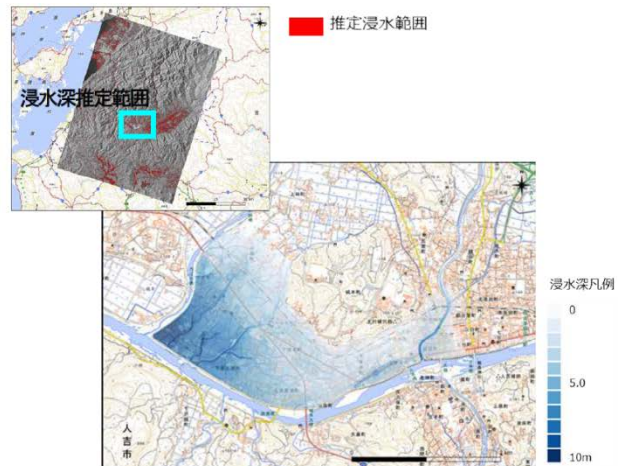
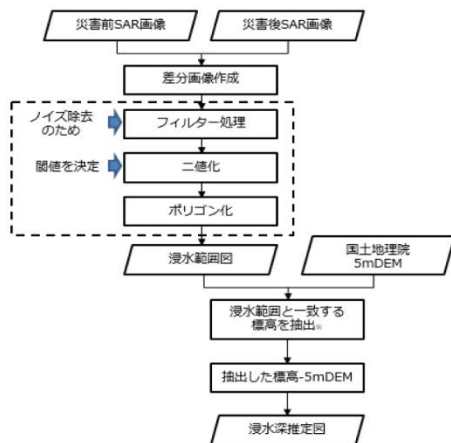


図3 複数時期画像を用いて浸水情報を抽出した流れ

図4 浸水範囲・浸水深推定結果(熊本県人吉市)

### 図 2.2-5 浸水範囲・浸水深の推定 ② 2 時期

※出典：虫明ら(2021)：「衛星 SAR データによる浸水情報抽出」、令和3年度土木学会年次講演会。



## (2) 第2段階－詳細版－

災害前後2時期の後方散乱強度の差分では、建物が多い地域が浸水した場合の抽出が困難となる。そこで、災害前2時期と災害時の計3時期のSARデータを用いて、建物が多い市街地内を含む浸水域把握を行う。この方法は、浸水の発生によって変化した地域では、災害前後で干渉性が低下することを利用している。干渉性の変化を利用した市街地内浸水範囲推定のフロー概要を図2.2-6に示す。また、図2.2-7には、令和元年台風第19号（東日本台風）時の市街地内浸水範囲推定結果を示す。

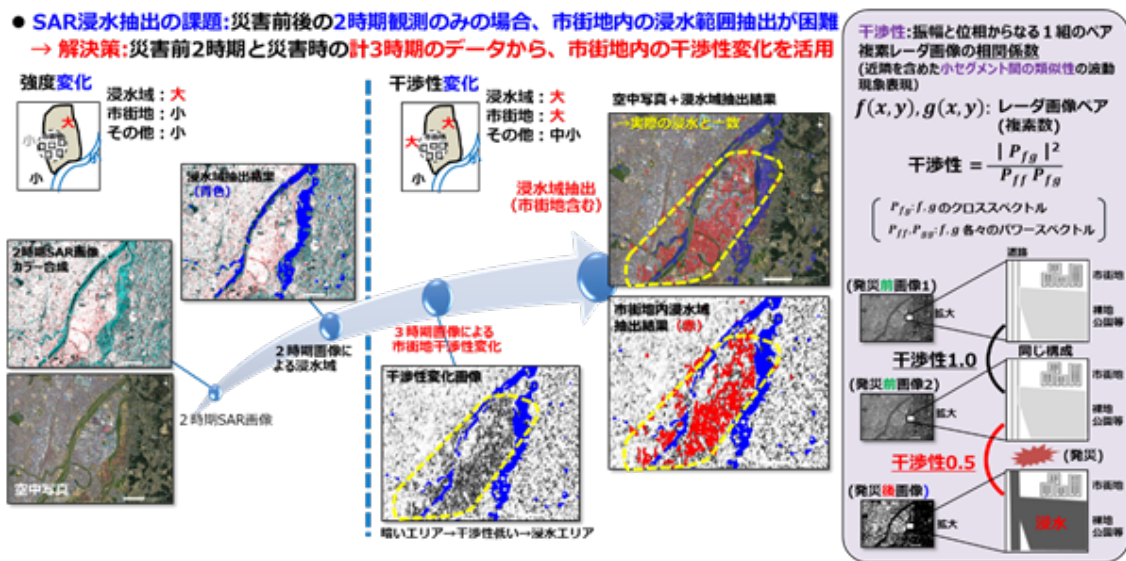


図 2.2-6 干渉性の変化を利用した市街地内浸水範囲推定フロー概要

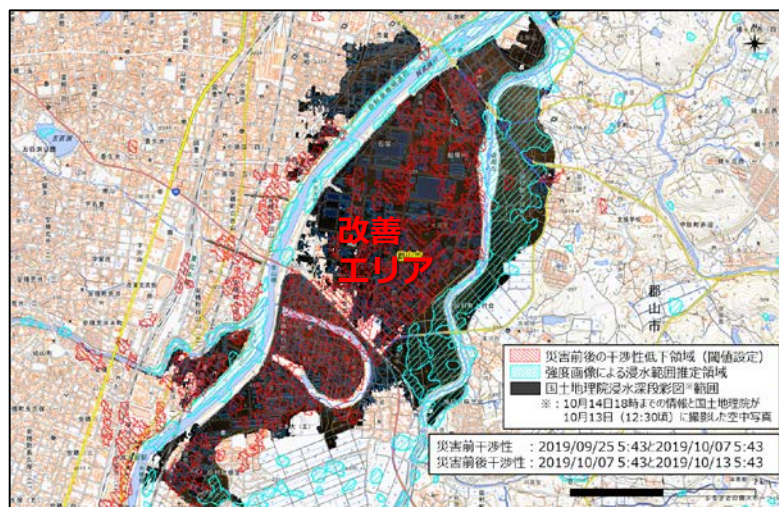


図 2.2-7 干渉性変化による市街地の浸水範囲の推定例

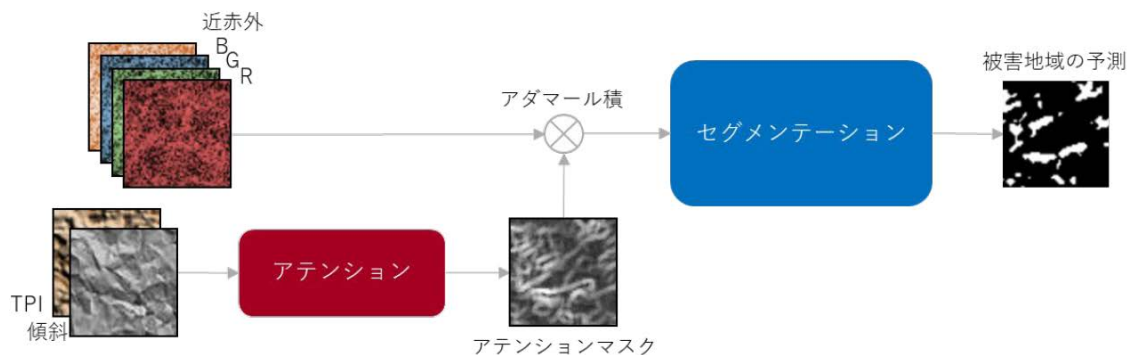
## 2.2.3 土砂災害

### (1) 土砂移動箇所の抽出

- 光学衛星 (SPOT6/7) は災害後 1 時期 (4 チャンネル)、SAR 衛星 (ALOS-2) は災害前後の後方散乱強度カラー合成画像 (3 チャンネル) を使用する。
- 土砂移動が発生する地形要素に着目するため、傾斜と TPI の各画像を用意し、入力データとなる衛星画像とのアダマール積をとる。
- 深層学習によるセマンティック・セグメンテーション手法を適用し、画素単位に土砂移動域か否かを分類する。
- 災害未満画像を用いて、伐採地、既存崩壊地の除去を行う。

表 2.2-2 解析手法

|       | 光学衛星 (SPOT6/7)  | SAR 衛星 (ALOS-2)   |
|-------|---|---|
| 入力データ | <b>【衛星データ】</b><br>○災害後 1 時期のパンシャープン (分解能 1.5m)<br>B、G、R、NIR の 4 バンド                     | <b>【衛星データ】</b><br>○災害前後 2 時期の後方散乱強度カラー合成画像 (分解能 2.5m)                                   |
|       | <b>【アテンションマスク用】</b><br>○地形情報  | <b>【アテンションマスク用】</b><br>○地形情報  |
| 解析手法  | ○入力データに対し、U-Net をもとにアテンションマスクを取り入れる<br>○深層学習によるセマンティック・セグメンテーション手法を適用し、画素単位に土砂移動域か否かを分類 | ○入力データに対し、U-Net をもとにアテンションマスクを取り入れる<br>○深層学習によるセマンティック・セグメンテーション手法を適用し、画素単位に土砂移動域か否かを分類 |
| マスク処理 | ○災害未満画像   | ○災害未満画像   |

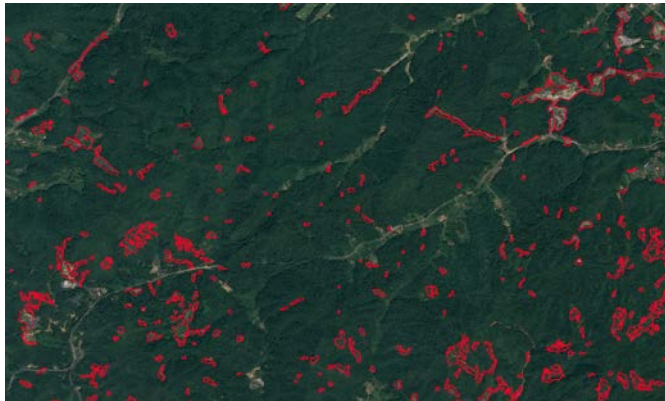


※出典：吉川ら(2021)：「光学衛星画像の深層学習による崩壊地抽出」、写真測量とリモートセンシング 60(5)、237、258-261.

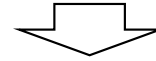
図 2.2-8 解析手法の概念図

## (2) 災害未満画像の活用

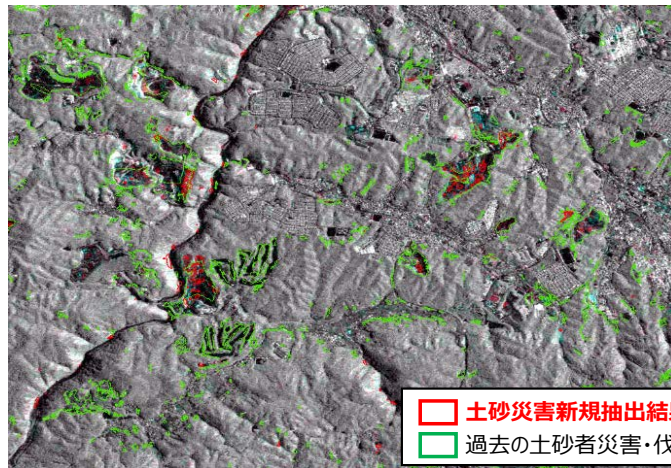
- 平時の画像（災害未満画像）から、災害時に発生した土砂移動箇所と、平時の事象を区別できるよう、伐採地、既存崩壊地等のデータベースを作成した。



現行モデルでは土砂災害と伐採地の判別が困難  
人による精査に時間を要することが課題



別ソースの地理空間情報に基づき日本全国の既存の伐採地・崩壊地を抽出して活用



雲、水部、平地上の地物など、最近の災害事例における誤抽出について除去方法を継続検討

■ 土砂災害新規抽出結果  
■ 過去の土砂災害・伐採結果

図 2.2-9 災害未満画像を活用した土砂災害抽出能力の向上の例



## 2.3 解析プロダクト提供タイムライン

### 2.3.1 標準モデル

- 衛星観測からワンストップサーバへの画像データ登録、画像データの入手、解析、解析結果の登録までの標準的なタイムラインを図 2.3-1 及び図 2.3-2 に示す。
- 災害が日中に発生し、夜 21 時まで夜間の SAR 衛星（ALOS-2 を想定）の緊急観測要求ができた場合を想定している。
- ALOS-2 による夜 0 時頃の観測後、衛星データの入手には 1.5～2 時間を要する。
- SPOT6/7 は昼 10 時頃の観測となり、衛星データの入手には約 5 時間を要する。
- 衛星データ入手後、自動処理を行い、1 次プロダクトの解析処理までにベストエフォートで 1 時間を要する。
- 浸水被害の場合、専門家の目視等による調整を行い、2 次プロダクトの作成までに 3 時間を要する。
- 土砂災害の場合、専門家の目視等による調整を行い、2 次プロダクトの作成までに 5 時間を要する。

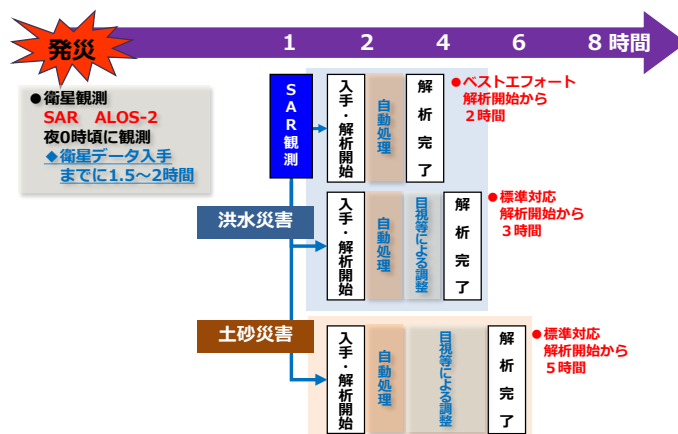


図 2.3-1 SAR 衛星（ALOS-2）による緊急観測から解析完了までのタイムライン

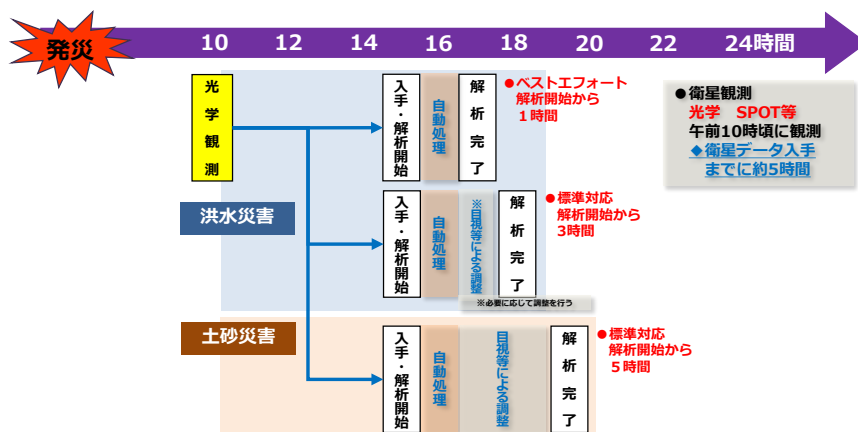


図 2.3-2 光学衛星（SPOT6/7）による緊急観測から解析完了までのタイムライン

## 2.3.2 災害対応事例

### (1) 浸水被害

- 令和3年度は、令和3年7月1日からの大雨（2回）、令和3年8月前線による大雨（5回）について、計7回の緊急観測、判読及びワンストップシステムへの登録を実施した。
- 令和3年7月1日からの大雨、令和3年8月前線による大雨のときの対応概要と、六角川の事例を図2.3-3及び図2.3-4に示す。



図 2.3-3 緊急観測からワンストップシステムへの登録までを実施したケース一覧  
令和3年8月 前線による大雨（佐賀県六角川）の対応例

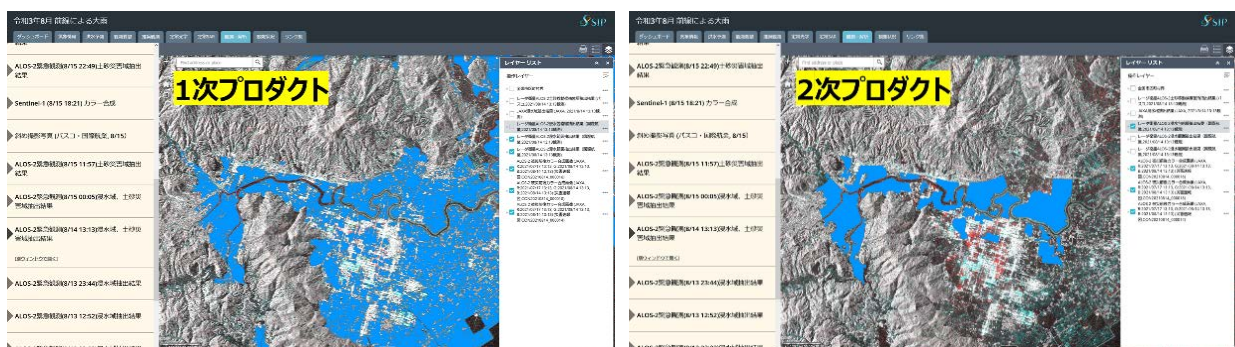


図 2.3-4 佐賀県六角川周辺における浸水範囲の抽出例

- 令和4年度も含めた災害対応一覧を表 2.3-2、令和4年の災害対応例を図 2.3-5に示す。表 2.3-2には令和4年の災害対応を赤枠とした。

表 2.3-1 令和3年・令和4年の災害対応一覧（浸水災害）

| No     | SAR(ALOS-2)<br>観測時刻           | 主な<br>対象河川 | 処理<br>時間 | 解析<br>開始 |
|--------|-------------------------------|------------|----------|----------|
| 1      | 21/7/9 00:12                  | 千代川        | 4:10     | 翌朝       |
| 2      | 21/7/10 12:52                 | 薩摩川内川      | 1:58     | 翌朝       |
| 3      | 21/8/12 23:23                 | 筑後川        | 3:26     | 翌朝       |
| 4      | 21/8/13 12:52                 | 菊池川        | 3:01     | 即時       |
| 5      | 21/8/13 23:44                 | 六角川        | 3:21     | 翌朝       |
| 6      | 21/8/14 13:13                 | 六角川        | 3:52     | 即時       |
| 7      | 21/8/15 00:05                 | 江の川        | 4:02     | 翌朝       |
| 8      | 22/7/16 11:35                 | 鳴瀬川        | 4:32     | 即時<br>後日 |
| 9      | 22/8/4 5:43<br>(Sentinel-1利用) | 最上川<br>荒川  | -<br>※2  | 即時       |
| 10     | 22/8/4 11:42                  | 荒川         | -        | 翌朝       |
| 11     | 22/8/9 22:44                  | 岩木川        | -        | 翌朝       |
| 12     | 22/9/18 23:37                 | 大淀川        | 3:32     | 即時       |
| 13     | 22/9/19 13:06※1               | 榎野川        | -        | 後日       |
| 平均処理時間 |                               |            | 3:28     |          |

処理時間：ワンストップシステムにおける、ALOS-2 L2.1共有から  
2次プロダクト包絡線作成結果登録までの所要時間  
※1：0次プロダクト提供の遅れ  
※2：0次プロダクト入手まで観測後約9時間  
1次プロダクト提供まで観測後約13.5時間（ローカル処理）  
1次プロダクト作成の結果、2次プロダクト作成不要と判断

ALOS-2（令和4年台風14号 宮崎県・大淀川の例）

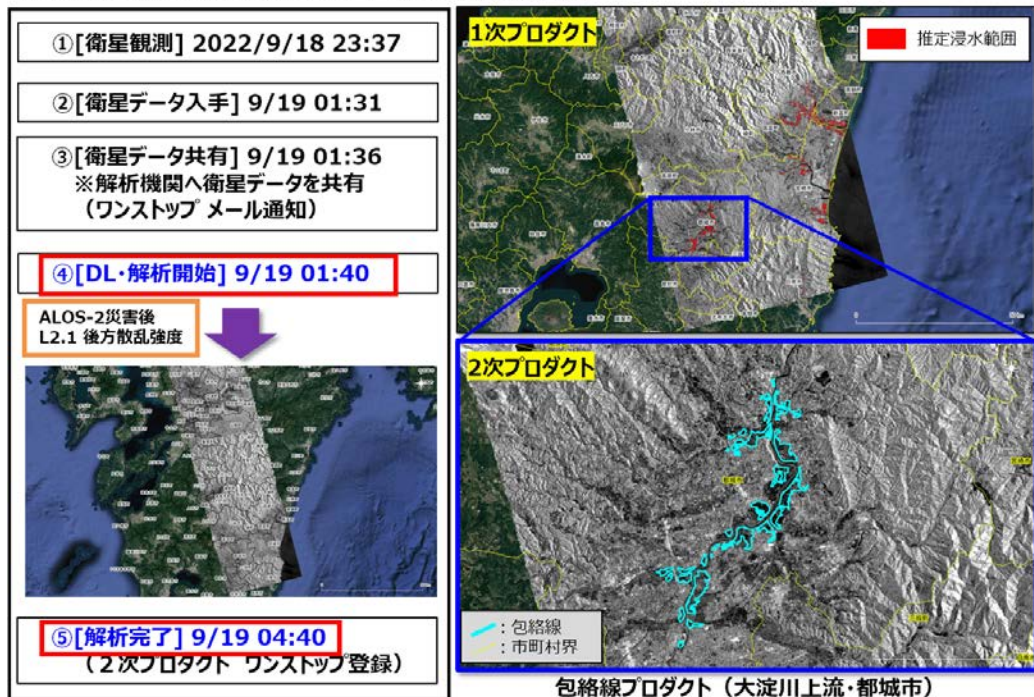


図 2.3-5 宮崎県都城市（大淀川）における浸水災害の抽出例



## (2) 土砂災害

- 令和3年度は、令和3年7月1日から大雨（1回）、令和3年8月前線による大雨（7回）、令和4年3月福島県沖を震源とする地震（1回）について、計9回の緊急観測、判読及びワンストップシステムへの登録を実施した。
- 令和3年7月1日から大雨、令和3年8月前線による大雨のときの対応概要と、熱海市伊豆山の事例を図 2.3-6 及び図 2.3-7 に示す。

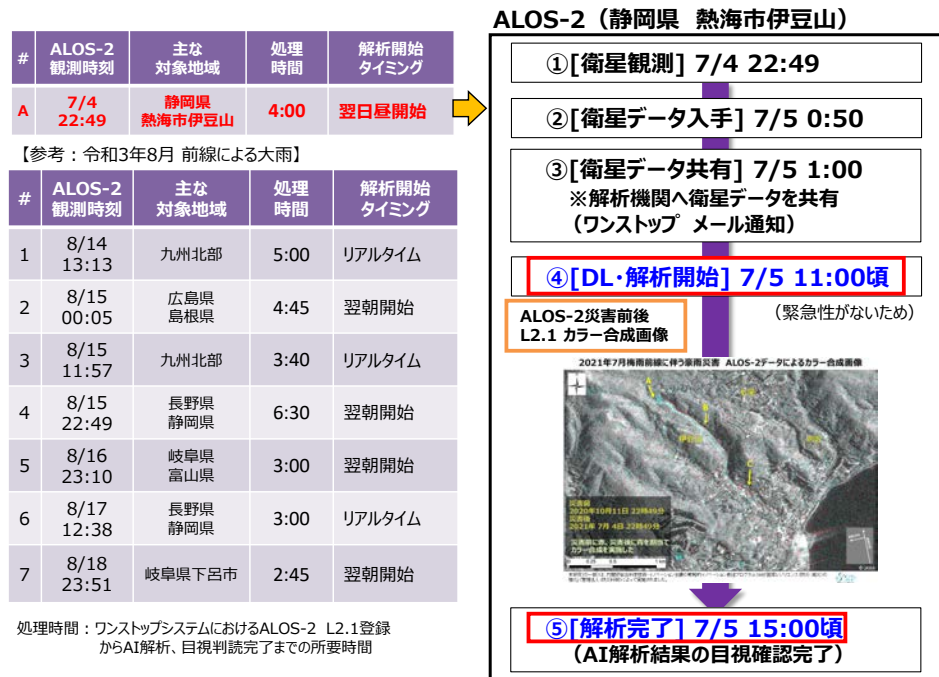


図 2.3-6 緊急観測からワンストップシステムへの登録までを実施したケース一覧  
令和3年7月1日から大雨（熱海市伊豆山）の対応例

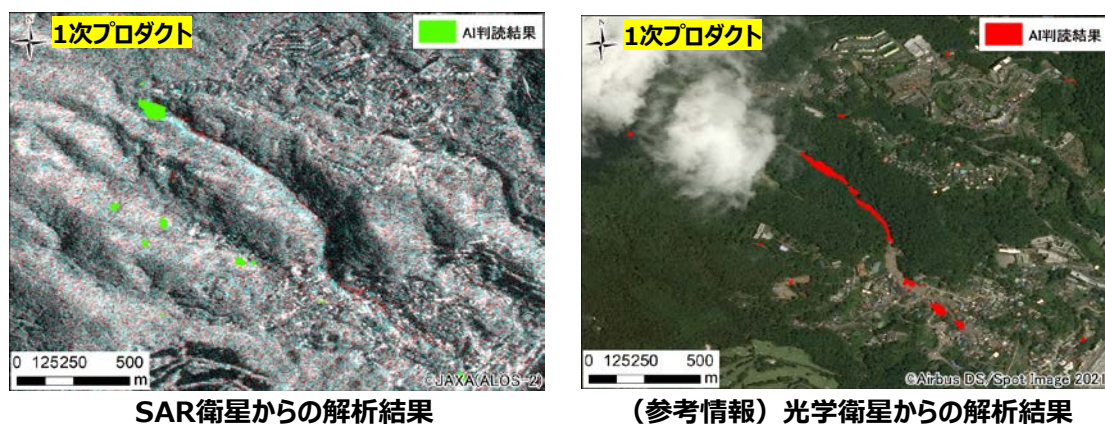


図 2.3-7 熱海市伊豆山における土石流の抽出例

- 令和4年度も含めた災害対応一覧を表 2.3-2、令和4年の災害対応例を図 2.3-8に示す。表 2.3-2 には令和4年の災害対応を赤枠とした。

表 2.3-2 令和3年・令和4年の災害対応一覧（土砂災害）

| #                         | 衛星     | 観測時刻          | 主な地域           | 処理時間        | 解析開始 |
|---------------------------|--------|---------------|----------------|-------------|------|
| 1                         | ALOS-2 | 21/7/04 22:49 | 静岡県東部          | 4:00        | 翌日   |
| 2                         | ALOS-2 | 21/8/14 09:39 | 九州北部           | 5:00        | 即時   |
| 3                         | ALOS-2 | 21/8/15 00:05 | 広島県、島根県        | 4:45        | 翌朝   |
| 4                         | ALOS-2 | 21/8/15 11:57 | 九州北部           | 3:40        | 即時   |
| 5                         | ALOS-2 | 21/8/15 22:49 | 長野県、静岡県        | 6:30        | 翌朝   |
| 6                         | ALOS-2 | 21/8/16 23:10 | 岐阜県、富山県        | 3:00        | 翌朝   |
| 7                         | ALOS-2 | 21/8/17 12:38 | 長野県、静岡県        | 3:00        | 即時   |
| 8                         | ALOS-2 | 21/8/18 23:51 | 岐阜県            | 2:45        | 翌朝   |
| 9                         | SPOT7  | 22/8/05 09:39 | 新潟県、山形県        | 1:30        | 即時   |
| 10                        | SPOT6  | 22/8/05 10:25 | 新潟県、山形県        | 2:15        | 即時   |
| 11                        | ALOS-2 | 22/9/19 13:05 | 九州・中国地方        | 2:45        | 即時   |
| 12                        | SPOT7  | 22/9/20 10:26 | 宮崎県            | 1:30        | 即時   |
| 13                        | ALOS-2 | 22/9/25 22:49 | 静岡県            | 4:45        | 翌日   |
| <b>2次プロダクト完了までの平均処理時間</b> |        |               | <b>ALOS-2</b>  | <b>4:00</b> |      |
|                           |        |               | <b>SPOT6/7</b> | <b>1:45</b> |      |

※処理時間：プロダクト受信から判読完了までの所要時間  
 ※災害対応： #1 令和3年7月1日からの大雨  
 #2~8 令和3年8月の大雨  
 #9、10 令和4年8月3日からの大雨  
 #11、12 令和4年台風第14号  
 #13 令和4年台風第15号

8月3日からの大雨 新潟県・山形県への適用例

SPOT6（新潟県 村上市）

【参考】ヘリ映像



図 2.3-8 新潟県村上市における土砂災害の抽出例

### 3. 精度検証・評価の標準化

#### 3.1 被災地抽出の精度評価方法の具体化

##### 3.1.1 精度評価の考え方

再現率を重視しつつも、最終的には空振りを軽減させ、適合率及びF値の向上し、技術開発・精度検証手法の確立を目指す。発災当初は再現率重視、現地確認が必要な段階では適合率重視の必要性、結果としてF値が重要となる。

##### (1) 評価指標

本検討における情報は範囲に関する情報（浸水範囲，土砂災害範囲）と地点に関する情報（浸水深）に区分される。

範囲に関する情報（浸水範囲、土砂災害範囲）は、本検討による推定範囲と検証用データ（正解と位置づける）の整合性を評価する。このため、一般的な機械学習の精度指標である混同行列による精度評価指標（正解率・再現率・適合率・F値）を用いる。

混同行列の定義は以下のとおりとする。各指標の詳細は以下のとおりである。

##### ● 混同行列(Confusion Matrix)

ここでは実際と推定の二値分類（災害発生域と非災害発生域）した際の整合・不整合を2×2の行列で示した整理表を示す。

|        | 推定 Yes | 推定 No |
|--------|--------|-------|
| 実際 Yes | A      | C     |
| 実際 No  | B      | D     |

A TP (True Positive) : 災害発生範囲であることを正しく推定したエリア  
B FP (False Positive) : 災害発生範囲と推定したが、実際は災害発生範囲ではなかったエリア  
C FN (False Negative) : 実際は災害が発生していたが、災害発生範囲と推定できなかったエリア  
D TN (True Negative) : 災害発生範囲外であることを正しく推定したエリア

図 3.1-1 二値分類における混同行列

##### ● 正解率(Accuracy)

最も単純な指標であり、対象地域内で実際に災害発生／非災害発生の範囲が、推定でも判別できた範囲の割合を示す。

##### ● 再現率(Recall)

実際に災害発生した範囲のうち、推定によって判別できた範囲の割合を示す。

##### ● 適合率(Precision)

災害発生と推定された範囲のうち、実際に災害が発生していた範囲の割合を示す。

● F 値 (F-measure)

再現率と適合率の調和平均を示す。

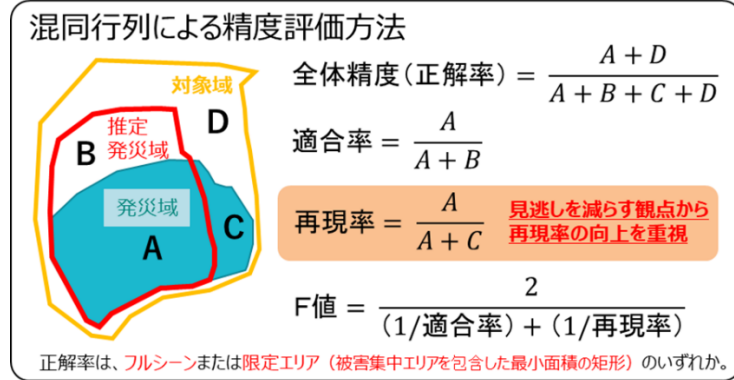


図 3.1-2 精度評価の各指標の算出式

地点に関する情報(浸水深)は、本検討においては面的な浸水深分布を提供している。一方、検証用データは国土地理院浸水段彩図のように面的な分布情報が得られる場合と浸水痕跡調査のように地点における推定最大浸水深が得られる場合がある。

このため、前者の場合は両者の差分を計算して平均的な差異(平均誤差)を、後者の場合は両者の最小二乗平均誤差を算出した RMSE (Root Mean Squared Error) を精度評価指標とした。

**平均誤差**：予測値と正解値の差の絶対値。

**RMSE**：誤差を二乗平均し、その平方根をとった値であり、数値予測のモデルの精度評価の指標として利用される。この値が小さいほど、誤差の少ないモデルと言える。

土砂災害範囲についても、浸水範囲と同様、再現率、適合率、F 値で評価する。

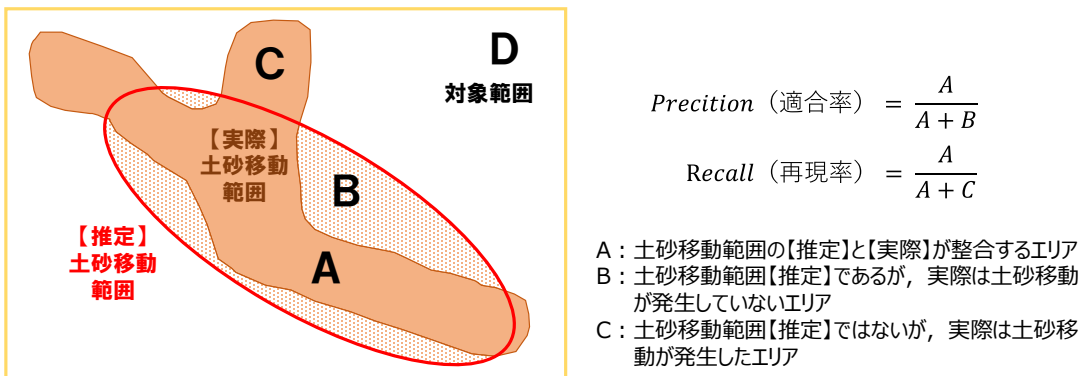


図 3.1-3 土砂災害 精度評価の考え方



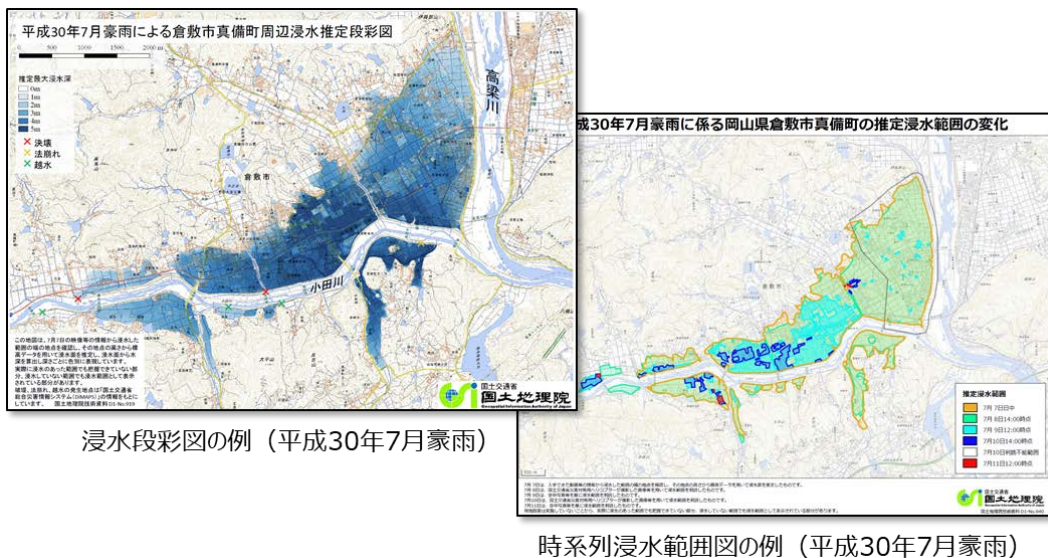
### 3.1.2 利用する検証用データ

#### (1) 浸水範囲・浸水深

浸水災害発生時には、浸水範囲・浸水深は国土地理院が災害発生時に浸水推定図（令和2年12月以前は「浸水段彩図」）を公開する場合があるが、浸水推定図はおもに空中写真などの映像情報に基づいて浸水範囲を把握しており、浸水範囲と浸水深が同時に示されている。また、浸水範囲・浸水深は時々刻々と変化するため、平成27年関東・東北豪雨や平成30年7月豪雨（西日本豪雨）のように時系列の浸水範囲情報が公開される場合もある。主にこの情報を検証用データとして利用する。さらに、土木学会に代表される関連学会などが浸水の痕跡調査を実施して結果を公開する場合もあり、この情報も検証用データとして利用可能と考えられる。

一方で、SIPで利用する衛星データはある瞬間の地表面状況を捉えたものであるため、検証用データと同じ時間に取得されることはほぼなく、時間差が生じることに留意する必要がある。

このため、SIPプロダクトと検証用データの精度検証にあたっては、両者の原典情報に関する取得時間の差を併記しておくことが望ましい。



※出典： 国土地理院 平成30年7月豪雨に関する情報

<https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou.html#8>(参照 2022-07-22)

図 3.1-4 検証用データとしての時系列浸水範囲情報公開の例





痕跡調査結果の例 (平成30年7月豪雨)

※出典： 前野、二瓶他、水工学委員会平成 30 年西日本豪雨災害調査報告速報、土木学会、2018-08-17。  
<https://committees.jsce.or.jp/chugoku/system/files/maeno.pdf>(参照 2022-07-20)

2018 年 7 月西日本豪雨土木学会中国支部緊急災害調査団

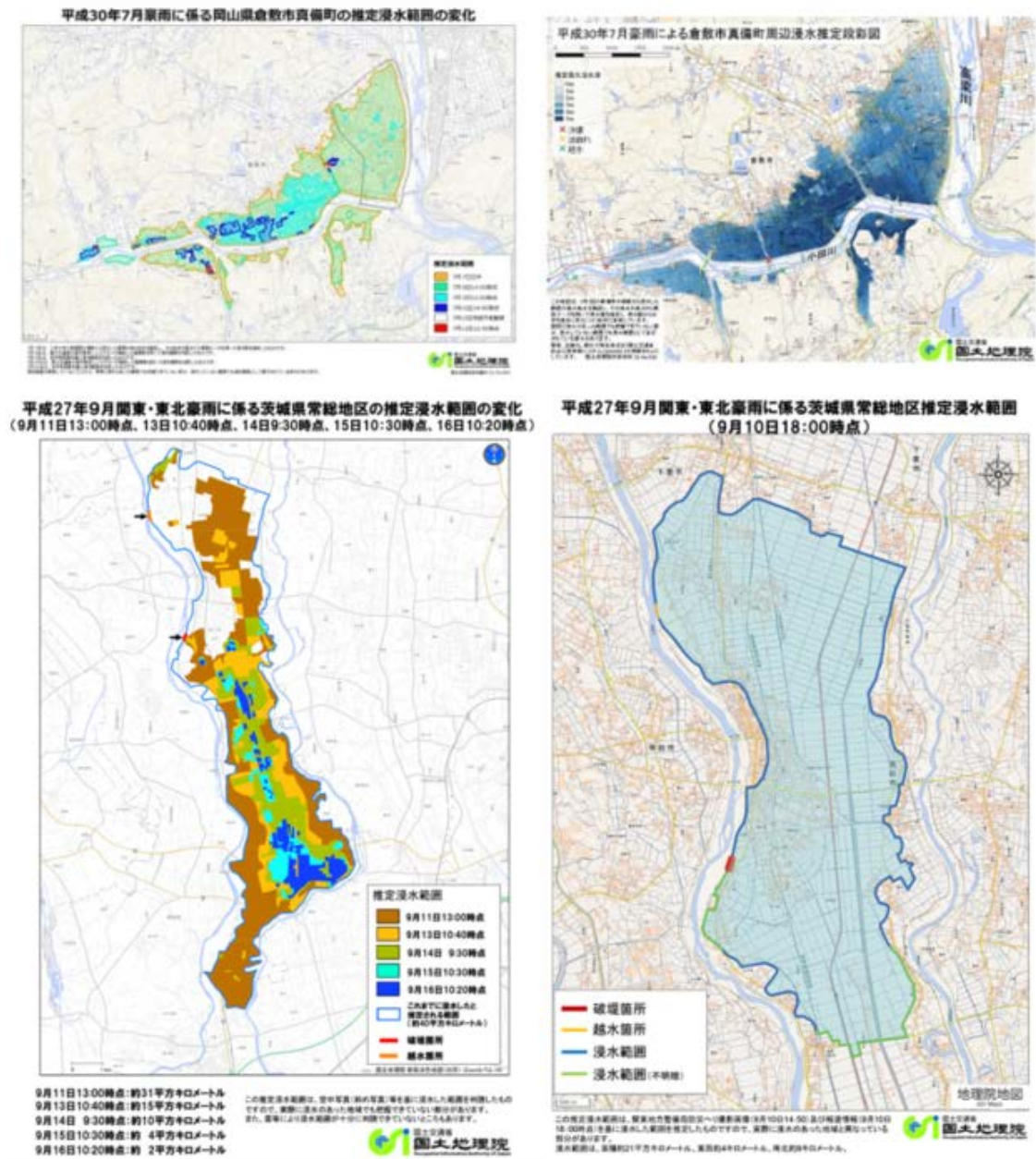
「2018 年 7 月西日本豪雨災害調査報告会」発表資料

9. 岡山県の河川災害について (前野、二瓶ほか)

<https://committees.jsce.or.jp/chugoku/system/files/maeno-compressed-compressed.pdf>(参照 2022-07-25)

図 3.1-5 検証用データとしての浸水深痕跡調査結果の例

- 国土地理院浸水推定図（衛星画像判読の際の参考資料として利用）
  - H27年9月関東・東北豪雨（鬼怒川）
  - H30年7月豪雨（高梁川）
  - 令和元年台風19号（阿武隈川）等



※出典： 国土地理院 平成27年9月関東・東北豪雨の情報  
<https://www.gsi.go.jp/common/000107660.pdf> (参照 2022-07-22)  
<https://www.gsi.go.jp/common/000107669.pdf> (参照 2022-07-22)  
 ※出典： 国土地理院 平成30年7月豪雨に関する情報  
<https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou.html#8> (参照 2022-07-22)

図 3.1-6 検証用データとしての時系列浸水範囲情報公開の例

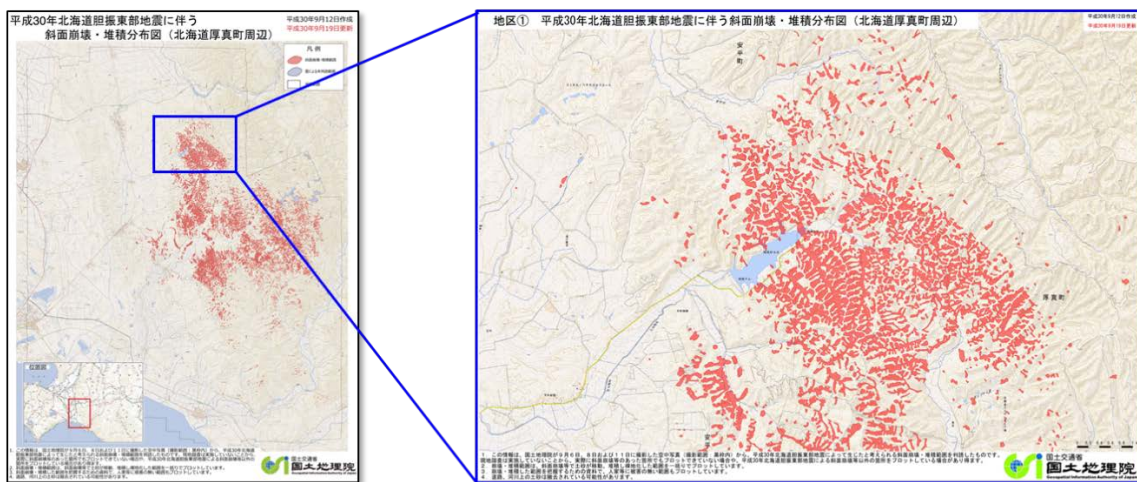
## (2) 土砂災害

土砂災害発生時には、国土交通省や国土地理院、関係自治体から斜面崩壊などの土砂災害範囲の分布図を公開する場合がある。これは主に空中写真などの判読によって土砂災害発生範囲を把握している。土砂災害の場合は浸水災害のように、時々刻々とその範囲が変化していくことは考えにくい。平成30年胆振東部地震に伴う斜面災害などでは複数時期に撮影された空中写真などの判読結果を統合してその範囲をプロットする場合がある。

一方で、SIPで利用する衛星データはある瞬間の地表面状況を捉えたものであるため、検証用データと同じ時間取得されることはほぼなく、時間差が生じることに留意する必要がある。また、前述のとおり検証用データが複数時点の情報を組み合わせたものとなる場合があることも、衛星データからの土砂災害範囲を検証する場合には留意する必要がある。

このため、SIPプロダクトと検証用データの精度検証にあたっては、両者の原典情報に関する取得時間の差を併記しておくことが望ましい。

土砂災害範囲の精度評価のために収集した検証用データを表3.1-1に示す。



斜面崩壊分布図の例（平成30年胆振東部地震）

※出典：国土地理院ホームページ

平成30年北海道胆振東部地震に伴う斜面崩壊・堆積分布図（北海道厚真町付近）

<https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html#10>(参照 2022-06-14)

図 3.1-7 検証用データとしての土砂災害範囲分布図の例

表 3.1-1 土砂災害範囲 検証用データ

| 災害名                      | 検証用データ  |
|--------------------------|---|
| 平成 28 年<br>熊本地震          | 環境省九州地方環境事務所<br>平成 28 年熊本地震による土砂移動及び亀裂分布図のダウンロードについて<br><a href="http://kyushu.env.go.jp/to_2016/28_2.html">http://kyushu.env.go.jp/to_2016/28_2.html</a>   |
| 平成 29 年 7 月<br>九州北部豪雨    | 国土地理院ホームページ<br>平成 29 年 7 月九州北部豪雨に伴う被害状況判読図<br><a href="https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_ooita-heavyrain.html">https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_ooita-heavyrain.html</a>   |
| 平成 30 年 7 月豪雨<br>(西日本豪雨) | 広島大学平成 30 年 7 月豪雨災害調査団 (地理学グループ)<br>「広島県の斜面崩壊分布図 (最終報告)」<br><a href="http://ajg-disaster.blogspot.com/2018/07/3077.html">http://ajg-disaster.blogspot.com/2018/07/3077.html</a>   |
| 平成 30 年<br>北海道胆振東部地震     | 国土地理院ホームページ<br>平成 30 年北海道胆振東部地震に伴う斜面崩壊・堆積分布図<br>(北海道厚真町付近)<br><a href="https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html#10">https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html#10</a> |

## 3.2 評価結果の説明資料の作成・共有

### 3.2.1 精度検証結果

SIP で実施したプロダクトが有する平均的な精度は表 3.2-1 のとおりである。災害発生直後の衛星観測においては発災場所と規模の概要を把握することが重要で見逃しを避ける目的から、初動対応の位置づけとしての浸水範囲と土砂災害は再現率を用いた。また、浸水深は RMSE (Root Mean Square Error) で評価した。

なお、精度評価事例が十分とはいえないため参考値とする。今後の継続的な災害対応事例蓄積を図ることが重要である。

表 3.2-1 浸水及び土砂災害の平均的な精度

|      | SAR              | 光学               |
|------|------------------|------------------|
| 浸水範囲 | 再現率 60%～90%程度    | 再現率 70%～90%程度    |
| 浸水深  | RMSE 0.7～2.5m 程度 | RMSE 0.9～1.3m 程度 |
| 土砂災害 | 再現率 40%～70%程度    | 再現率 40%～80%程度    |

前項で記載した評価指標及び検証用データを用いて、SIP 内で実施した代表的な精度評価事例を示す。

#### (1) 浸水範囲・浸水深

図 3.2-1 には令和元年台風第 19 号（東日本台風）による宮城県丸森町付近における国土地理院浸水段彩図との浸水範囲・浸水深検証事例を、図 3.2-2 には平成 30 年 7 月豪雨による岡山県倉敷市真備町付近における浸水痕跡調査結果（土木学会）との浸水深検証事例を示す。



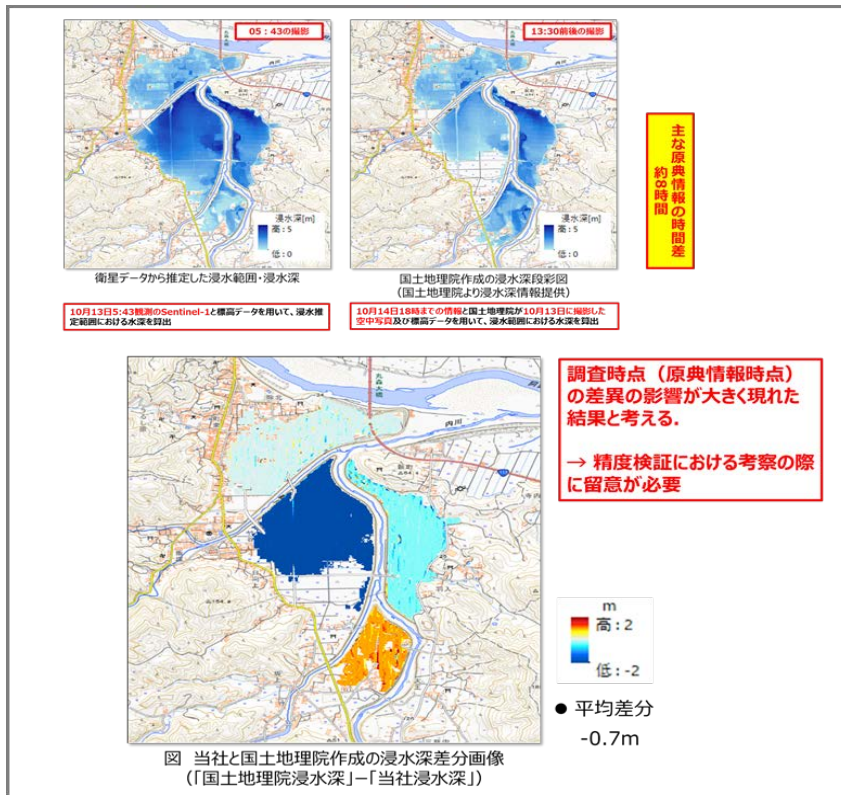


図 3.2-1 国土地理院段彩図との浸水範囲・浸水深検証事例

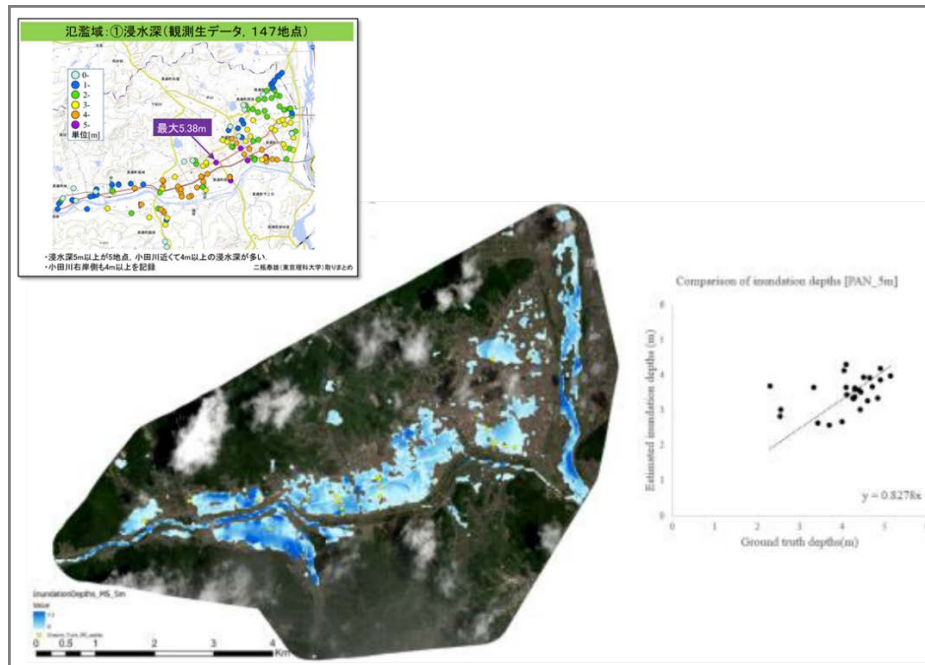


図 3.2-2 痕跡調査結果との浸水深検証事例

## (2) 土砂災害

図 3.2-3 には平成 30 年北海道胆振東部地震による北海道厚真町付近における AI 判読結果の検証事例（光学衛星 SPOT の利用）を、図 3.2-4 には平成 30 年 7 月豪雨による広島県南部（呉市付近）における AI 判読結果の検証事例（SAR 衛星 ALOS-2 の利用）を示す。検証用データ（検証に用いた教師データ）は、表 3.1-1 に示す検証用データ等を参考にして専門技術者が目視判読を行った結果である。

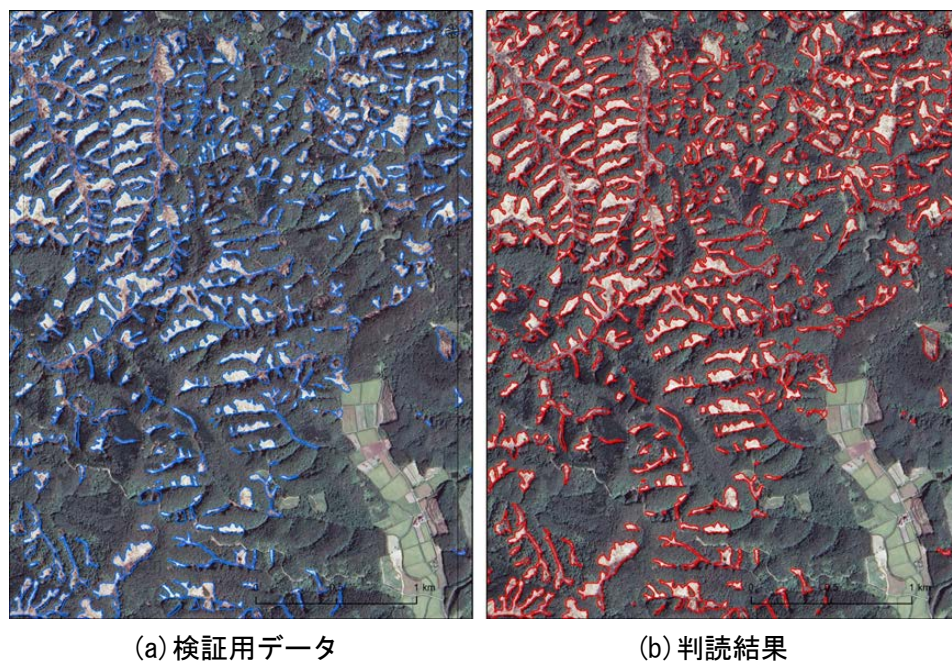


図 3.2-3 土砂災害範囲の検証事例（光学衛星 SPOT：2018 年 9 月 21 日観測）

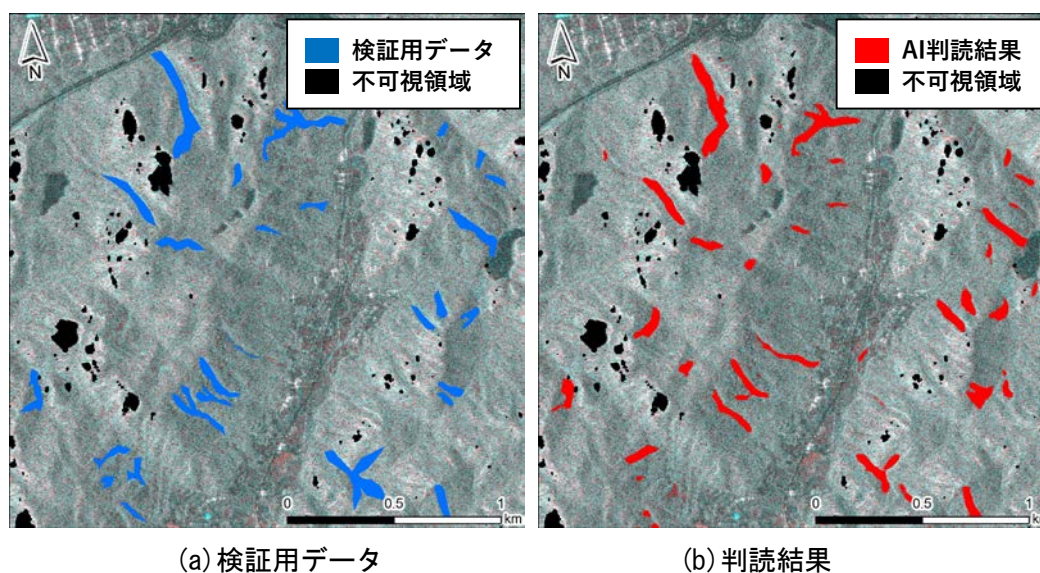


図 3.2-4 土砂災害範囲の検証事例

（SAR 衛星 ALOS-2：災害前：2018 年 3 月 17 日 災害後 2018 年 7 月 21 日観測）

また、SIP で実施した浸水範囲・浸水深の精度評価結果及び土砂災害の精度評価結果の一覧を表 3.2-2～表 3.2-5 に示す。

表 3.2-2 浸水範囲・浸水深抽出精度（光学）

【浸水被害：光学（SPOT）】

| ●浸水範囲               |       | 適合率        | 再現率   | F 値   |
|---------------------|-------|------------|-------|-------|
| H27 関東・東北豪雨／常総市     | (MS)  | 63.9%      | 70.9% | 67.2% |
|                     | (Pan) | 79.7%      | 75.9% | 77.7% |
| H30 7月豪雨（西日本豪雨）／真備町 | (MS)  | 60.9%      | 85.0% | 70.9% |
|                     | (Pan) | 74.1%      | 88.0% | 80.4% |
| ●浸水深                |       | RMSE       |       |       |
| H30 7月豪雨（西日本豪雨）／真備町 | (MS)  | 1.01～1.39m |       |       |
|                     | (Pan) | 0.92～0.94m |       |       |

表 3.2-3 浸水範囲・浸水深抽出精度（SAR）

【浸水被害：SAR（ALOS-2、一部 Sentinel-1）】

| ●浸水範囲                 |       | 適合率   | 再現率   | F 値   |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| H27 関東・東北豪雨／常総市       |       | 93.9% | 81.6% | 87.3% |
| H30 7月豪雨（西日本豪雨）／真備町   |       | 82.6% | 62.0% | 70.8% |
|                       | ／大洲市  | 21.5% | 71.6% | 33.0% |
| R01 台風第19号（東日本台風）／長野市 |       | 84.5% | 35.3% | 49.8% |
|                       | ／丸森町* | 80.9% | 93.6% | 86.8% |
| R03 令和3年8月前線による大雨／武雄市 |       | 53.8% | 82.7% | 65.2% |
| R04 令和4年8月3日から大雨／村上市  |       | 24.9% | 58.8% | 35.0% |
| ●浸水深                  |       | RMSE  |       |       |
| R01 台風第19号（東日本台風）／長野市 |       | 2.52m |       |       |
|                       | ／丸森町* | 0.70m |       |       |

※Sentinel-1 による



表 3.2-4 土砂災害範囲抽出精度（光学）

【土砂災害：光学（SPOT）】

| ●土砂災害範囲                | 適合率   | 再現率   | F 値   |
|------------------------|-------|-------|-------|
| H28 熊本豪雨               | 91.0% | 80.9% | 85.7% |
| H29 九州北部豪雨／朝倉          | 68.5% | 41.0% | 51.3% |
| H30 7月豪雨（西日本豪雨）／広島県南部  | 75.7% | 69.8% | 72.6% |
| H30 7月豪雨（西日本豪雨）／愛知県南西部 | 53.4% | 55.9% | 54.6% |
| H30 北海道胆振東部地震          | 83.3% | 87.0% | 85.1% |
| R01 台風第19号（東日本台風）／丸森町  | 60.6% | 18.5% | 28.3% |
| R02 九州豪雨／球磨川           | 37.5% | 57.2% | 45.3% |

表 3.2-5 土砂災害範囲抽出精度（SAR）

【土砂災害：SAR（ALOS-2）】

| ●土砂災害範囲                 | 適合率   | 再現率   | F 値   |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| H29 九州北部豪雨／朝倉市周辺 ※      | 35.0% | 71.5% | 47.0% |
| H30 7月豪雨（西日本豪雨）／広島県南部 ※ | 53.1% | 60.2% | 56.4% |

※面積 1,000 m<sup>2</sup>以上の土砂移動箇所での学習

※レーダーシャドウ・レイオーバーの範囲は評価対象から除外

### 3.2.2 留意点

#### (1) 原典情報の時点の違い

前述したとおり、衛星データと検証用データの原典情報には取得時間に差異が生じる。また、浸水痕跡調査で把握されるのは最大浸水深であり、衛星は限られた時間帯に観測される場合が多いため、必ずしも最大浸水時の観測とはならない。このため、厳密な精度検証は困難となる場合が多い。

#### (2) SAR 衛星と光学衛星での差異

浸水範囲と土砂災害範囲の差異は、以下の表に整理したとおりである。

表 3.2-6 衛星種別ごとの特徴

| 対象     | SAR 衛星と光学衛星の特徴  |
|--------|---|
| 浸水範囲   | SAR と光学では観測時刻が異なるため、時々刻々と変化する浸水範囲は両者で大きく異なる場合もある。また、SAR を用いた浸水範囲は原理上、浸水範囲以外のノイズが多く発生しやすく、市街地における浸水範囲は把握しにくい。光学衛星の場合は浸水範囲以外のノイズは発生しにくく、市街地の浸水範囲も比較的把握しやすい。   |
| 土砂災害範囲 | SAR を用いた土砂災害範囲の推定では、主に災害前後の 2 時期の後方散乱強度の変化を利用するため、森林伐採なども土砂災害と同様の变化傾向を示すことから土砂災害との判別が付きにくい。また、山間地が対象となる場合が多く、レイオーバーやレーダシャドウなど SAR の幾何学的な特性に影響を受け、土砂災害範囲の推定が出来ない場合がある。光学衛星の場合は地形的な影響は受けにくい。観測角度（オフナディア角）によっては斜面がやや確認しにくくなる場合がある。 |

#### (3) 情報の位置精度など

本検討では衛星データや空中写真などの様々な情報を利用して精度検証を行っているが、原典情報としての衛星データの位置精度やオルソ化による位置精度、検証用データとしての空中写真の位置精度などにも影響されることに留意する必要がある。

## 4. 災害 AI 学習用教師データの作成

### 4.1 教師データ作成方法

#### 4.1.1 浸水エリア

##### (1) 光学衛星画像用の目視判読

光学衛星による浸水被害調査においては、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) による光学画像のセマンティック・セグメンテーションを利用している。教師データ作成は、目視による画像判読により浸水域を判断する。災害発生時における即時対応を優先したモデルの作成を前提とする。

判断の際の主な基準は以下のとおりである。

- 光学衛星画像で判読可能な浸水害における、浸水域とし、内水氾濫と外水氾濫を区別しない。
- 湖沼、ため池、水田、河川等、平常時の水域と災害による浸水域は区別しない（災害時の迅速な解析結果提供を優先するため）。
- 利用する衛星データは SPOT6/7、Pleiades、WorldView-2、WorldView-3 とする。
- パンシャープン画像が利用できる場合には、パンシャープン画像をもとに判読する。
- その他、画像のフォーマット等の条件
  - GeoTIFF もしくは Jpeg2000
  - 平面投影された画像（平面直角座標系もしくは UTM）
- 判読結果は判読元の衛星画像と同じ画素数を持つラスタ形式 (BMP、PNG 等) とする。
- 判読のイメージを図 4.1-1、判読項目を表 4.1-1、判読事例を図 4.1-2～図 4.1-5 にそれぞれ示す。

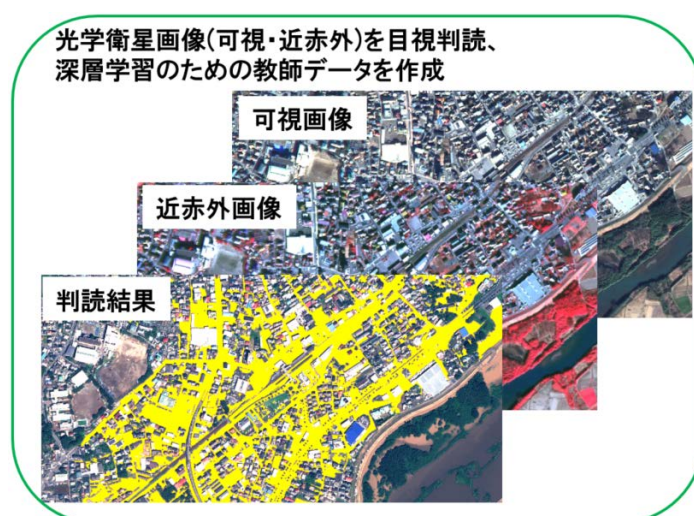


図 4.1-1 可視画像・近赤外画像による浸水域の判読イメージ

表 4.1-1 判読結果 属性項目の例

| インデックスカラー番号 | 内容    |
|-------------|-------|
| 1           | 撮影範囲外 |
| 2           | 陸地と雲等 |
| 3           | 浸水域   |

① 水田の判読事例

河川の水が水田に流入した事例。

可視画像と近赤外面像を併用し浸水状況を判断する。

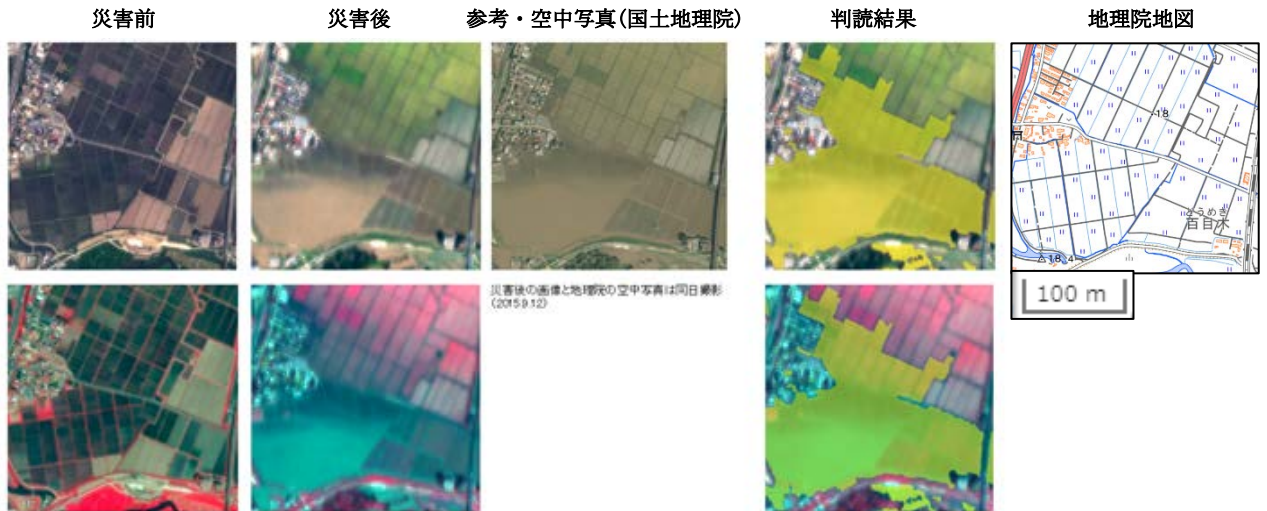


図 4.1-2 判読事例－(1)水田

② 市街地の浸水事例

浸水域に存在する建物道路等地物は、浸水していない限りは浸水域に含めない(道路の不通箇所を把握するため)。

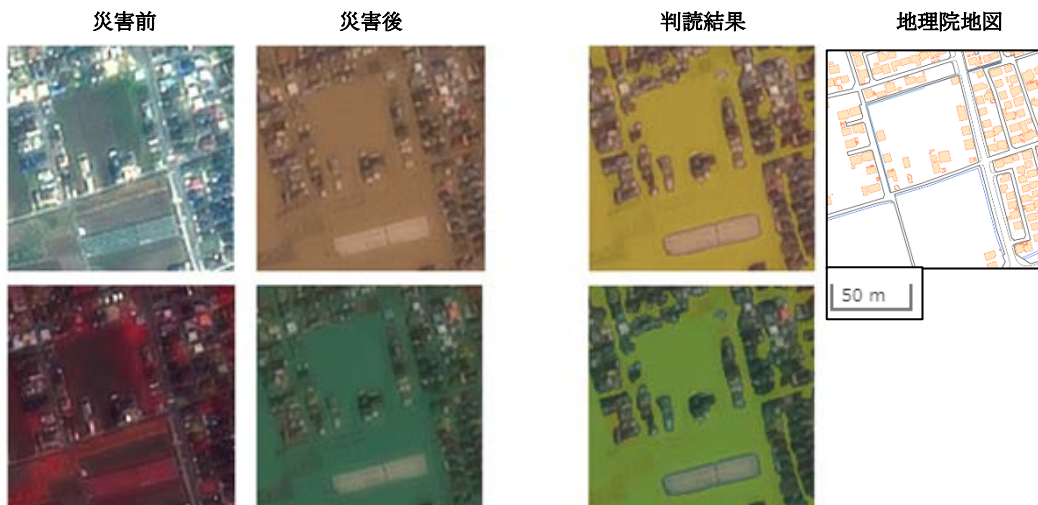


図 4.1-3 判読事例－(2) 浸水域内の建物

### ③ 雲がかかっている事例

浸水域上空に厚い雲がかかり、地表が見えない部分については浸水域に含めない。

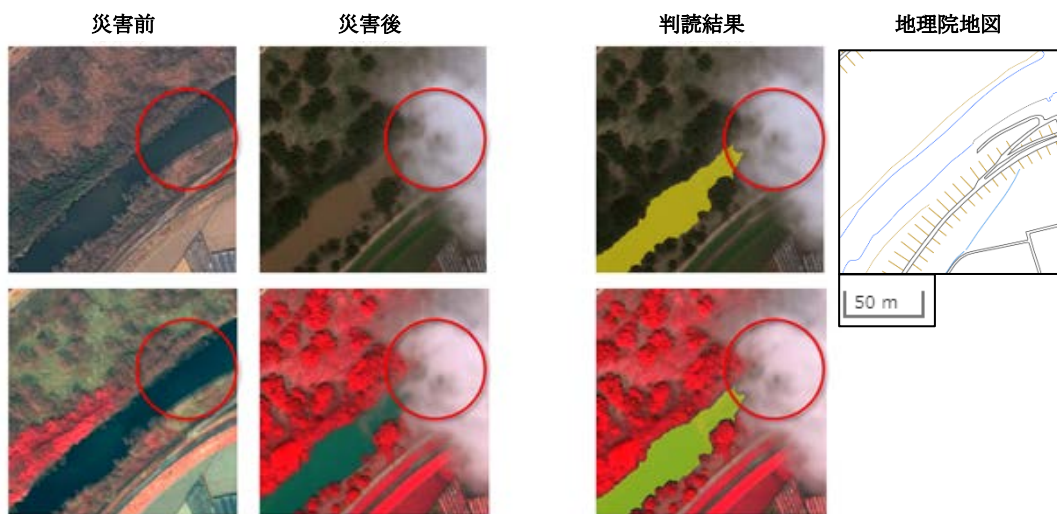


図 4.1-4 判読事例－(3) 雲の影響

### ④ 影がある事例

建物・樹木などの陰で地表面が見えない部分は浸水域に含めない。

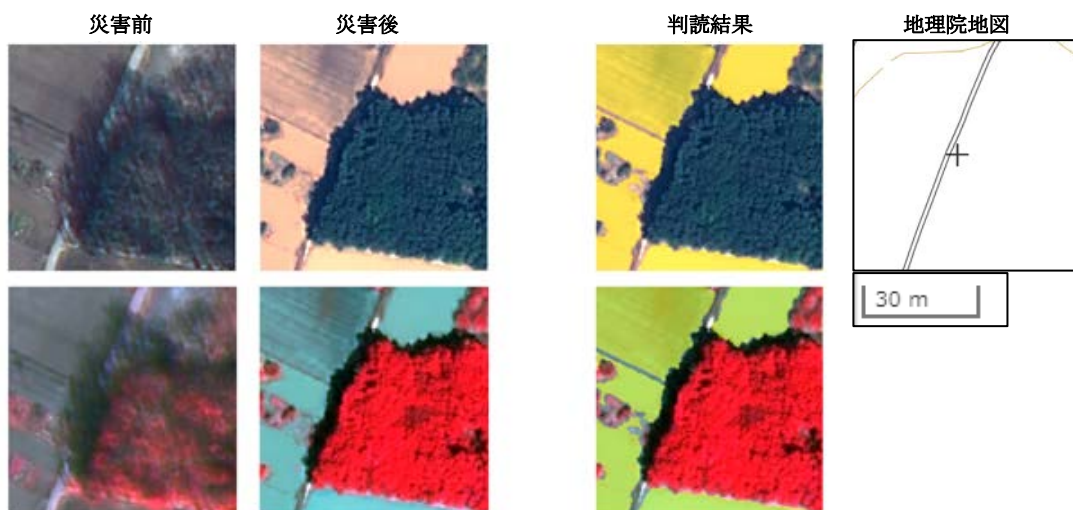


図 4.1-5 判読事例－(4) 樹木・建物・橋などの影の影響



## (2) SAR 衛星画像用の目視判読

SAR 衛星画像用の教師データ作成の流れは以下のとおりである。

災害発生時の SAR 画像と目視判読により作成した浸水範囲ポリゴンを重ね合わせ、浸水域・非浸水域の 2 値化画像を作成して教師データとする。この際、浸水域と非浸水域の後方散乱強度を算出し、浸水域と非浸水域を区分するためのしきい値を把握する。SAR 画像観測時のオフナディア角などによっても后方散乱強度が異なるため、様々なオフナディア角の事例を収集して同じ作業を実施する。図 4.1-6 には、平成 27 年関東・東北豪雨における教師作成事例を示す。各画像中の青および薄青が浸水域をそれ以外の範囲が非浸水域を示す範囲である。

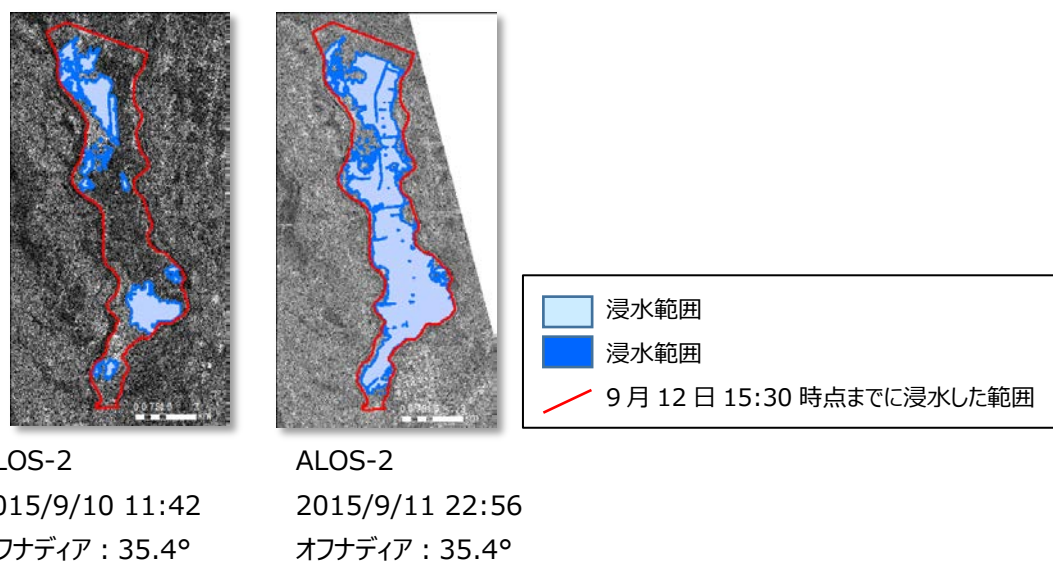
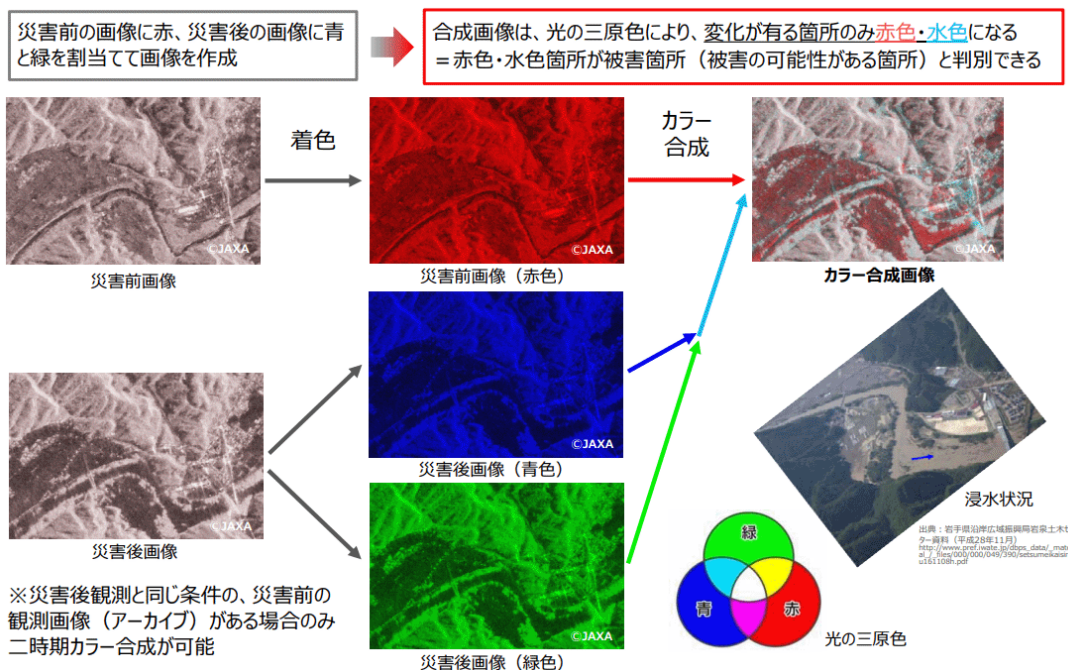


図 4.1-6 平成 27 年関東・東北豪雨における教師作成事例

また、浸水災害発生時の SAR 緊急観測画像と同時に同諸元観測のアーカイブ画像が入手出来る場合がある。この場合、図 4.1-7 に示すカラー合成画像を利用して浸水域・非浸水域を区分して教師データとすることも考慮する。なお、この場合は后方散乱強度に変換可能な処理レベルのデータを利用して浸水災害は発生前後の后方散乱強度差分のしきい値を把握する。



※出典：「災害時の人工衛星活用ガイドブック 水害版・浸水編」平成30年3月  
宇宙航空研究開発機構衛星利用活用センター  
国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課

図 4.1-7 緊急観測時に提供される SAR カラー合成画像（浸水）

なお、これらの画像から教師データを作成する際、国土地理院や国・自治体などの関係機関が実施・公開した浸水範囲情報があれば活用する。なお、関係機関が実施・公開した浸水範囲情報と衛星の緊急観測時刻は一致しない場合が多いため、可能な限り時間差のない情報を利用する。

## 4.1.2 土砂災害発生エリア

### (1) 光学衛星画像用の目視判読

- 災害後の光学衛星 SPOT を用いて土砂災害発生域の目視判読を行う。
- 目視判読の結果を GIS データ (Shape) とする。
- 「土砂移動痕跡」及び「土砂洪水氾濫」の目視判読の要領は以下のとおりである。  
なお、これらとは別に「雲及び雲の影で判読ができない範囲」についてもポリゴンを作成する。
- ポリゴンの作成精度は、「縮尺 1/500~1,000 程度」とする。

#### ① 土砂移動痕跡

- ・ 「崩壊」「流送」「堆積」の区間をひとつのポリゴンとして作成する。
- ・ 植生等で土石流の一部が見えなくなっている場合、土石流が流下していると判断できる区間はポリゴンをつないで作成する (推定区間)。

#### ② 土砂洪水氾濫

- ・ 土石流区間 (崩壊~流送~堆積) より下流の氾濫範囲を「土砂洪水氾濫」として区分し、ポリゴンを作成する。

表 4.1-2 判読結果 属性項目

| 項目名  | コード | 内容       |
|------|-----|----------|
| Flag | 0   | 崩壊、流送・堆積 |
|      | 3   | 土砂洪水氾濫   |
| 推定   | 0   | 推定区間以外   |
|      | 1   | 推定区間     |



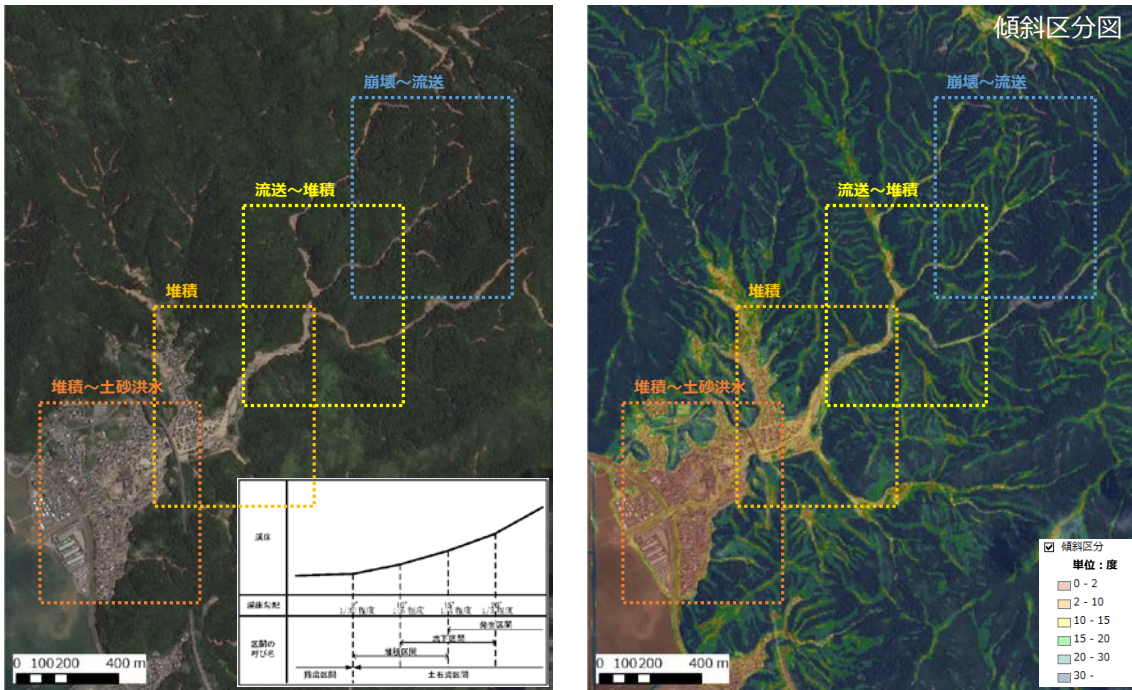


図 4.1-8 傾斜区分と土砂移動形態の目安



図 4.1-9 判読ポリゴンの作成要領（土砂移動形態は区分できない）

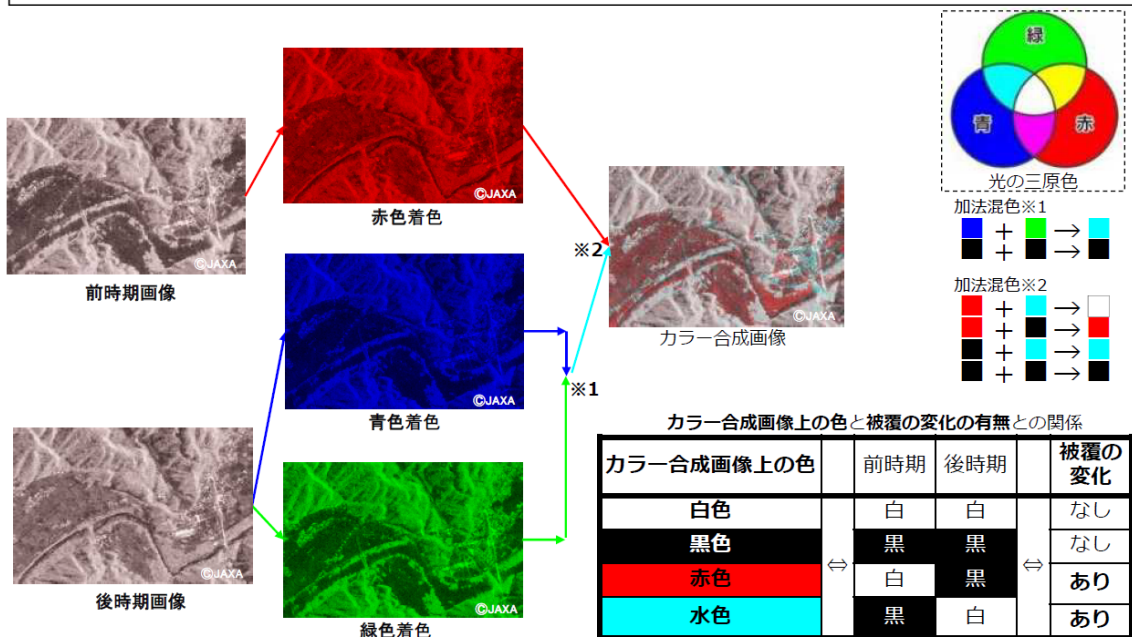
## (2) SAR 衛星画像用の目視判読

光学衛星データ SPOT の目視判読結果を参考にして、災害前と災害後の SAR 画像のカラー合成画像の目視判読を行い、土砂災害域・非土砂災害域の 2 値化画像を作成する。その後、ランダムに 256pixel サイズの画像に切り出し、学習用の教師データとした。災害前と災害後の SAR 画像のカラー合成画像の作成方法を図 4.1-10 に示す。

図 4.1-11 に示すように、災害前後の後方散乱強度のカラー合成画像では、土砂災害（主に崩壊）が発生した箇所には「赤」が残る。また、崩壊した土砂が堆積した箇所は「シアン」で表現される。しかし、SAR 画像の場合は、光学画像と異なり、レーダ観測による不可視領域が発生する（レイオーバー、レーダシャドウ）。また、既往研究により、面積の小さい土砂災害は判読困難なことが知られている。したがって、実際の土砂災害（土砂移動）発生域であったとしても、SAR 画像では捉えきれない場合があると考えられる。

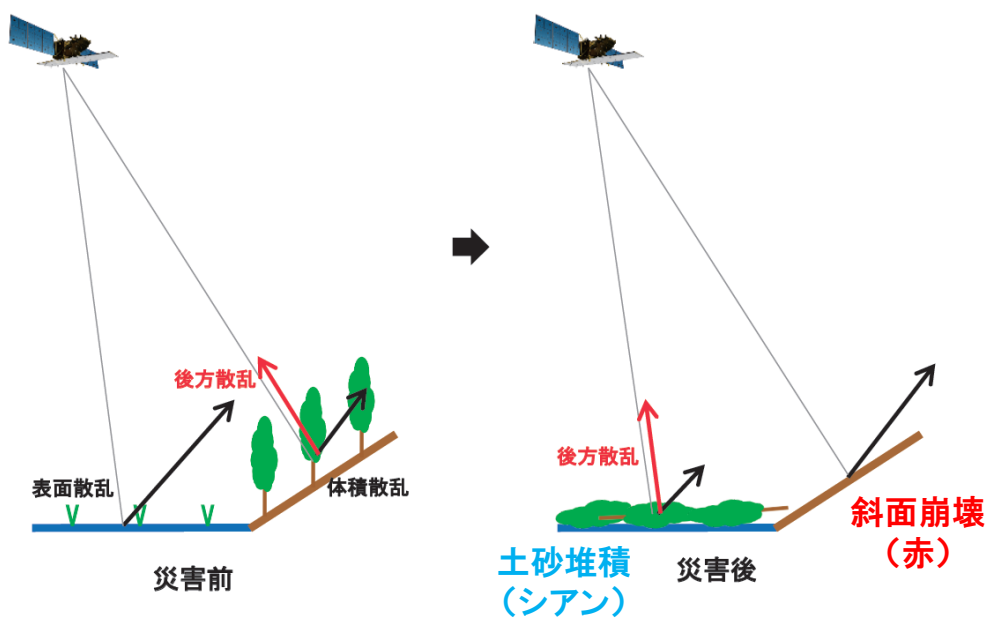
そこで、不可視領域を判読対象外とし、土砂災害の面積にしきい値を設けることで、抽出性能の評価を行うこととしている。

○色の変化を分かりやすくするために、**前時期画像（アーカイブ）**の白色部分を**赤色**に、**後時期画像**の白色部分を**青色・緑色**に着色し合成する。※黒色は黒色のまま



※出典：「災害時の人工衛星活用ガイドブック 土砂災害版」平成 30 年 3 月  
宇宙航空研究開発機構衛星利用活用センター  
国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 砂防計画課

図 4.1-10 二時期カラー合成の作成方法（土砂災害）



※出典：水野ら(2020)：「合成開口レーダ (SAR) 画像による土砂災害判読の手引き」、  
国土技術政策総合研究所資料、No.1110、令和2年4月。

図 4.1-11 災害前後の後方散乱強度のカラー合成画像における土砂災害発生箇所の特徴

## 4.2 教師データ一覧

### 4.2.1 浸水エリア

#### (1) 光学衛星

教師データ作成リストを表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 光学衛星の目視判読による教師データ作成リスト（浸水エリア）

| 災害名                      | 地域                  | 撮影日                      | 衛星                   | 地上分解能        |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|--------------|
| 平成 27 年 9 月<br>関東・東北豪雨   | 常総市                 | 2015/09/11<br>2015/09/12 | WorldView-3<br>SPOT6 | 0.7m<br>1.5m |
|                          | 大崎市                 | 2015/09/12               | SPOT6/7              | 1.5m         |
| 平成 30 年 7 月豪雨<br>(西日本豪雨) | 倉敷市<br>(真備町)        | 2018/07/09               | Pleiades             | 0.5m         |
|                          |                     | 2018/07/10               | WorldView-4          | 0.7m         |
|                          |                     |                          | GeoEye-1             | 0.7m         |
|                          |                     |                          | SPOT7                | 1.5m         |
| 令和元年台風第 19 号<br>(東日本台風)  | 阿武隈川                | 2010/10/13               | SPOT6/7              | 1.5m         |
|                          | 宇多川                 | 2010/10/13               | SPOT6/7              | 1.5m         |
|                          | 荒川                  | 2010/10/13               | SPOT6/7              | 1.5m         |
|                          | 利根川                 | 2010/10/13               | SPOT6/7              | 1.5m         |
| インドネシア国<br>スラウェシ島での豪雨    | インドネシア国<br>スラウェシ島周辺 | 2021/07/17               | Pleiades             | 0.5m         |
| 令和 3 年台風第 15 号           | タイ国周辺               | 2021/09/30               | Pleiades             | 0.5m         |

## (2) SAR 衛星

教師データ作成リストを表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2 SAR 衛星の目視判読による教師データ作成リスト (浸水エリア)

| 災害名                      | 地域            | 軌道方向 | 照射方向 | 打角<br>7角        | 観測日<br>(災害前) | 観測日<br>(災害後) |
|--------------------------|---------------|------|------|-----------------|--------------|--------------|
| 平成 27 年 9 月<br>関東・東北豪雨   | 常総市<br>(鬼怒川)  | 北行   | 左    | 35.4<br>(U2-8)  | 2015/07/31   | 2015/09/11   |
|                          |               | 南行   | 右    | 35.4<br>(U2-8)  | 2015/08/13   | 2015/09/10   |
| 平成 30 年 7 月豪雨<br>(西日本豪雨) | 大洲市<br>(肱川)   | 南行   | 右    | 48.0<br>(U3-14) | 2015/04/19   | 2018/07/08   |
|                          | 倉敷市<br>(小田川)  | 北行   | 右    | 38.2<br>(U2-9)  | 2018/04/14   | 2018/07/08   |
| 令和元年 8 月豪雨               | 武雄市他<br>(六角川) | 北行   | 右    | 35.4<br>(U2-8)  | 2019/06/04   | 2019/08/28   |
|                          |               | 南行   | 右    | 44.7<br>(U3-12) | 2015/03/18   | 2019/08/28   |
| 令和元年台風第 19 号<br>(東日本台風)  | 長野市<br>(千曲川)  | 南行   | 右    | 25.6<br>(U1-5)  | —            | 2019/10/13   |

## 4.2.2 土砂災害発生エリア

### (1) 光学衛星

教師データ作成リストを表 4.2-3 に示す。

表 4.2-3 光学衛星の目視判読による教師データ作成リスト（土砂災害発生エリア）

| 災害名                  | 地域     | 撮影日        | 衛星    | 地上分解能 |
|----------------------|--------|------------|-------|-------|
| 平成 28 年 6 月熊本豪雨      | 熊本     | 2016/07/29 | SPOT6 | 1.5m  |
| 平成 29 年 7 月九州北部豪雨    | 朝倉     | 2017/07/13 | SPOT7 | 1.5m  |
| 平成 30 年 7 月豪雨（西日本豪雨） | 広島県南部  | 2018/07/15 | SPOT6 | 1.5m  |
| 〃                    | 愛媛県南西部 | 2018/07/09 | SPOT6 | 1.5m  |
| 平成 30 年北海道胆振東部地震     | 厚真     | 2018/09/21 | SPOT6 | 1.5m  |
| 令和元年台風第 19 号（東日本台風）  | 丸森     | 2019/10/28 | SPOT6 | 1.5m  |
| 令和 2 年 7 月豪雨         | 球磨川    | 2020/07/18 | SPOT7 | 1.5m  |

### (2) SAR 衛星

教師データ作成リストを表 4.2-4 に示す。

表 4.2-4 SAR 衛星（ALOS-2）による教師データ作成リスト（土砂災害発生エリア）

| 災害名                  | 地域    | 軌道方向 | 照射方向 | チタニ'イ角          | 観測日（災害前）   | 観測日（災害後）   |
|----------------------|-------|------|------|-----------------|------------|------------|
| 平成 29 年 7 月九州北部豪雨    | 朝倉    | 北行   | 左    | 21.9<br>(U2-6)  | 2016/10/14 | 2017/07/07 |
|                      |       | 南行   | 左    | 29.1<br>(U2-6)  | 2016/04/29 | 2017/07/07 |
|                      |       | 南行   | 右    | 32.4<br>(U2-7)  | 2017/06/12 | 2017/07/10 |
| 平成 30 年 7 月豪雨（西日本豪雨） | 広島県南部 | 北行   | 右    | 32.4<br>(U2-7)  | 2018/03/17 | 2018/07/21 |
|                      |       | 南行   | 右    | 35.4<br>(U2-8)  | 2018/06/20 | 2018/08/29 |
|                      |       | 南行   | 右    | 48.0<br>(U3-14) | 2015/04/19 | 2018/07/08 |
| 令和元年台風第 19 号（東日本台風）  | 丸森    | 北行   | 右    | 32.4<br>(U2-7)  | 2019/05/28 | 2019/11/12 |
|                      |       | 南行   | 右    | 32.4<br>(U2-7)  | 2019/08/22 | 2019/11/14 |