

衛星画像を基にした リアルタイム火災延焼シミュレーションプログラムの開発について

一般財団法人 消防防災科学センター 遠 藤 真
国土技術政策総合研究所 岩 見 達 也

1. はじめに

大規模災害が発生した場合に、被害が甚大になるほど情報が集まりにくくなり、情報の空白が生じる。そのような場合では、「鳥の目」と「虫の目」で災害の状況を迅速に把握することが重要であると言われている。

その中で、「鳥の目」の一つとなる衛星から得られる情報は、広範囲な情報を一括して得ることが可能であり、大規模災害時の火災に関する情報を収集する方法として効果的かつ効率的である。

一般財団法人 消防防災科学センター（以下、当センターという）では、国立研究開発法人 建

築研究所（以下、建築研究所という）と共同で、想定される南海トラフ地震のような大規模災害時に被害の予測等の情報を国や地方自治体等へ提供し、国民の生命や社会リスクを軽減し、国民の安全と安心を確保することを目標に掲げた戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期の「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」¹⁾において「被災状況解析・共有システムの開発」²⁾（以下、NR2という）というテーマで2018年から5年の期間で研究開発を行っている。今年はその最終年度にあたり、その成果の一部について紹介する。

NR2では図1-1のように、人工衛星が観測したデータを活用し、被災状況を示す情報をいち早く

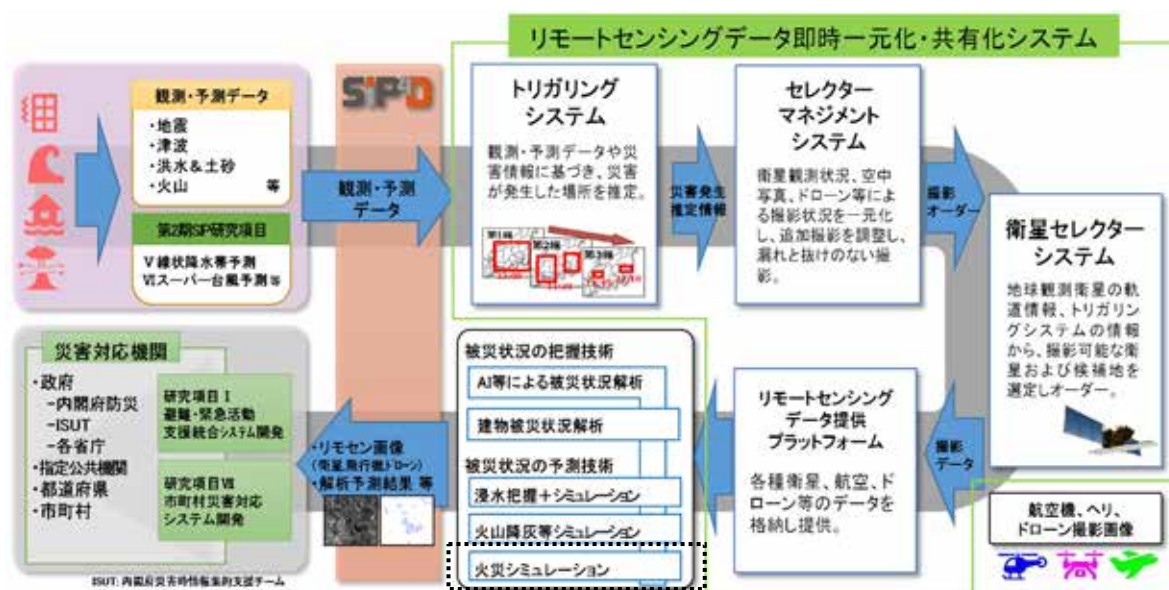


図1-1 衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の研究開発の全体像（点線枠：本研究の担当部分）

抽出し、そこから今後起こり得る事態を把握することで、災害対応に役立つ情報の創出を行うためのシステムの開発を目指している。

2. 開発の経緯

大規模災害が起き、市街地の火災が複数同時多発的に発生した場合、必ずしも被災地の現有の消防力だけでは対処仕切れないことが想定される。その場合、消防力が劣勢となり、発生した火災が拡大し数日間延焼し続ける可能性がある。

そのような大規模災害時を想定して、阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ、人命救助活動等を効果的かつ迅速に実施し得るよう、緊急消防援助隊(以下、緊援隊という)が創設された³⁾。

その運用に際して被災地への到着時間は、数時間以上かかっている。また、到着するまでは断片的な情報しか取得することができず、状況の把握が困難となっている。活動の規模や消防戦術を立てる際にも、火災の規模等を把握することが重要となってくる。そこで、市街地における延焼拡大を予想するために、火災延焼シミュレーションを用いる研究が様々行われている。

その情報を運用の各種調整を行う消防庁が全体を俯瞰して、事前計画上で予想できなかった想定外の事態を回避すること、応援側では派遣先の状況を予め把握することで、予測される事態への対応準備、受援側では地点防ぎょや避難等の事前計画の立案に役立てることを想定した(図2-1)。

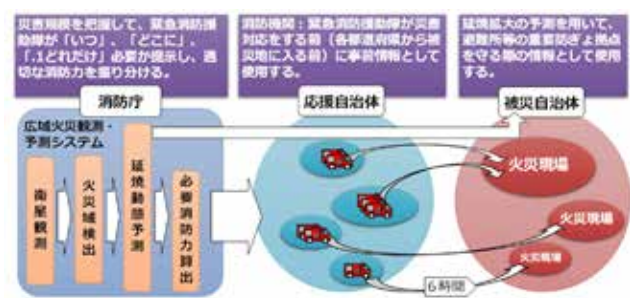


図2-1 対応組織別延焼シミュレーションの活用

この一連の処理の中で「火災シミュレーション広域被災予測技術開発」(以下、本研究という)で衛星が撮影した画像を解析し、延焼範囲(広義では火点)を推定する部分を建築研究所が担当し、火災延焼シミュレーション部分を当センターが担当している。

図2-2に、地震発生前から応急対応期まで本研究が果たす役割を時系列に沿って整理し纏めた。

このタイムラインに沿って同時多発火災が発生した場合、数時間以内に3日後までの延焼予測を行い、その情報を必要とする機関に配信することを目標とした。

解析した結果をフィードバックするための仕組みとしては、SIP第1期プロジェクトで開発された基盤的防災情報流通ネットワーク⁴⁾(以下、SIP4Dという)という情報共有の仕組みやNR2のリモートセンシングデータ共有プラットフォーム(以下、ワンストップシステムという)を活用することで、国、地方自治体、消防機関が情報を共有することが可能となる。

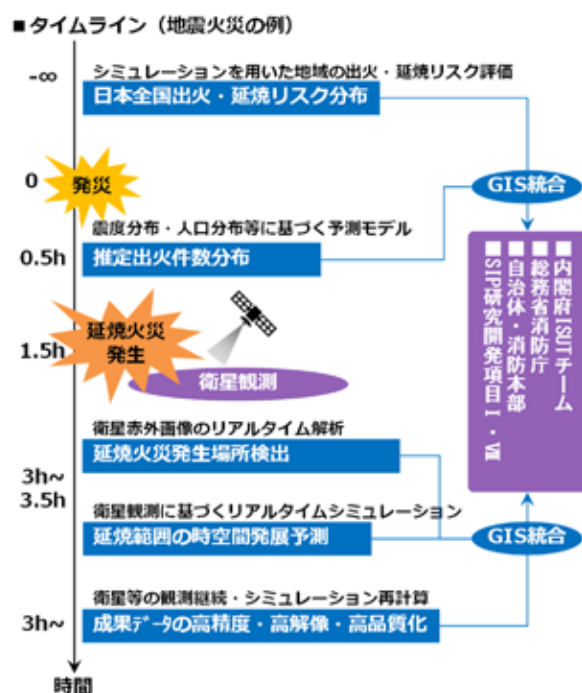


図2-2 地震火災発生時のタイムライン

3. 衛星画像を用いた延焼範囲の検知

3.1 使用する衛星の概要

まず、衛星による延焼範囲の検知についてその可能性について検討した。

本研究で対象とした赤外センサを搭載する衛星の日本上空通過時刻等の主な諸元は表3-1のようになっている。これによると、1日当たり4回撮影のタイミングがあり、撮影の間隔は、2時間程度と8時間程度である。この間隔内で延焼拡大が街区を越えて広がっていた場合、検知する可能性が十分ある。

表3-1 本研究で対象とした衛星の主な諸元

衛星名	センサ	火災検出の 解像度 (衛星直下)	日本上空 通過時刻 (±30分程度)
GCOM-C ⁵⁾ (しきさい)	SGLI	250m	10:30, 22:30
Terra、 Aqua ⁶⁾	MODIS	1000m	10:30, 22:30 1:30, 13:30
Suomi-NPP、 NOAA-20 ⁷⁾	VIIRS	375m	1:30, 13:30

3.2 火災画像解析システムの開発

地震発生直後に、その地震の震度分布と世帯分布から出火危険地域を抽出し、当該地域を観測可能な衛星を軌道情報から求めて、画像を取得する。そのデータを解析し、火災の延焼範囲を検知する。これらの一連の処理は、自動的に実行され結果を共有することが可能である。

図3-1は、地震発生時の火災検知をシミュレーションした画面である。

ダウンロードした画像を自動的に解析し、火災の可能性のある範囲を特定する。常時火災と同レベルの赤外光を放つ地点等をマスクするなど独自のアルゴリズムで延焼範囲を同定する。この処理には、画像の取得から解析、結果の登録まで30分程度を目標として開発を行った。

火災の可能性が高いと判定された場合は、そ

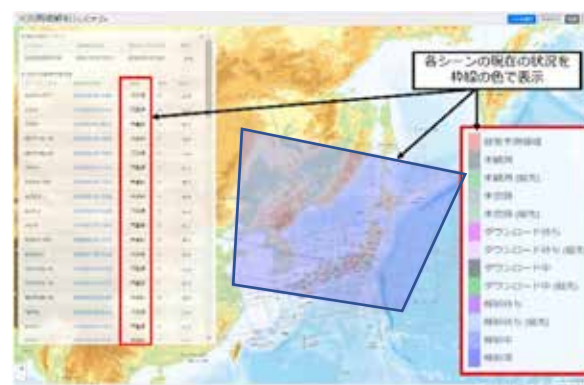


図3-1 火災画像解析システムの WebGIS 画面
(観測シーンリストの例)

の結果を SIP4D やワンストップシステム、そして4章に示す火災延焼シミュレーションにJSON(GeoJSON)形式のデータとして登録する。

3.3 火災画像解析システムの検証

近年、数日間延焼するような家屋火災は発生していないため、実火災での検証はできていない。また、大規模な火災の事例としては、2016年12月22日に発生した糸魚川市大規模火災（以下、糸魚川市大規模火災という）があったが、当日雲がかかって検知できなかった。そのため、毎年のように発生している林野火災での検出を試みて精度向上に努めている。

2021年2月21日に栃木県足利市で発生した林野火災を対象として衛星画像から解析した結果を図3-2に示す。報告書⁸⁾の延焼状況を基に時系列で延焼範囲をトレースして重ねた。この結果から炎上中の火面を大まかに捉えられているといえる。

この状況が木造密集地で発生していれば、この結果を延焼範囲として火災延焼シミュレーションを実行することは可能である。

ただし、前記の例でもあったように、衛星が通過するタイミングや雲の状況により赤外線が遮られた場合、捉えられない可能性もあるが、今後利用可能な観測衛星の数も増え撮影頻度が上がり、また高精細になれば、延焼範囲を捉えることができる可能性が高くなると考える。

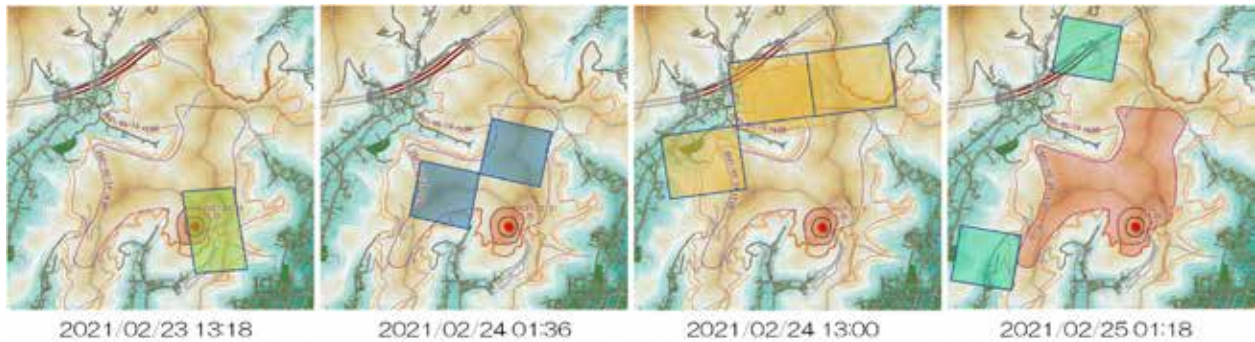


図3-2 2021/2/21 足利市林野火災の時系列延焼範囲と解析結果、延焼動態⁸⁾

4. 火災延焼シミュレーション

これまでも述べたように地震発生時の火災の予測を行い今後の推移を知ることは、その後の人命救助や避難をする場合でも重要である。延焼シミュレーション技術を用いて火災が、今後どのように拡大するかを図4-1のように3日後まで予測することで、被災自治体や消防機関における意思決定をするための基礎情報として提供することを目標としている。

家屋の形状、構造から延焼経路ネットワークを予め構築し、風向・風速を考慮して火点からの延焼動態をシミュレーションする。拡大する延焼状況から一時間単位の火面を生成し、延焼等時線（以下、等時線という）として作成し、その等時線をカバーする消防隊数（筒先数）を集計する。これにより、どの火災にいつ、どれくらいの消防力が必要であるかを予め予測して、緊援隊等の運用の

際の情報として提供する。

なお、本シミュレーション技術の核となる計算エンジンは、総務省消防庁消防大学校消防研究センター（以下、消防研究センターという）が研究開発した延焼シミュレーションエンジン⁹⁾を使用している。

4.1 火災延焼シミュレーションの特徴

本研究で新たに開発した項目は以下のようである。

(1) 風向・風速情報による延焼予測

風向や風速により延焼拡大の方向や速度が大きく変わる。そのことを考慮して、全国全ての地点を1 km メッシュ単位で提供している気象情報配信サービスを利用して、3日後までの予測情報および過去の情報を取得する。

(2) 衛星からの延焼範囲取得

本研究の成果である建築研究所による衛星画像解析結果をJSON形式で取得する。

衛星からの延焼範囲情報だけでなく、他の機関からでも仕様に則ったJSON形式の情報であれば、トリガーとして使用可能である。

(3) 延焼範囲情報の更新・補正機能

延焼範囲情報を複数別々に取得し、取得時間を時系列に並べ、延焼シミュレーションを再帰的に実行し、実情報を入力し随時補正することが可能である。

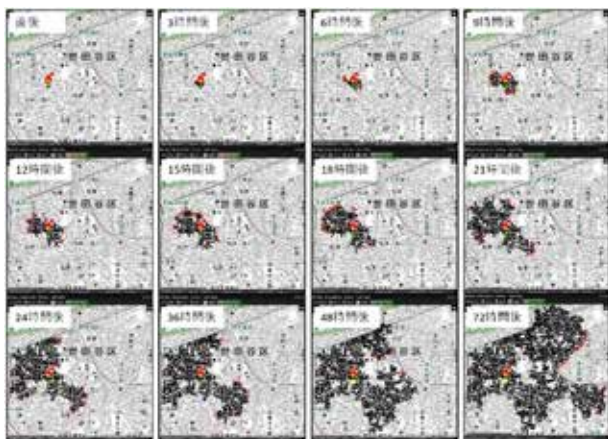


図4-1 3日後でも延焼中の事例（黒色：延焼家屋）

(4) SIP4D とワンストップシステムでの情報共有

自動計算の結果を SIP4D とワンストップシステムで閲覧可能とする。SIP4D に予め作成した仕様で時系列に沿った延焼範囲や必要消防力を登録し、GIS ソフトを用いて表示が可能となる。これにより、他の情報とのマッシュアップを可能とする。登録される情報は、以下の通りである。

- ・火点、延焼範囲（覚知時刻）
- ・延焼等時エリア（正時ごとの予測情報）
- ・延焼等時線（必要消防力情報を含む）

(5) 高機能クライアントソフト

災害発生時に衛星からの延焼範囲取得による自動実行機能だけでなく、専用端末ソフトを用いて任意の火点を入力して延焼シミュレーションを実行する機能を有する（図4-2）。また、ユーザ権限機能を設けて組織を越えた情報共有を容易にする。より専門的な情報を参照可能であり、消防機関での使用を想定している。



図4-2 高機能クライアントソフトの操作画面

(6) 図上訓練等への展開

災害発生時だけでなく平時の図上訓練への活用や住民に対して地震発生時に発生する火災の状況やリスクについての醸成に活用する。

4.2 延焼シミュレーションの流れ

延焼シミュレーションの動作フローを図4-3に示す。

- (1) 火災画像解析システムの延焼範囲情報を随時

監視し、新しい情報があればその情報をダウンロードし、気象情報配信サービスから風向・風速を取得する。

- (2) 覚知時刻から3日後までの延焼シミュレーションを実行する。
- (3) シミュレーションの結果から延焼範囲を抽出し、必要消防力を算出する。
- (4) シミュレーションの結果を配信サーバに登録する。

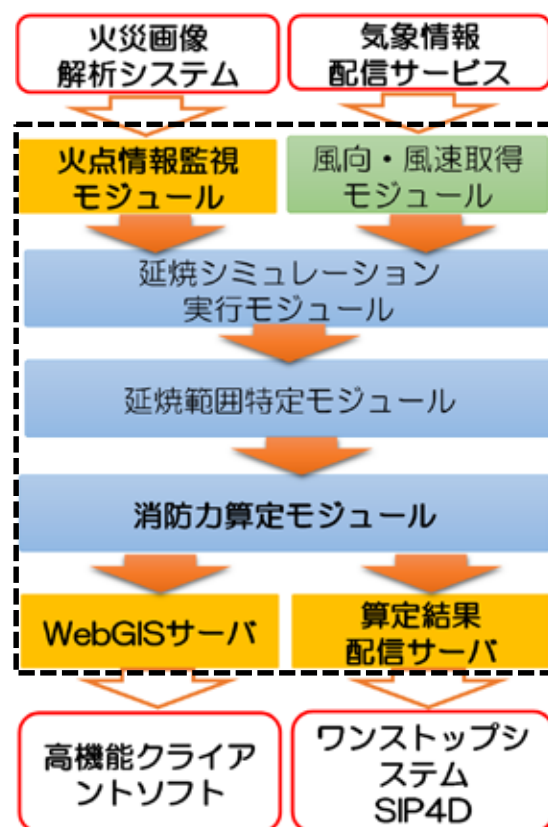


図4-3 延焼シミュレーションの動作フロー

以上の操作を1つのサイクルとして、新しい情報が追加されると、それまでのシミュレーション結果に追加された時刻から更に3日後まで延焼シミュレーションを繰り返す。

登録した情報は、ワンストップシステムで閲覧するか、SIP4D 用サーバからデータをダウンロードし汎用の GIS ソフト等で表示することが可能である。また、前節(6)の高機能クライアントソフトで WebGIS にアクセスすることにより、より詳

細な利用が可能となる。

4.3 延焼シミュレーションの検証

延焼シミュレーションのエンジンそのものの検証は、消防研究センターが行っているが、近年では、糸魚川市大規模火災の際の延焼状況を実証している¹⁰⁾。

ただし、前章でも述べたが、システムの開発以降に衛星画像をトリガーとして実行するような大規模火災は起きていない。そのため、本システムの動作検証は、時系列で延焼範囲を設定したシナリオ（表4-1）を作成し、そのシナリオに沿って延焼シミュレーションを実行できることについて検証を行った。

衛星で撮影した画像の伝送、解析に1時間かかると想定し、1時間後にトリガーとして認識する

表4-1 検証用シナリオ

撮影時刻	衛星	時刻 イベント
-	-	5:30 地震発生発災
1日目 10:30	GCOM-C	11:30 トリガー
1日目 13:30	VIIRS	14:30 トリガー
1日目 22:30	GCOM-C	23:30 トリガー
2日目 1:30	VIIRS	2:30 トリガー

こととした。延焼範囲の覚知時間は撮影時刻であり、トリガー時刻以降から必要消防力の集計を行った。次のトリガー取得で、その撮影時刻まで遡り新たな延焼範囲を加えて延焼シミュレーションを行った。

シミュレーションの結果を時系列で図4-4に示す。このように、自動的に計算した結果は、SIP4D 等で最新の状態を取得できることを確認した。

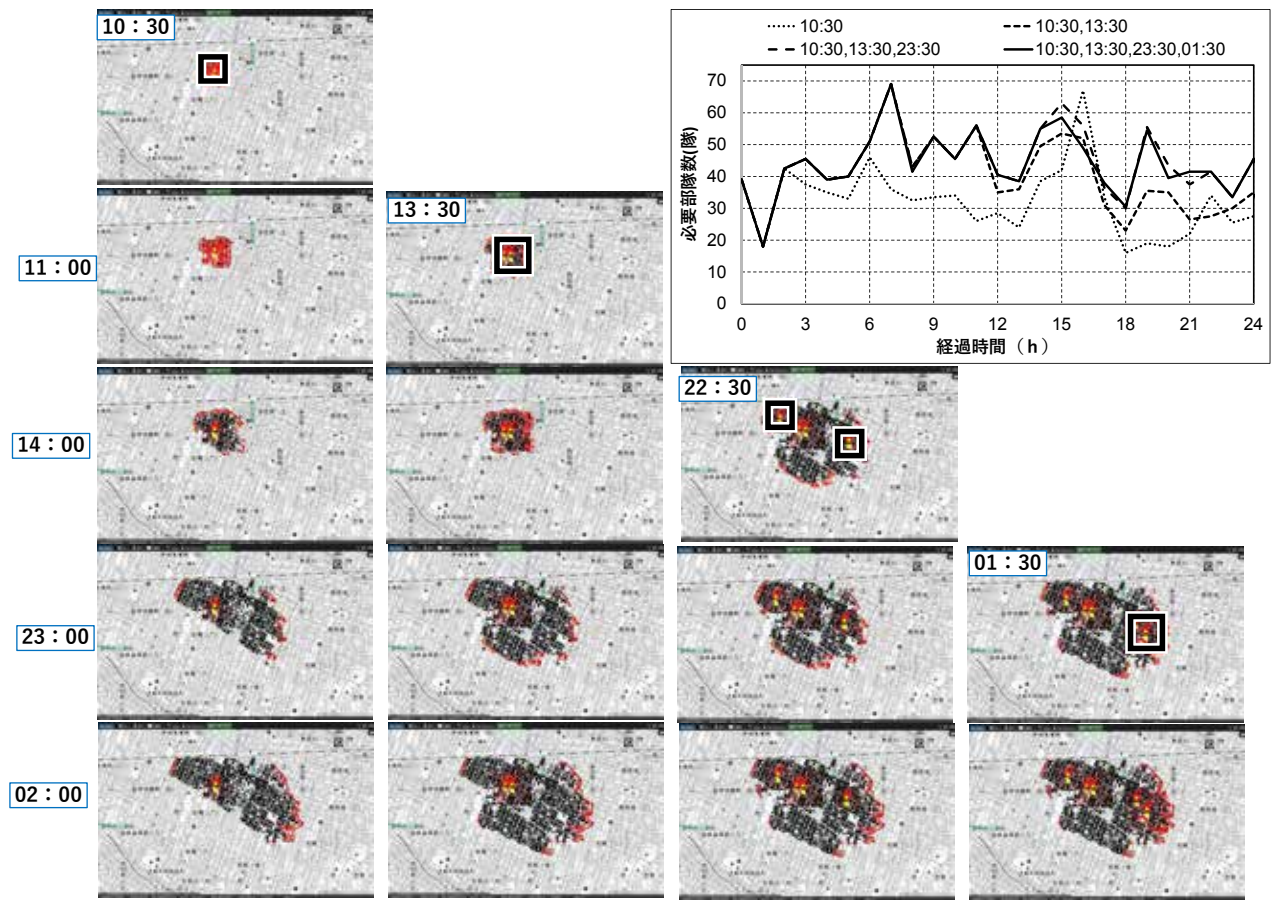


図4-4 シナリオの実行結果（右上：必要消防力の時間的推移）

5. おわりに

SIP で最も重要視されている命題は、単に技術開発を実施するだけでなく、実際に運用され災害対応に活用できる仕組みを作っていくことである。

社会実装、すなわち研究で終わるのではなく開発した技術を社会に還元することを求められている。

このことを踏まえて、本研究終了後に繋がるために整理した社会実装のイメージを図5-1に示す。具体的には、開発した延焼シミュレーションを常時起動状態にすることで、大規模災害が発生した際に自動的にシミュレーションを実行し、必要消防力を集計し、SIP4D へ自動で登録されることで、必要とする機関が、必要な情報を共有することにある。

ただし、3.3節でも述べたように、雲の状態により検知できない場合や時間帯によって観測までに時間を要する場合があるため、本研究は万能ではない。そこで、衛星からの情報収集だけでなく、ヘリテレやドローンからの情報および実際の現場からの情報など様々なリソースから火点情報を収

集し、シミュレーションを実行することで、より正確な情報を提供し、迅速な対応に繋げることが期待される。

※希望する消防機関に研究の成果を体験してもらえのように整備中です。詳しい内容については、当センターまで問合せをお願いします。

謝辞

本文の作成にあたり、共同研究者である国立研究開発法人建築研究所 成瀬友宏氏ならびに当センター 一町田一二氏には多大なご協力を賜りましたこと、深く感謝いたします。

本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の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」(管理法人：防災科研)によって実施されました。

【参考】

- 1) 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期, <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip2pd.html> (2022/6/21参照)

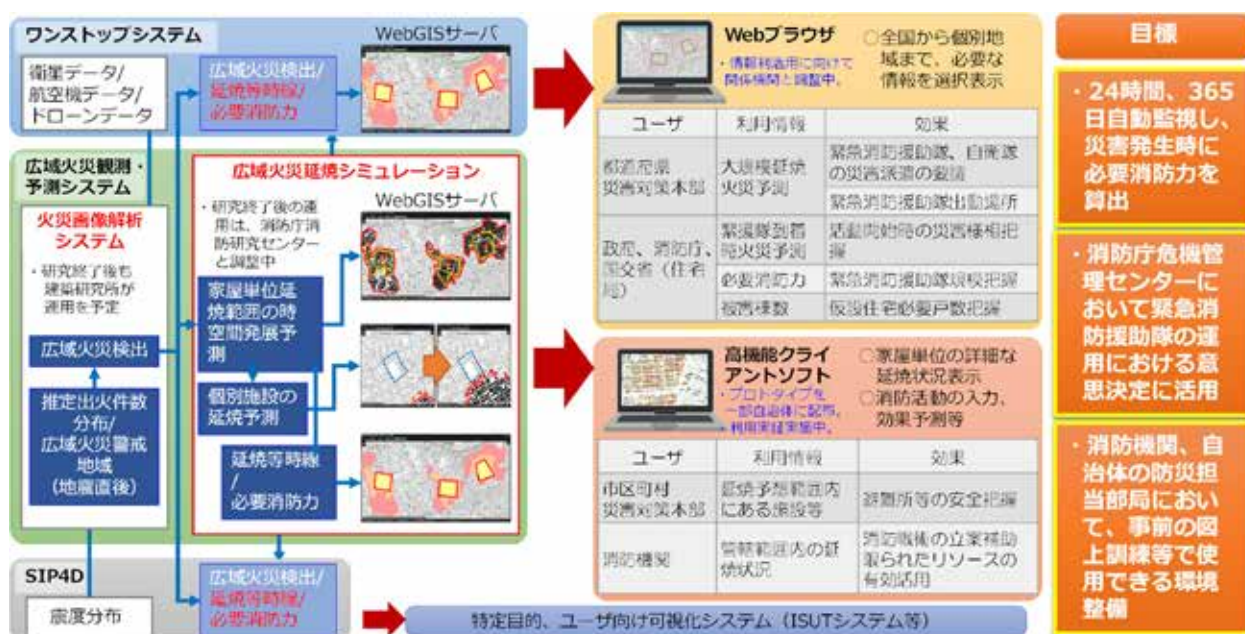


図5-1 目標とする社会実装のイメージ

- 2) NR2被災状況解析・共有システムの開発, <https://www.bosai.go.jp/nr/nr2.html> (2022/6/21参照)
- 3) 全国各地から駆け付ける「緊急消防援助隊」, <https://www.fdma.go.jp/mission/prepare/rescue/> (2022/6/21参照)
- 4) 基盤的防災情報流通ネットワーク SIP4D, <https://www.sip4d.jp/> (2022/6/21参照)
- 5) 気象変動観測衛星 (GCOM-C), https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/index_j.html (2022/6/21参照)
- 6) Terra/Aqua(MODIS)「テラ衛星およびアクア衛星」モディスの概要・諸元, https://www.sed.co.jp/sug/contents/satellite/satellite_modis.html (2022/6/21参照)
- 7) 衛星情報データベース (衛星総覧) Suomi NPP, <https://www.restec.or.jp/satellite/suomi-npp> (2022/6/21参照)
- 8) 消防庁「より効果的な印や火災の消火に関する検討会」資料, https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-88.htm (2022/6/21参照)
- 9) 高梨健一、細川直史, (4) 大規模地震災害時等の同時多発火災対応に関する研究, 消研輯報72 (平成30年度), pp.24-35, 2018年
- 10) 第2回糸魚川市大規模火災を踏まえた今後の消防のあり方に関する検討会 資料2, https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kento187_33_shiryo2.pdf (2022/6/21参照)