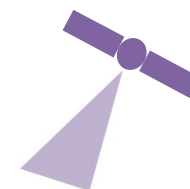


テーマⅡ

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



研究責任者：六川 修一（防災科研／東京大学）

防災科学技術研究所
富士通
宇宙航空研究開発機構
山口大学
BIPROGY (旧 日本ユニシス)
東京大学

建築研究所
日本測量調査技術協会
アジア航測
国際航業
パスコ
中部大学
いであ

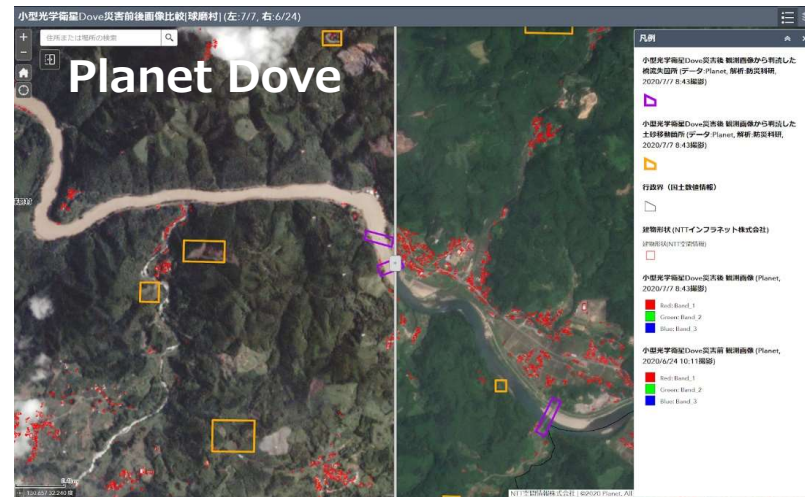
パシフィックコンサルタンツ
建設技術研究所
日本気象協会
鹿児島大学
土木研究所
砂防・地すべり技術センター
消防防災科学センター

計20機関

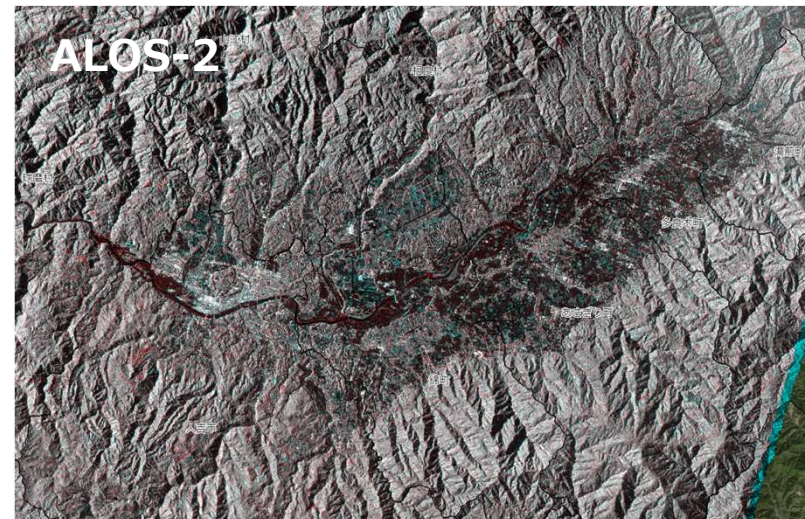
早期・広域被害把握に衛星リモートセンシングが活用できないか？



© Copernicus Sentinel Data 2019



© 2020 Planet



© JAXA

戦略的イノベーション創造プログラム SIP国家レジリエンス（防災・減災）の強化（2018～2022年度）

■ 大規模災害時のSociety 5.0の実現のための、国家レジリエンス向上の研究開発と社会実装

- 災害の予測情報を生成・共有する**国向けの避難・緊急活動支援統合システム**
- 国のシステムと連動し地域特性を入れた**市町村向けの災害対応統合システム**



研究開発の推進体制

SIP-NR2

- 3年次よりサブテーマ数を5から3へ集約。3年次より社会実装責任者を2名体制。
- 4年次より技術開発と社会実装の一体的な推進を強化するために副研究責任者1名を新設。さらに、キラーコンテンツである「衛星ワンストップシステム」の開発体制を集約化

関係省庁：

内閣府防災

内閣府宇宙

総務省

消防庁

文科省

国交省河川

国交省砂防

国交省住宅

…順次拡張

研究開発共同体：

グループ会議

研究機関・関係省庁等で構成。成果の運用・利用方法と、そのための研究方法を初期から具体議論し、実現性を高める。

コアメンバー会議

研究機関で構成。研究開発の進捗管理、連絡調整等を実施。研究責任者がテーマ内をマネジメント。

研究責任機関 防災科学技術研究所

研究責任者1名、副責任者1名、社会実装責任者2名

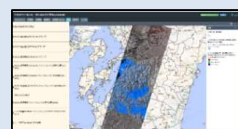
・「国家レジリエンス研究推進センター」を設置し、研究開発と社会実装を強く推進
・適切な知財管理のための「知財委員会」を設置

サブ1.衛星データ即時一元化・共有システム

開発グループ

リーダー：防災科研

災害前から主要衛星の観測計画を一元把握し、発災域を着実に観測し、初動の被災状況の把握する技術を開発

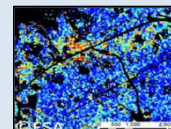


サブ2.衛星データ解析技術

開発グループ

リーダー：測技協

衛星画像データをAI等の機械学習に基づき、被災状況を自動解析する技術を開発

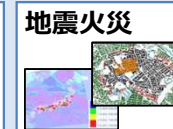
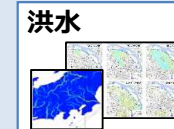


サブ3.災害別予測・解析技術

開発グループ

リーダー：中部大

予測シミュレーションを行い被災状況予測を行う技術を開発



協力機関群：

官・学・民の各立場から、研究開発・調査・実証実験に協力・助言

「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」全体として機能するよう、議論・調整・連接・連動。

I.緊急活動

III.経済復旧

IV.地下水利用

V.線状降水帯

VI.スーパー台風

VII.自治体

どの程度の早期被害把握を目指すか



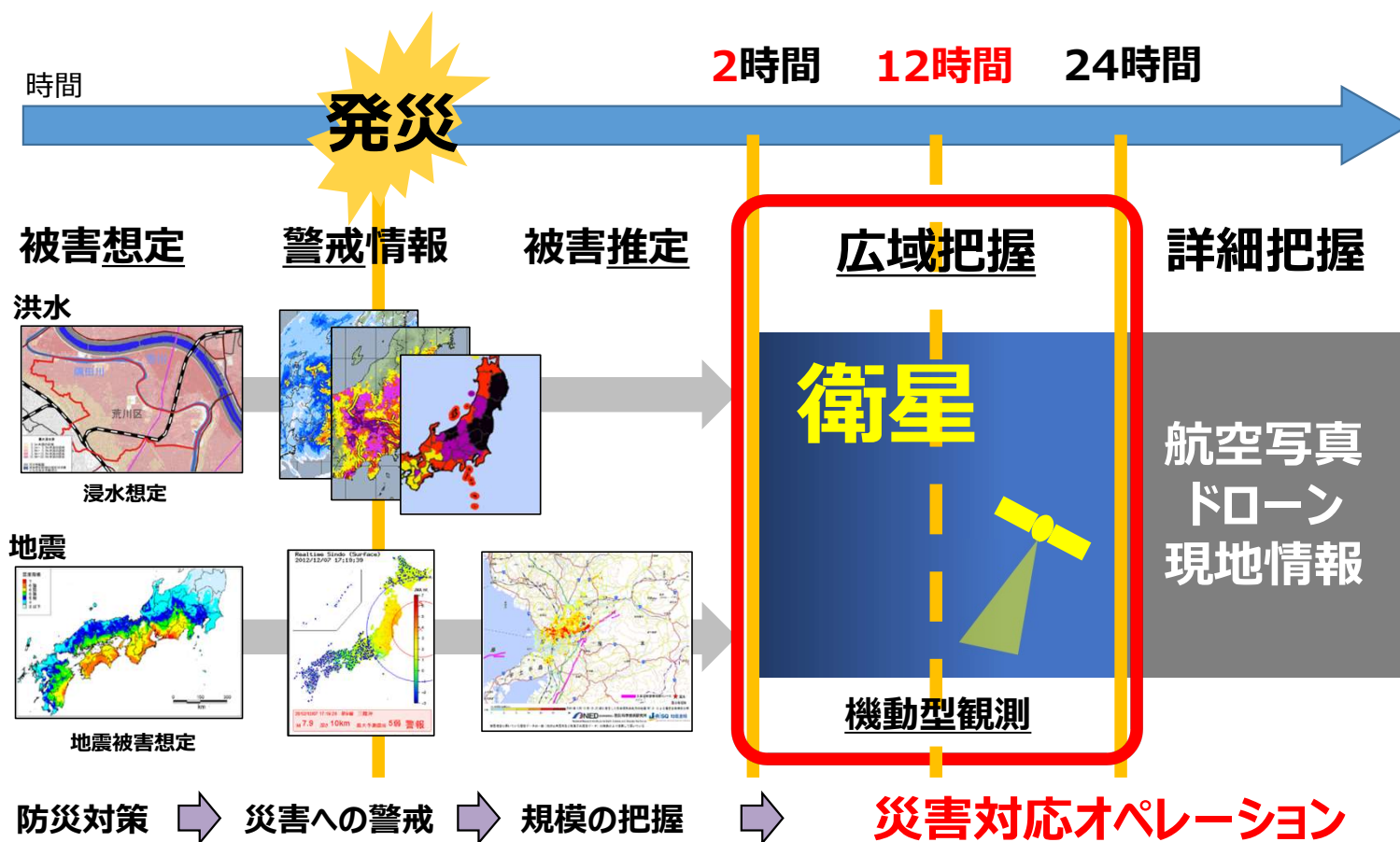
内閣府防災資料

政府のニーズ：
このタイミングで
被災状況がわかる
情報が欲しい

本テーマが目指していること

SIP-NR2

- ミッション：衛星データの効用と限界を見据えた上で発災後2時間程度で災害対応の指針となる実被害把握に関する広域情報を提供すること
- 実務上：発災後、最短かつ最適観測シナリオで機動的な緊急観測を行い、最速発災後2時間から概ね12時間以内でプロダクトを提供すること
- 社会実装：利用可能な衛星を最大限活用する実務基盤を作ること



災害対応オペレーションへのリレー

- 政府対策本部（内閣府）
被災人口・建物(レーダ画像・光学画像+人口+建物)：重点支援すべき自治体の検討
- 罹災証明（内閣府、自治体）
被害建物(レーダ画像+建物)：被害認定調査実施に向けたリソース検討
- 河川管理（国交省 TEC-FORCE）
浸水域(レーダ画像+地形+道路)：排水ポンプ車派遣場所・台数検討
- 砂防関係（国交省 TEC-FORCE）
河道閉塞、地すべり(レーダ画像・光学画像+地形+河川)：土砂法による緊急調査。
- 災害医療（厚労省 DMAT）
浸水域内人口(レーダ画像+人口+道路)：派遣リソース検討
- 災害廃棄物（環境省、自治体）
災害廃棄物量(レーダ画像・光学画像,人口+建物)：外部支援必要性、処理戦略の検討

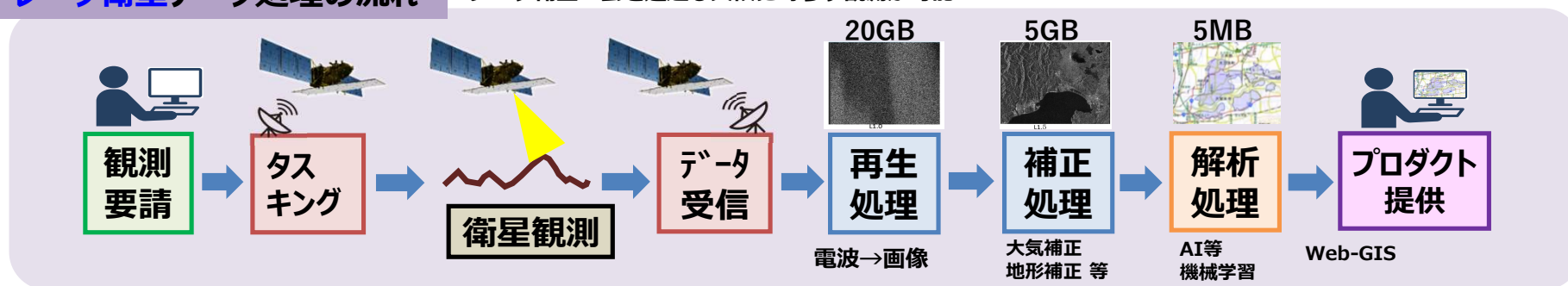
等

早期被害把握を目指すための考え方

SIP-NR2

レーダ衛星データ処理の流れ

レーダ衛星：雲を透過し天候に寄らず観測が可能

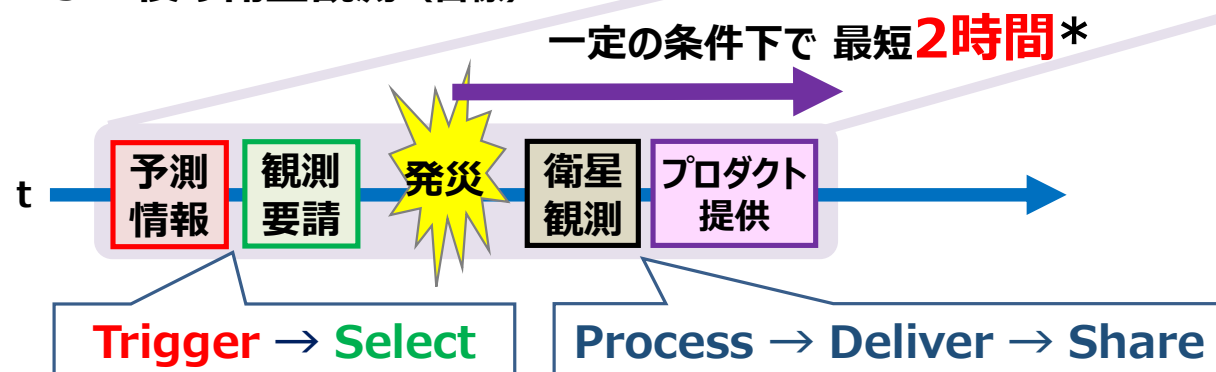


断片的な情報に基づき

●従来の衛星観測



●SIP後の衛星観測（目標）



- 予測情報を最大限活用した上で、災害前*から戦略的に観測要請を行い、初動対応に衛星データを活用する

*地震の場合は発災直後の要請

これまでの主要イベント、実災害対応

- 海外研究機関との研究交流を実施。府省庁と連携した実災害対応は**通算14回の実績**。そのうち2022年度は現時点で**計4回対応**。

主要イベント		グループ会議は年2回程度実施
2018年度	12月	海外研究者招聘特別講演会および国際シンポジウム
	8月	課題評価WG委員研究拠点視察@防災科研
2019年度	10月	集中討論 in 湯河原合宿
	11月	テキサス大学オースティン校（Center for Space Research）訪問
2020年度	10月	ぼうさいくたい2020 SIPセッション
	11月	テキサス大学オースティン校とのオンラインワークショップ
	11月	日本リモートセンシング学会・日本写真測量学会とのシンポジウム
2021年度	8月	有識者によるシステムレビュー
	12月	International Peer Review 2021（SIP国際評価）
2022年度	8月	データ連携実証@常総市役所

実災害対応（計14回） 府省庁と連携し、その時点で有する技術を実災害へ適用して有効性や課題を抽出

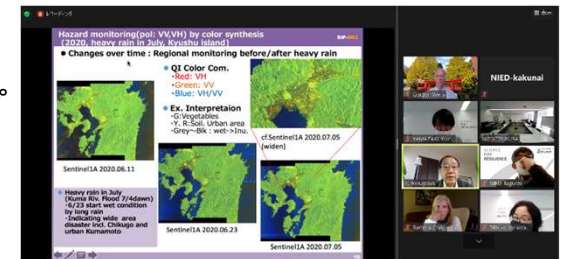
2019年度	7/2~5	九州南部を中心とした大雨（鹿児島県）
	8/27~9/4	九州北部の前線による大雨（佐賀県）
	9/9~10/8	令和元年房総半島台風（千葉県）*
	10/10~31	令和元年東日本台風（主に長野県、福島県）*
2020年度	7/4~31	令和2年7月豪雨（熊本県）
	9/5~7	台風第10号*
	2/13~17	福島県沖を震源とする地震（福島県、宮城県）
2021年度	7/3~14	梅雨前線による大雨（静岡県）
	8/12~20	秋雨前線による大雨（佐賀県）*
	3/16~19	福島県沖を震源とする地震（福島県、宮城県）
2022年度	7/14~16	7月中旬の大雨（宮城県）
	8/3~10	8月3日から大雨（山形県、新潟県）
	9/15~21	台風第14号（九州地方、中国地方）
	9/25~27	台風第15号（静岡県）

* 国際災害チャーターと連携

湯河原合宿の様子
(2019年)



オンラインワークショップの様子
(2020年)



2020年
台風10号

2019年
佐賀県庁

災害対応の様子



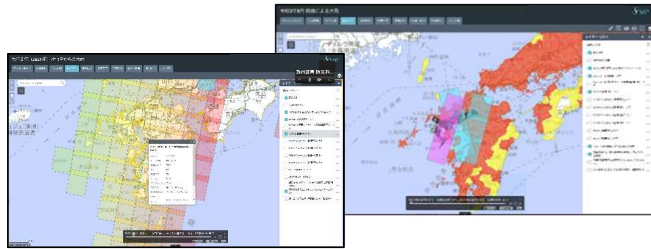
データ連携実証
(2022年)

5年間の主な研究成果

SIP-NR2

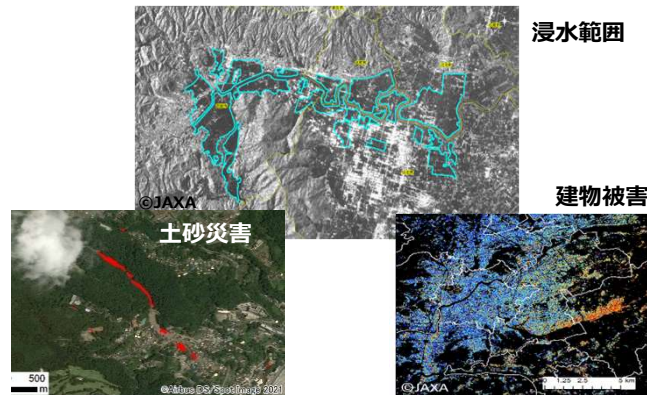
サブ1.衛星データ即時一元化・共有システム開発

- 「衛星ワンストップシステム」の開発
- 省庁の災害対応への適用と貢献
- 将来の衛星数増加を見越して、発災直後の観測戦略立案を支援するコア技術の開発



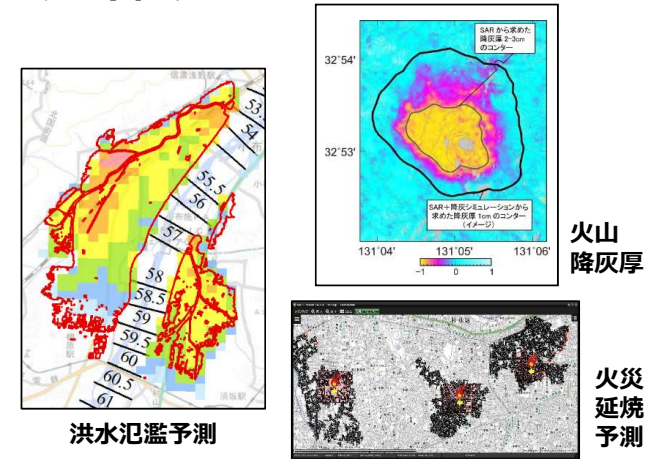
サブ2.衛星データ解析技術開発

- 解析処理自動化の技術開発
- 府省庁ニーズに基づく社会実装可能なプロダクト開発



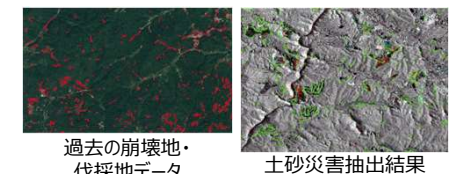
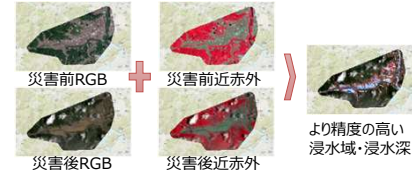
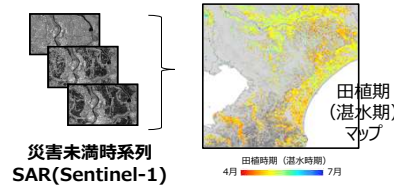
サブ3.災害別予測・解析技術開発

- 府省庁ニーズに沿った付加価値プロダクト開発



災害未満画像による発災検出機能の汎用化、ワンストップシステム社会実装加速（追加予算）

- 衛星ワンストップシステムの海外展開可能性の検討
→ マレーシア、インドネシア
- 「衛星ワンストップシステム」を構成するコア技術の知財化
- 衛星データ解析技術標準化
- 教師データ規格化・共有化
- 時系列SARデータによる湛水除去（SAR・洪水）
- 災害前画像および季節変化を考慮した抽出（光学・洪水）
- 過去の崩壊地・伐採地データを活用した誤抽出軽減（土砂）



前提とすべき国内外レーダ衛星の現状と将来見通し ～迅速な機動型観測の観点から～

SIP-NR2

- 国内外において民間事業者による小型レーダ衛星コンステレーションの整備が進んでいるなど、**活用できる衛星数が増加。**
- 南海トラフ地震や首都直下地震等の国難災害への備えとして、**大規模災害時に総力を結集して、様々な衛星を発災時に迅速かつ的確に活用できるためのシステムを構築することが重要。**

【東日本大震災時(2011)】

ALOS-1

ALOS-1

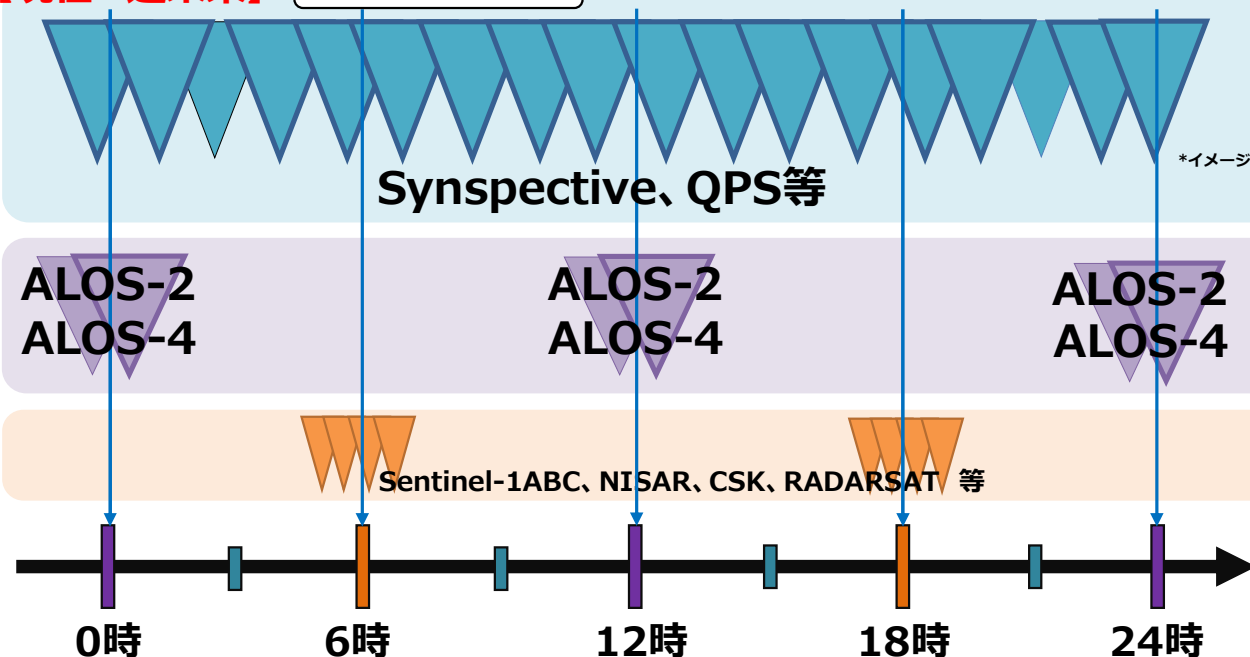
ALOS-1

国内基幹レーダ衛星

ALOS-1 → 2011.4.22 運用停止

【現在～近未来】

観測タイミング



国内外小型レーダ衛星コンステレーション

Synspec(日), QPS(日), Capella(米), ICEYE(Fin) 等
→ **2020年代後半には100機近くに到達する可能性**

「大規模災害があった際に、夜でも、雨や雪が降っていても、宇宙から被災状況を迅速に把握できるよう、多数の小型衛星が互いに連携する『コンステレーション』を2025年までに構築する。」
第25回 宇宙開発戦略本部、令和3年12月28日開催、岸田総理発言

国内基幹レーダ衛星

*政府の依頼を優先。観測数時間前まで依頼可能

ALOS-2 (観測幅50km)

→ 稼働中

ALOS-4 (観測幅200km)

→ 来年以降打ち上げ予定

その他衛星

レーダ衛星の機数は着実に増加
特に小型レーダ衛星の増加が顕著

→ **2～3時間に1度の確実な観測が実現できる可能性**

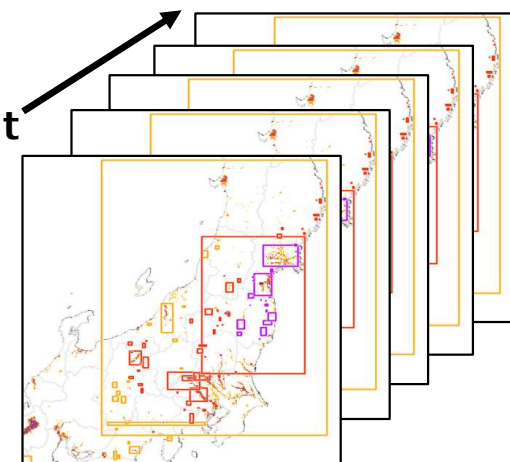
国難災害を見据えた広域・最短衛星観測トリガリングを目指して

SIP-NR2

現在「衛星Aがこの時間に観測できるのでどこを観測するか考える」→将来「X時に場所Pで災害が発生する可能性が高く、衛星Aの観測を依頼する」
⇒ 従来の災害時の衛星活用の発想の転換を行う4つのステップを提案。これらを自動化する技術を開発することが重要である。

Trigger

予測シミュレーションを活用した発災
予測情報（トリガリング情報）の生成

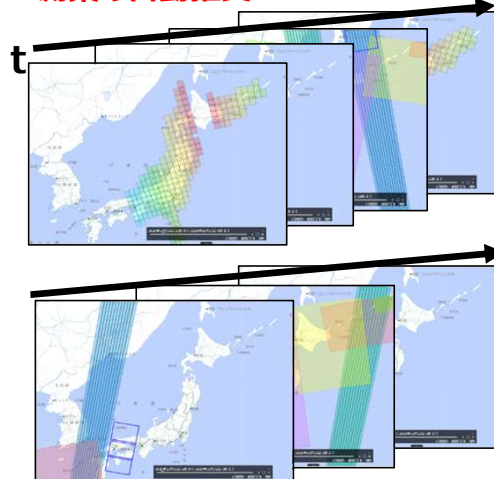


いつ・どこが危険か

観測すべきエリアおよび時刻
の発災前(風水害)または早期
(地震・津波)特定

Select

国内外の衛星観測リソースの一元
把握に基づく災害時の最適衛星観
測案の自動推奨

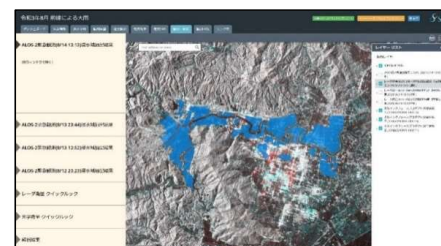


いつ・どこを観測するべきか

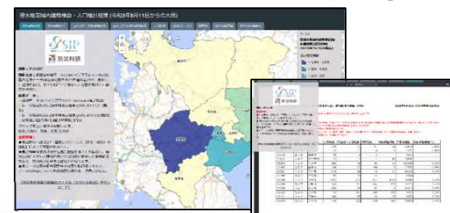
衛星観測計画の一元把握に
基づき、最適な衛星を選択し、
発災エリアの緊急観測を要請

Process

被害範囲推定 プロダクト



被害量推計 プロダクト



どこがどうなっているのか

ユーザのニーズに応じた広域
被害把握に資する情報プロ
ダクトの生成・提供

Deliver & Share

災害対応への活用



プロダクトによる実被害把握
に資する広域被災情報の提
供と災害対応への活用

衛星データ即時一元化・共有システム「衛星ワンストップシステム」の開発

SIP-NR2

- 発災時に観測すべきエリアが自動的に示され、最適な衛星観測が自動で推奨され、観測の要請を行うことができ、衛星データを活用した情報プロダクツを参照でき、発災直後の災害対応へ活用可能な**統合システムを開発**

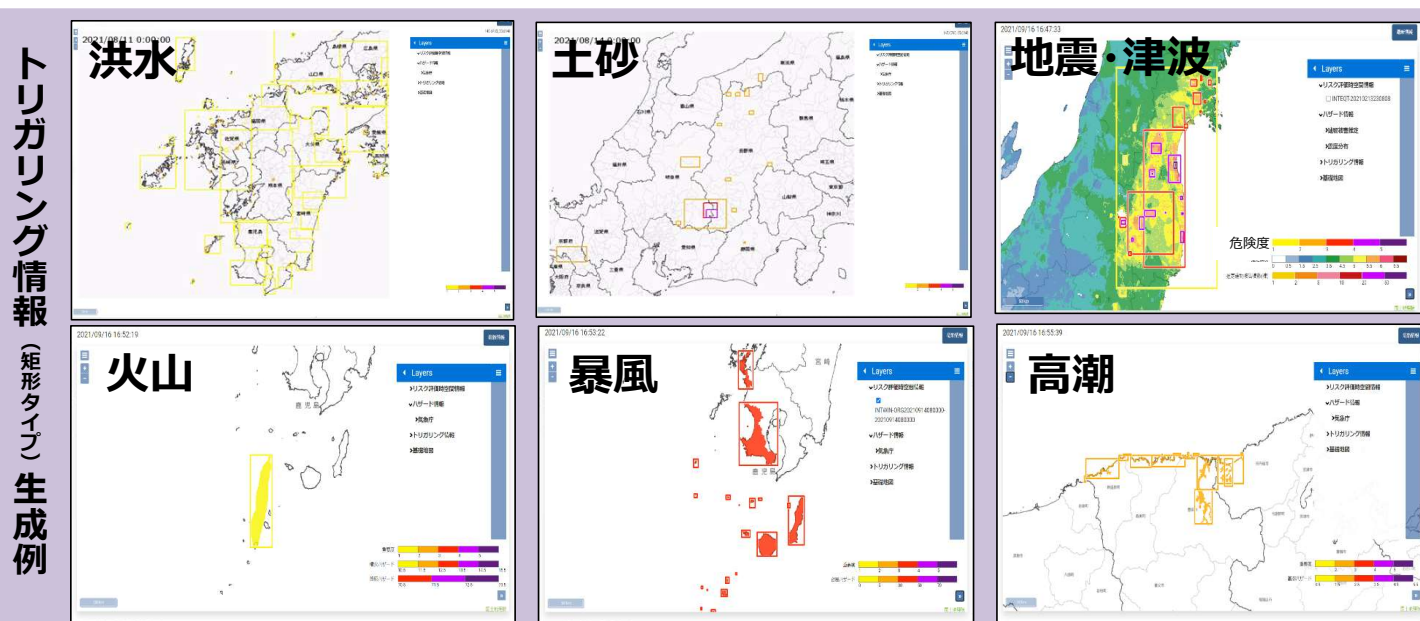
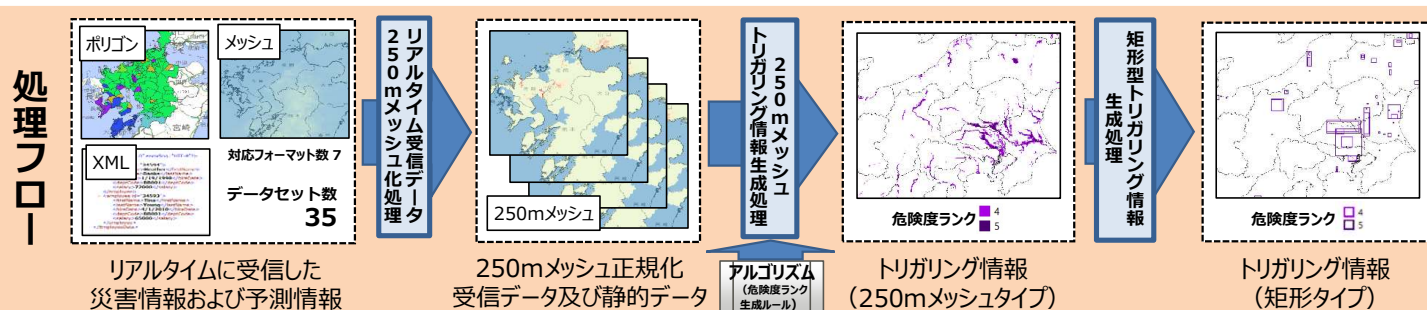
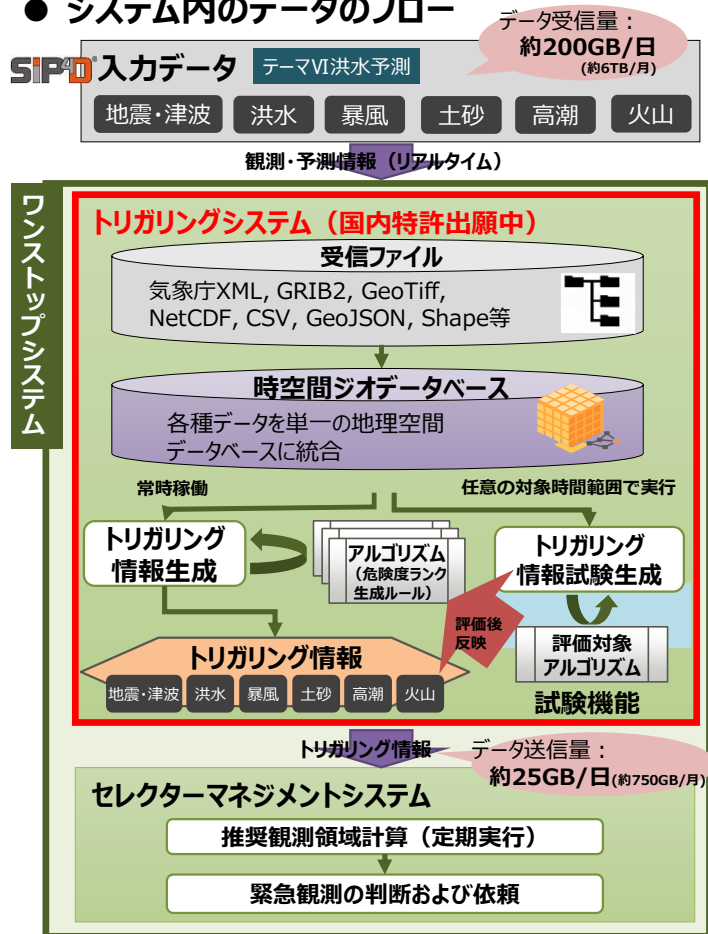


トリガリング情報生成技術の開発

SIP-NR2

- 観測・予測情報に基づき、災害が「いつ」「どこ」で発生するか、災害種別ごとに推定するトリガリング情報を生成する技術を開発。特許出願中。
- トリガリングシステムとして構築の上で常時稼働を行い、「いつ」「どこ」でどの衛星で観測するべきかを推奨する推奨観測計算機能にデータ提供

● システム内のデータのフロー



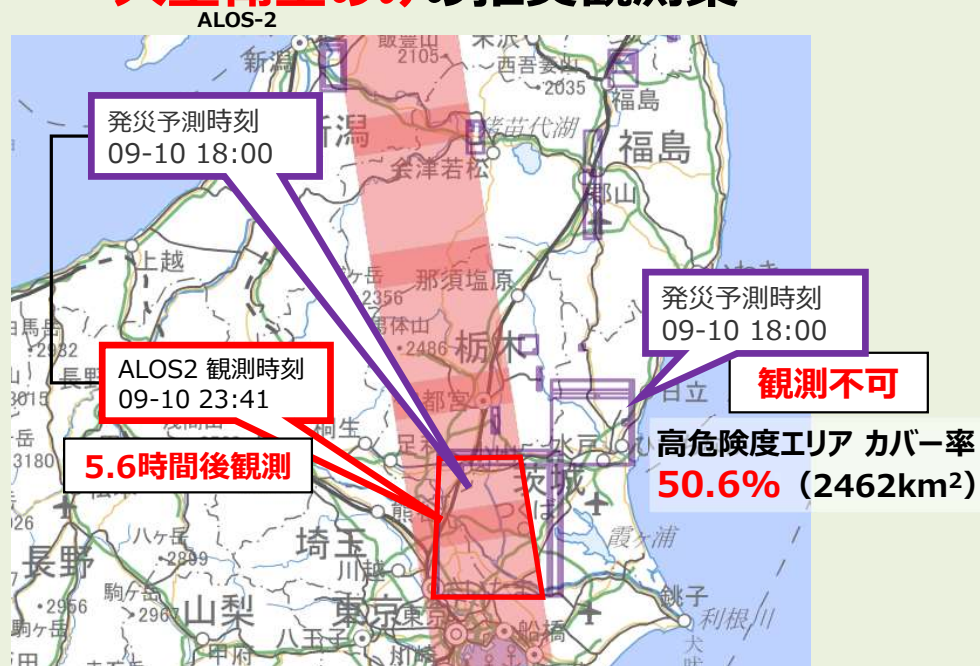
推奨観測領域計算技術の評価：小型衛星増加による効果

SIP-NR2

- 小型衛星数増加による効果（網羅性、発災直後の観測）について、平成27年9月関東・東北豪雨をケースにシミュレーションを実施して評価
- 小型衛星の追加により観測可能面積が増加し、より発災危険度が高まる時刻に近い時刻での観測が可能であることを確認

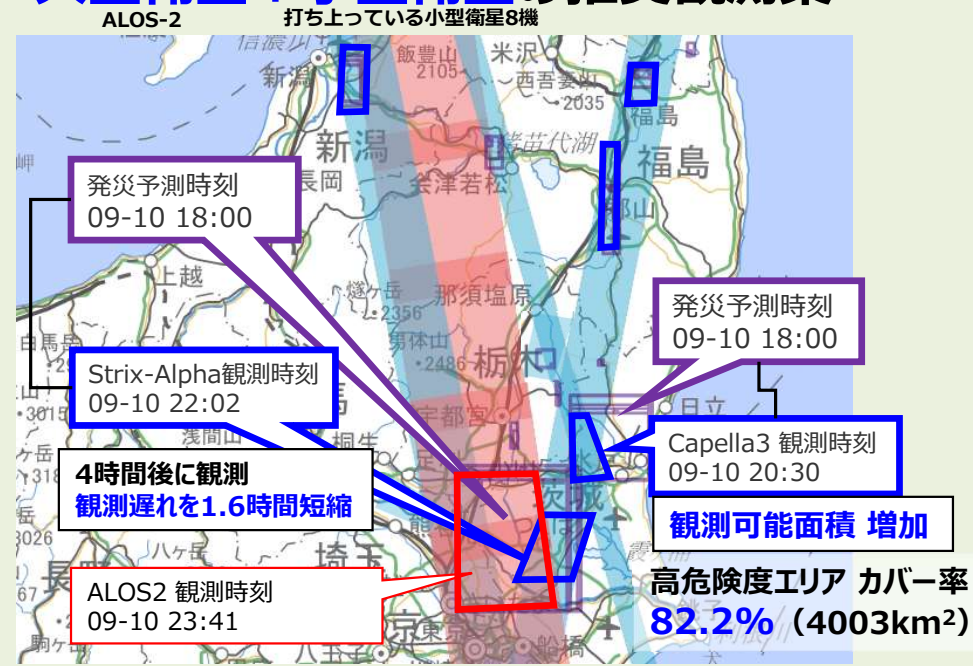
9/10午後2時のトリガリング情報に基づく計算結果（9/10 午後7:00 ~ 9/11 午前1:00 の6時間分 高危険度面積 4,869km²）

大型衛星のみの推奨観測案



発災が予測されるエリアをカバーしきれない
観測時刻の大幅な遅延あるいは観測不可領域の発生

大型衛星+小型衛星の推奨観測案

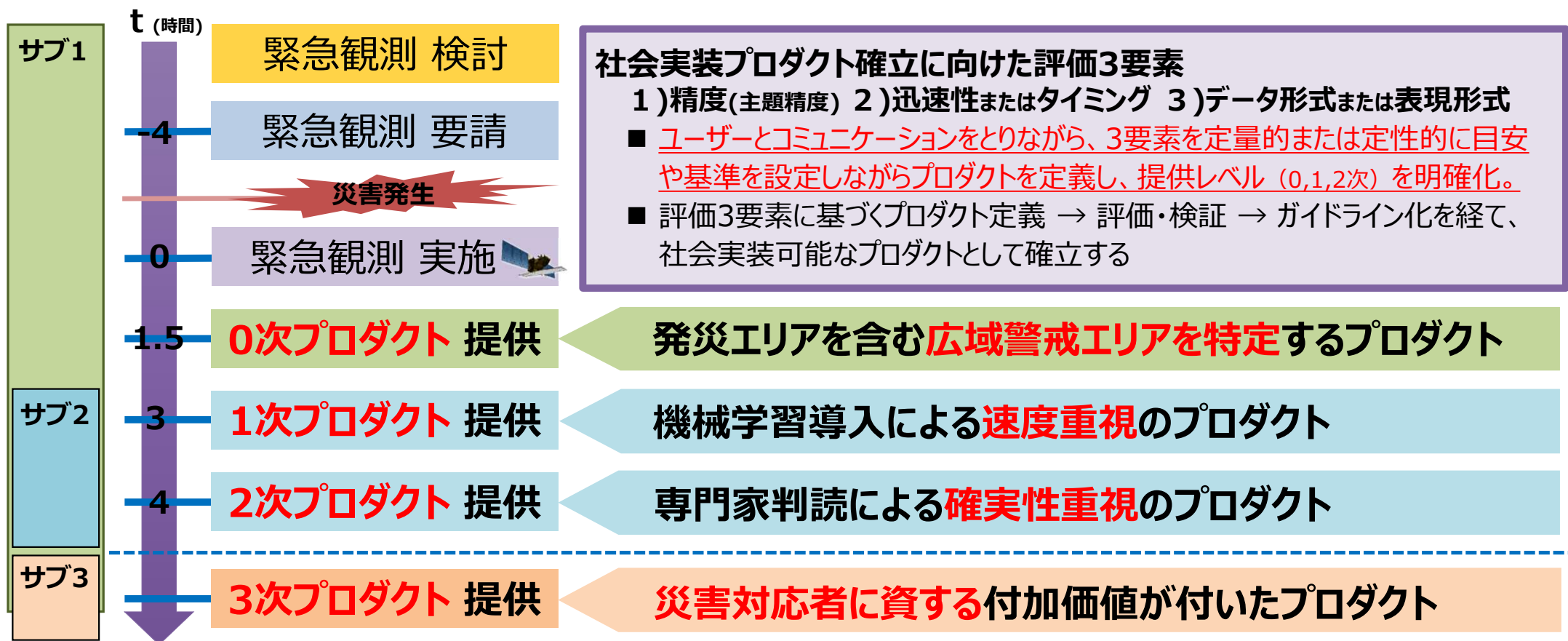


発災が予測されるエリアの観測面積が増加
より災害危険度が高まる時刻に近い時刻で観測

衛星データによる提供プロダクトの考え方

SIP-NR2

- 提供プロダクトとして、人間が被害発生箇所を視認できる0次プロダクト、機械学習による速度重視の1次プロダクト、さらに専門家の判読が加えられた確実性重視の2次プロダクト、付加価値を付けた災害対応に活用できる3次プロダクトと明確化。
- 0次～2次プロダクトについては、災害対応を行う府省庁とのコミュニケーションをとり、フィードバックを得ながら、評価3要素に基づき、提供プロダクトの定義およびプロダクトレベルを明確化。災害対応等を通じた評価・検証を経て、ガイドラインを作成し、社会実装プロダクトとして確立する。



衛星ワンストップシステムを活用した実災害対応：令和4年台風第14号、15号

SIP-NR2

- 衛星ワンストップシステムを活用し、国土交通省や内閣府防災と連携した実災害対応を実施
- 国内外の衛星連携実績 レーダ:ALOS-2, Strix, ICEYE, Capella, Sentinel-1 光学:SPOT, GRUS, Planet Dove, Sentinel-2

● 台風第14号（九州地方、中国地方）

- 浸水範囲、土砂災害発生箇所の推定結果を速やかに国交省や内閣府防災へ提供

ALOS-2浸水域抽出
(9/18夜観測)



ALOS-2土砂災害抽出
(9/19昼観測)



ALOS-2浸水域抽出
(9/19昼観測)



民間小型レーダ衛星
浸水域抽出

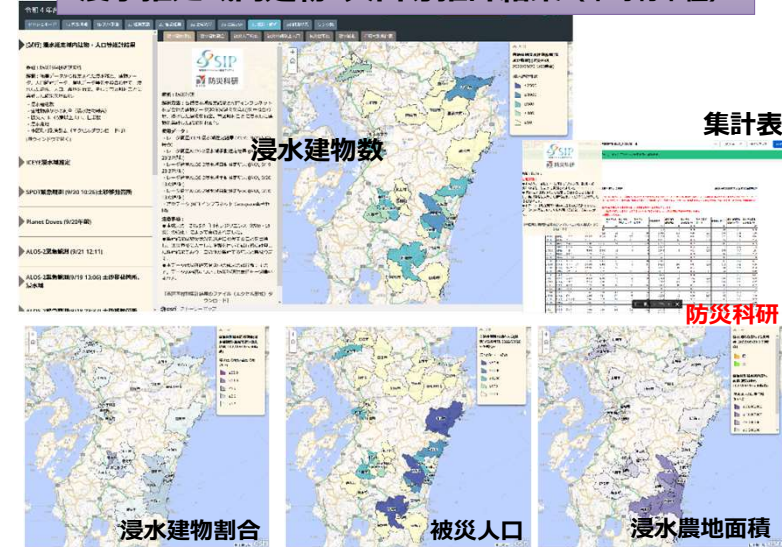


SPOT土砂災害抽出
(9/20午前観測)



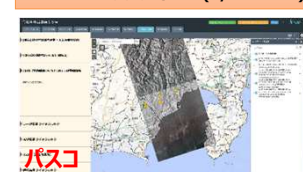
©Airbus DS, Spot-Image 2022

浸水推定域内建物・人口等推計結果（市町村単位）

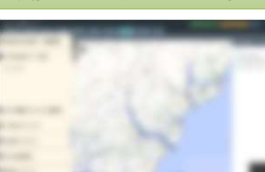


● 台風第15号（静岡県）

ALOS-2土砂災害抽出 (9/25夜観測)



民間小型レーダ衛星 浸水域抽出



浸水推定域内建物・人口等推計結果（市町村単位）



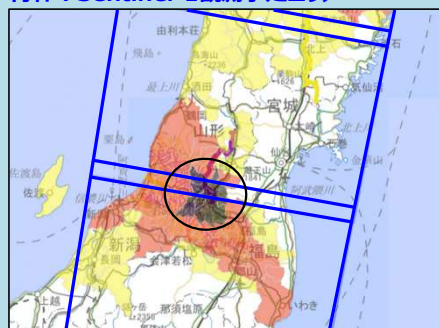
国として浸水域に対するニーズがなかった一方で、静岡県庁では浸水域のニーズがあったことを確認

衛星ワンストップシステムを活用した実災害対応：8月3日からの大雨

SIP-NR2

- 前線による大雨となり、**山形県→新潟県→石川県の順に、時間差で災害が発生。**
- 衛星ワンストップシステムを活用することで、**状況変化に臨機応変に対応しながら、衛星活用・連携が実施できることを実証した。**

青枠：Sentinel-1観測予定エリア



8月3日19時15分 山形県 大雨特別警報
→定常観測レーダ衛星Sentinel-1が
8月4日早朝観測予定であることを把握



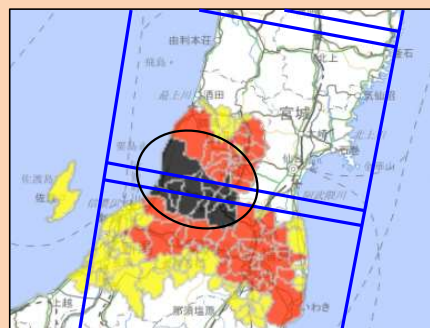
8月4日4時10分 最上川 氾濫発生情報



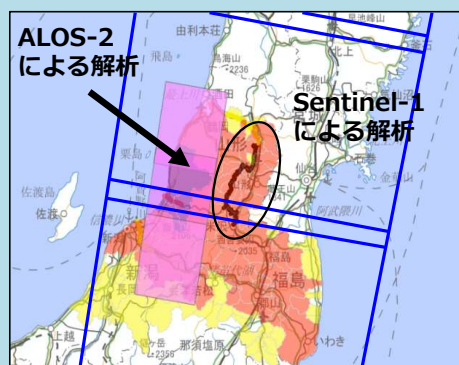
8月4日午後 梯川 氾濫発生情報
→レーダ衛星ALOS-2
8月4日夜は観測エリア外



石川県付近
→小型レーダ衛星Capella
8月4日夜緊急依頼観測

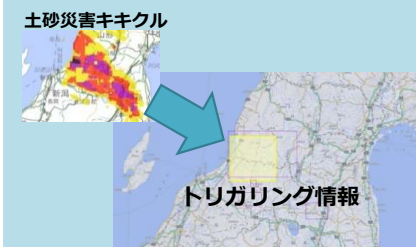


8月4日1時56分
→新潟県に大雨特別警報が拡大



新潟県村上市付近はレーダ衛星
ALOS-2の国交省による緊急観
測要請（8月4日昼観測）

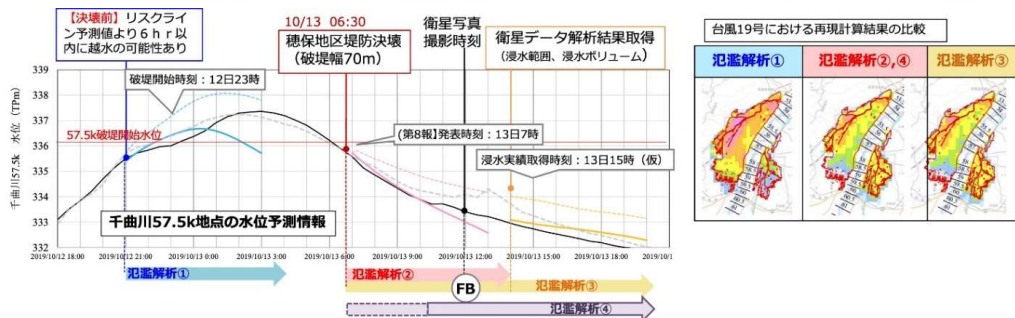
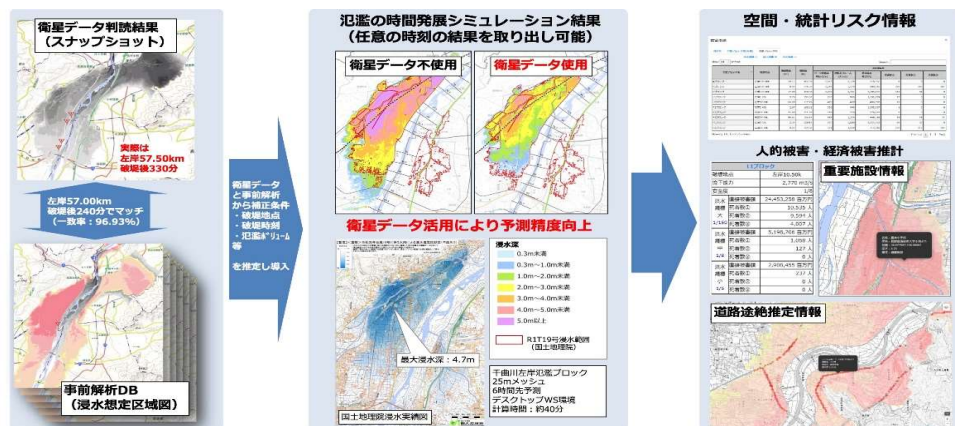
- ・ 村上市の浸水はALOS-2による解析
 - ・ 最上川の氾濫はSentinel-1による解析
- 解析エリアを2つの衛星で分担



新潟県村上市付近
光学SPOT(8/5)
小型光学GRUS(8/6) 観測依頼
→光学衛星による土砂災害把握

リアルタイム氾濫シミュレーション 技術開発の成果

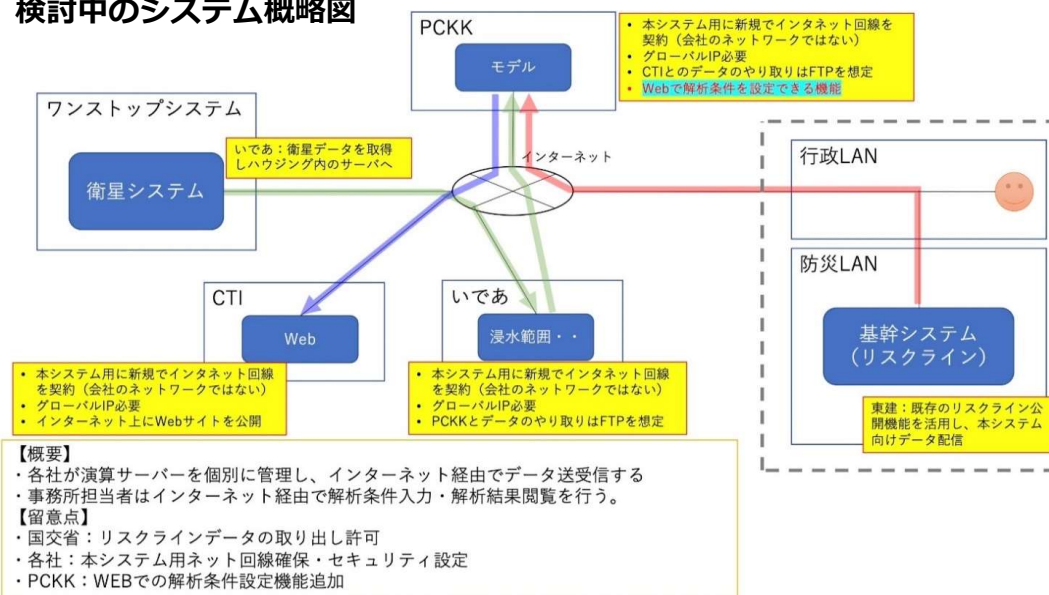
- シミュレーション手順
 - STEP1. 衛星データと事前解析DBのマッチング解析→計算条件推定
 - STEP2. 衛星解析によるFB解析を含むリアルタイム氾濫解析計算
 - STEP3. 衛星観測後の被害リスク時間発展のリアルタイム推定
- 千曲川と阿武隈川下流域についてモデル構築
- 衛星データ取得後1時間でリスク情報提供のリアルタイム解析



社会実装の成果

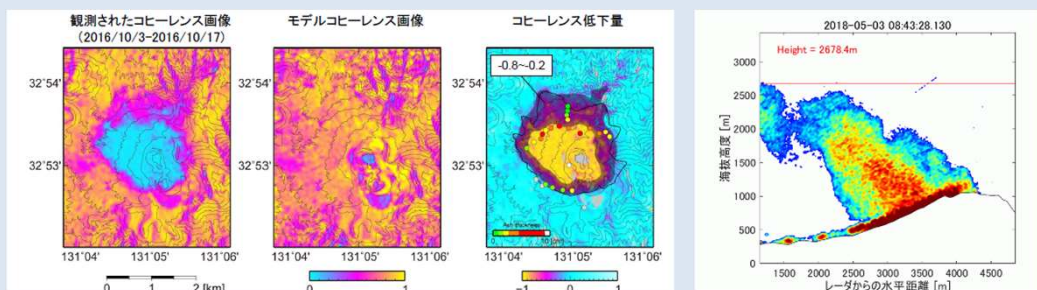
- 2023年度以降、SIPで研究開発した千曲川と阿武隈川下流域のモデルについて、実装運用の方向
- 2023年度の実装・運用のコストについて、実装主体である国交省、実務を請け負う民間企業（建設コンサルタンツ協会企業）と詳細協議中
- 他河川への展開について、実装運用の実績を周知しながら今後進めていく計画

検討中のシステム概略図



■ 技術開発の成果

衛星観測・解析技術



広域降灰厚分布推定技術

機動的気象レーダーによる
噴煙立体観測技術

衛星観測結果に基づくシミュレーション

衛星観測・解析によるデータ等を使用



溶岩流・火砕流のリアルタイムシミュレーション 土石流氾濫シミュレーション

■ 社会実装の成果

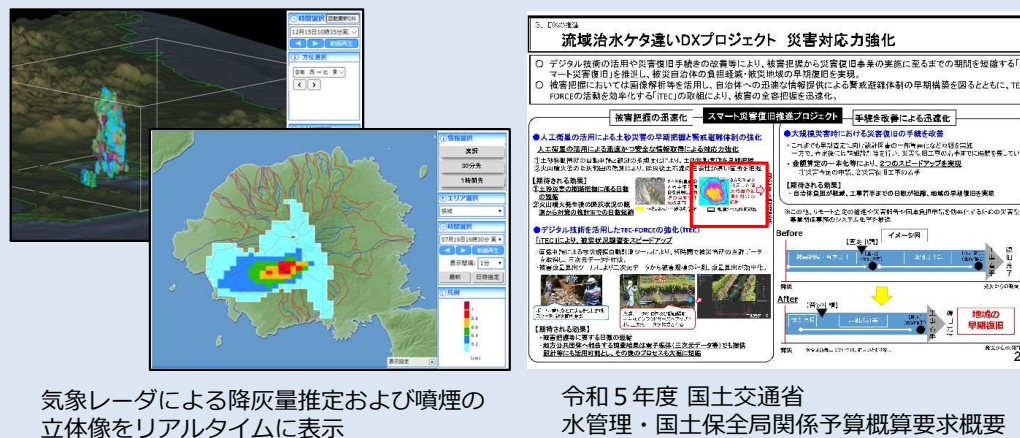
■ 5年間の達成状況

- Web上で表示可能な火砕流・溶岩流の衛星観測・シミュレーションシステムを開発
- 土石流発生リスク評価システムの国土交通省への実装を念頭に置き、GUIを実装したシミュレーションシステムを開発
- 解析・シミュレーション結果をSIP4D等の他のプラットフォームに対応した形式で出力可能*

*R4年度開発完了予定

■ SIP後を見据えた社会実装について

- 土石流発生リスク評価システムは国土交通省への実装・運用に向け調整（国交省が令和5年度予算概算要求において関連予算を要求）
- 気象レーダーによるリアルタイム降灰量推定は、事業者内サーバで計算・作画処理等を行い、WEB・サイネージでの表示やデータ配信等を実施

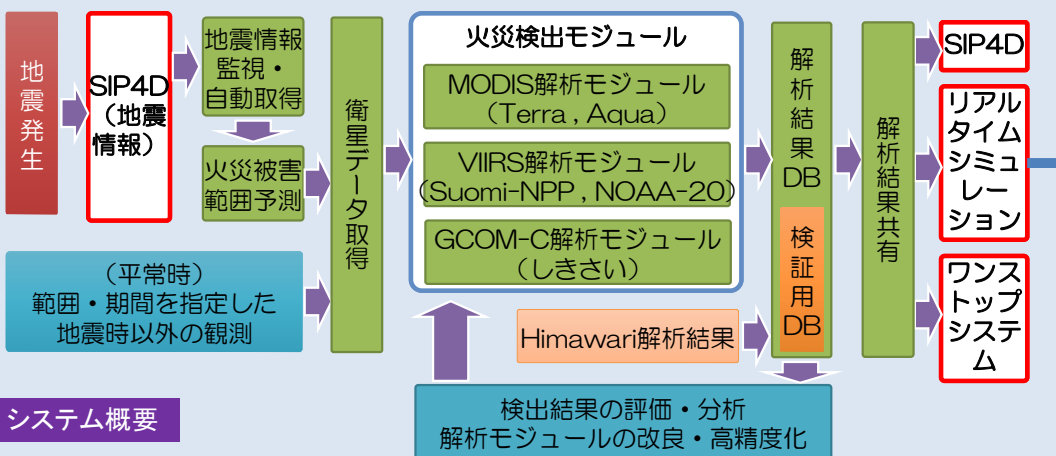


気象レーダーによる降灰量推定および噴煙の
立体像をリアルタイムに表示

令和5年度 国土交通省
水管理・国土保全局関係予算概算要求概要

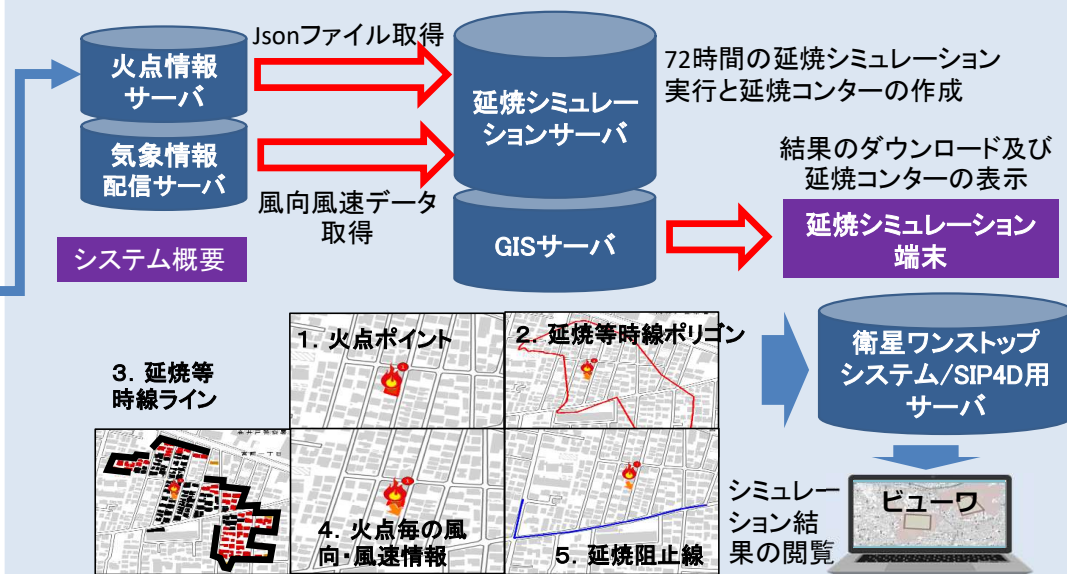
火災画像解析システム

- 地震発生時には、自動的に火災被害範囲を予測して対象地域の衛星データを自動取得・火災検出・結果を共有。
- 平常時には、火災画像解析を継続的に実施し、火災検出精度の検証及び高精度化のためのデータ(誤検出DB)蓄積。
- **SIP第2期終了後も、建築研究所が継続して運用を予定。**

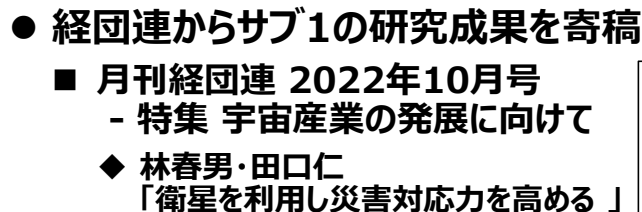


広域火災延焼シミュレーション

- 火災の覚知から3日後までの風向・風速を用いた、全国どの地域でも火災延焼シミュレーションを実行可能なサーバを構築。365日24時間、自動的に火点情報を取得し、火災延焼シミュレーションが実行可能。
- 時々刻々入力される火点情報を基に、シミュレーションを追加実行し、補正をかけ予測精度を向上。
- **SIP第2期終了後、総務省消防庁消防研究センターで、延焼シミュレーションの研究開発を継続する方向で協議中。**



- サブ1の研究成果として読売新聞に
衛星ワンストップシステムが紹介
(2022/5/11)

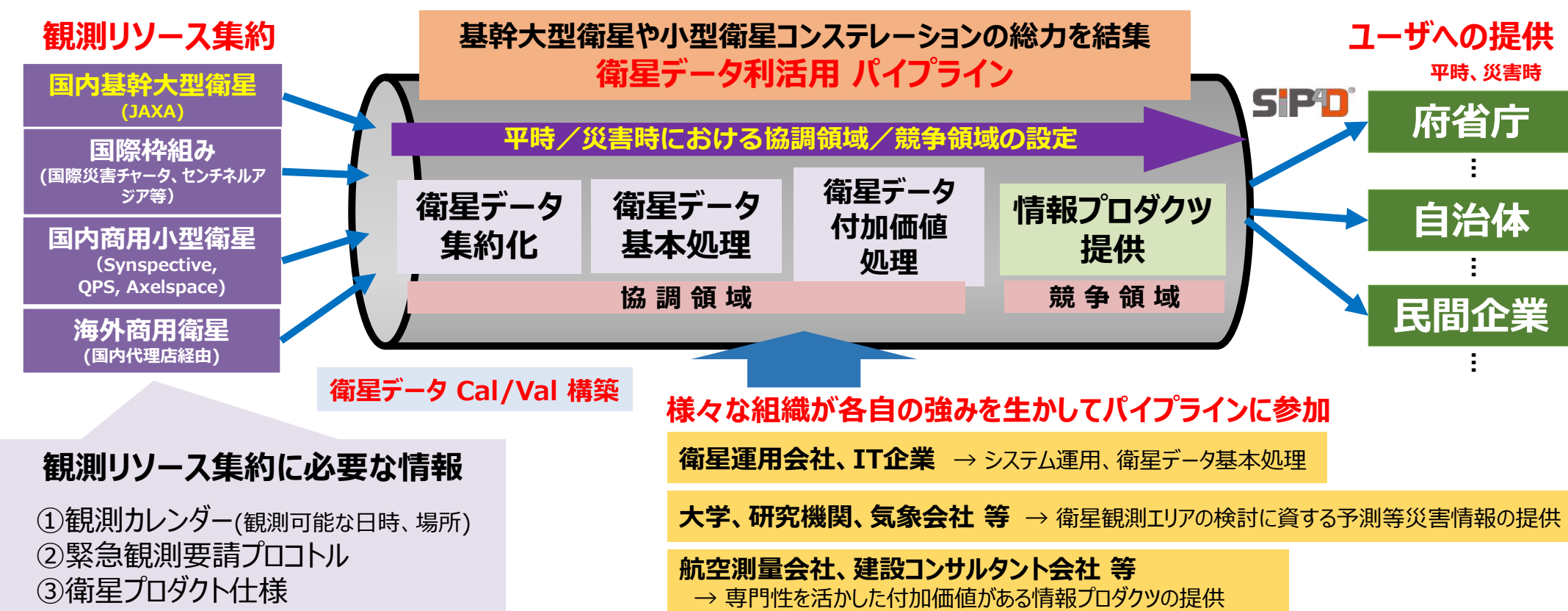


- 堀宗朗，田口仁「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」リモートセンシング学会事典（年内出版予定）
- 田口仁「令和元年東日本台風」日本写真測量学会60周年記念号（今秋出版予定）

【これから】衛星データ利活用パイプライン構築の必要性

SIP-NR2

- ユーザの目的に応じて必要な衛星を選択することができ、必要なプロダクト・サービスを選択して利用することが可能な「パイプライン」を構築し、**災害時には総力を結集**して対応可能な体制を官民で構築するべき。
- 成長著しい**小型衛星等へ対応する「助走期間」を前倒しで設定**することにより、**社会実装の加速化**を行い、可能性を高めるべき。
- **防災科研は、衛星ワンストップシステムを活用した研究開発を継続し、官民が連携した社会実装に向けての取り組みを継続する。**



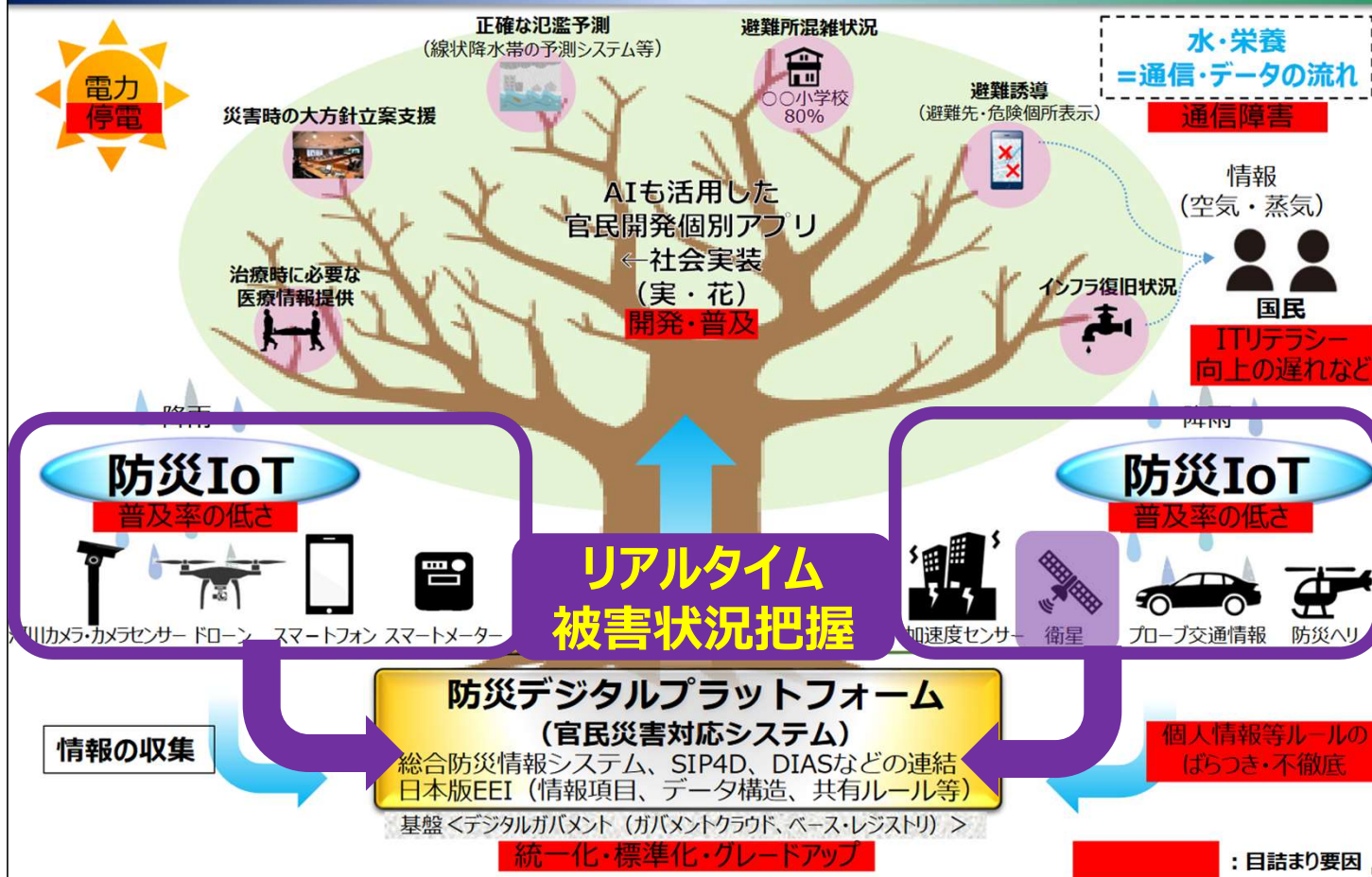
テーマⅡ 5年間の自己点検

SIP-NR2

- アウトプット目標（技術開発目標）およびアウトカム目標（社会実装目標）は共に**達成**。衛星ワンストップシステムは**目標を上回る成果**を創出。

項目	自己点検結果
① SIP第2期 開始時の状況と課題	●【状況】発災直後は情報が断片的であるため、災害の全体像の把握に時間を要する、今後の被災状況の予測が困難である。その結果、災害時に効果的な災害対応をとれない恐れがある。 ●【課題】地球観測衛星を活用し、発災時に早期に衛星観測を要請する技術、衛星データを高速に解析する技術、これら技術に基づく早期の情報提供（例えば、政府の災害対策本部が開催される発災2時間後 等）及び被災状況予測を行う技術が課題
② アウトプット目標 （技術開発） の達成状況	● 今後の小型衛星等の増加を見越して、衛星の観測計画を一元的に把握し、発災直後の被災状況把握を可能とする衛星コンステレーション対応の「衛星ワンストップシステム」を開発し、災害時の実践稼働を実現 ① 予測情報等を活用した災害時の衛星観測トリガリング情報生成技術、最適衛星観測計画の自動立案・推奨技術を開発→ 衛星コンステレーションに対応できる技術を開発、調査した範囲では世界初 ② 解析時間の短縮化を図るAI等を用いた速報性重視の自動解析技術、信頼性重視の手動解析技術を開発 ③ 洪水浸水、火山降灰、地震火災を対象に衛星データとシミュレーション技術を融合した被災状況予測技術を開発
③ アウトカム目標 （社会実装） の達成状況	● 関係省庁等と連携した実災害対応による実践稼働を通じて、開発技術及びシステムの有効性を実証。衛星ワンストップシステムのTRL（技術成熟度）とBRL（ビジネス成熟度）は共に7に到達した。 ● 世界的にも小型衛星開発が想像以上に進展しており、社会実装に向けての実施事項やロードマップを具体化するとともに、実装を加速化する助走期間の設定を提言した。 ● 個別解析技術および予測技術に対して、関係省庁や研究機関等による高度化や社会実装に向けての道筋をつけた。

防災デジタル 情報・データ フロー図



● 今後の展望

- 各種災害対応における基本情報の1つとして、的確に被災地を観測し、被害状況を早期・広域に把握可能な推定情報を生成し、提供する体制を構築し、防災デジタルプラットフォームにおける必要不可欠な基本情報として位置づけていきたい。

● 今後の研究課題

- 成長著しい小型レーダ衛星コンステレーションとの高度連携技術開発
- 衛星を含む各種防災IoTによるセンシングデータを統合的に利活用した（マルチモードセンシング）、観測データの収集・集約技術、多種多様なデータ統合に基づくリアルタイムリスク情報の生成技術開発

など

内閣府(防災担当)「防災・減災、国土強靱化新時代の実現のための提言」, 2021.5 (一部加筆)