

令和2年度第3次補正予算
「高圧ガス等技術基準策定研究開発事業
(停電復旧見通しの精緻化・情報共有システム等整備事業)」

－ 開発報告書 －

令和4年3月

一般財団法人電力中央研究所
株式会社 パ ス コ

目 次

1. 背 景

2. 目 的

3. 主な成果

- (1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修
- (2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化
- (3) 停電情報ユースケース調査

4. 今後の課題および検討事項

1. 背景

1. 背景

令和元年台風第15号、令和2年7月豪雨等、最近の災害は激甚化している。特に、令和元年台風第15号に伴って発生した大規模停電においては、多数の倒木、道路崩壊等により現場状況の把握が困難な状態が継続し、電気事業者は適時、適切に現況情報を把握することができなかった。その結果、多くの人々の不満や不安を巻き起こすことになった。このため、発災（台風の場合には停電件数のピーク時）から24時間以内、大規模災害時の場合でも遅くとも48時間以内には復旧見通しを発信できるよう電力業界に、情報収集体制の強化が求められている。こうした背景を踏まえ、現場状況の把握が困難な場合にも活用可能な情報を検討の上、これらの情報を迅速に収集して精緻に停電復旧時間を見積もり、関係者に適時・適切に情報を届けるための情報基盤が必要となっている。

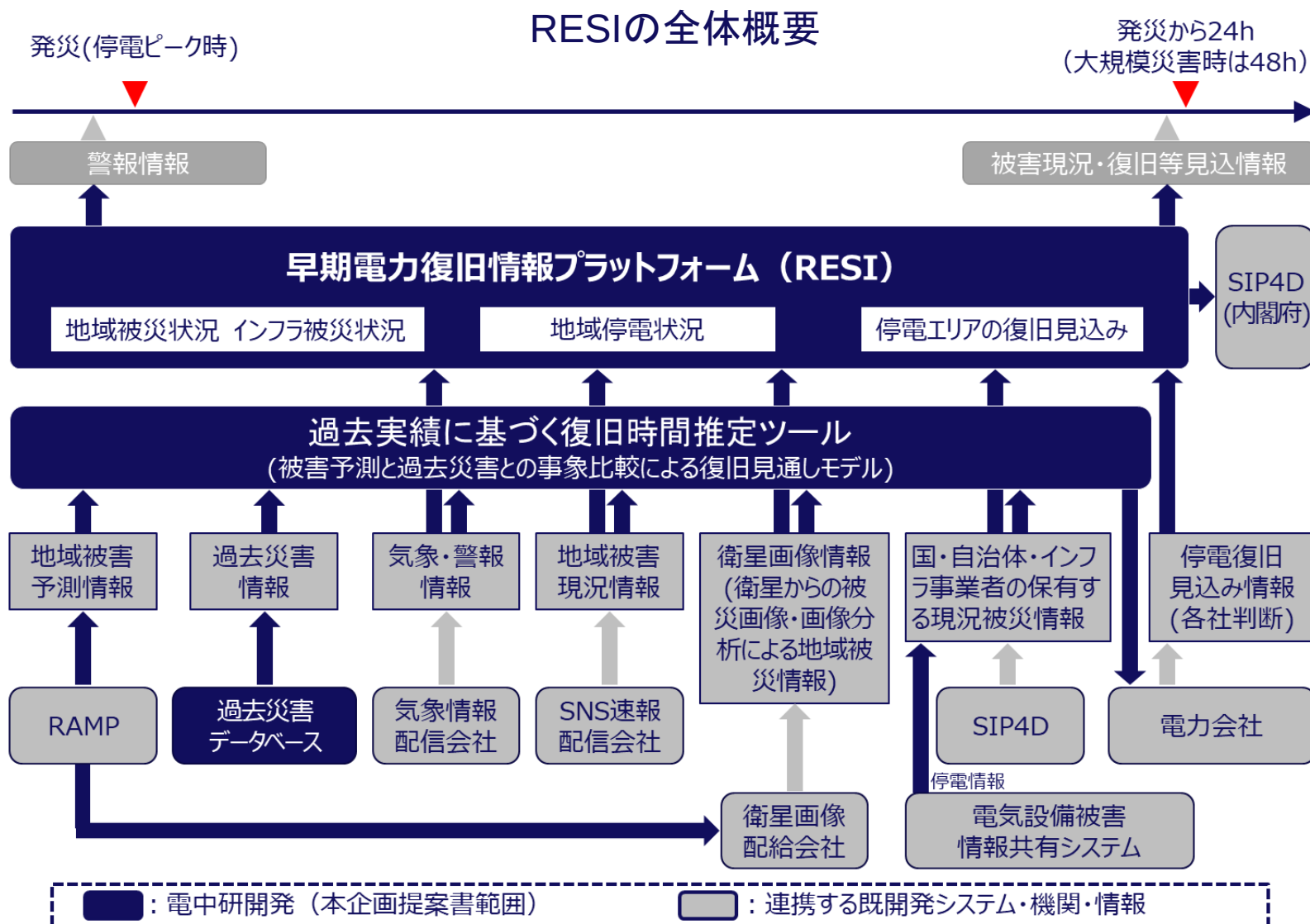
2. 目 的

2. 目 的

本事業では、昨年度委託事業受託時に開発した早期電力復旧情報プラットフォーム（early power REStoration Information platform; RESI、以下、RESIと表記）（P.7に全体概要を掲載）について、災害時の停電復旧見積もりに活用可能な情報を精査・収集して、停電復旧見通しを推定するツールの精度向上を図るとともに、関係者間で迅速に情報共有するための機能改善を行うことを目的とする。

加えて、RESIの実践的な活用方策を考察するために、停電情報に関するユースケース調査を行う。

2. 目的



3. 主な成果

3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

成果概要

SIP4D等とRESIをシステム連携させるための技術的課題を解決し、復旧見通しの精緻化に資する情報を、効果的にSIP4D等から取得することが可能となった。

また、SIP4D側のシステム担当者と連携実験を通じて、RESIからSIP4Dへ効果的に情報提供する機能を追加した。

さらに、今年度の気象状況下において、RESI(デモ版)を稼働し、情報の正確かつ即時的な把握等を目的とした操作性・視認性の改善等、実災害での適用で明らかとなった課題について改修を行った。具体的機能改修内容を次スライド以降の①～⑨に示す(P.10～P.19)。

これらにより、RESIを通じて、早期復旧に資する情報を災害復旧関係者に迅速かつ的確に提供することが可能となった。

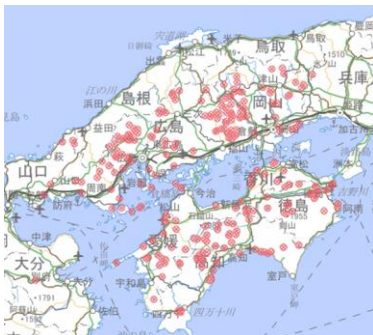
3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

① SIP4D等の外部災害情報システムとの連携機能



- ◆ SIP4D等から配信される災害データを収集し、RESIのデータベースに登録する機能



改修のポイント

- 復旧遅延要因に係る情報のみを表示することにより、迅速な情報把握が可能
例：道路情報の情報精査を実施し、通行止(⊗)のみ表示させ、通行規制箇所(ⓘ)を非表示にする等



- ◆ 定期的に停電情報画像(都道府県別・市区町村別)を作成し、SIP4Dの公開ディレクトリに格納する機能



改修のポイント

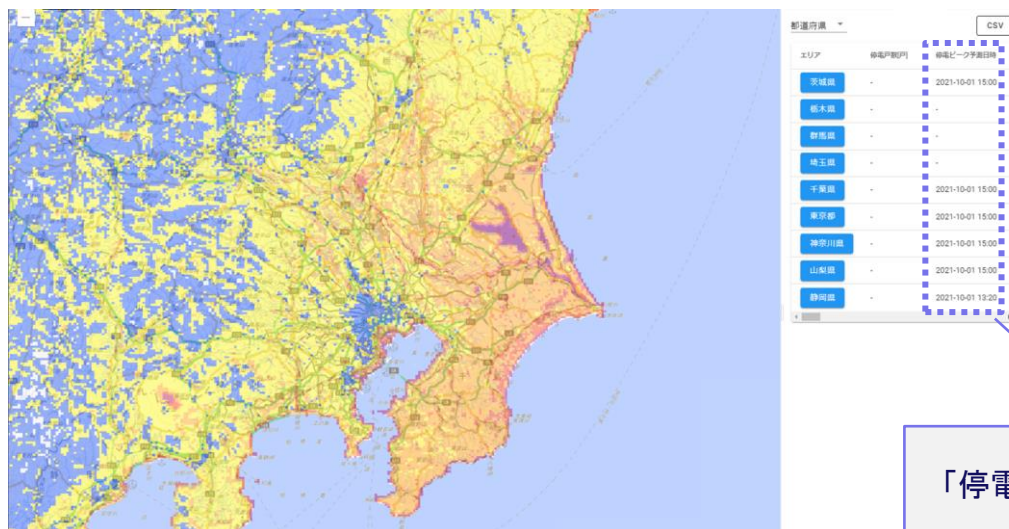
- 停電情報をSIP4D上で表示できるよう改修(連携実験にて確認済)

3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

② 電力中央研究所が開発し、電力各社において運用中の被害予測システム(RAMP)からの、電気設備被害予測情報収集機能

◆ 気象庁の台風進路予測情報等を基に停電ピーク日時を予測計算し、RESIのデータベースに登録する機能



「停電ピーク予測日時」が表示

改修のポイント

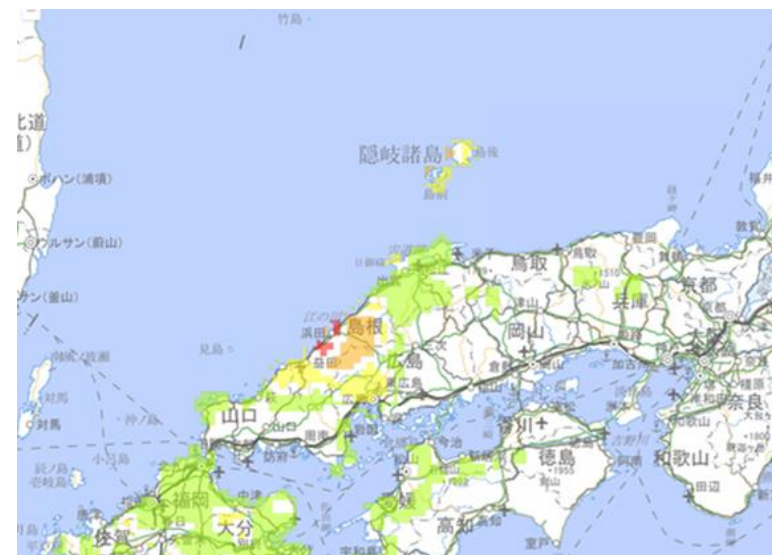
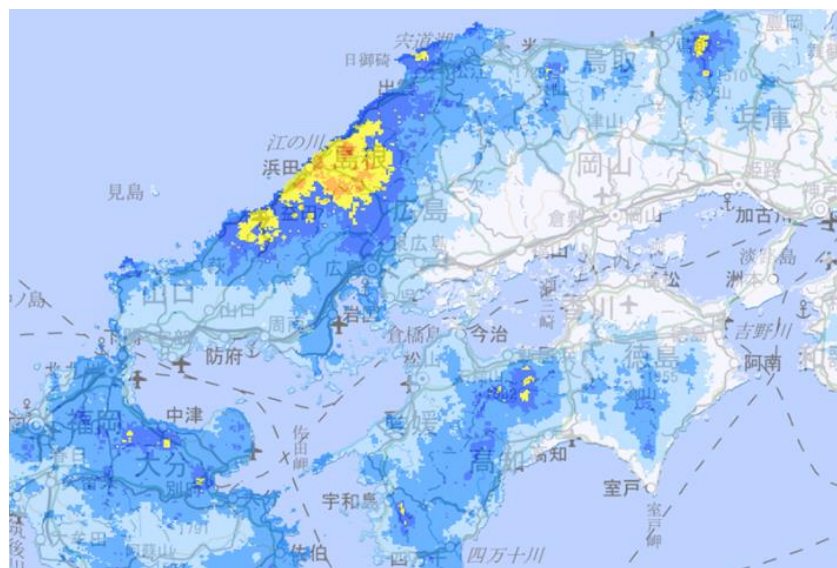
- 従前の都道府県単位に加え、市区町村単位の空間解像度で停電ピーク予測日時を表示することにより、より粒度の高い正確な情報把握が可能

3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

③ 国・自治体・研究機関等から、災害時に公開される警報情報、センサ情報、SNS等による地域被害現況情報等の収集機能

◆ 気象情報等をRESIのデータベースに登録する機能



改修のポイント

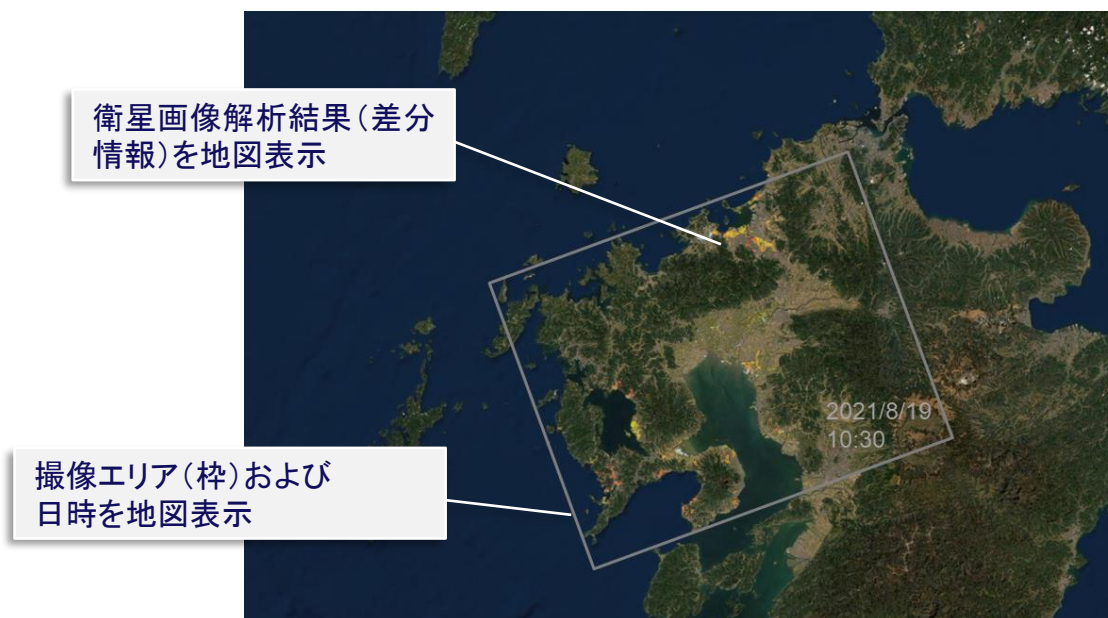
- データ量が膨大な気象情報等のデータ抽出ロジックを見直し、RESIの処理速度遅延を防ぐことにより、安定的な情報把握が可能

3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

④ 衛星画像情報等から分析された停電・被害情報収集機能

- ◆ 衛星の被害解析結果情報および夜間光画像を読み込み、RESIのデータベースに登録する機能



改修のポイント

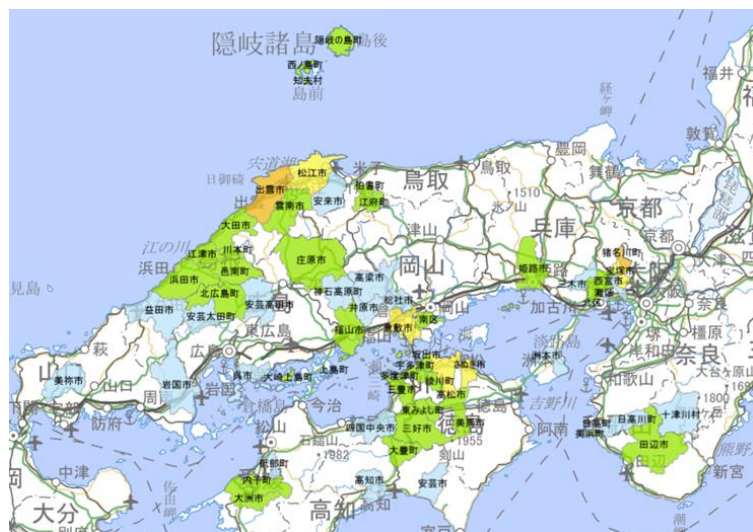
- 衛星画像解析結果(差分情報)に加え、撮像エリアおよび日時を地図上に表示することにより、被害箇所の正確かつ迅速な把握が可能

3. 主な成果

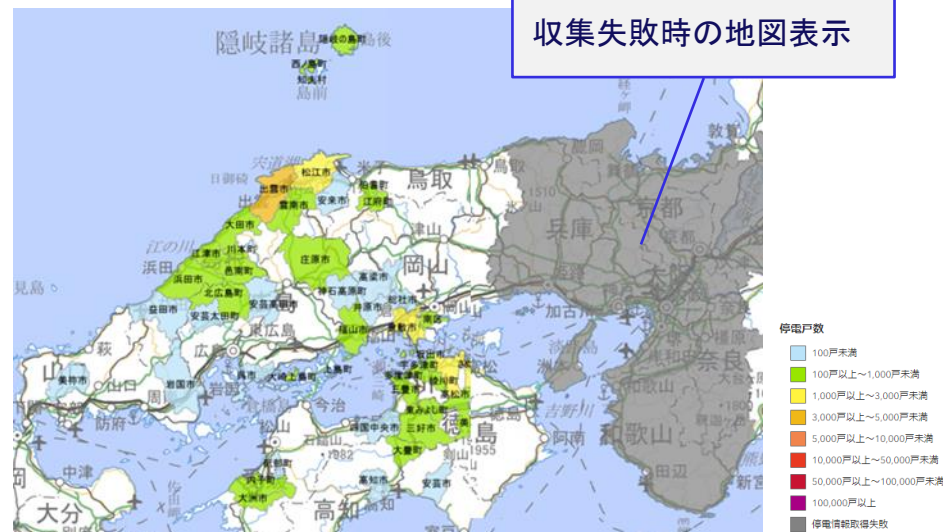
(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

⑤ 広域停電エリア可視化機能

◆ 「⑦ 停電情報収集機能」から送信される停電情報をRESIのデータベースに登録する機能



収集成功時



収集失敗時

改修のポイント

- 停電情報の収集状況(成功/失敗情報)を地図上に表示することにより、より正確な広域停電エリアの把握が可能

3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

⑥ 過去の災害データベース

- ◆ 台風等の災害情報および停電戸数情報をRESIにアーカイブする機能
- ◆ アーカイブしたデータはRESIのメイン画面で閲覧可能(過去災害情報の見える化)

RESI 台風一覧

年選択 2021 電力会社選択 全国 検索

タイトル	台風番号	台風名	期間内の最大停電戸数	表示開始日時 (JST)	表示終了日時 (JST)	強さ
台風19号	T2119	NAMTHEUN	27,420	2021/10/15 00:50:00		
台風16号	T2116	MINDULLE	18,010	2021/09/23 22:30:00	2021/10/02 09:50:00	
台風15号	T2115	DIANMU	1,180	2021/09/23 16:20:00	2021/09/24 16:05:00	
台風14号	T2114	CHANTHU	7,240	2021/09/07 10:20:00	2021/09/17 17:00:00	
台風09号	T2109	LUPIT	110,590	2021/08/05 12:40:00		
台風05号	T2105	CHAMPI	6,840	2021/06/23 10:20:00	2021/06/30 14:10:00	

Rows per page: All 1-6 of 6

選 択



改修のポイント

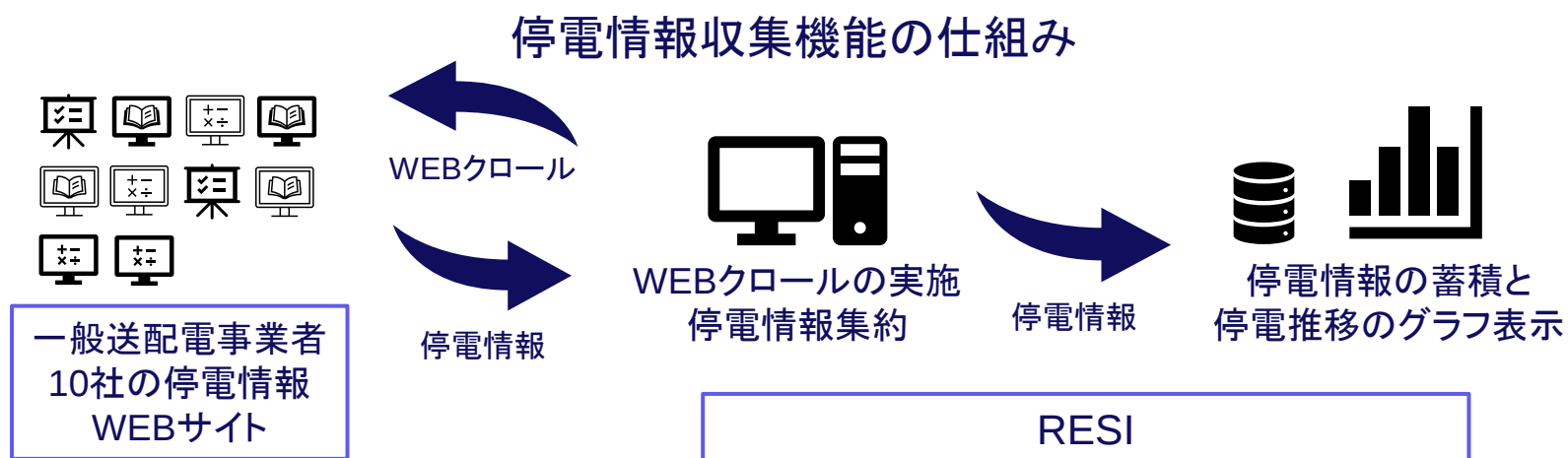
- データベースを最適化し、処理速度を高速化することにより、膨大な過去情報の蓄積およびシステム利用時の安定稼働が可能

3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

⑦ 停電情報収集機能

- ◆ 電力会社の停電HPにアクセスして停電情報を収集、所定のディレクトリに任意の書式で保存した結果をRESIのデータベースに登録する機能



改修のポイント

- WEBクロールの動作要件をシンプル化することで、不具合発生時のエラー特定および正常化にかかる時間を迅速化することで、トラブル発生時の保守作業を軽減可能
- 収集した停電情報にWEBクロールの成功/失敗情報を追加し、停電戸数0戸とWEBクロールの失敗を区別することで、正確な情報把握が可能

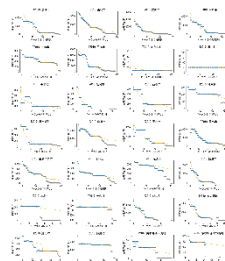
3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

⑧ 復旧時間推定ツールの高精度化につながる情報収集、蓄積

◆ 復旧時間推定に必要な情報(停電情報、島しょ部の属性情報)を収集、蓄積

情報収集・蓄積



+

	N01_001	N01_002	N01_003	N01_004	N02_007	福島F1G	RingDown	半土室停	福島災害	福島電力
北海道	帯広総合支庁民部	利尻町	1518	難島	20	0	106.1	100		
北海道	帯広総合支庁民部	利尻町	1518	難島	81	0	76.9	100		
北海道	帯広総合支庁民部	利尻町	1517	難島	569	0	81.8	100		
北海道	帯広総合支庁民部	利尻町	1696		73	0	544.8	100		
北海道	帯広総合支庁民部	留寿村	1697		55	0	971.7	100		
北海道	帯広総合支庁民部	留寿村	1698		88	0	1511.2	100		
北海道	帯広総合支庁民部	留寿村	1699		120	0	968.6	100		
北海道	帯広総合支庁民部	色丹村	1695		63	0	255.2	100		
北海道	帯広総合支庁民部	留寿村	1700		321	0	785	100		
北海道	帯広総合支庁民部	留寿村	1367	難島	820	0	143.1	100		
大分県	豊後市部	留寿村	44322		5	0	7	100		
島根県	隠岐部	海士町	32525	難島	158	0	33.4	100		
島根県	隠岐部	北水村	32527		66	0	13.5	100		
島根県	隠岐部	西ノ島町	32526		185	0	55.8	100		
島根県	隠岐部	隠岐の島町	32528		581	0	242.3	100		
広島県		江田島町	34215		74	0	100.8	100		
広島県		大内上島町	34411		55	0	43	100		
愛媛県		上島町	38356		51	0	30.3	100		
新潟県		池田町	15224	難島	1151	0	856.1	100		



令和3年度の台風災害
における市区町村単位
の停電情報の収集



島しょ部マスタの作成

改修のポイント

- 以下の改良を実施することで、復旧時間推定ツールの推定精度を高精度化
 - ✓ 令和3年度台風災害時の停電情報を収集
 - ✓ 復旧遅延の傾向が異なる島しょ部に対し属性情報を付加

3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

⑨ 各種統合情報集約機能

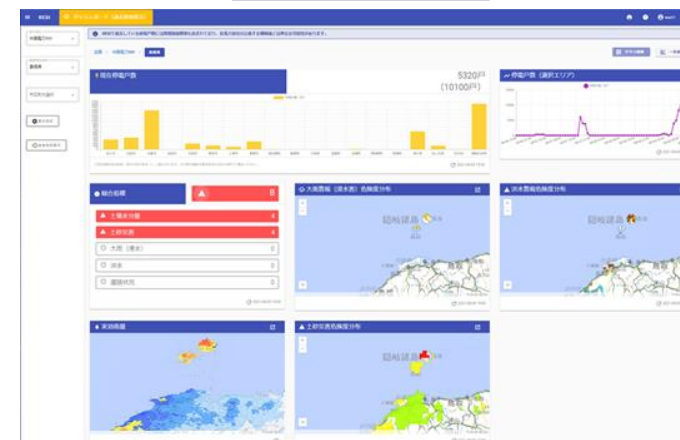
- ◆ 各社・各行政の停電状況等を横並びで一覧表示する機能

一覧画面

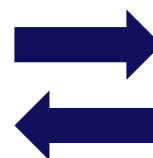


停電戸数推移を一覧表示

サマリ画面



任意選択したエリアの
気象情報・道路情報等を一括表示



改修のポイント

- RESIに表示される多くの情報を纏めることで、被災エリア全体の即時的・逐次的状況変化の把握が可能
 - ✓ 一覧画面では、停電情報に特化し、選択したエリア・期間における停電推移を確認可能
 - ✓ サマリ画面では、選択したエリアに関する各種情報を一元的に確認可能

3. 主な成果

(1) 早期電力復旧情報プラットフォームの改修

⑨ 各種統合情報集約機能

◆ 任意の期間の停電情報をダウンロードできる機能

RESI 停電情報ダウンロード

RESIで表示している停電戸数には再開路故障等も含まれており、各電力会社の公表する確報値とは異なる可能性があります。

開始日時: 2022-02-01 0時 終了日時: 2022-02-01 23時

都道府県:

停電情報CSVダウンロード

power_outage_stat...zip

ダウンロード

毎正時のエリア別停電情報

都道府県	日	時	停電戸数	停電率	備考
北海道	2022/2/1	0:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	1:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	2:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	3:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	4:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	5:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	6:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	7:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	8:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	9:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	10:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	11:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	12:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	13:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	14:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	15:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	16:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	17:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	18:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	19:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	20:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	21:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	22:00	0	0.00	
北海道	2022/2/1	23:00	0	0.00	
北海道	2022/2/2	0:00	0	0.00	
北海道	2022/2/2	1:00	0	0.00	

改修のポイント

- 都道府県等の各単位で、選択した期間における毎正時の停電戸数を簡易かつ即時に出力できるようダウンロード機能を改良開発することで、停電の時間推移把握およびデータの活用が可能

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

成果概要

I 復旧遅延要因の特定

停電事象を引き起こす要因を、気象要因と地域被災要因とに大別し、復旧遅延と気象要因との関係について事例分析を実施した。その結果、気象要因については、雨に係る気象ハザード(実効雨量)が増加傾向にある条件で、復旧遅延につながる再度停電（同一地域で停電戸数の増減が繰り返し発生する事象）が発生する可能性が高くなることを明らかにした。また、雨に関わる気象ハザード関連情報(洪水・大雨・土砂災害・土壌水分量情報)は、有効タイムライン内に取得可能な情報であることが明らかとなった(P.23～P.26)。

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

成果概要

I 復旧遅延要因の特定

現地出向を阻害する地域被災要因としては、道路閉塞・倒木等を把握できる衛星・道路情報の適用可能性について、以下のとおり調査を行った。

調査① 衛星画像の復旧時間推定への適用性

衛星画像から抽出可能な建物や樹木の被害情報は、復旧効率と相関があるものの、電力復旧で必要な有効タイムライン内での取得が困難であり、現時点では活用には課題があることが明らかとなった(P.26～P.29)。

調査② 新たな情報取得の必要性の検討(道路情報)

SIP4Dの道路情報では、①情報更新が不定期かつ②情報量に地域差があり、復旧遅延との相関分析が困難であることが明らかとなった。このため、新たな情報入手先として、トヨタ 通行量・渋滞度 フィーチャサービスに着目し、フィージビリティ調査を行った。その結果、一般道の渋滞情報までの詳細な道路情報が安定して入手できるものの、2次配信が原則不可である等の課題があることが明らかとなった(P.26・P.30・P.31)。

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

成果概要

Ⅱ 空間解像度別推定精度の検証および適用できる空間解像度の特定

復旧遅延の発生可能性を考慮して復旧見通しモデルを改善し、過去2年間に記録された296市町村に対し、改善モデルを適用した(P.32～P.34)。その結果、市町村の空間解像度で比較的中規模である2,500戸以上の停電が発生した場合には、安定した精度で復旧見通しが行える見通しを得た。一方、2,500戸以下の停電事象に対して同空間解像度で復旧見通しを評価する場合、その評価精度は大きくばらつくことを例示し、改善モデルの適用限界を明らかにした(P.35～P.38)。

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

I 復旧遅延要因の特定

復旧遅延要因とは、停電復旧効率を悪化させる要因を意味する。具体的には、再度停電および復旧停滞（停電戸数が減少せずに一定、あるいはゆるやかに推移する時間が長期継続）などの停電事象を引き起こす要因であり、気象要因と地域被災要因とに大別した。

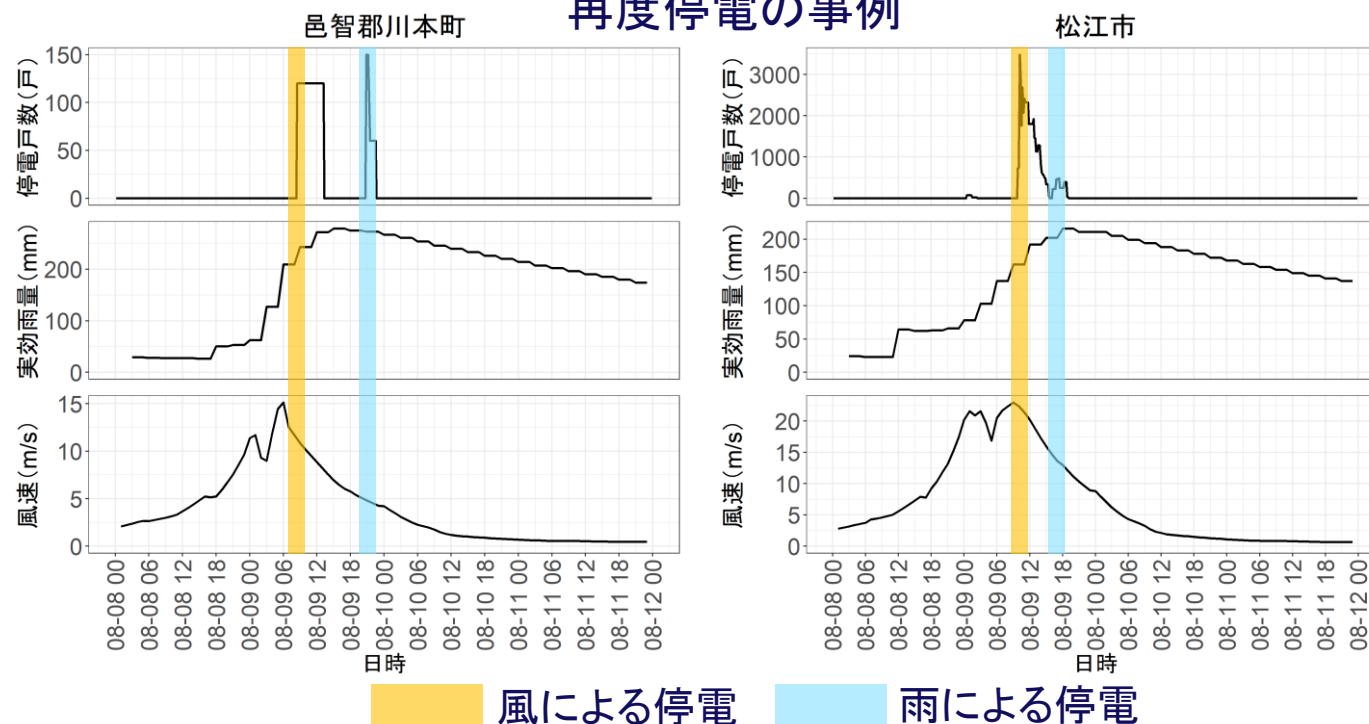
まず、復旧遅延と気象要因との関係进行分析するにあたり、台風時に停電を引き起こす主要因である強風以外で、復旧遅延を引き起こす可能性の高い気象ハザードである雨に着目した。事例分析の結果から、雨に係る気象ハザード（実効雨量）が増加傾向にある条件で、復旧遅延につながる再度停電が発生する可能性が高くなることを例示した（P.24・P.25）。また、雨に係る情報として、①洪水警報危険度分布、②大雨警報（浸水害）危険度分布、③土砂災害警戒判定メッシュ（分布）、および④72時間実効雨量が、有効タイムライン内に即時的かつ定期的に入手可能である関連情報であることが調査結果から判明し（P.26）、RESIにて即時収集・配信できるようにした。

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

I 復旧遅延要因の特定

再度停電の事例



停電戸数、風速、および実効雨量(土壌水分量)の推移(T2109)

注：再度停電とは、同一地域で停電戸数の増減が繰り返し発生すること

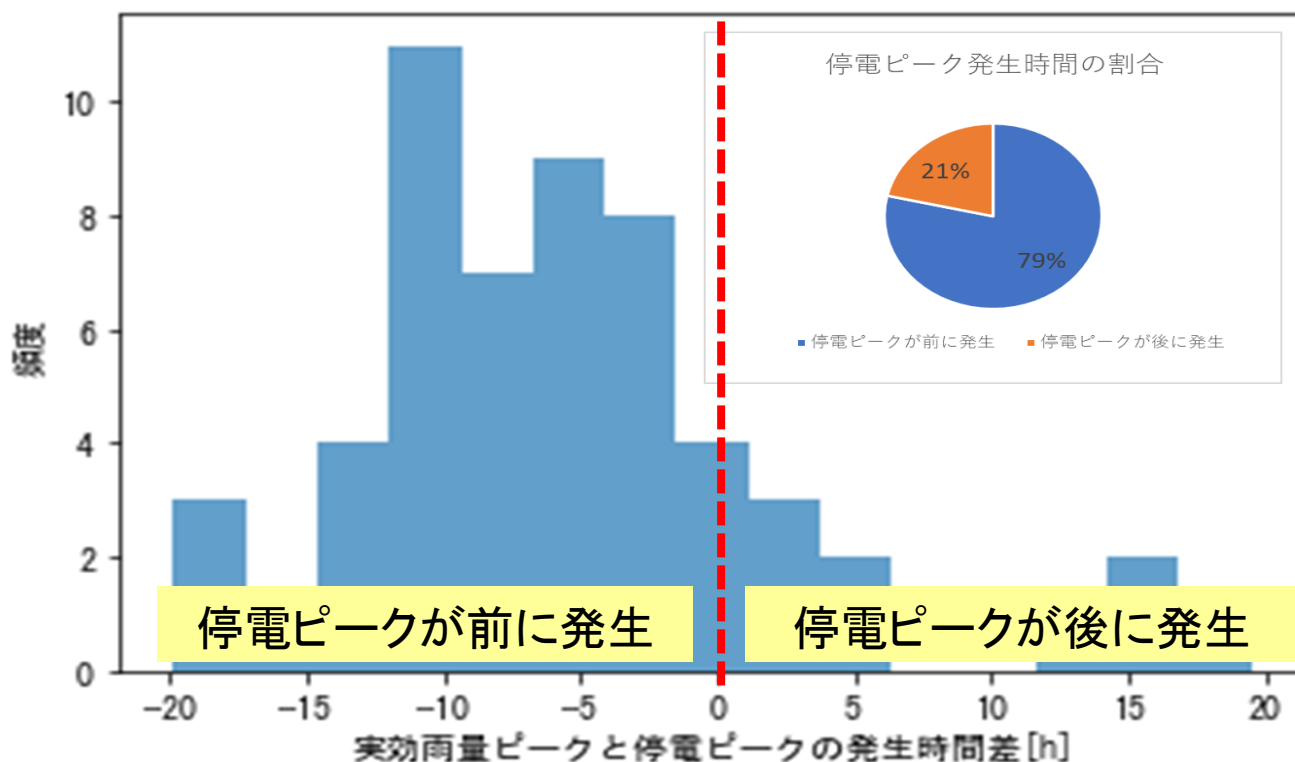
雨に係る情報が復旧遅延事象（再度停電）と相関が高いことを示唆

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

I 復旧遅延要因の特定

実効雨量と停電ピークとの相関分析



実効雨量が増加傾向にある時期に、停電ピーク(再度停電)が発生する割合は、約80%

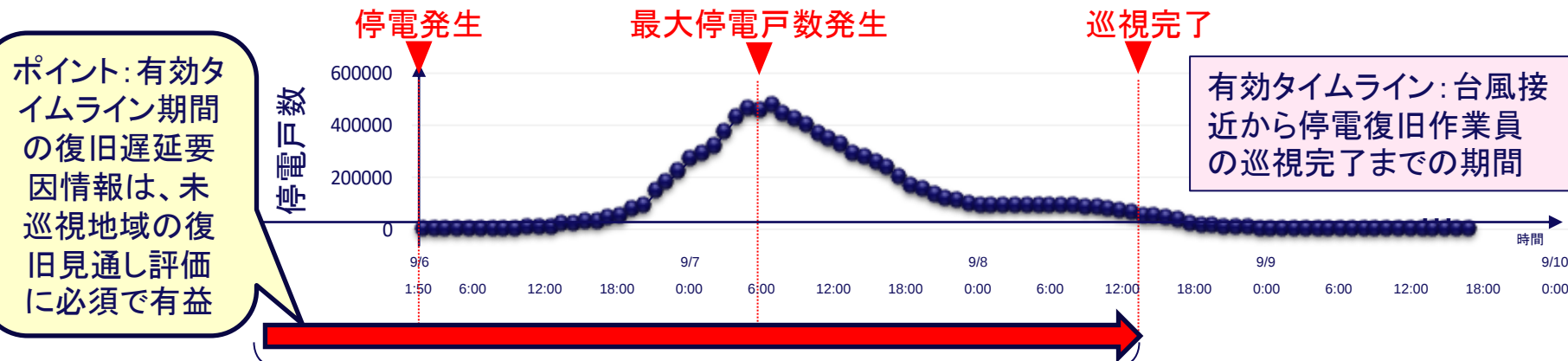
3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

I 復旧遅延要因の特定

RESIに取り込むべき情報と効果的な復旧遅延要因情報の取得タイミング

発災前から送電完了までのプラットフォームへの情報連系の流れ



有効タイムライン: 復旧遅延要因情報を効果的に使えるタイミング

復旧遅延(再度停電や復旧停滞)を引き起こす要因と関連する情報

1. 気象情報: 有効タイムライン内に取得可能

- ① 洪水警報危険度分布
- ② 大雨警報(浸水害)危険度分布
- ③ 土砂災害警戒判定メッシュ(分布)
- ④ 半減期72時間実効雨量

2. 地域被災情報: 有効タイムライン内の取得が困難

- ⑤ 衛星画像から抽出される建物、倒木情報
- ⑥ 詳細な道路情報

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

I 復旧遅延要因の特定

調査① 衛星画像の復旧時間推定への適用性の検証

令和元年台風15号の千葉県の被災事例に着目し、衛星画像から抽出可能な地域被災状況と復旧遅延との関係について事例分析を実施した。その結果、建物や樹木の被害が復旧作業に悪影響を与え、復旧効率が悪くなる（復旧停滞が発生する）ことが明らかとなった。加えて、再度停電などが発生するとさらに、復旧効率が悪くなる可能性が高いことを例示した（P.28・P.29）。ただし、衛星画像からの抽出情報である地域被災情報については、電力復旧に必要な有効タイムライン内で取得できる見込みが立たないなど、その情報取得に制約が多く、RESIでの活用には課題のある情報であることが明らかとなった（P.26）。

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

I 復旧遅延要因の特定

調査① 衛星画像の復旧時間推定への適用性の検証

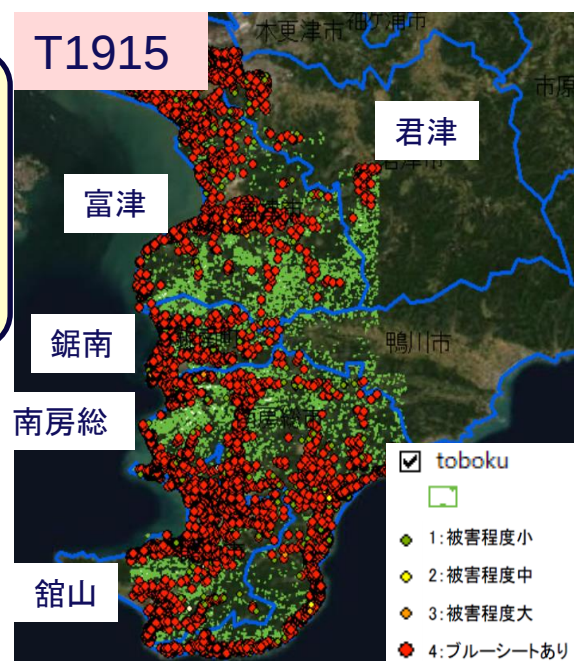
衛星画像情報と市町村停電事象との相関分析事例
(2019年台風15号「T1915」の事例検討)

5市町の被害概要(衛星画像情報)

衛星画像差分情報(建物被害と倒木)

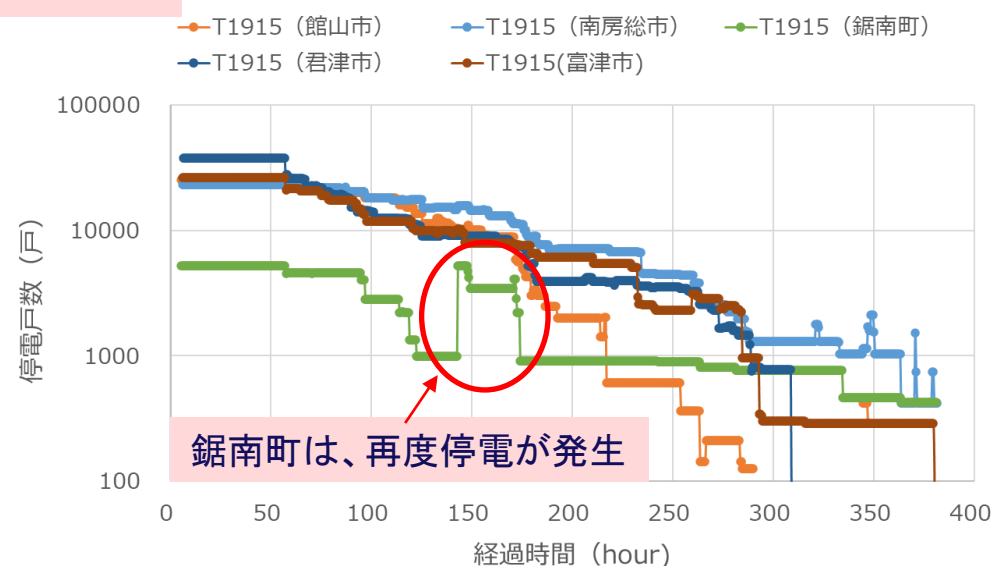
注目した地域(5市町)の停電戸数の推移

パスコにより
配信(AIによる
衛星画像
差分抽出技術を活用)



T1915

停電戸数の推移(5市: T1915)



3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

I 復旧遅延要因の特定

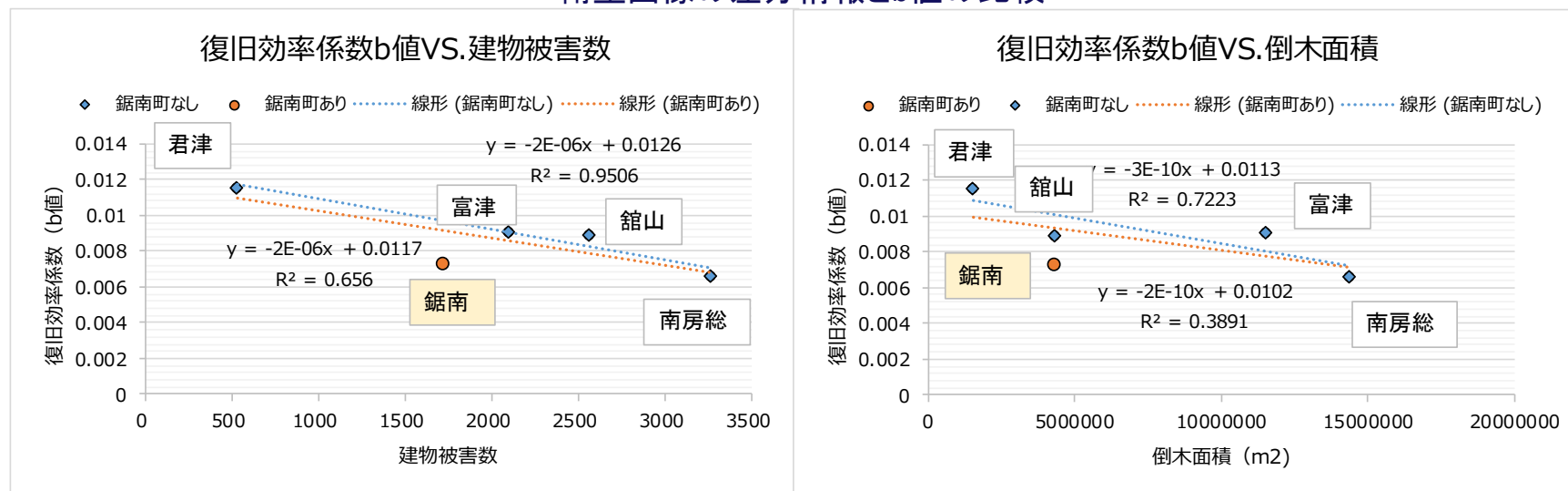
調査① 衛星画像の復旧時間推定への適用性の検証

復旧効率係数(b値)の求め方: 下記の指数関数で、P.28の5市町の停電戸数の推移を回帰

$P_o(t) = a \cdot \exp(-b \cdot t)$ $P_o(t)$: 停電戸数、 a : 補正係数、 b : 復旧効率係数

衛星画像の差分情報とb値の比較

解析ポイント: 停電戸数は、概ね指数関数で近似できることを前提に、b値の大小で復旧効率を定量的に判断可能(b値が高いほど短時間に停電が解消)



建物被害数と復旧効率係数b値とは、相関が高い

倒木面積と復旧効率係数b値とは、相関が高い

衛星画像による地域被災情報が有効タイムライン内に取得できれば、建物や樹木の被害が復旧効率を悪くすることが推測(b値の推定)でき、復旧見通しの精緻化に繋がる。

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

I 復旧遅延要因の特定

調査② 新たな情報取得の必要性の検討(道路情報)

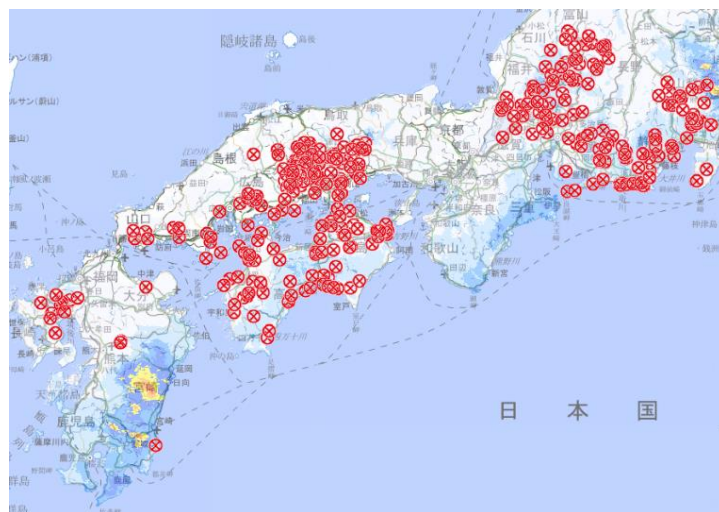
道路関連情報については、まず、SIP4Dに着目し、SIP4Dとの連携実験を行い、その有用性について検討した。その結果、SIP4Dから取得可能な道路情報については、①情報が不定期であること、②地域によって情報量に差が大きく、復旧遅延との相関分析ができるほど多くの情報を有していないことが明らかとなった。このため、トヨタが情報提供し、ESRIジャパンが代理販売しているトヨタ 通行量・渋滞度 フィーチャサービスに着目し、RESIでの活用可能性について調査した。その結果、同サービスを活用すれば、一般道の渋滞情報までの詳細な道路情報が定期的に入手できるものの、二次配信が原則不可のため、RESIでの同サービスの活用には現状で課題があることが明らかとなった(P.31)。

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

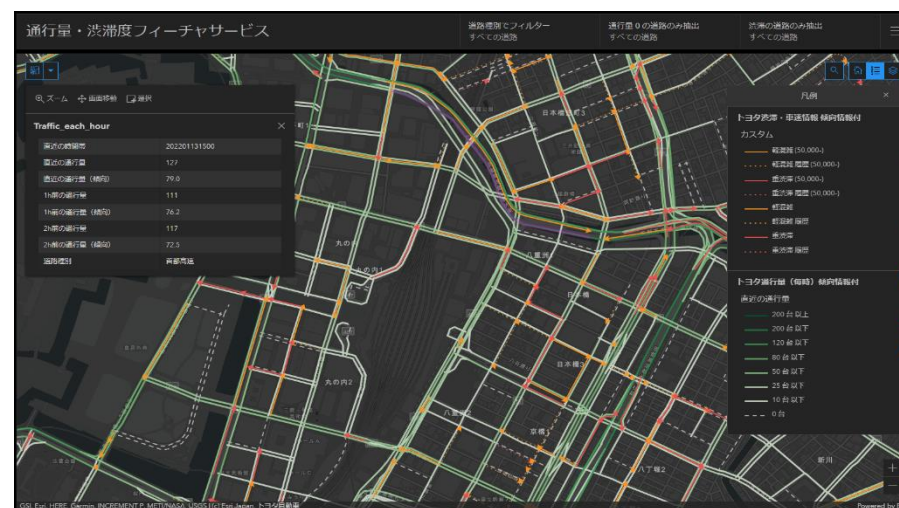
I 復旧遅延要因の特定

調査② 新たな情報取得の必要性の検討(道路)



SIP4Dの道路情報

- ①情報配信が不定期、
- ②地域によって情報量に差が大きい。



トヨタ 通行量・渋滞度 フィーチャサービス

- ①一般道を含めて詳細な通行量情報の定期的な取得が可能
- ②2次配信不可

出典: <https://www.esri.com/news/details/149952/>

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

Ⅱ 空間解像度別推定精度の検証および適用できる空間解像度の特定

停電事象の時間推移を詳細に分析し、指数型とステップ型に分類した(P.33)。このような停電推移の発生する条件を、復旧遅延の発生可能性を考慮して6グループにタイプ分けし、復旧時間推定モデルを改善した(P.34)。この結果、市町村単位の空間解像度まで復旧見通し情報を算出することが可能となった。

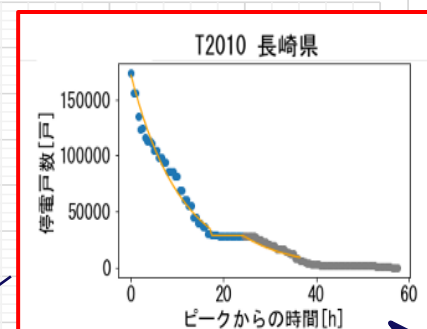
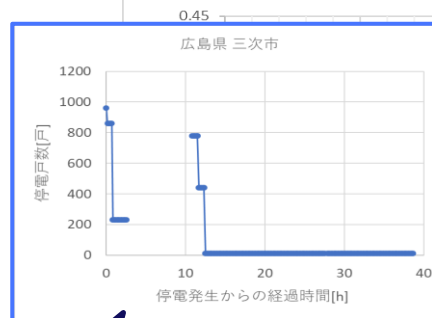
3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

Ⅱ 空間解像度別推定精度の検証および適用できる空間解像度の特定

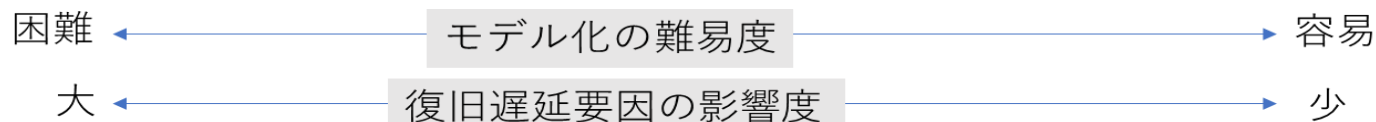
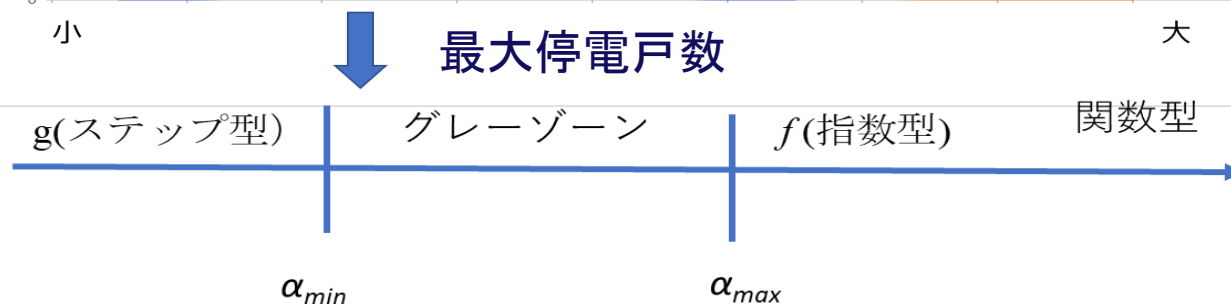
停電事象の分類

—STEP —EXPONENTIAL



ステップ型停電:
再度停電の発生
により停電戸数が増減、復旧停滞が発生

指数型停電:
指数関数的に、
停電戸数が減少



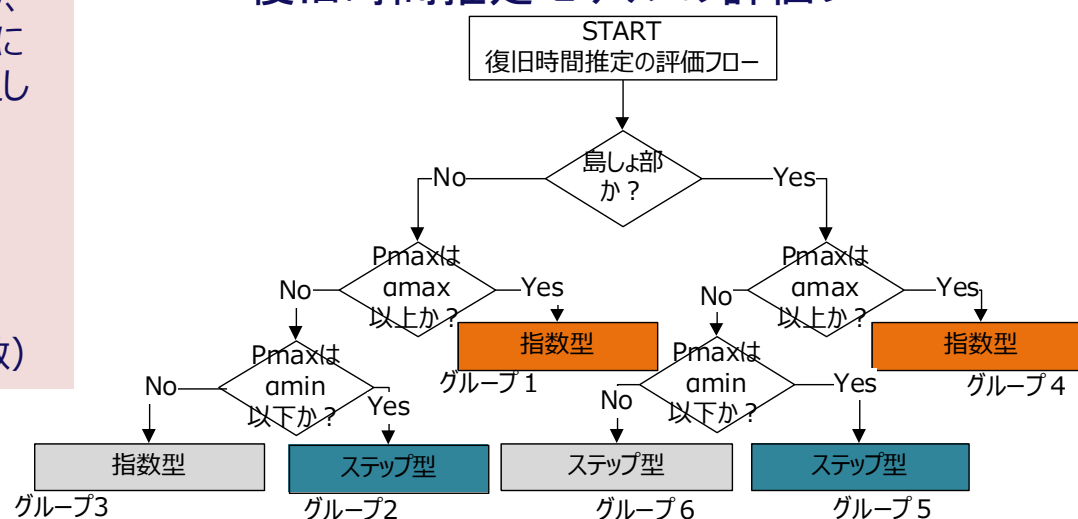
3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

Ⅱ 空間解像度別推定精度の検証および適用できる空間解像度の特定

- ・2タイプの停電事象の発生可能性を考慮し、復旧見通しを算出する条件を、6グループに分類し、グループごとに下記により復旧見通しを推定
- ・指数型停電の推定
⇒停電戸数に応じた逐次更新評価
- ・ステップ型停電の推定
⇒区間推定による非逐次型評価
(停電実績データ蓄積による経験関数)

復旧時間推定モデルの評価フロー



一般地域 島しょ部

	一般地域	島しょ部
$\alpha_{\max}$	グループ1	グループ4
$\alpha_{\min}$	グループ3	グループ6
	グループ2	グループ5

- グループ1 (指数型大規模停電事象) : 一般地域 : $Po_{\max} \geq \alpha_{\max}$
 グループ2 (ステップ型低規模停電事象) : 一般地域 : $Po_{\max} \leq \alpha_{\min}$
 グループ3 (指数型中規模停電事象) : 一般地域 : $\alpha_{\min} \leq Po_{\max} \leq \alpha_{\max}$
 グループ4 (指数型中規模停電事象) : $Po_{\max} \geq \alpha_{\max}$
 グループ5 (ステップ型小規模停電事象) : $Po_{\max} \leq \alpha_{\min}$
 グループ6 (ステップ型小規模停電事象) : 島しょ部 : $\alpha_{\min} \leq Po_{\max} \leq \alpha_{\max}$

$Po_{\max}$: 最大停電戸数、 $\alpha_{\min}, \alpha_{\max}$: 停電戸数閾値

3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

Ⅱ 空間解像度別推定精度の検証および適用できる空間解像度の特定

過去2年間に記録された296市町村に対して、改善モデルを適用した(P.36)。その結果、指数型に位置付けられる比較的大規模な停電事象となるグループについては、概ね精度よく評価できることを明らかにした(P.37)。一方、2,500戸以下の比較的小規模停電事象に位置付けられるグループについては、予測精度が悪いことが明らかとなった(P.37・P.38)。

3. 主な成果

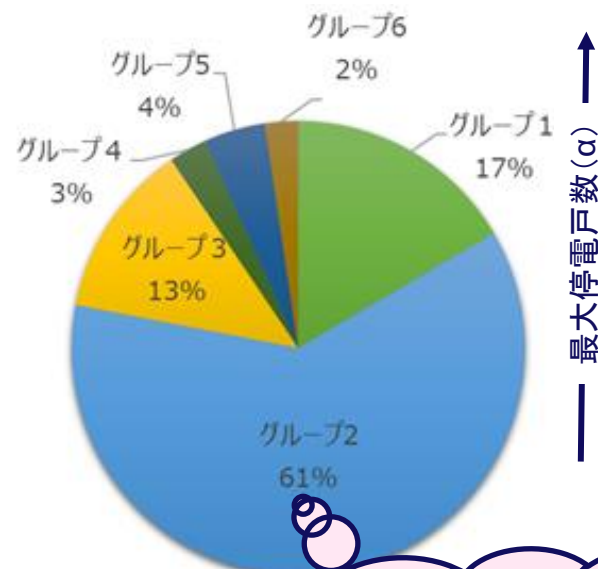
(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

Ⅱ 空間解像度別推定精度の検証および適用できる空間解像度の特定

296市町村の指数型停電とステップ型停電の内訳

ポイント:296市町村の停電実績を基に、 $\alpha_{\max}=2500$ 、 $\alpha_{\min}=1000$ という閾値を設けて、停電タイプを6つに分割

グループごとの内訳（296市町村）



最大停電戸数(α)

停電タイプの定義

グループ1 (指数型大規模停電事象)	グループ4 (指数型大規模停電事象)
グループ3 (指数型中規模停電事象)	グループ6 (ステップ型中規模停電事象)
グループ2 (ステップ型小規模停電事象)	グループ5 (ステップ型小規模停電事象)

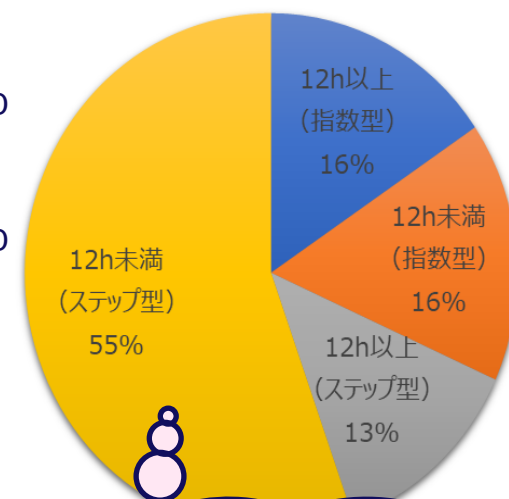
一般地域

島しょ部

停電時間の内訳（296市町村）

$\alpha_{\max}=2500$

$\alpha_{\min}=1000$



296市町村に発生した65% (グループ2:61% + グループ5:4%) が小規模停電事象 (最大停電戸数1000戸未満) であった。

296市町村に発生した71% (ステップ型停電55% + 指数型停電16%) が短時間 (12時間未満) に解消した停電事象であった。

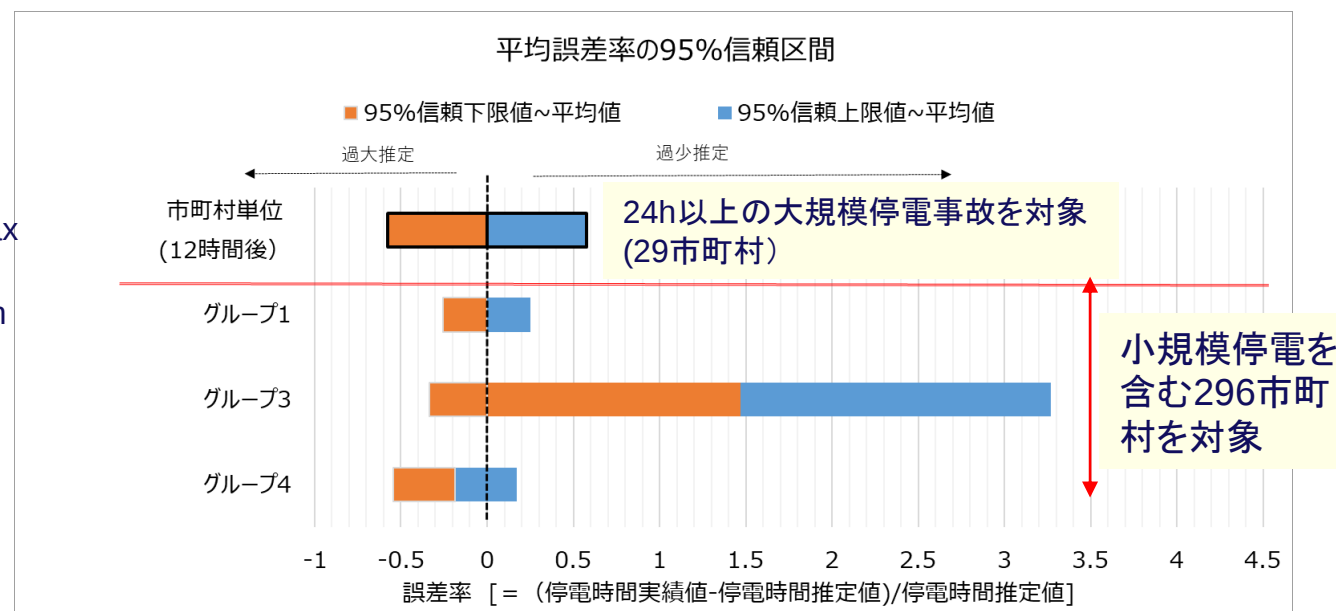
3. 主な成果

(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

Ⅱ 空間解像度別推定精度の検証および適用できる空間解像度の特定

296市町村を対象とした誤差率(12時間断面)の比較 -指数型停電グループの誤差率の比較-

停電タイプの定義	
グループ1 (指数型)	グループ4 (指数型)
グループ3 (指数型)	グループ6 (ステップ型)
グループ2 (ステップ型)	グループ5 (ステップ型)
一般地域	島しょ部
$\alpha_{\max}$	
$\alpha_{\min}$	
$\alpha_{\max} = 2500$	
$\alpha_{\min} = 1000$	



- ・停電戸数が2500戸以上発生したグループ1, グループ4ともに復旧時間推定モデルによる推定精度は高い
- ・停電戸数が1000戸～2500戸の範囲の誤差率(グループ3)はばらつきが大きい

3. 主な成果

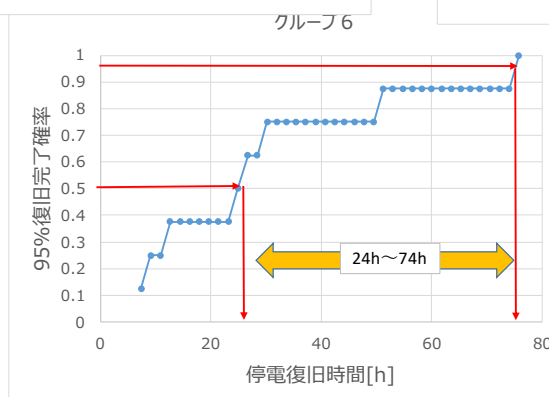
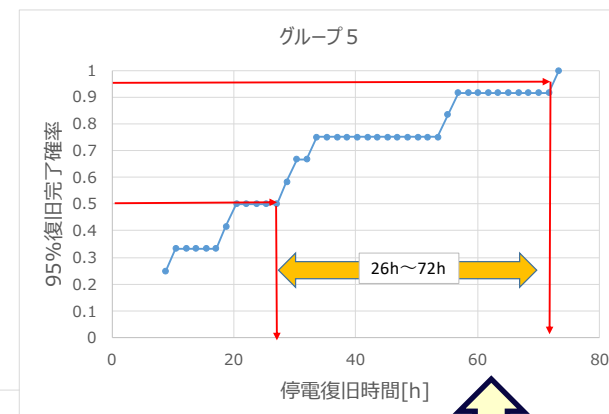
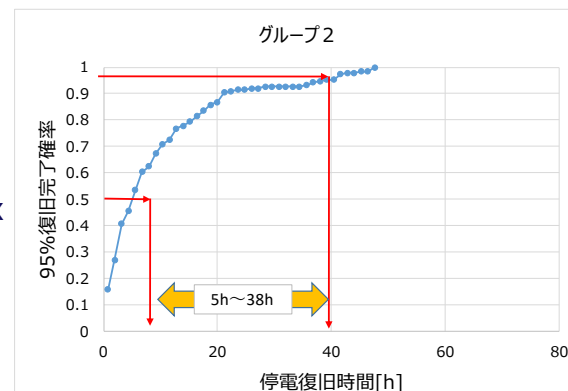
(2) 停電復旧に係る予測評価・分析技術の高度化

Ⅱ 空間解像度別推定精度の検証および適用できる空間解像度の特定

296市町村を対象とした復旧時間推定 -ステップ型停電グループの島しょ部と一般地域の比較-

停電タイプの定義	
グループ1 (指数型)	グループ4 (指数型)
グループ3 (指数型)	グループ6 (ステップ型)
グループ2 (ステップ型)	グループ5 (ステップ型)
一般地域	島しょ部
$\alpha_{\max} = 2500$ $\alpha_{\min} = 1000$	

$\alpha_{\max}$
 $\alpha_{\min}$



・グループ2, グループ5, およびグループ6のステップ型中小規模停電事象が発生した場合の復旧時間推定値は、ばらつきが大きく現段階で、参考情報とする(適用限界)。

島しょ部の停電復旧は、一般地域よりも遅延する傾向あり。

3. 主な成果

(3) 停電情報ユースケース調査

成果概要

停電関連情報(停電発生状況、復旧見込み等)の必要となるタイミング・用途・信頼性への選好について、警察・消防および主要通信キャリアを含む13事業者を対象に調査した(P.40・P.41)。

その結果、個々の機関で要求するタイミング・信頼性は異なることが明らかとなった。現状では電力会社の公式サイトから情報を取得し活用できているという意見があった一方で、災害初期には、正確でなくても迅速な停電関連情報の提供を求める意見があった。

このため、将来的な情報発信の在り方として、ステークホルダー毎の求めに応じた提供を行う等のオプションを選択できるようにすることも期待される。

ただし、今後、地域レジリエンス向上のため上記のような運用を展開するには、誤差の大きくなる可能性のある復旧見込み情報を公表した場合の各機関の過剰対応による経済的損失の発生等、負の側面についてもきちんと検証していく必要がある。

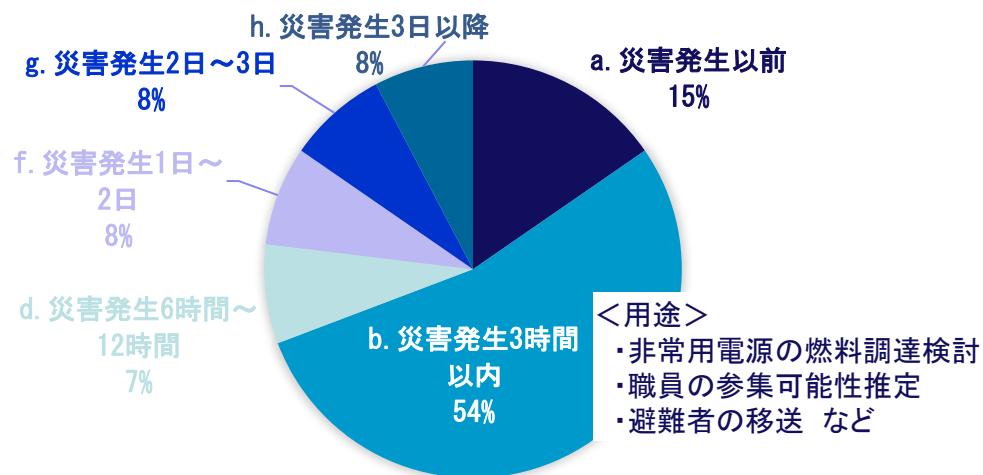
3. 主な成果

(3) 停電情報ユースケース調査

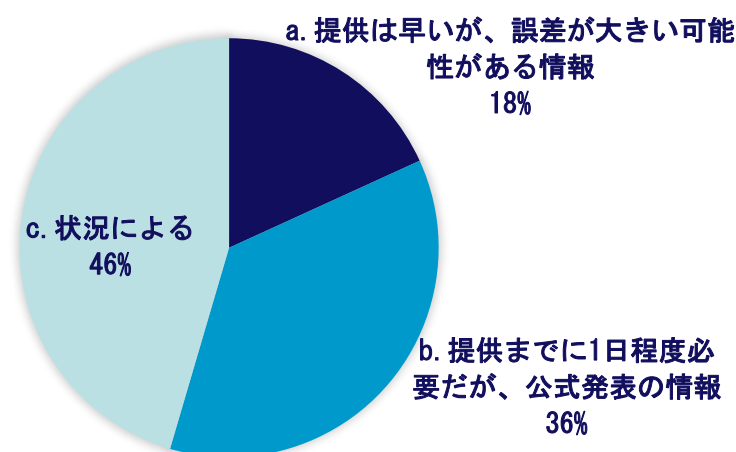
復旧時間推定値について効果的な情報発信方法を検討するために、災害対応の際に提供情報を必要とする警察・消防および通信事業者に対して、停電関連情報(停電発生状況、復旧見込み等)の必要となるタイミング・用途・信頼性への選好についてアンケート・対面等で調査を実施

警察・消防へのアンケート調査結果

<停電関連情報が必要となるタイミング・用途>



<停電関連情報の信頼性への選好>



3. 主な成果

(3) 停電情報ユースケース調査

主要通信キャリアへのヒアリング調査結果

< 停電関連情報が必要となるタイミング・用途 >

[タイミング] 災害発生3時間以内

[用 途] ・発電機配備や燃料調達に係る計画の策定検討
・職員の参集可能性の推定等
・その他、駆け付け・復旧方法検討

< 停電関連情報の信頼性への選好 >

提供が早くて、誤差が大きい可能性がある情報

< その他、要望 >

- ・可能な限り詳細で速やかに、より精度の高い情報（通信復旧に関するHP等での周知のため）が欲しい
- ・また、復旧の難易度や必要時間を推測可能とする情報があると良い

警察・消防、主要通信キャリア調査結果まとめ

- ・個々の機関で要求するタイミングと信頼性への選好は異なる
- ・電力会社の公式サイトから情報を取得し活用できているものの、さらなる提供の迅速化の期待もあった

3. 主な成果

(3) 停電情報ユースケース調査

◆ 昨年度および今年度の調査結果

- ・多数の医療機関が一刻も早い、正確な復旧見通し情報を求めている一方で、地域医療の中核を担う医療機関では、公式の情報を利用する割合が高い。また、自治体に関しては、県の災害対策本部に電力会社からリエゾンを派遣されており、異なる情報が出ると混乱を招くため統一情報の提供要望あり(令和2年度調査)
- ・警察、消防、主要通信キャリアに聞き取り調査を行った結果、発災前や発災から3時間以内等、早期の停電関連情報の提供を求める回答が多い(令和3年度調査)

◆ 電力会社の状況

- ・現状、災害による広域停電時に、公式の復旧見通し情報の提供は被害地域の巡視完了後で、発災から概ね24時間程度の時間を要する
- ・電力会社は、停電ピークから24時間以内、大規模災害においては48時間以内に復旧見通しを公表することが定められている



◆ 期待される情報発信の在り方および課題

- ・調査の結果、各機関により復旧見込情報の必要となるタイミングや用途、信頼性は異なっている。
- ・このため、将来的な情報発信の在り方として、多少精度が低くても、参考情報として利用したい施設・機関に対しては、迅速に復旧見込み情報を提供することや、要求する精度を達成できた時点からの提供を行う等のオプションを選択できるようにすることも期待される。
- ・ただし、今後、地域レジリエンス向上のため上記のような運用を展開するには、誤差の大きくなる可能性のある復旧見込み情報を公表した場合の各機関の過剰対応による経済的損失の発生等、負の側面についてもきちんと検証していく必要がある。

4. 今後の課題および検討事項

4. 今後の課題および検討事項

◆ 復旧時間推定ツールの高度化

- ・RESI開発以前の記録では、市町村レベルの詳細な停電戸数の推移や対応する気象関連情報、および地域被災情報の時空間変動が得られず、復旧予測モデルの精緻化に必要な再現計算ができなかった。このため、復旧予測モデルの精度検証やさらなる高精度化に向けた課題の抽出が、現状では不十分である。今後は、台風被害のRESIによるデータ蓄積を継続的に行い、さらなる復旧予測モデルの高度化を行う必要がある。

◆ RESIと外部システムとの連携

- ・SIP4Dへの情報連携については、今年度検証した停電情報の表示に加え、電力各社が公表する復旧見込を提供するため、各社公式サイトへのリンク情報表示等に関する技術的方策の検討を別途行う必要がある。
- ・地域レジリエンスを高めるための早期復旧に資する情報連携や、精緻化された復旧時間推定値の効果的な外部機関への配信については、電力会社と議論しながら、API等の効果的な活用を含むより実践的な方策について検討を行う必要がある。



令和2年度第3次補正予算
「高圧ガス等技術基準策定研究開発事業(停電復旧見通しの
精緻化・情報共有システム等整備事業)」
－ 開発報告書 －

令和4年3月

目次

1. 背景
2. 目的
3. 主な成果
 - (1)衛星画像AI解析システム開発
 - (2)被害差分抽出技術の開発
 - (3)解析モデル調査検討
 - (4)情報提供プラットフォーム開発・維持運用
4. 今後の課題及び検討事項



Surveying the Earth to Create the Future

1. 背景

1. 背景

令和元年台風第15号による千葉県を中心とした大規模停電においては、多数の倒木等により現場状況の把握が困難であったことなどにより、その復旧見通しについて不正確な情報が発せられ、適切な情報が適時に関係者に届けられなかったために、多くの人の不満や不安を巻き起こすこととなった。

この課題を克服するためには、現場状況の把握が困難な場合にも衛星画像やドローン撮影画像、センサ情報、国・自治体・インフラ事業者の保有する現況情報、過去の停電復旧データなど、活用可能な情報を検討の上、これらで情報を補完し、高度な解析技術でより精緻な見通しを算出しながら関係者に適時・適切に関連情報を届ける必要がある。

このため、衛星画像等やAI等、活用可能な情報や技術を検討した上でこれらを解析し、より精緻な停電復旧見通しを算出／情報共有・発信するための手法を開発し、これら情報を迅速に関係者間で共有するため、早期電力復旧情報プラットフォーム(以下、RESIという)を構築する。



Surveying the Earth to Create the Future

2. 目的

1. 目的と実施内容

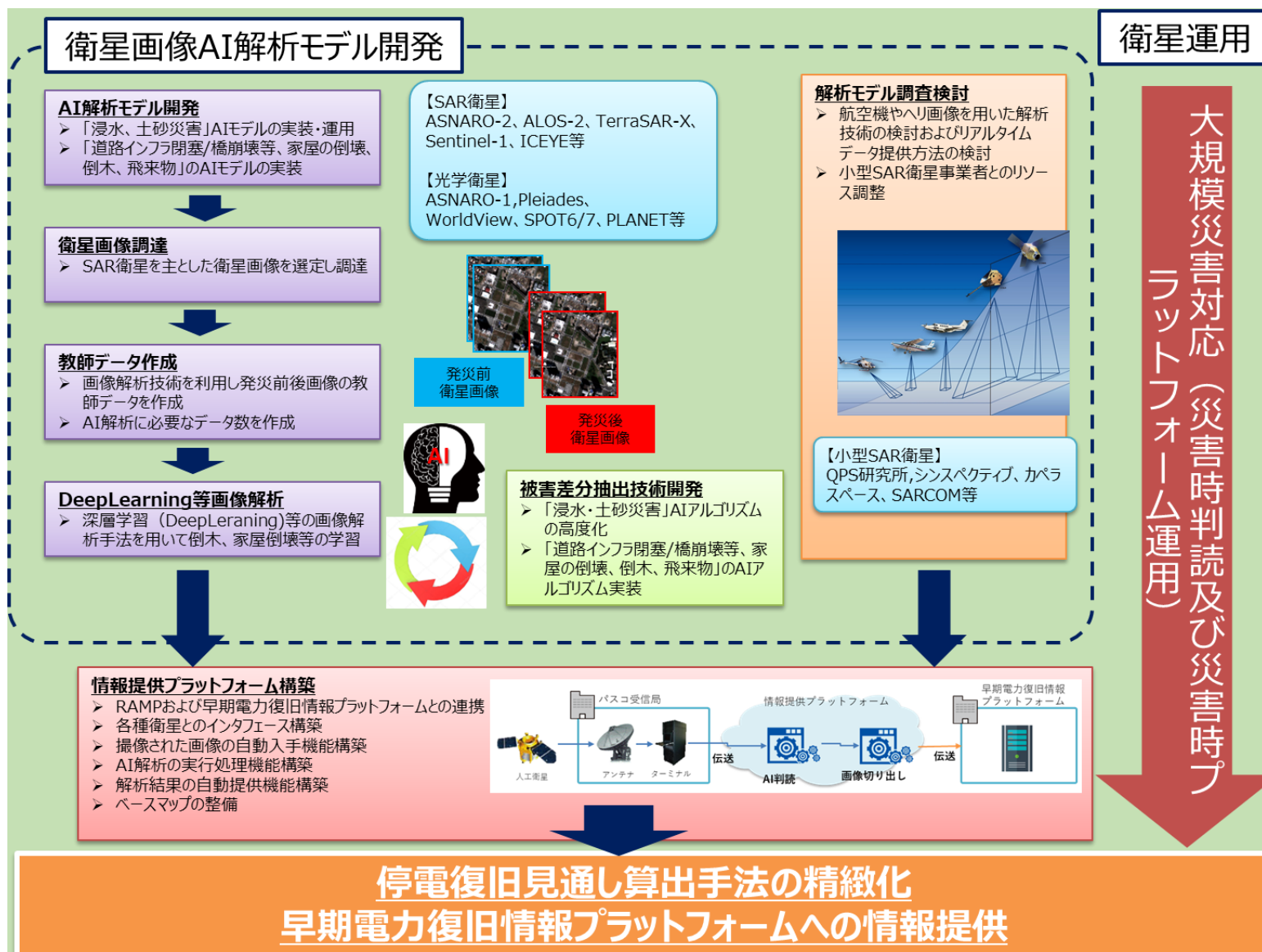
本事業で、パスコは、電力復旧に必要な有効タイムライン(台風接近時から停電発生および最大停電戸数の発生を経て、巡視により被災状況を電力各社が確認するまでの期間。以下、有効タイムラインという)内に迅速に衛星画像からの被害情報を提供することを目的として、昨年度委託事業受託時に開発したAI解析モデルの精度向上、倒木・家屋倒壊判読モデルの構築、自動連携機能を備えた情報提供プラットフォームの開発を行う。

加えて、小型SAR衛星などの将来の解析モデルの調査検討、本年度発生した災害において実証を行う。

実施内容(仕様書項目)

- (1)衛星画像AI解析システム開発
- (2)被害差分抽出技術の開発
- (3)解析モデル調査検討
- (4)情報提供プラットフォーム開発・維持運用

2. 実施内容全体





Surveying the Earth to Create the Future

3. 主な成果

(1) 衛星画像AI解析システム開発

成果概要①

- 対象とする被害のAI判読モデルを開発するために、各衛星画像の調達および教師データを作成。
- 作成した教師データを用いて「家屋倒壊」、「倒木」のAI判読モデルを構築し、情報提供プラットフォームへの実装。作成したモデルは下表の通り。
- 昨年度委託事業受託時に開発した「浸水」、「土砂災害」のAI解析モデルについて高精度化したモデルを作成。(P.23)
- 衛星運用事業者と連携して、観測のオーダー、観測データの国内地球局受信、情報提供プラットフォームへの送信等の仕組みを構築。(P.36)
- 昨年度委託事業受託時に開発した情報提供プラットフォームのプロトタイプを用いて災害時の対応を実施。また、実際に対応した浸水・土砂災害について実用性を評価しそれに基づき高精度化を実施。(P.24,P.26,P.41)

作成した判読モデル(昨年度委託事業受託時に開発したモデル含む)

対象とする被害	光学衛星		SAR衛星			航空写真
	SPOT (1.5m)	Pleiades (50~70cm)	ALOS-2 (3m ※SM1)	Sentinel-1 (25m ※IW)	小型SAR衛星 (1m)	垂直撮影 (20cm)
家屋被害	—	○	○	—	検討	○
倒木	○	○	○	—	検討	○
浸水	○ 高精度化	○ (昨年度)	○ (昨年度)	○ 高精度化	○	—
土砂災害	○ 高精度化	○ (昨年度)	○ 高精度化	—	—	—

成果概要②

家屋倒壊、倒木のAI判読モデルについて、それぞれの衛星で被害程度を分類し、判読可能な被害程度でモデルを構築した。それぞれの精度は下表の通りとなった。評価に用いた正解データには令和元年台風15号の通過後に撮影された航空写真から、目視判読により作成した被害データベースを使用した。(P.11)

作成した家屋倒壊・倒木モデルの精度

対象被害	対象モデル	抽出可能な分類と単位	Precision/Accuracy	Recall
家屋倒壊	1)Pleiades(光学)	ビニールハウスとブルーシート	81.00%	70%以上
	2)ALOS-2(SAR) ※NDSI	家屋の被害あり・なし/50m メッシュ単位	63.70%	72.00%
	3)ALOS-2(SAR) ※コヒーレンス	家屋の被害あり・なし/家屋単位	0.82%	83.88%
	4)小型SAR(SAR)	(視認性評価実施)		
	5)航空写真	ビニールハウス・ブルーシート・ 家屋被害3分類/家屋単位	73.02%	38%以上
倒木	6)SPOT(光学)	倒木あり・なし/被害エリア単位	54.66%	63.20%
	7)Pleiades(光学)	倒木あり・なし/被害エリア単位	47.82%	49.02%
	8)ALOS-2(SAR)	倒木あり・なし/被害エリア単位	41.15%	43.02%
	9)Capella Space(SAR)	(視認性評価実施)		
	10)航空写真	倒木あり・なし/被害エリア単位	31.10%	72.6%

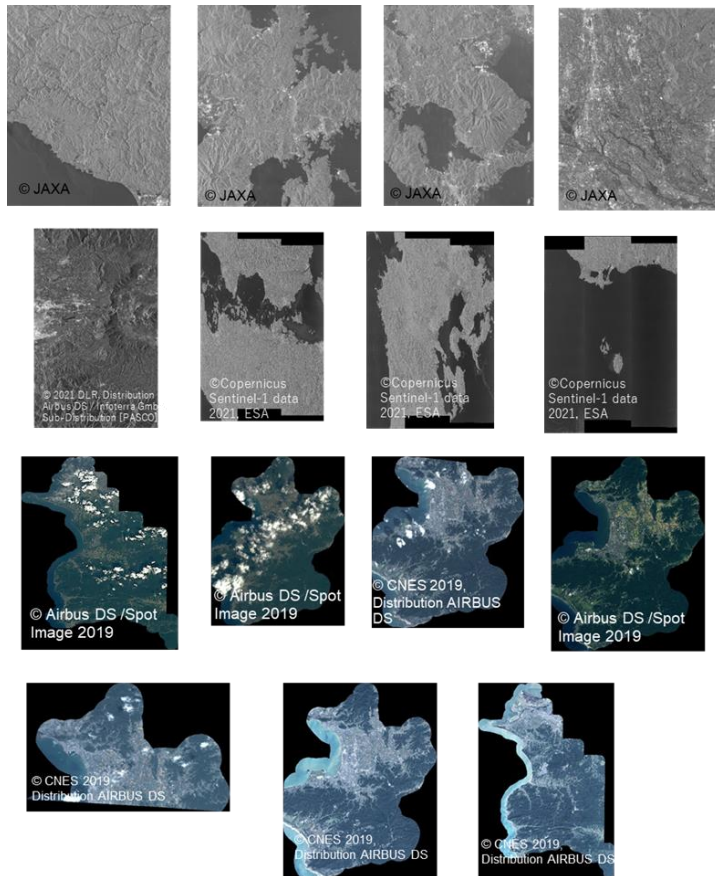
Precision(適合率):正解と予測したもののうち正解した割合

Accuracy(正解率):予測したすべてのもののうち正解した割合

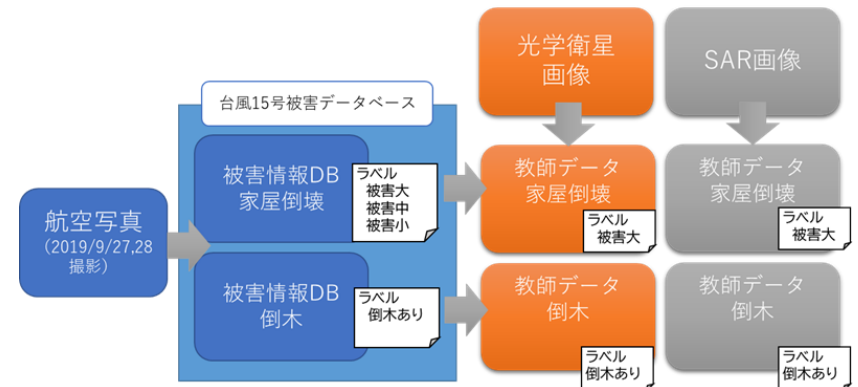
Recall(再現率):正解データのうち予測が正解だった割合

衛星画像調達・教師データ作成

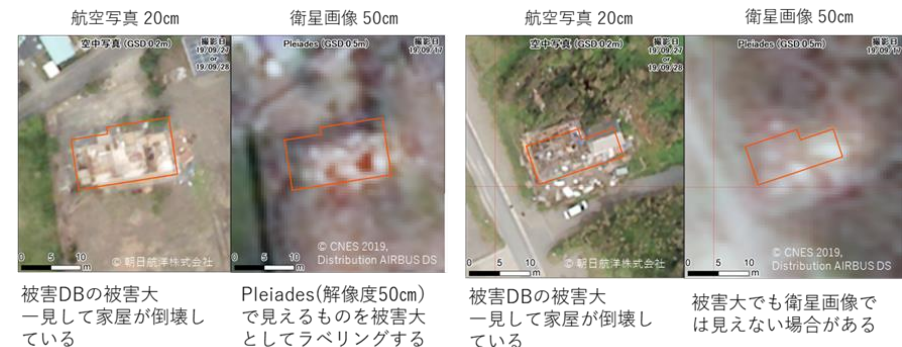
令和元年台風15号や平成30年7月豪雨等の過去の災害時の衛星画像を調達し、教師データを作成した。教師データの作成には、航空写真から構築した「台風15号被害データベース (P.40)(以下、台風15号被害DBという)」を作成し活用した。教師データは、学習用と評価用にエリアを区分して使用した。



調達した衛星画像の一部



教師データ作成工程



被害DBの被害大
一見して家屋が倒壊し
ている

Pleiades(解像度50cm)
で見えるものを被害大
としてラベリングする

被害DBの被害大
一見して家屋が倒壊し
ている

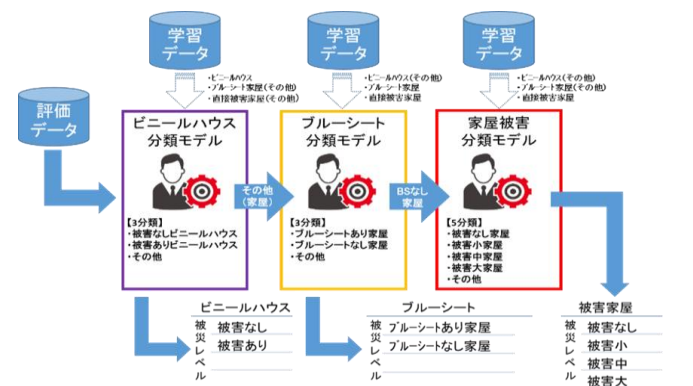
被害大でも衛星画像で
は見えない場合がある

教師ラベリング例(家屋被害)

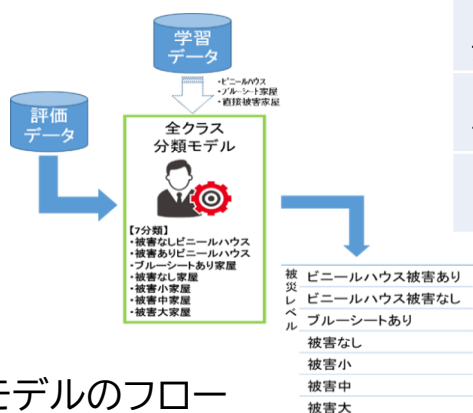
1) 家屋倒壊AI判読モデル構築 (Pleiades)

Pleiades衛星画像から、教師データラベリングを行い家屋倒壊AI判読モデルを構築した。
 評価は多段階モデルと単一モデルの手法で評価を行い、その結果、直接の家屋被害(全壊)は分類困難であったが、ビニールハウスの被害やブルーシートの識別が可能なモデル(Accuracy 81%、Recall 70%以上)であることを明らかとした。これにより、配電設備に影響を与えるビニールハウス等の飛来物被害抽出が可能となった。

課題として家屋被害(全壊)を検出するには、教師データの追加が必要であることを明らかとした。



多段階モデルのフロー



単一モデルのフロー

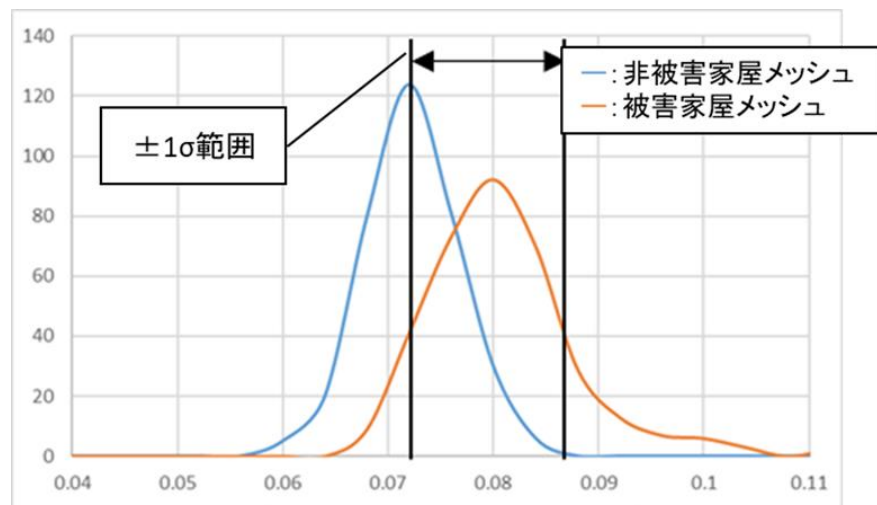
教師ラベル	ビニールハウス 分類モデル		ブルーシート 分類モデル		全クラス（単一） 分類モデル	
	Recall （再現性）	Precision （適合性）	Recall （再現性）	Precision （適合性）	Recall （再現性）	Precision （適合性）
ビニールハウス 被害あり	73.67%	75.95%	93.00%	90.29%	70.00%	75.54%
ビニールハウス 被害なし	76.33%	80.35%			81.00%	72.32%
家屋 ブルーシートあり	92.00%	85.19%	93.67%	93.05%	93.67%	91.23%
家屋 ブルーシートなし			84.67%	87.89%	79.33%	85.61%
Accuracy （正答率）	80.67%		90.44%		81.00%	

精度評価結果

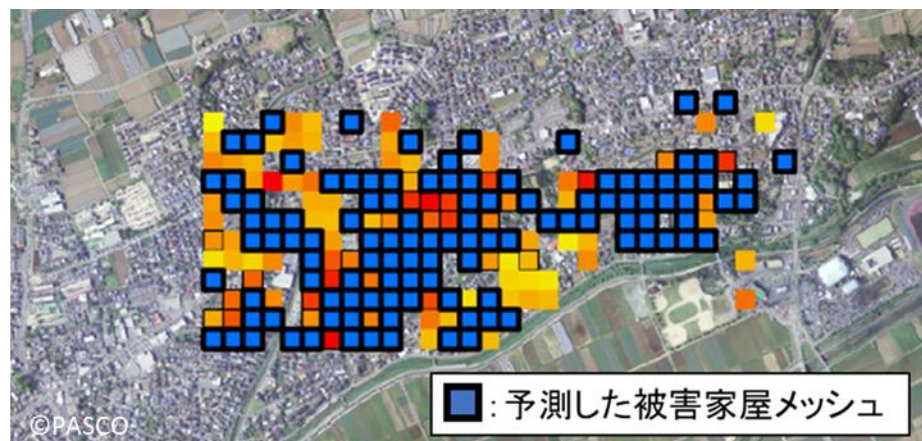
2) 家屋倒壊AI判読モデル構築 (ALOS-2/NDSI)

家屋被害が顕著にみられた平成28年熊本地震を対象として、ALOS-2画像から、二時期の後方散乱強度の正規化差分であるNDSI(Normalized Difference Sigma Naught Index)指標を用いて、機械学習アルゴリズムの1つであるランダムフォレスト法を用いて家屋被害のあるエリアを50mメッシュで抽出するモデルを構築した。

モデルの精度はPrecision 63.7%、Recall 72.0%となり、概ねの家屋被害エリアを抽出することが可能となった。



NDSI値のヒストグラム(標準偏差)

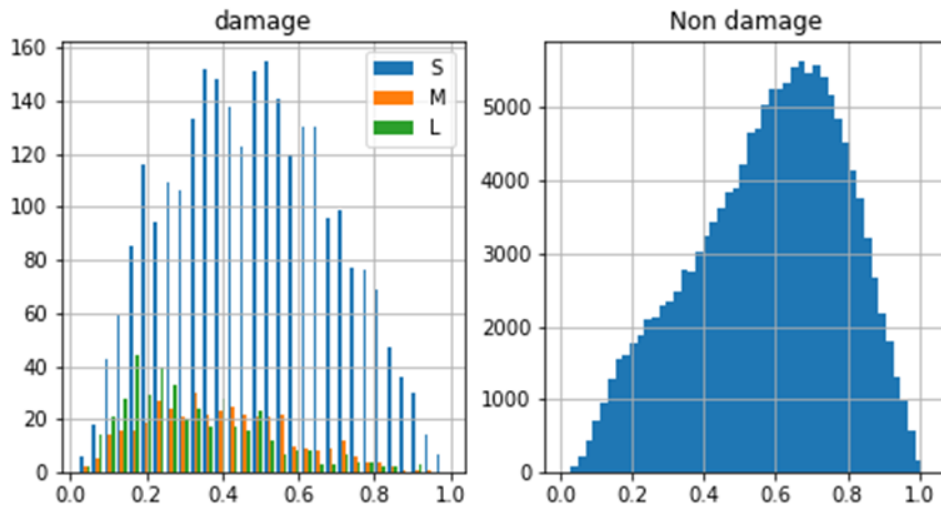


ALOS-2でランダムフォレスト法により抽出した被害家屋メッシュ

3) 家屋倒壊AI判読モデル構築 (ALOS-2/コヒーレンス)

ALOS-2のコヒーレンス(干渉)値が家屋被害の有無で値が変化することを明らかとし、コヒーレンス値を利用して機械学習の1つであるSVM(Support Vector Machine)での分類モデルを構築した。

モデルの精度はPrecision 0.82%、Recall 83.88%となり、概ねの被害が抽出できるモデルとなった。課題として、誤抽出が多いモデルであるため教師データの再整理や他地域でのデータ収集による教師データの数向上による精度向上が必要であると明らかとした。



ALOS-2の被害家屋有り無しのコヒーレンス値のヒストグラム

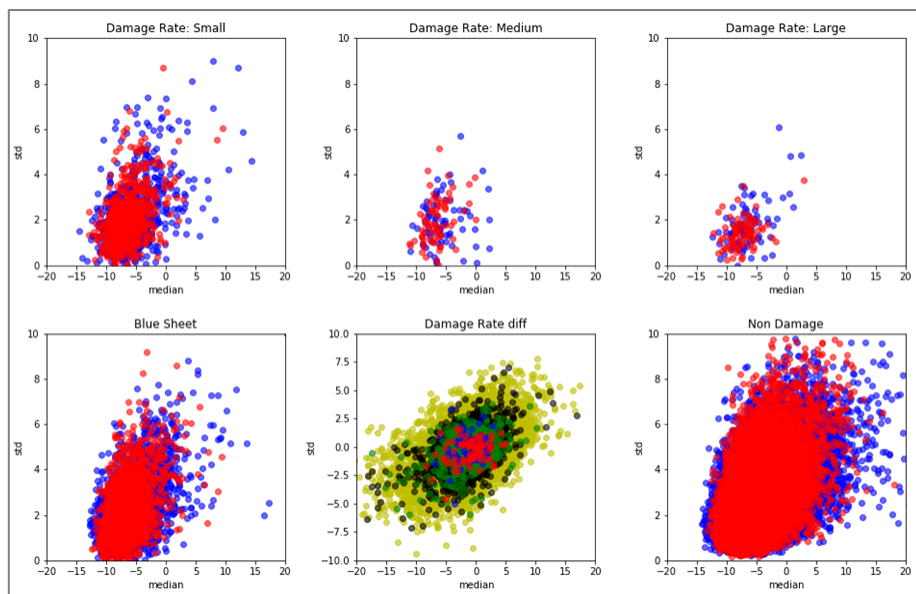
ヒストグラムのピーク値が被害なし家屋で高く、被害有り家屋で低いことがわかる



AIモデルによる抽出結果(黄色)

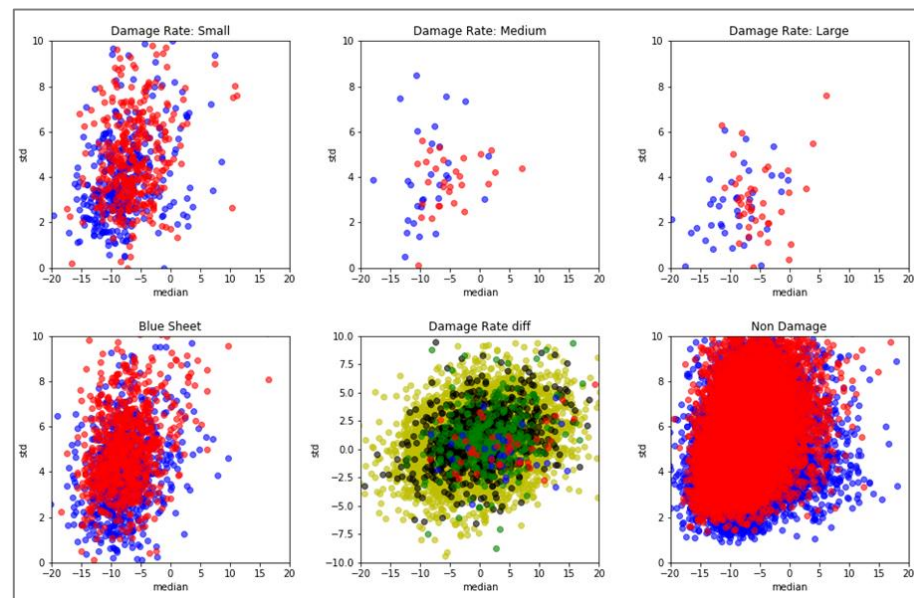
4) 家屋倒壊AI判読モデル構築 (小型SAR衛星)

SAR衛星からの家屋被害抽出を目的として、ICEYE、およびASNARO-2データからの抽出を検討した。それぞれ令和元年台風15号の前後に撮影された画像を用いて特徴量を整理したが、2時期のパラメータ等に差があることから、明瞭な違いを検出することは難しいと判断した。



被害程度毎の後方散乱係数の標準偏差-中央値の散布図(ICEYE)

青(災害前)と赤(災害後)で明瞭な違いが見られない



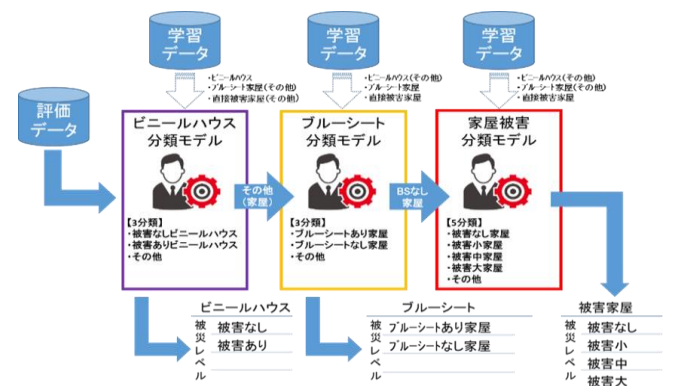
被害程度毎の後方散乱係数の標準偏差-中央値の散布図(ASNARO-2)

青(災害前)と赤(災害後)で明瞭な違いが見られない

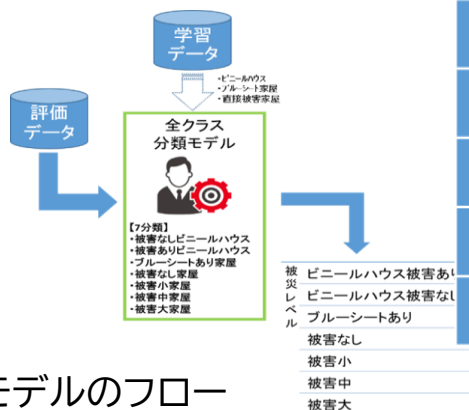
5) 家屋倒壊AI判読モデル構築 (航空写真)

台風15号後の航空写真画像から、教師データラベリングを行い家屋倒壊判読モデルを構築した。評価は多段階モデルと単一モデルの2手法で評価を行い、その結果、ビニールハウスとブルーシートは高い精度で分類できるモデルとなった。

家屋被害(被害大・被害中・被害小)も検出可能なモデルであるが、被害レベルによって精度にばらつきがあるためレベルを簡略化することで精度向上が可能であることを明らかとした。



多段階モデルのフロー



単一モデルのフロー

教師ラベル	ビニールハウス分類モデル		ブルーシート分類モデル		家屋被害分類モデル		全クラス分類モデル	
	Recall (再現性)	Precision (適合性)	Recall (再現性)	Precision (適合性)	Recall (再現性)	Precision (適合性)	Recall (再現性)	Precision (適合性)
ビニールハウス被害あり	90.33%	93.77%	-	-	-	-	91.67%	82.50%
ビニールハウス被害なし	92.33%	91.42%	-	-	-	-	77.78%	73.68%
家屋ブルーシートあり	-	-	98.67%	95.79%	-	-	91.67%	84.62%
家屋被害なし	-	-	-	-	88.89%	82.05%	88.89%	74.42%
家屋被害小	-	-	-	-	72.22%	60.47%	55.56%	48.78%
家屋被害中	-	-	-	-	41.67%	71.43%	38.89%	60.87%
家屋被害大	-	-	-	-	66.67%	72.73%	66.67%	85.71%
Accuracy (正答率)	93.33%		96.56%		72.78%		73.02%	

精度評価結果

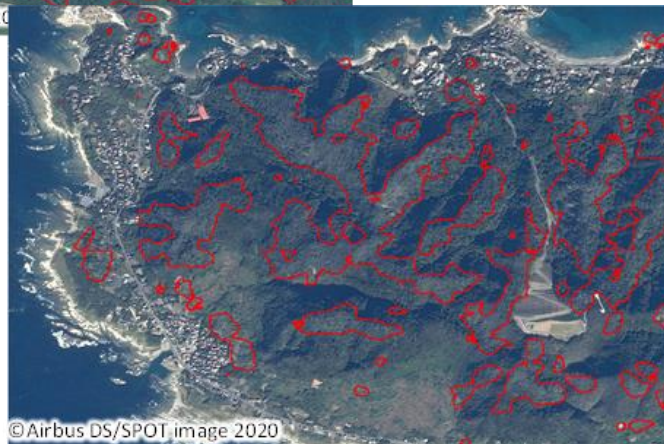
6) 倒木AI判読モデル構築 (SPOT)

台風15号被害DBをもとに、SPOT画像上で教師データを作成した。倒木によってできる山間部の裸地は土砂災害モデルでも抽出できることから、転移学習によってモデルを構築した。

モデルの精度はPrecision 54.66%、Recall 63.2%となった。これにより、被害の規模感や被害の集中している範囲推定に利用可能となった。



©Airbus DS/SPOT image 2020



©Airbus DS/SPOT image 2020

AIによる判読結果(赤枠)



©Airbus DS/Spot image 2020



©Airbus DS/Spot image 2020

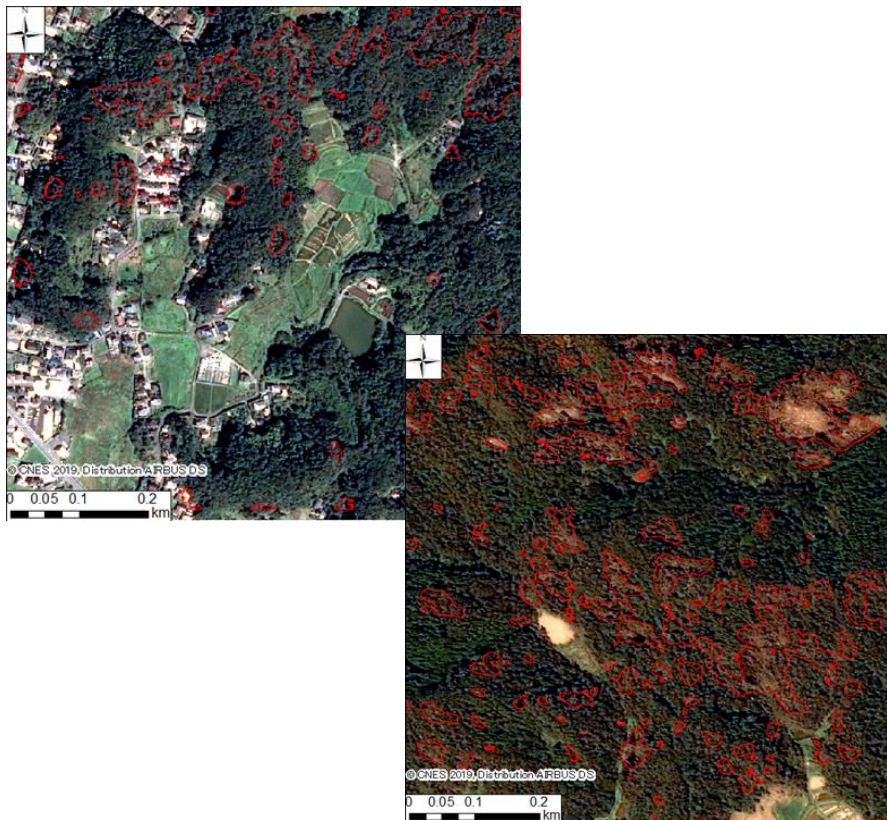
領域	Precision(%)	Recall(%)
①高宕山	79.23%	85.65%
②横根峠周辺	54.21%	23.03%
評価領域全体	54.66%	63.29%

評価した場所と評価結果

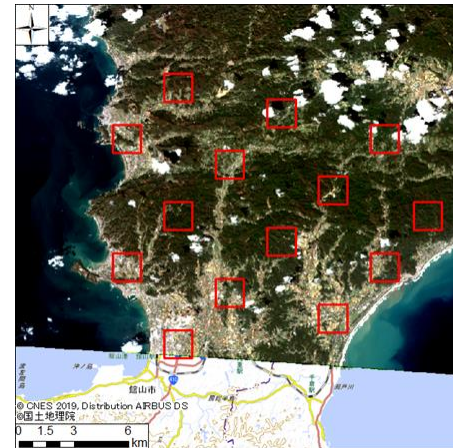
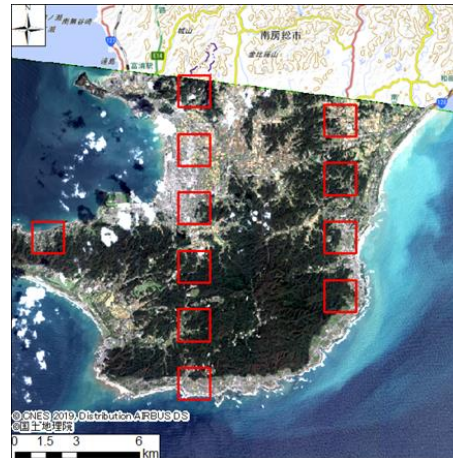
7) 倒木AI判読モデル構築 (Pleiades)

台風15号被害DBをもとに、Pleiades画像上で教師データを作成した。倒木によってできる山間部の裸地は土砂災害モデルでも抽出できることから、転移学習によってモデルを構築した。

モデルの精度はPrecision 47.82%、Recall 49.02%となり、被害の規模感や被害の集中している範囲推定に利用可能となった。



AIによる判読結果(赤枠)



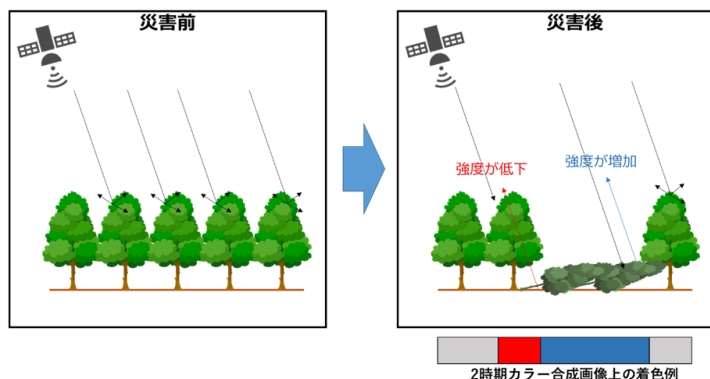
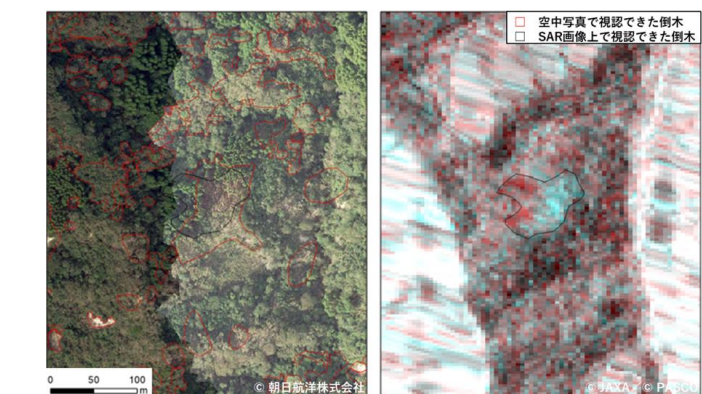
領域	Precision(%)	Recall(%)
①館山市周辺	33.28%	57.60%
②南房総市周辺	68.28%	44.48%
評価領域全体	47.82%	49.02%

評価した場所と評価結果

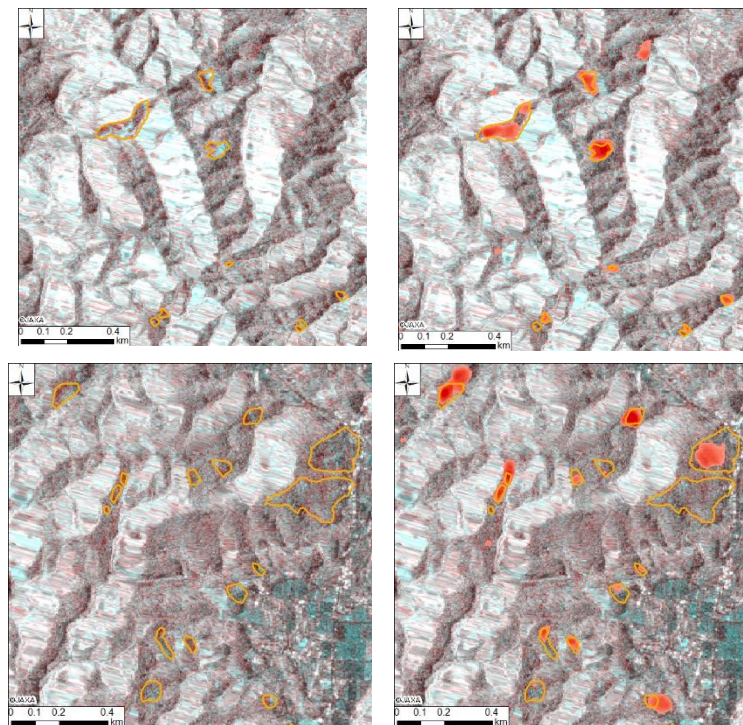
8) 倒木AI判読モデル構築 (ALOS-2)

台風15号被害DBをもとに、ALOS-2画像上で倒木域と視認できるもので教師データを作成し、モデルを構築した。SAR画像上での視認性は倒木面積20,000m²以上で検出率約41%となり、大規模な地表面の被覆変化を伴う被害が大きい倒木であればSAR画像上でも検出が可能であることを明らかにした。

AI判読モデルの性能はPrecision 41.15%、Recall 43.02%となり、被害の規模感や被害の集中している範囲推定に活用可能なモデルとなった。



SAR画像(2時期カラー合成)上での倒木の見え方



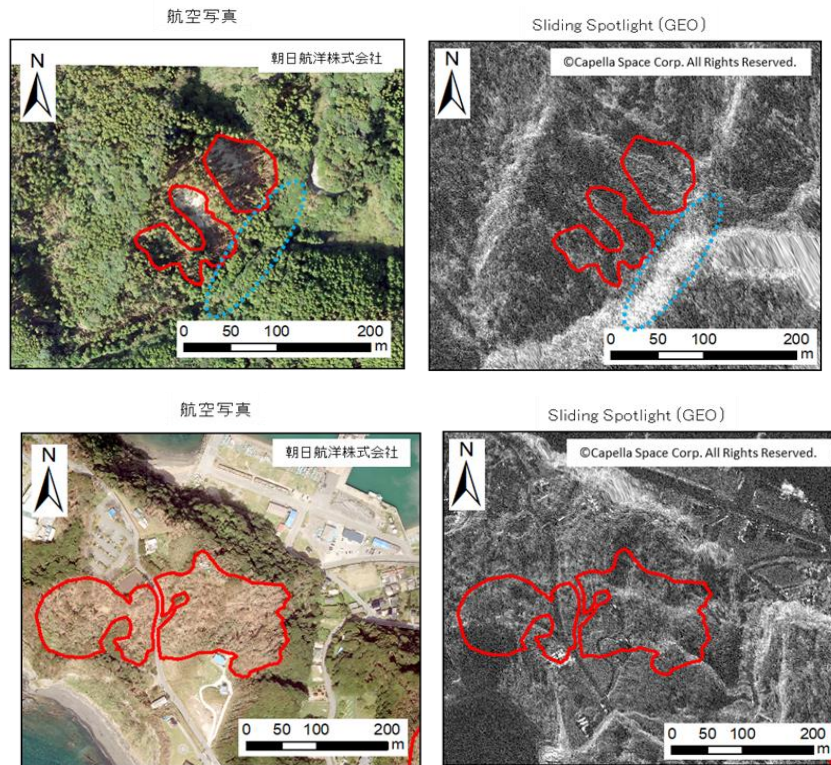
(左)カラー合成画像と目視判読による倒木域(オレンジ) (右)AIによる倒木域(赤)

AIによる判読結果

9) 倒木AI判読モデル構築 (CapellaSpace)

小型SAR衛星の活用を目指し、Capella Spaceによる倒木域抽出を検証した。台風15号当時に撮影された画像がないため、今年度新規撮影を行い当時の倒木域との比較検証を実施したが、植生の回復などにより倒木域、非倒木域において明瞭な違いが見られなかった。

課題として災害時に撮影されたデータで検証を行う必要があることを明らかとした。



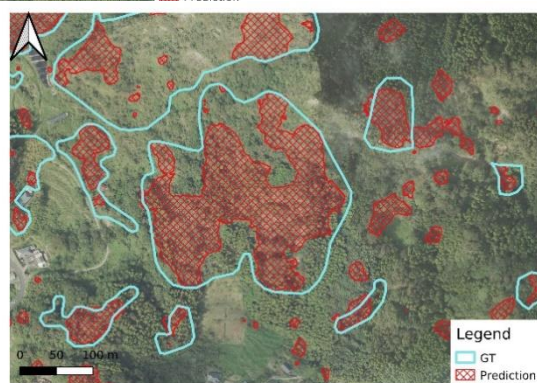
倒木域・非倒木域の後方散乱係数の違い
明瞭な違いは見られなかった

Capella Space画像(1時期)上での倒木の見え方

10) 倒木AI判読モデル構築（航空写真）

台風15号被害DBを活用し、航空写真から倒木域を抽出するモデルを構築した。モデルはセマンティックセグメンテーションモデルを採用した。

評価は、ポリゴンに着目し、正解データのポリゴン内にAI判読によるポリゴンを含むものを的中とすることとし、ポリゴン面積の下位5%をノイズとして除外すると、Precision 31.1%、Recall 72.6%となった。これにより、概ねの倒木域は抽出可能となった。



		Precision[%]	Recall[%]	F値[%]
画素値単位の評価指標	面積フィルタ前	51.2	51.5	51.3
	面積フィルタ後	55.9	44.7	49.7
ポリゴンに着目した評価指標	面積フィルタ前	11.7	75.5	20.2
	面積フィルタ後	31.1	72.6	43.6

正解データのポリゴン内にAI判読によるポリゴンを含むものを陽性とする

教師データのポリゴン面積の下位5%をノイズとして除外する

目視で作成した倒木域教師データ(青)と、AI判読ポリゴン(赤)

面積フィルタ適用前後の評価指標の比較



Surveying the Earth to Create the Future

3. 主な成果

(2) 被害差分抽出技術の開発

成果概要

- ・ 昨年度委託事業受託時に開発した浸水AI判読モデルにおいて、教師データの追加や非教師データの追加を行いモデルチューニングを実施し、精度を向上させた。また、小型SAR衛星の利用を見越し、単画像からの浸水域抽出手法を確立した(P.24,P.25)。
- ・ 昨年度委託事業受託時に開発した光学画像土砂災害AI判読モデルに非崩壊地データの追加や雲マスクを実施し、光学画像AI判読モデルの精度を向上させた(P.26)。
- ・ SAR画像AI判読モデルは、教師データの見直しを実施したが、昨年度モデルは地震動による土砂災害モデルであったのに対し、今年度は豪雨による土砂災害モデルとしたため災害の規模などが異なり判読性能が低下した。災害によってモデルを使い分ける必要があることを明らかとした(P.27)。
- ・ AI判読結果の提供機能の改善を実施し、空間処理により誤判読を除去する機能を構築した(P.28)。
- ・ 道路インフラや橋崩壊・飛来物抽出手法として時系列データを用いた判読モデルを構築し情報提供プラットフォームへ実装した(P.29,P.30)。

昨年度委託事業受託時に開発したモデル(昨年度モデル)と本業務で作成したモデル(今年度モデル)の精度比較

対象 被害	対象モデル	今年度モデル		昨年度モデル	
		Precision	Recall	Precision	Recall
浸水	SPOT(光学)	73.25%(+1.34%)	76.74%(+2.03%)	71.91%	74.71%
	Sentinel-1(SAR)	61.63%(+7.31%)	55.76%(+5.85%)	54.32%	49.91%
土砂	SPOT(光学)	73.20%(+8.60%)	69.30%(+0.60%)	64.60%	68.70%
	ALOS-2(SAR)	54.49%(-22.2%)	50.81%(-17.63%)	76.69%	68.44%

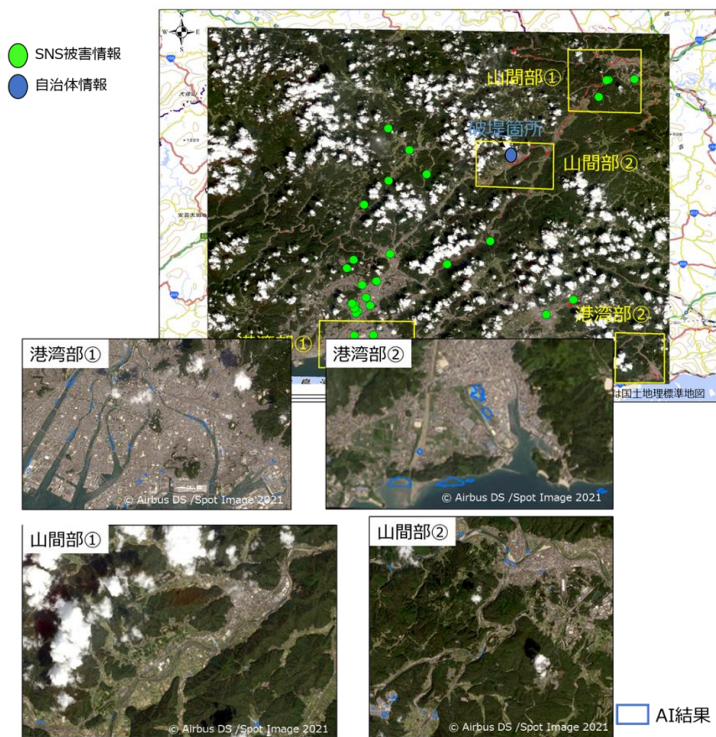
Precision(適合率):正解と予測したもののうち正解した割合 Recall(再現率):正解データのうち予測が正解だった割合

浸水AI解析モデルの高精度化

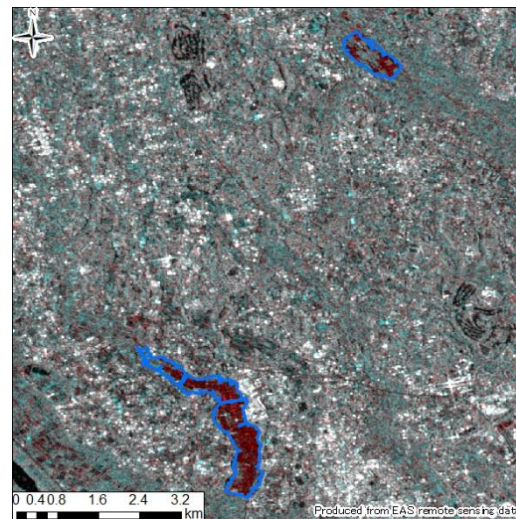
①教師データ追加によるAIモデル精度向上

浸水AI判読モデルの精度向上策として、光学衛星モデルにおいては非浸水域データを用いたファインチューニングを実施し、Precision 73.25%(昨年から1.34%向上)、Recall 76.74%(昨年から2.03%向上)のモデルを構築した。

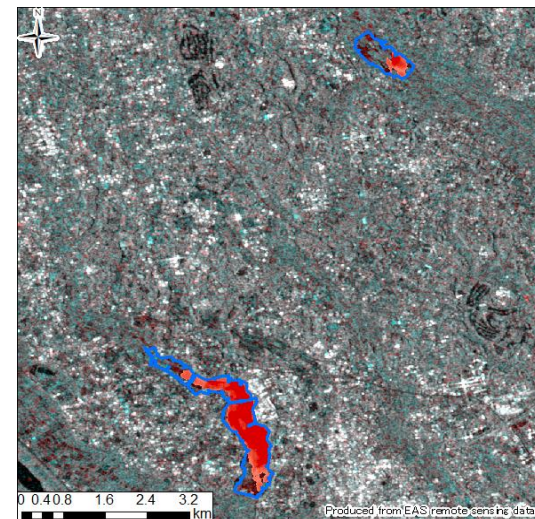
SAR衛星モデルにおいては今年度発生した水害の浸水域を追加で学習させ、Precision 61.63%(昨年から7.31%向上)、Recall 55.76%(昨年から5.85%向上)を構築した。



SNSや自治体情報を用いて非浸水域データを作成しチューニングした



カラー合成画像と目視判読による浸水域(青枠)



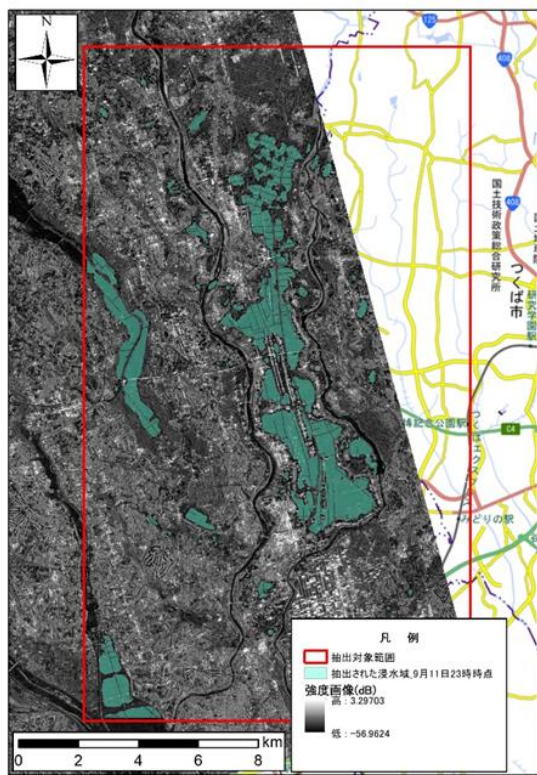
AIによる浸水判読結果(赤)

平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川のAIによる浸水判読結果

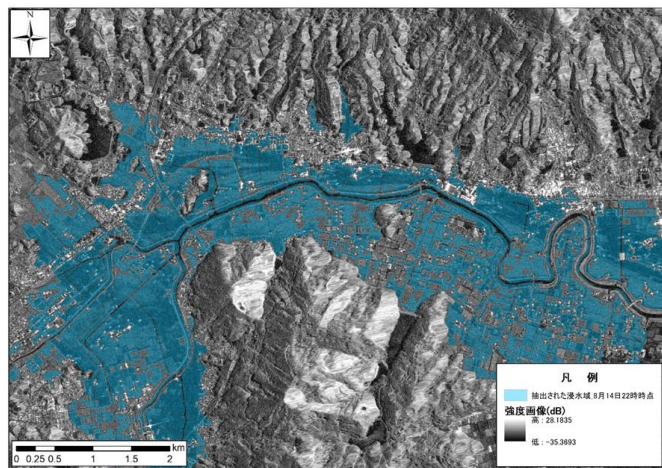
浸水AI解析モデルの高精度化

②単画像からの浸水域抽出手法開発

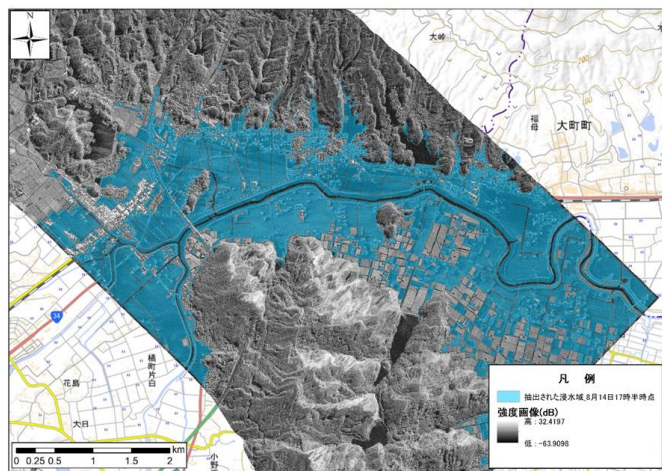
単画像(災害後に撮影された画像1枚)を用いて局所入射角と後方散乱係数から閾値を設けることにより、浸水域を抽出する手法を開発した。これにより、小型SAR衛星など、発災前画像(平常時のアーカイブ画像)がない場合でも、発災後に撮影された画像のみで浸水域を概ね抽出することが可能となった。



ALOS-2画像で抽出された浸水域
(平成27年9月関東・東北豪雨における鬼怒川の氾濫)



ICEYE画像で抽出された浸水域
(令和3年8月の大雨における六
角川の氾濫)



Capella Space画像で抽出さ
れた浸水域
(令和3年8月の大雨における六
角川の氾濫)

土砂災害AI解析モデルの高精度化

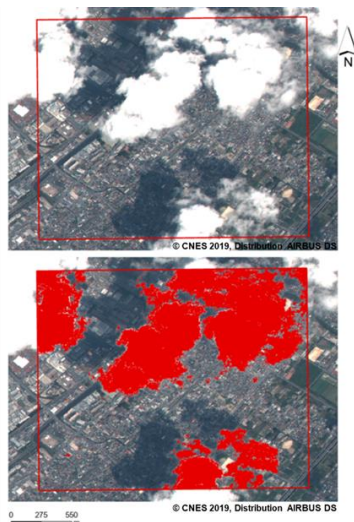
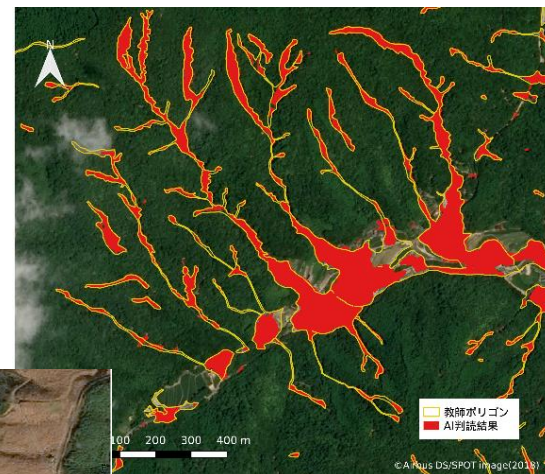
①光学画像AIモデル精度向上

誤抽出の削減による精度向上を目的として、伐採地や紅葉などの非崩壊地データ作成や雲マスクモデルを作成しAI判読モデルへ適用した。

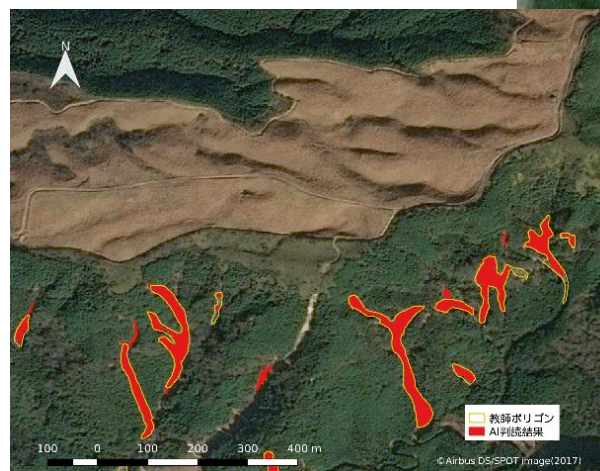
その結果、Precision 73.2%(昨年から8.6%向上)、Recall 69.3%(昨年から0.6%向上)のモデルを構築した。



今年度の災害による誤抽出事例を調査し非崩壊地データを作成



雲マスクモデル
作成



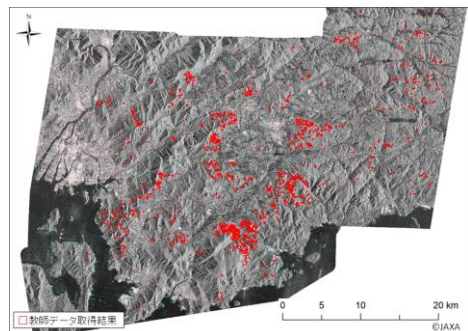
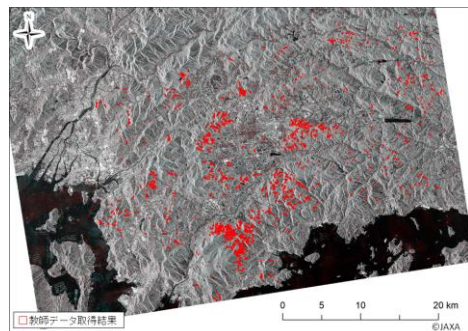
AIモデルの判読結果
黄色:教師ポリゴン 赤:AI判読結果

土砂災害AI解析モデルの高精度化

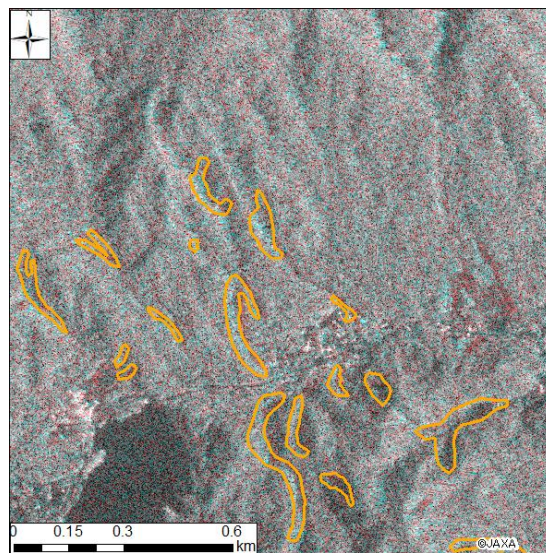
②SAR画像AIモデル精度向上

既往文献から整理した、SAR画像上で判読できる土砂災害の判読率70%を目指して豪雨により発生した土砂災害をとらえたSAR画像から新たに教師データを作成し、モデルを作成した。

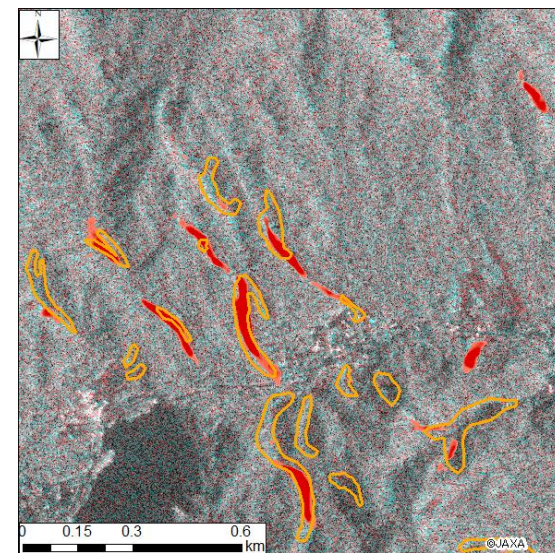
精度はPrecision 54.49%(昨年から22.2%低下)、Recall 50.81%(昨年から17.63%低下)のモデルとなり、概ねの災害域が抽出できるものであるが、昨年度モデルは地震動による土砂災害モデルであったのに対し、今年度は豪雨による土砂災害モデルとしたため災害の規模などが異なり判読性能が低下した。災害によってモデルを使い分ける必要があることを明らかとした。



土砂災害教師データ取得例(赤ポリゴン)
(平成30年7月豪雨(広島))



カラー合成画像と目視判読による
土砂災害域(オレンジ)



AIによる土砂災害推定結果(赤)

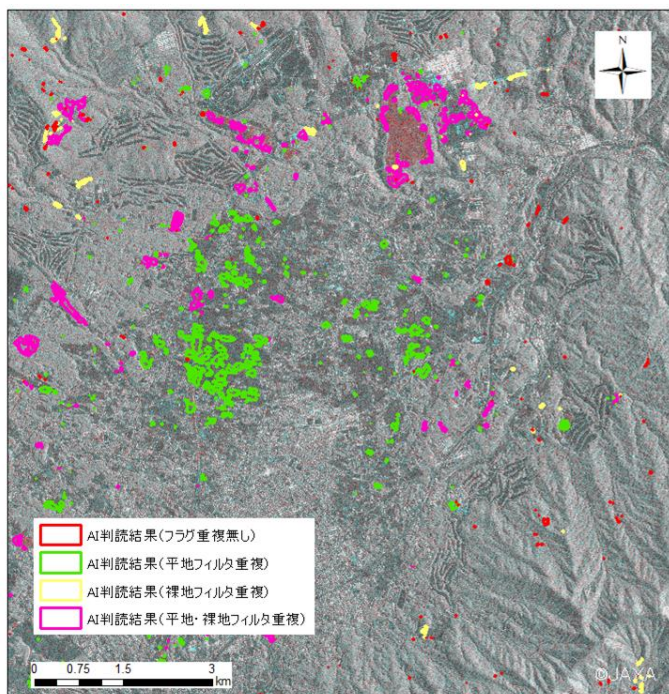
平成30年7月豪雨による広島のAIによる浸水判読結果

解析結果提供機能改善

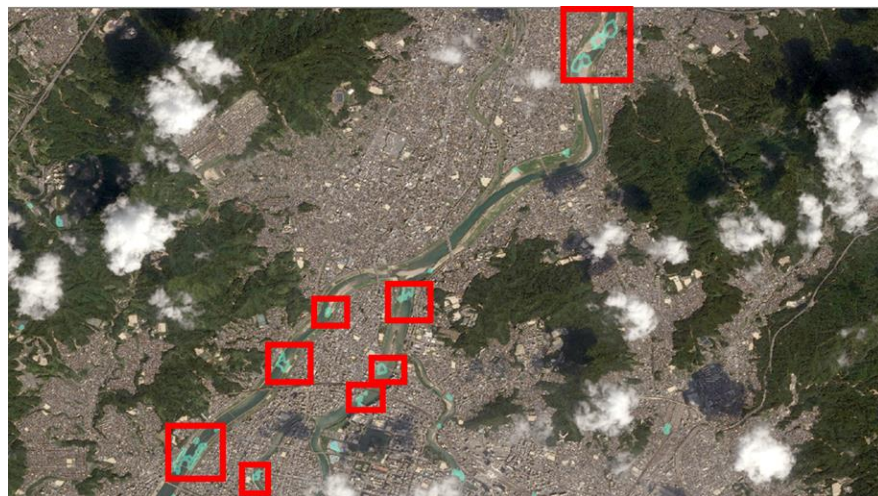
AI判読結果ポリゴンから、RESI連携のための連携データ(メッシュデータ)を生成する際に、災害の発生する地形条件を加味し空間処理機能を加え、AIが取り除くことが出来ない範囲を除去し品質改善を図った。

土砂災害では平地・裸地の誤り判読を抽出し、土砂災害が発生しない範囲を除外したデータを作成する機能を構築した。

浸水被害が想定される箇所は、AIの特性上取り除けない結果(河川の浸水域)を除去したデータを作成する機能を構築した。



土砂災害AI判読結果で除外する箇所(緑・黄色・紫の平地・裸地部分は土砂災害域から除外する)



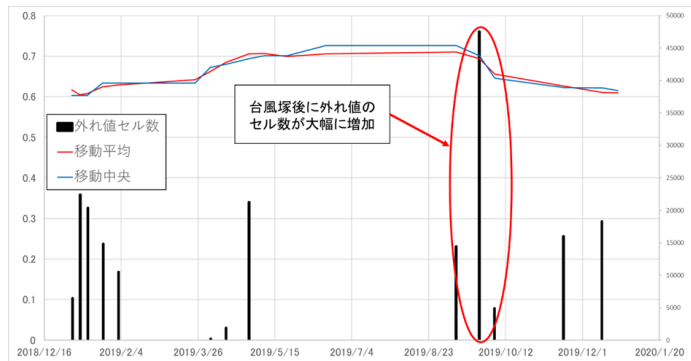
浸水AI判読結果で除外する箇所(赤枠の緑部分は河川内の判読結果なので浸水域からは除外する)

道路インフラ閉塞・橋崩壊・飛来物モデル開発

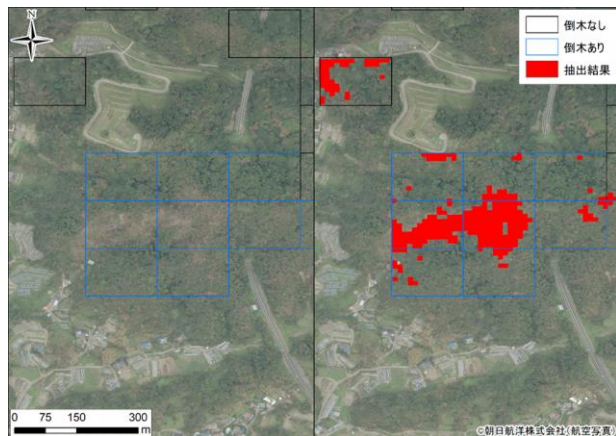
①光学衛星時系列データ解析

道路インフラ閉塞・橋崩壊・飛来物による被害の可能性が高いエリアを特定する技術として、多くの時系列衛星画像を用いた抽出手法を検討しモデル構築した。

Sentinel-2(光学)衛星を用いた検討の結果、例年の傾向から外れた異常値(外れ値)の検出手法を用いた。倒木被害との検証ではPrecision 40%以上、Recall 50%以上のモデルとなり、被害の可能性のあるエリアの抽出が可能なモデルとなった。



外れ値検出
イメージ



検出結果イ
メージ

	面積による絞り込みなし			1,000m ² 以上の箇所のみ		
	精度(%)	再現率(%)	適合率(%)	精度(%)	再現率(%)	適合率(%)
パターン 1	60.2	44.4	56.4	66.5	53.8	49.4
パターン 2	57.4	73.2	51.3	57.0	81.5	42.2
パターン 3	56.5	78.0	50.6	54.7	85.4	41.1
パターン 4	63.7	50.2	60.8	70.2	61.9	54.4

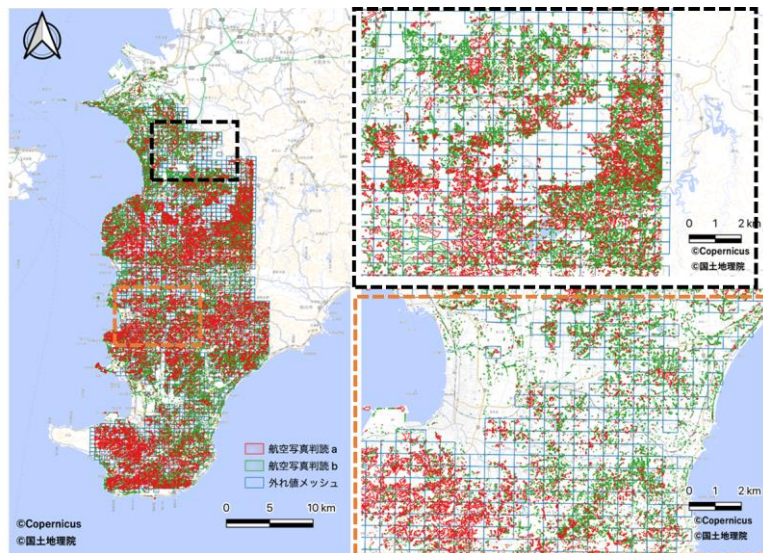
精度評価結果(倒木エリアで検証)

道路インフラ閉塞・橋崩壊・飛来物モデル開発

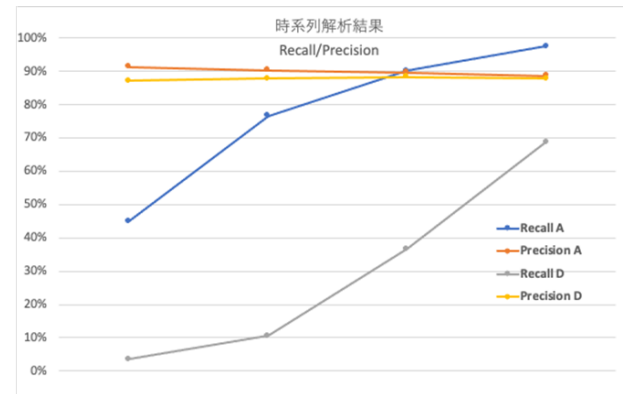
②SAR衛星時系列データ解析

道路インフラ閉塞・橋崩壊・飛来物による被害の可能性が高いエリアを特定する技術として、多くの時系列衛星画像を用いた抽出手法を検討しモデル構築した。

Sentinel-1(SAR)衛星を用いた検討の結果、例年の傾向から外れた異常値(外れ値)の検出手法を用いた。倒木被害との検証ではPrecision 80%以上、Recall 40%以上のモデル(アセンディング)となり、被害の可能性のあるエリアの抽出が可能なモデルとなった。



1.5 MAD外れ値メッシュ抽出結果
(Sentinel-1 アセンディング)



外れ値抽出の定量的評価の
比較グラフ
(A:アセンディング、D:ディ
センディング)

	判読	外れ値 Ascending				外れ値 Descending			
		3MAD	2MAD	1.5MAD	1MAD	3MAD	2MAD	1MAD	0.5MAD
100画素未満	264	82	157	200	239	9	28	93	182
100画素以上	1923	867	1474	1735	1874	68	204	705	1322
Recall		867	1474	1735	1874	68	204	705	1322
n=1923		45.1%	76.7%	90.2%	97.5%	3.5%	10.6%	36.7%	68.7%
Precision		867	1474	1735	1874	68	204	705	1322
		/949	/1631	/1935	/2113	/78	/232	/798	/1504
		91.4%	90.4%	89.7%	88.7%	87.2%	87.9%	88.3%	87.9%

精度評価結果(倒木エリアで検証)



Surveying the Earth to Create the Future

3. 主な成果 （3）解析モデル調査検討

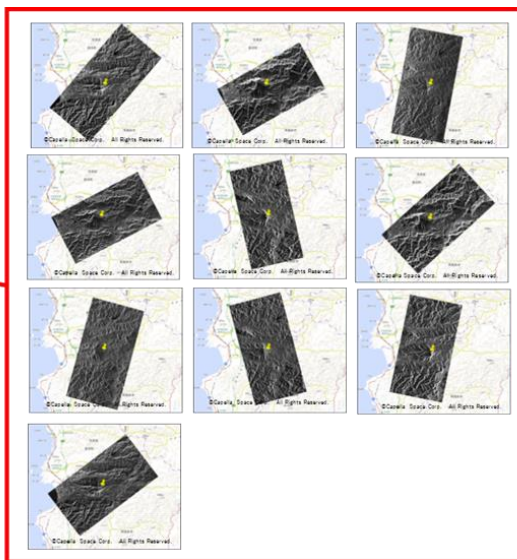
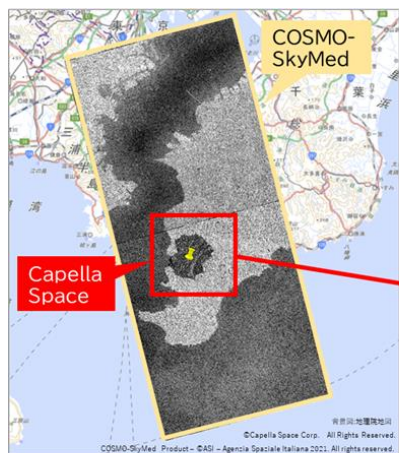
成果概要

- 小型SAR衛星の利用可能性について、運用事業者と調整を行い、衛星の撮影タイムラインからの利用検討と、被害情報の抽出可能性の2つの面からの検討を実施した。その結果、小型SAR衛星の中でもCapella Spaceが短い間隔で撮影が可能であることを実証し、今後の災害対応において有効であることを明らかとした(P.33)。
- 航空機・ヘリコプターのタイムラインを整理し、課題を明らかとした。有効タイムライン内の情報提供は、悪天候や夜間に発災した際は迅速な対応が困難となるため、衛星を含めたマルチプラットフォームを検討する必要がある。また、斜めに撮った写真やヘリテレによるライブ映像などから被害抽出する技術については開発が待たれるところである(P.34)。
- 夜間画像のデータ所有権を持つ事業者と将来のリソース利用について調整を実施したが、データの解像度が粗く、曇天では利用できないこと、データの解析に過去画像が大量に必要となること、リアルタイムでデータ提供するために別途システム構築が必要であることから、本事業においては利用は適さないと判断した。

小型SAR衛星検討

小型衛星事業者と調整し撮影トライアルを行った。その結果、Capella Spaceのコンステレーション衛星が一日に複数回撮影が可能であること、リアルタイムタスキング技術により撮影直前までオーダー可能となり、有効タイムライン内に提供可能性があることを明らかとした。

また、解像度が80cmと比較的高く、平坦な場所では車両程度の大きさの変化が視認でき、被害抽出の可能性があることを明らかとした。



Capella Space撮影結果



右側観測の場合の建物の反射



左側観測の場合の建物の反射

台風15号後の航空写真と
Capella衛星画像の重ね合
わせによる家屋被害抽出検討

航空機・ヘリコプター利用検討

航空機・ヘリコプターの災害時の情報収集タイムライン事例をインターネット調査により実施した。台風・豪雨での対応より地震の場合のほうが撮影開始が早い傾向があるが、気象条件が良好であったことと、地震は震度情報などにより被災エリアの設定が容易であったことなどが考えられる。

台風災害の場合は飛行ルートを決めるための情報収集に時間を要していることが分かった。また、斜め写真やヘリテレ画像は垂直写真より早く収集できる利点はあるが、従来の正射投影された画像(地図と重なる画像)を用いたAI判読モデルでは適用できないため、新しく抽出技術の開発が必要であることを明らかとした。

事象別情報収集タイムライン整理結果

[illegible]

黄色：撮影開始時刻
 橙色：データ提供開始時刻
 時刻に幅がある場合に、点線であらわす。
 夜間撮影等の記載のあったもの以外は、飛行機・ヘリの撮影可能時刻は6時から20時までとする



Surveying the Earth to Create the Future

3. 主な成果

(4) 情報提供プラットフォーム 開発・維持運用

成果概要

- ・RESIへ解析結果を提供するための情報提供プラットフォームの開発・維持を実施した。(P.37,P.38)

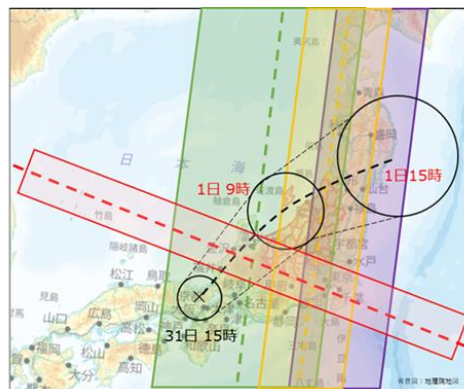
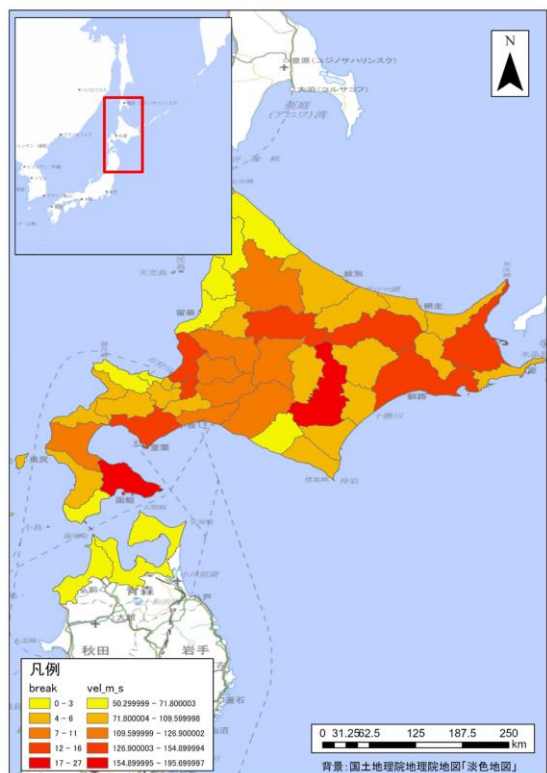
- ・衛星画像による被害情報提供時間短縮のための仕組みとしてSPOT(光学衛星)、ALOS-2,Sentinel-1(SAR衛星)のデータ自動入手および判読結果の自動提供の仕組みを構築した。これにより、SAR衛星に関しても撮影後の画像入手からRESIへの情報提供を自動で行えることとなった。

- ・SPOTによる自動連携を今年度発生した災害で性能を検証した。結果として撮影から6～7時間で被害情報を提供できることを実証した。(P.39)

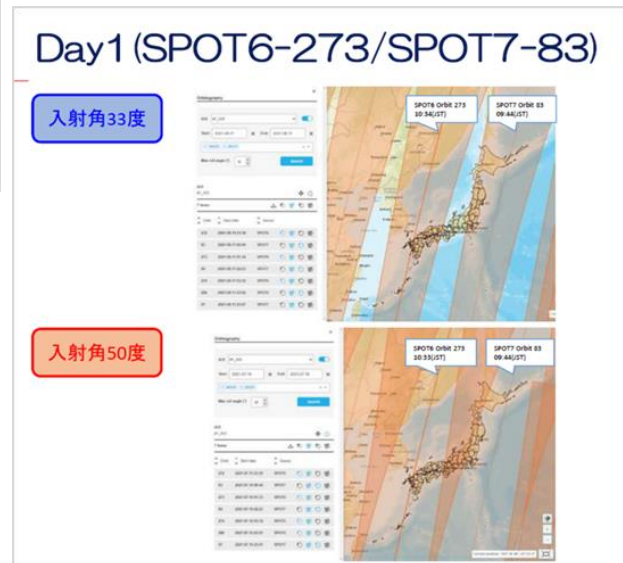
RAMP情報自動化・衛星とのインタフェース検討

メールで受領している風速予測や電柱の折損予測がわかるRAMP情報を地図に自動可視化する仕組みを構築し、撮影地域検討における作業フローを効率化した。

また、その後のフローとして撮影可能な人工衛星を選定するため、回帰別に軌道と観測機会を示した衛星の撮影カレンダーを整理し、衛星の選定における作業の効率化を図った。



観測機会検索イメージ

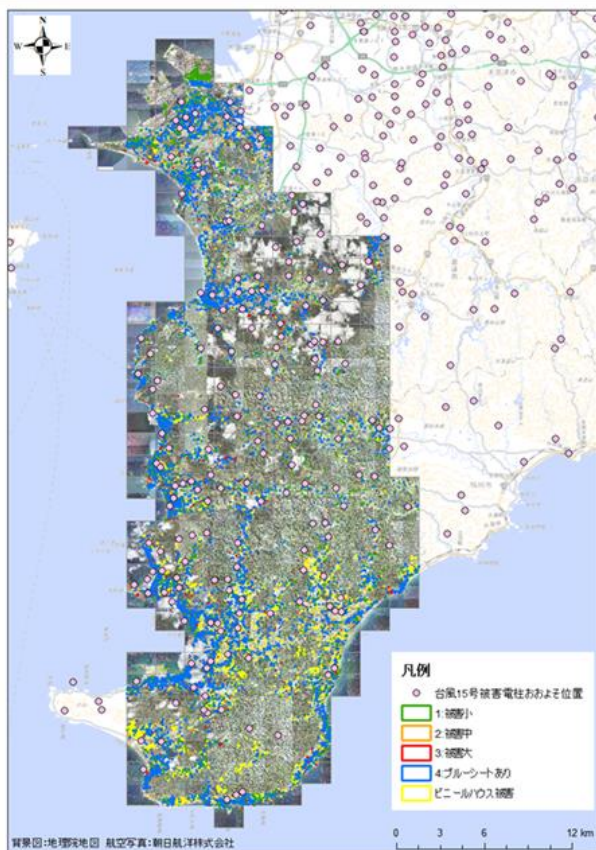


RAMP情報の地図出力例(台風11号8月6日15時計算結果)「被害予測情報 折損(本)」

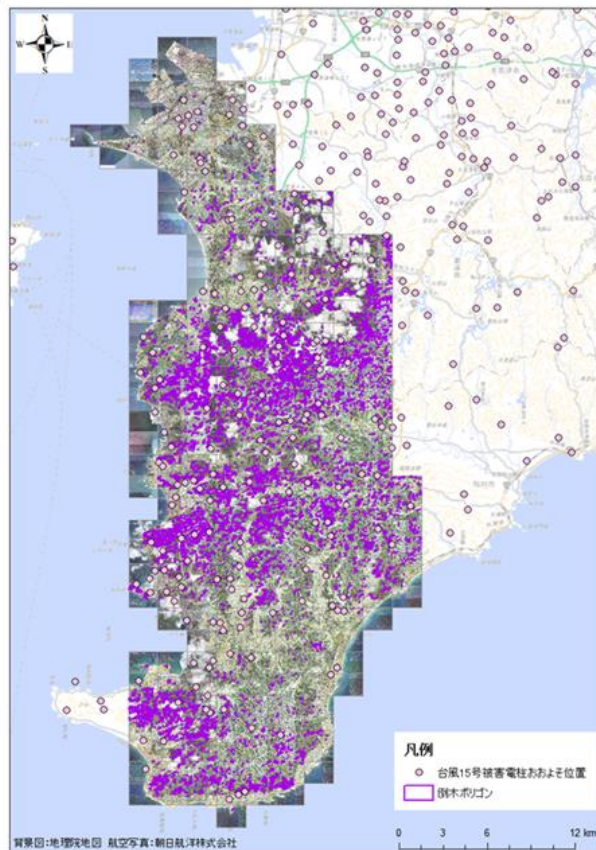
SPOT衛星の観測カレンダー

データベース整備

衛星画像での判読を補助するデータを整備することを目的として、「台風15号被害データベース」を作成した。令和元年台風15号後の航空写真を目視判読し、家屋被害・倒木被害データの正解データを作成した。この正解データは各AI判読モデルを作成する際に衛星画像から教師データを作成する際の補助データとして活用した。



家屋被害データ



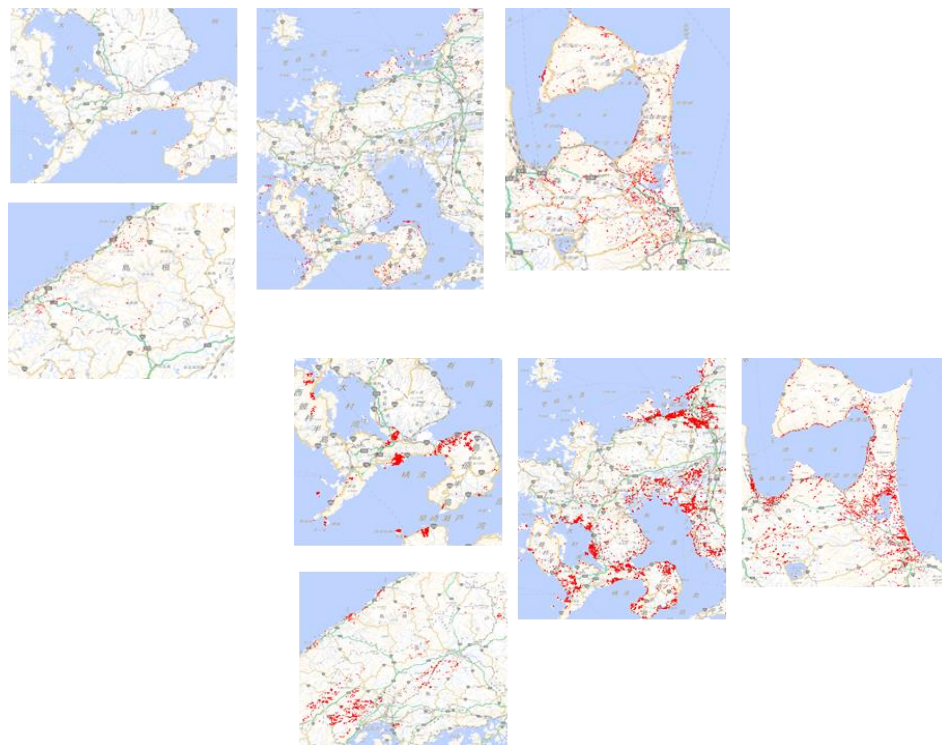
倒木データ

災害対応

昨年度委託事業受託時に開発した自動連携システムが運用可能かを実証するため今年度3つの災害で人工衛星による災害対応を実施し、自動連携システムを試行した。その結果、従来人が判読を行うのに1日～数日かかっていたものが、AI自動判読を実施することにより2～3時間で判読することが可能となった。加えて、撮影画像の自動取得、判読結果を自動で連携する仕組みにより、結果として撮影から6～7時間で被害情報を提供することが可能となり、(衛星観測のタイミングが合えば)有効タイムライン内の情報提供ができることが実証された。



令和3年8月の大雨 撮影実績



提供データ(上土砂災害・下浸水)



Surveying the Earth to Create the Future

4. 今後の課題及び検討事項

本事業の成果

- 家屋被害、倒木のAI判読モデルを構築し情報提供プラットフォームへ実装した。また、浸水・土砂災害AI判読モデルの高度化を実施した(下表)。
- 運用事業者と調整しSPOT6/7、ALOS-2については、自動で情報提供プラットフォームへ連携するシステムを構築した。これによりRESIへの被害情報提供を撮影から6～7時間で提供できることを明らかとした。
- 小型SAR衛星コンステレーション事業者と調整し今後の災害時のSAR衛星観測の高頻度化の見通しを明らかとした。

開発した判読モデル一覧(P:Percision、R:Recall)

判読対象 (解像度)	光学衛星		SAR衛星			航空写真
	SPOT (1.5m)	Pleiades (50～70cm)	ALOS-2 (SM1:3m)	Sentinel-1 (IW:25m)	小型SAR衛星	垂直撮影
家屋被害	—	○※1 P:81%,R:70%	○※2 P:64%,R:72%	—	検討実施	○ P:73%,R:38%
倒木	○ P:55%,R:63%	○ P:48%,R:49%	○ P:41%,R:43%	—	検討実施	○ P:31%,R:72%
浸水	○ P:73%,R:76%	○※3 P:72%,R:72%	○※3 P:54%,R:50%	○ P:62%,R:56%	○※4	—
土砂災害	○ P:73%,R:77%	○※3 P:64%,R:68%	○ P:54%,R:50%	—	—	—

※1.ビニールハウスの被害とブルーシートの被覆。 ※2.NDSIによる50mメッシュ単位で地震による全壊。 ※3.既存モデル
※4.単画像によるモデル構築のみ、精度評価のための正解データ(浸水)が無いためP,Rは未記載。

今後の課題及び検討事項

- 本事業で開発した自動連携システム(光学・SAR)及びAI判読モデルを用いて、RESIに被害情報を提供する仕組みを構築した。しかし、AI判読による抽出精度は十分とはいえず、継続して、学習データを増やし、精度向上が求められる。
- 台風による家屋倒壊の抽出について、屋根の損壊は20cm程度の航空写真によるAIモデルの性能が良く、光学衛星ではビニールハウスの被害、また、SAR衛星では50mメッシュ単位による大規模全壊が分かる程度であった。小型SAR衛星でも1棟1棟は困難であることから、どの程度のメッシュで被害が推定可能か検討する必要がある。
- 倒木の抽出では、1.5mの光学衛星のAIモデルの性能が高かった。必ずしも航空写真や高解像度光学衛星で観測する必要性が無いことが分かった。ただし、台風通過後の倒木に関心をもって撮影する機会が少ない(土砂災害、水害に比べ人的被害が少ない)ため、運用時の撮影コストが課題。SAR衛星については、継続して学習データを増やし、精度向上が求められる。



Surveying the Earth to Create the Future

株式会社パスコ

二次利用未承諾リスト

報告書の題名 開発報告書

委託事業名 令和2年度第3次補正予算
「高圧ガス等技術基準策定研究開発事業（停電復旧
見通しの精緻化・情報共有システム等整備事業）」

受注事業者名 一般財団法人電力中央研究所、株式会社パスコ

[illegible]