

国土交通省総合技術開発プロジェクト

高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発
総 合 報 告 書

平成22年12月

国 土 交 通 省

まえがき

本報告書は、平成19年度から平成21年度までの3カ年にわたって実施した国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な画像処理による減災のための国土の監視技術の開発」（通称：減災総プロ）についての研究開発成果をまとめたものである。

我が国は、地震や台風などに見舞われやすいという地勢上の特徴を有しており、それらに起因する自然災害によりたびたび人的・経済的被害を受けてきた。その中でも、大規模地震は突発的に発生し、甚大な人的・経済的被害を受けるおそれが高く、これらの被害を抑制して国民生活に安全・安心を提供することは、政府の一員である国土交通省の使命である。そのためには、各種の防災インフラの整備というハードウェア対策に加えて、災害発生時の危機管理に不可欠な情報収集及び分析能力の向上、危険な箇所の事前把握や災害の発生に備えたまちづくりの推進といったソフトウェア面での取り組みも重要である。そのような観点から、第3期科学技術基本計画における社会基盤分野の戦略重点科学技術として、減災を目指した国土の監視・管理技術が位置づけられ、その中で災害監視衛星の利用技術等を開発することによって災害に強い新たな防災・減災技術の実用化が求められていた。

そこで、本プロジェクトは、発災直後から72時間後までをターゲットとして被害状況の抽出・伝達を迅速に行う国土の監視技術の開発と、事前の減災対策として災害に強いまちづくりにつなげることを目的とした技術開発の2つのアプローチを採用した。国土の監視技術に関する研究成果は、防災関係者向けの判読マニュアルや操作手順書としてとりまとめ、陸域観測衛星「だいち」や空中写真の画像を用いた被害箇所の抽出に用いるとともに、Web-GISで利用できる機能として公開している。減災対策のための技術開発成果も、国土交通省の大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインに基づく危険性評価の手順書などにとりまとめて地方自治体に配布する。また、成果を幅広く活用していただくために、開発したツールやマニュアル等は、国土地理院に置いた減災総プロのウェブサイトを通じて提供する。

本プロジェクトの成果が直接・間接に活用されることによって、大規模地震災害の被害の抑制や災害対応の初動期における迅速な危機管理が実現されることを期待する。

最後に、本プロジェクトの推進に際してご指導をいただいた減災総プロ運営委員会委員長の山崎文雄教授（千葉大学大学院）を始めとする委員の皆様と関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

技術審議官
下保 修

高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発

総合報告書

目 次

第 1 章 研究の全体概要と実施体制	1
第 2 章 迅速な画像取得・処理の開発	13
(1) デジタルカメラの迅速な処理	15
(2) 「だいち」による災害状況把握	35
(3) 地上計測車による画像の取得技術の開発	45
(4) インフラ施設管理機関における災害対応業務分析と 画像処理技術の適用可能性検討	55
第 3 章 画像・基盤情報の利活用に関する開発	115
(1) 地盤の脆弱性把握のための開発	117
(2) 市街地火災総合対策支援ツールの開発	145
第 4 章 基盤地図情報データベース更新のための技術開発	193
(1) 工事図面等を活用した更新の迅速化のための技術開発	195
(2) 仕様の異なる地図データ間の位置ズレの補正技術の開発	205
第 5 章 災害情報の収集・伝達の技術開発	229
(1) GPS 携帯端末を用いた双方向通信の技術開発	231
(2) 電子国土の簡単な GIS 機能の付与	239

第 1 章

研究の全体概要と実施体制

1. はじめに

我が国は、地勢上大規模地震災害の発生が避けられず、それによる被害を最小限にとどめるための減災対策が重要な課題である。特に、災害の初動対応期である発災後 72 時間までの時間帯は建物倒壊による人命救助の目安とも言われ、迅速な被害情報の把握と的確な情報伝達が極めて重要となる。

平成 7 年に発生した阪神淡路大震災では死者 6,434 名、全壊住家 104,906 棟の被害が生じた。また、中央防災会議が取りまとめた大規模地震の被害想定では、東海地震、東南海・南海地震で死者数 7,900～17,800 人、全壊建物 23～36 万棟、首都圏直下などの各三大都市圏の場合で死者数最大 42,000 人、全壊建物最大 97 万棟とされるなど、極めて広範かつ多数の被害が生じることが予想されている。

しかしながら、このような大規模地震災害が発生した場合、被災によって情報通信網が寸断された状況下では、限られた通報手段による局所的な情報収集に頼らざるを得ず、現地調査による情報収集も道路閉塞等による交通機能障害の発生等によってままならない状況が発生し、被害の全体像の早期把握は困難となることが予測される。また、危険地域の特定や危険度判定も進んでおらず、災害事前対策も遅れている状況である。

これらの状況を踏まえて、国土交通省は、大規模地震災害の広域の被害状況を迅速かつ詳細に把握する技術を開発するとともに、その技術を応用して効率的な災害事前対策にも活用するため、平成 19 年度から平成 21 年度の 3 年間にわたり、国土交通省総合技術開発プロジェクトとして「高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発（通称：減災総プロ）」を実施した。

本研究は、国土地理院及び国土技術政策総合研究所が、発災前後の 2 時期の間の変化情報抽出技術等の開発により、高度な画像処理情報に基づく被災状況の迅速な情報収集を目指し、あわせて市街地における火災シミュレーション技術の開発や地盤の脆弱性評価手法の確立を行い、また、高度な情報通信ネットワークの利活用により「いつでも、どこでも、だれでも」迅速に被災情報や災害危険情報を把握できるようにすることを目指して実施したものである。

2. 研究の概要

本研究は、国土地理院及び国土技術政策総合研究所が相互に連携を取りながら実施したもので、①迅速な画像取得・処理の開発、②画像・基盤情報の利活用に関する開発、③基盤地図情報データベース更新のための技術開発、④災害情報の収集・伝達の技術開発を研究の 4 つの大きな柱（テーマ）としている。

また、①迅速な画像取得・処理の開発では、通信衛星を使用するため、宇宙航空研究開発機構（JAXA）との共同実験を実施した。

① 迅速な画像取得・処理の開発【第 2 章】

広域の被害状況を迅速に把握する技術開発として、「デジタルカメラの迅速な

処理」で、航測カメラにデジタルカメラを導入することによる画像取得機会の向上について検証して緊急撮影のマニュアルを改訂し、大規模地震災害発生時の早期対応体制の拡充を可能としたほか、デジタルカメラ画像の特性を活かして建物倒壊箇所の把握手法を開発し、倒壊建物抽出手順書としてまとめた。また、『『だいち』による災害状況把握』では、斜めに撮影された衛星画像を地図と位置合わせして土砂災害箇所の抽出を行う技術開発を実施し、抽出手法についてマニュアル化した。

一方、現地調査による被害状況の把握手法として、「地上計測車による画像の取得技術の開発」を行い、各種センサを活用した高精度な被害箇所抽出及び夜間における被害情報収集の可能性について検討した。取得した画像の遠隔地への伝送については、JAXAの超高速インターネット衛星「きずな」を用いた被災地の空中写真の伝送実験を実施し、大容量のファイル伝送が可能であることを確認し、通信手順書を作成した。

さらに、「インフラ施設管理機関における災害対応業務分析と画像処理技術の適用可能性検討」において、国土交通省で実施されている災害対応業務の内容を分析し、開発した技術を実際の災害対応において適用するための要件についても検討している。

② 画像・基盤情報の利活用に関する開発【第3章】

「地盤の脆弱性把握のための開発」では、国土交通省により公表されている「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン」に基づき実施する第一次スクリーニングに有効な手法の開発を目指し、各種手法による改変地形データの精度と効率性について検証するとともに、後述の評価システム構築のための高精度データの作成を行い、盛土地形データの作成手順書としてまとめた。また、ガイドラインに基づき実施する第二次スクリーニング箇所の絞り込みに役立つ情報の取得を目的とし、ガイドラインに掲載されている現行手法の問題点やそれらを解決できる手法について、専門家会合や有識者との意見交換の結果を踏まえて検討し、盛土の地形情報のみで半自動的に盛土の脆弱性を評価するシステムを構築した。

「市街地火災総合対策支援ツールの開発」では、火災発生時の自宅や自宅周辺への影響、自宅や市街地の改善によってどれだけ火災安全性が向上するのかを、住民が現実感を持って視覚的に体感できる「市街地火災総合対策支援ツール」を開発した。具体的には、上層階セットバックや内装等の防火性能の違いを詳細に評価可能な市街地火災シミュレーションプログラムを開発し、このプログラムを用いて市街地の火災対策を推進する際に必要な一連の作業を支援するツールを開発した。また、地方公共団体がこれらのツールを用いて市街地の防火性能を評価する具体的な方法を取りまとめた活用マニュアル（案）を取りまとめた。

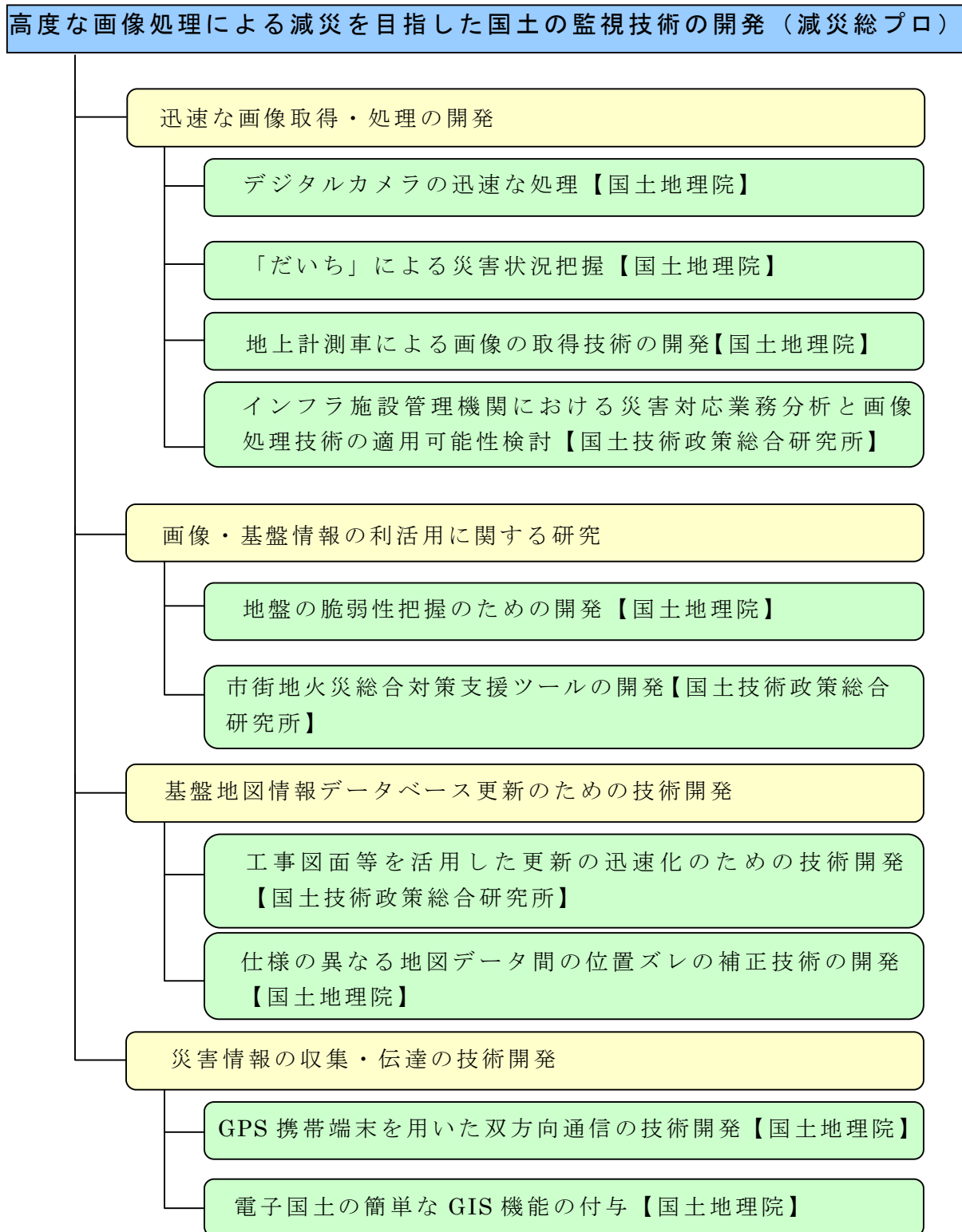
③ 基盤地図情報データベース更新のための技術開発【第4章】

道路に関して整備が進められている道路基盤地図情報は、他の地図情報と比較して大縮尺であることから、基盤地図情報整備への貢献が期待される。このことから、「工事図面等を活用した更新の迅速化のための技術開発」で、道路基盤地図情報（GIS データ）を、工事の電子納品成果である工事図面（CAD データ）から整備する方法を検討した。第一に、CAD データの作成方法を定めた道路工事完成図等作成要領を作成し、CAD データの標準仕様である SXF から GIS データの標準仕様である JPGIS に変換する技術を開発した。さらに、工事図面間の接合・評定手法の検討を行った。また、実際に、工事段階の完成時において道路基盤地図情報の部分更新の実験を行った。さらに、更新に係る一連のサイクルを実現するシステムの検討を行った。

また、基盤地図情報の更新を迅速に実施するには、基盤地図情報とは仕様の異なる更新資料を半自動的に反映する技術が有効である。そのため、「仕様の異なる地図データ間の位置ズレの補正技術の開発」で、異なる縮尺の地図からの対応点抽出手法を開発し、対応点について計測した位置ズレを補正する補正モデルを作成した。また、補正モデルによる計算処理に加え、直線道路の形状保持や道路縁と建物が重ならないことを加味した補正ソフトウェアを開発し、実際に道路基盤地図情報を基盤地図情報に反映する実証実験を行った。

④ 災害情報の収集・伝達の技術開発【第5章】

「GPS 携帯端末を用いた双方向通信の技術開発」で、通信能力が低下した環境下であっても必要最小限の情報によって災害情報を双方向に通信することを可能とし、携帯電話上で地図上に各種の災害情報を重ね合わせて見られるシステムを開発した。「電子国土の簡単な GIS 機能の付与」では、伝送する情報の量を的確に絞り込んで低減させることを目的とした空間演算機能や緊急撮影された空中写真を簡便に地図に重ね合わせる機能を電子国土 Web システムに付加し、電子国土の機能として公開した。



図－１ 「高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発」の全体構成

3. 減災総プロ委員会の設置と開催

(1) 減災総プロ委員会の設置と開催の目的

本研究を進めるにあたっては、研究開発を効果的に実施するために国土地理院、国土技術政策総合研究所等の研究担当者間で意見交換ができる体制を構築するとともに、専門的分野において先端的に研究を行っている大学等の外部有識者や本研究の成果のユーザでもあり、行政的立場からの意見や要件を把握している省内関係部局から最新の研究動向や各種施策との連携等について意見を伺う機会を得ることが、研究成果を活用する観点から重要である。

そのため、研究の内容を評価し、指導するために「『高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発』に関する委員会」（以下、「減災総プロ委員会」という）を設置し、リモートセンシング及び防災情報処理に関する学識経験者、本省の災害対策行政担当者及び各研究担当者を集めて、年2回程度の会合を開催し、意見や情報の交換を実施した。

また、研究テーマによっては、専門性が高い研究内容を含むことから、①迅速な画像取得・処理の開発及び②画像・基盤情報の利活用に関する開発については、委員会の下に「専門家会合」を設置し、その分野に詳しい外部有識者委員を中心に、自治体の災害対策担当者等を加えて専門的な意見や情報の交換を実施した。

(2) 減災総プロ委員会の構成メンバー

委員（座長）	山崎 文雄 千葉大学大学院 工学研究科教授
委員	福和 伸夫 名古屋大学大学院 環境学研究科教授（平成 20～21 年度）
委員	釜井 俊孝 京都大学防災研究所 斜面災害研究センター教授
委員	糸井川 栄一 筑波大学 システム情報工学研究科教授
委員	田中 成典 関西大学 総合情報学部教授
委員	干川 剛史 大妻女子大学大学院 人間関係学研究科教授
委員	国土交通省大臣官房技術調査課長
委員	国土交通省都市・地域整備局まちづくり推進課都市防災対策室長（平成 19 年度）
委員	国土交通省都市・地域整備局都市計画課開発企画調査室長（平成 19 年度）
委員	国土交通省都市・地域整備局都市・地域安全課都市・地域防災対策推進室長（平成 20～21 年度）
委員	国土交通省河川局防災課災害対策室長
委員	国土交通省道路局国道・防災課道路防災対策室長
委員	国土交通省住宅局市街地建築課市街地住宅整備室長
委員	国土地理院測図部測図技術開発室長
委員	国土地理院地理調査部防災地理課長
委員	国土地理院地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室主任

	研究官（平成 19 年度）
委員	国土地理院地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室長 （平成 20～21 年度）
委員	国土技術政策総合研究所都市研究部都市防災研究室長
委員	国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室長
委員	国土地理院地理空間情報部情報普及課長
事務局	国土地理院測図部測図技術開発室

（３）減災総プロ委員会の開催履歴

減災総プロ委員会の開催履歴を下表に示す。

会合の名称	開催日	開催場所
第 1 回委員会	平成 19 年 7 月 27 日	弘済会館
第 2 回委員会	平成 19 年 12 月 18 日	弘済会館
第 3 回委員会	平成 20 年 2 月 26 日	弘済会館
第 4 回委員会	平成 20 年 7 月 17 日	弘済会館
第 5 回委員会	平成 21 年 2 月 26 日	弘済会館
第 6 回委員会	平成 21 年 8 月 3 日	東京都立産業貿易センター浜松町館
第 7 回委員会	平成 22 年 3 月 25 日	国土地理院関東地方測量部

４．専門家会合の設置と開催

（１）専門家会合の設置と開催の目的

専門家会合は、研究テーマ内における個別の細部仕様や処理手法等について、効率的に研究を進めるうえで特定の主題に絞った専門家等による討議の必要が生じたことから、2つのテーマについて平成 20 年度及び平成 21 年度に、減災総プロ委員会の下に設置したものである。

委員会とは異なり、特定の主題ごとに構成メンバーを柔軟に変更することができ、研究を進めるにあたって最も効果的な討議を行えるよう位置づけた会合である。討議結果は、減災総プロ委員会に報告され、委員会を補完するものとして機能した。

（２）専門家会合の開催履歴及び構成メンバー

専門家会合は、下表に示すとおり、テーマ①迅速な画像取得・処理の開発で 3 回、テーマ②画像・基盤情報の利活用に関する開発では、地盤について 5 回、火災について 7 回を実施し、それぞれ主題を絞って討議を実施した。

各専門家会合には、国土地理院及び国土技術政策総合研究所の研究担当者が出席している。表には、各会合ごとに招聘した専門家を示した。また、（※）を付与した専門家は、減災総プロ委員会委員を示す。

テーマ① 迅速な画像取得・処理の開発

会合の名称	開催日	専門家
第1回専門家会合	平成21年1月9日	山崎文雄座長（※） 福和伸夫委員（※） 高橋 静 新潟県防災局危機対策課 参事
第2回専門家会合	平成21年2月4日	福和伸夫委員（※） 金藤康昭 中部地方整備局企画部防 災対策官 岡寄智孝 中部地方整備局企画部防 災課計画係長
第3回専門家会合	平成22年2月1日	福和伸夫委員（※） 金藤康昭 中部地方整備局企画部防 災対策官

テーマ② 画像・基盤情報の利活用に関する開発（地盤の脆弱性把握のための開発）

会合の名称	開催日	専門家
第1回専門家会合	平成20年8月4日	釜井俊孝委員（※） 宮城豊彦 東北学院大学教養学部教 授 二木幹夫 （財）ベターリビングつく ば建築試験研究センター 長
第2回専門家会合	平成21年2月18日	瀧川道夫 川崎市まちづくり局指導 部建築監察課長
第3回専門家会合	平成21年6月26日	釜井俊孝委員（※） 宮城豊彦 東北学院大学教養学部教 授
第4回専門家会合	平成21年11月4日	二木幹夫 （財）ベターリビングつく ば建築試験研究センター 長
第5回専門家会合	平成22年2月2日	澤田雅浩 長岡造形大学造形学部建 築・環境デザイン学科准 教授

テーマ② 画像・基盤情報の利活用に関する開発（市街地火災総合対策支援ツールの開発）

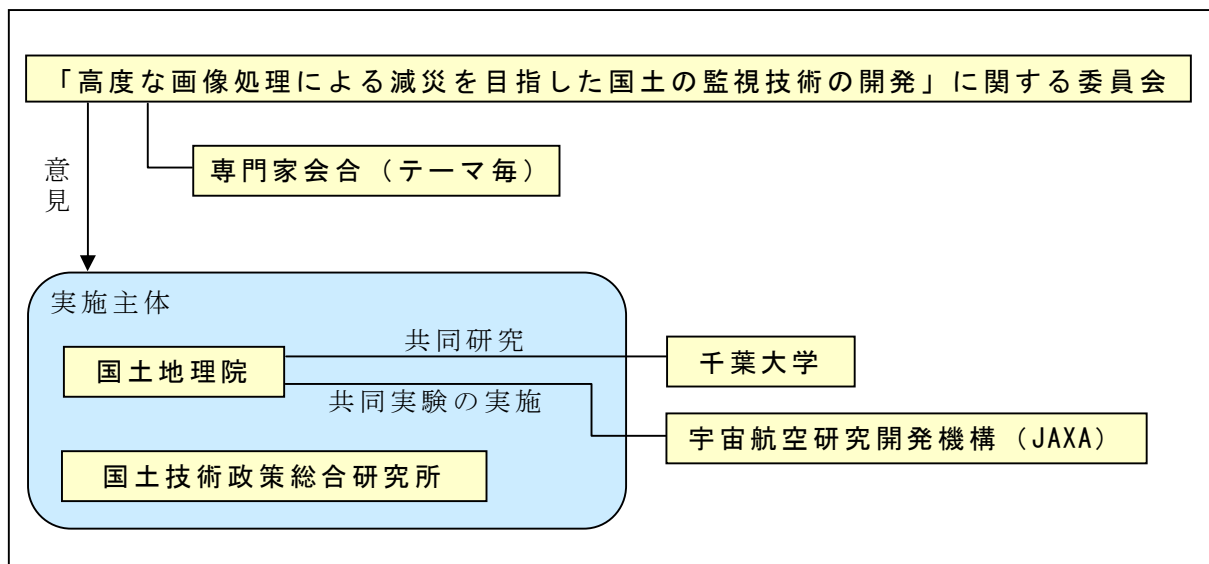
会合の名称	開催日	専門家
第1回専門家会合	平成20年8月7日	糸井川栄一委員（※） 大宮喜文 東京理科大学理工学部准教授 加藤孝明 東京大学工学研究科助教 中川美菜子 墨田区都市計画部建築指導課不燃化担当（第3回～） 齋藤栄志 荒川区都市整備部住環境整備課防災まちづくり担当（第3回～） 平田貴栄 大阪市都市整備局企画部防災・耐震化計画担当（第3回～）
第2回専門家会合	平成20年12月8日	
第3回専門家会合	平成21年3月19日	
第4回専門家会合	平成21年10月21日	
第5回専門家会合	平成21年11月27日	
第6回専門家会合	平成22年1月15日	
第7回専門家会合	平成22年2月18日	

5. 共同研究及び共同実験の実施

本研究の実施にあたって、テーマの一つである迅速な画像取得・処理の開発におけるデジタルカメラの迅速な処理の研究に関して、防災にリモートセンシング技術を活用する分野において先導的な研究を実施している研究機関である千葉大学と国土地理院の間で共同研究を実施し、研究開発の効率化を図った。

また、空中写真撮影の作業基地となる飛行場が遠隔地に置かれた場合を想定し、取得された画像データを地上の通信インフラの損傷の影響を受けずに高速で伝送する手段として、平成 20 年 2 月 23 日に打ち上げられた超高速インターネット衛星「きずな」を使用した伝送実験を実施することを目的として、宇宙航空研究開発機構（JAXA）と国土地理院の間で通信衛星を用いた共同実験を実施した。

図－2 に、共同研究及び共同実験を含めた本研究の実施体制を示す。



図－2 本研究の実施体制図（全体）

6. 本研究の Scope

本研究は、リモートセンシングによる画像取得・画像処理によって大規模地震災害における広域の被害情報の抽出を可能とする技術開発と、それらの技術を背景として事前対策に活用する技術開発と各種マニュアルの作成を目的としている。しかし、すべての災害を網羅しようとするとう研究内容が発散してしまうため、どのような被害を対象とするか、すなわち研究の Scope を明確にしておかなければならない。本研究の Scope を図-3 に示した。

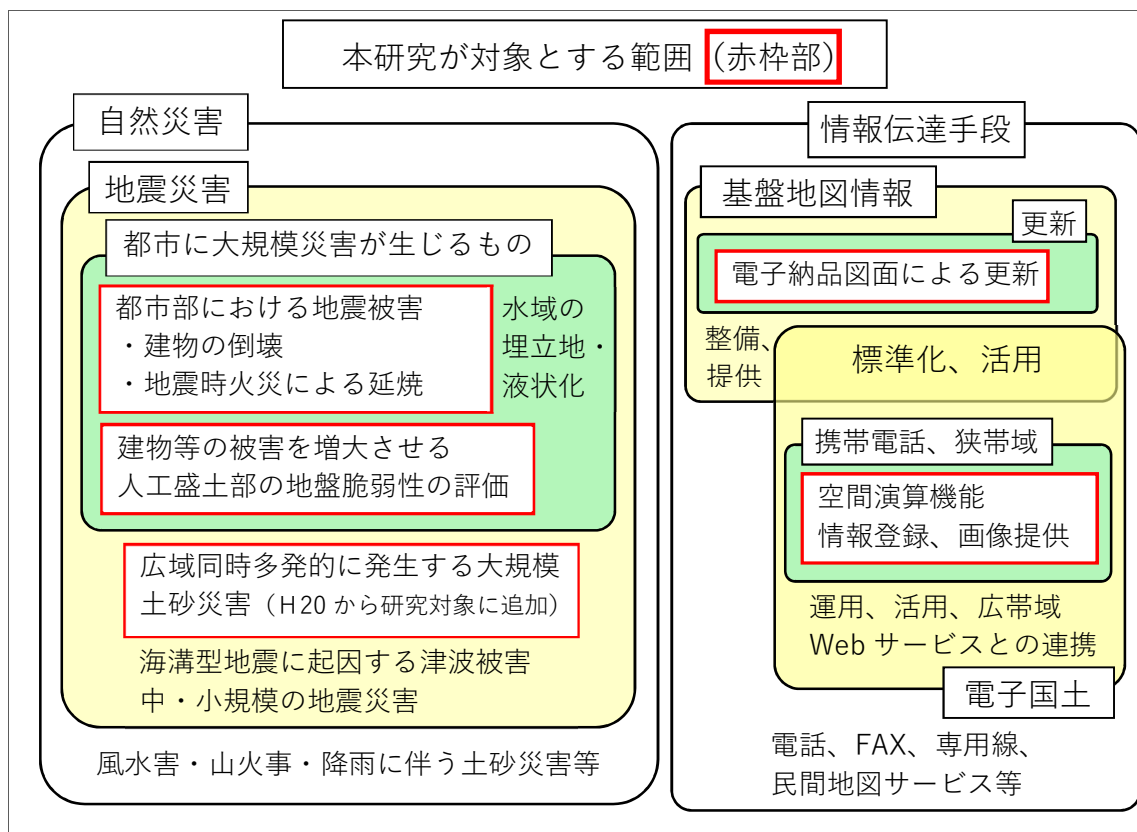


図-3 「高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発」の対象範囲

第 2 章

迅速な画像取得・処理の開発

(1) デジタルカメラの迅速な処理

1. 研究の目的

従来、空中写真の撮影にはフィルム式のいわゆるアナログカメラが用いられてきた。アナログカメラでは撮影には十分な光量が必要で、太陽が傾き始める午後3時以降は露出不足となり撮影が不可能となることがあった。そのため、曇天といった天候の要因を除いても被災地域の写真撮影は発災翌日以降となる例がほとんどであった。また、撮影した空中写真は、初動対応が終わった応急対応期～復旧期にかけて用いられることがほとんどで、広域の被害状況が撮影された空中写真を災害対応の初動期に活用する有効な手段がほとんどないのが実情であった。

一方、航測カメラにも導入され始めたデジタルカメラは、CCDを用いるため従来より高感度であり、かつコントラストの高いデジタル画像が直接得られることから、デジタルカメラを導入することによって撮影機会の拡大と従来よりも高精細な画像処理による詳細な被害状況把握を可能となることによって、災害対応の初動期における被害情報把握として有効に活用できる可能性が高まっていた。

そこで、デジタル航測カメラを用いることを前提として、撮影機会の検証によるマニュアル化と、取得した画像を用いた建物倒壊箇所の抽出アルゴリズムを開発し、それらを迅速に処理することによって災害対応の初動期に活用可能とすることを目的に技術開発を実施したものである。

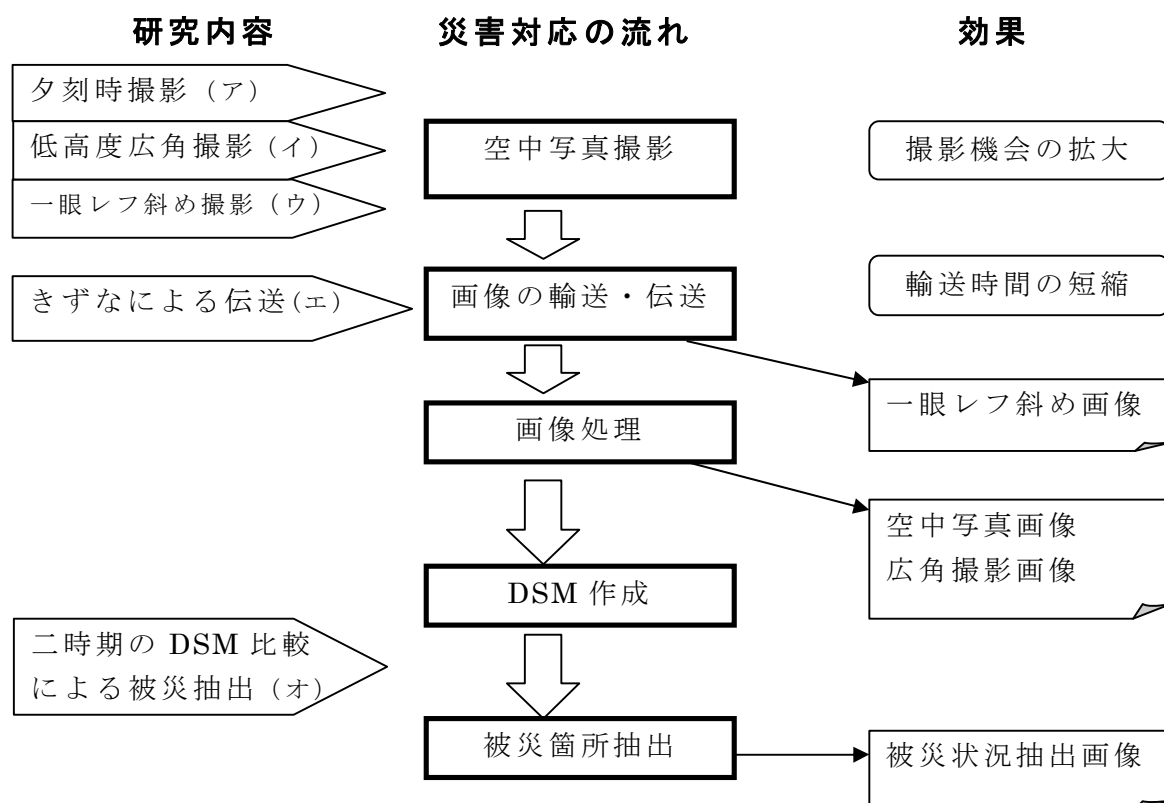
2. 研究の概要

大規模地震災害が発生した際には、空中写真による広域な被害状況の把握が必要となる。そのため、国土地理院は、保有する測量用航空機により被災地の緊急撮影を行っている。近年、航測用デジタルカメラの普及により、従来のフィルム式カメラと比較して撮影機会の拡大、処理時間の短縮、被災状況の抽出などの可能性が見込まれることから、航空機で取得した画像にを用いた被害状況抽出に関して以下の図-1に示す5項目の技術開発及び検証を行った。図-1は、空中写真に関する災害対応時の流れにおける各研究の位置づけと研究成果の適用が想定される場面についてまとめたものである。

また、テーマ②の「市街地火災総合対策支援ツールの開発」で用いる詳細建物データを作成するために、空中写真を用いて三次元図化を実施する研究作業も実施した。

研究内容

- (ア) 夕刻時における撮影可能性の検証
- (イ) 曇天時を想定した低高度広角撮影
- (ウ) デジタル一眼レフカメラを使用した斜め撮影
- (エ) 超高速インターネット衛星「きずな」を利用した画像伝送実験
- (オ) 二時期の数値標高モデル（DSM）による被災箇所の自動抽出



図－１ 災害対応の流れと研究との関係図

3. 研究内容

3-1 夕刻時における撮影可能性の検証

3-1-1 目的

航測用デジタルカメラは、従来のフィルムカメラよりもより広い階調幅で撮影が出来ることから、フィルムカメラでは露出アンダーとなって撮影ができなかった光量不足となりやすい午後3時以降の時間帯でも災害時の状況把握に有効な画像の撮影が可能と考えられる。そこで、災害発生後の迅速な状況把握のため、通常は空中写真撮影を行わない日没前後の夕刻時の撮影を行って、取得した画像からのDSM作成や地物判読の可否を調査し、撮影機会の拡大が可能かどうかを検証することを目的として、実施した。

3-1-2 夕刻時の空中写真撮影

平成19年に京都市内をデジタル航空カメラDMCで撮影し画像を図-2に、撮影の諸元を表-1に示す。この画像からは日没10分後の画像でも道路の白線等の判読は十分可能である。さらに通常時の画像は地物の影による影響が生じるため、場所や地物の種類によっては、日没時の画像が判読しやすい場合もあるという定性的な傾向が捉えられた。

このことから、通常は撮影を行わない夕刻時において撮影された写真でも、被災状況の把握に十分活用できることが考えられ、時間的な制約から

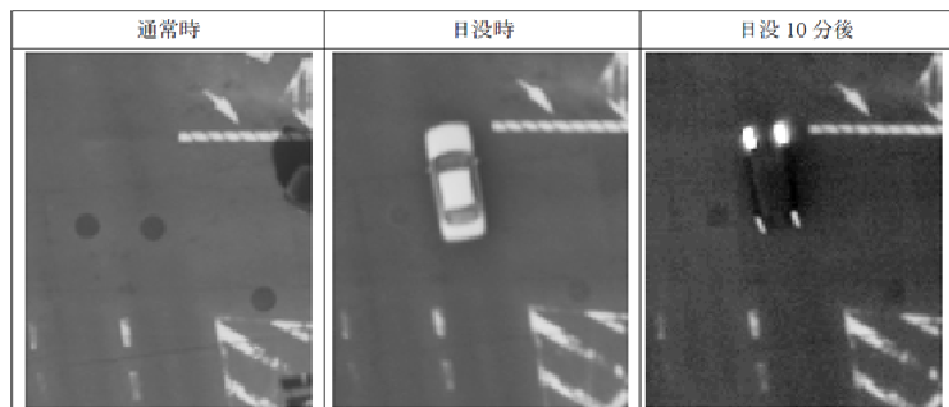


図-2 夕刻時撮影写真（パンクロマティック画像）

従来は翌日の撮影とせざるを得なかったが、発災当日中の撮影が可能となるケースが存在し得ることが分かった。

表-1 京都夕刻時撮影諸元

撮影日	平成19年12月6日
撮影時刻	(日中) 10:27-10:46、(夕刻) 14:55-16:58、[日没時刻 16:45]
地上画素寸法	10 cm
飛行高度	1,000m
焦点距離	120mm
使用カメラ	DMC

3-1-3 明るさと撮影可能時間帯の検証

京都夕刻時撮影の結果を踏まえ、撮影可能時間帯を基準化することを目的として、平成 21 年 4～5 月には徳島空港周辺において複数回の撮影と同時に地上での照度計測を行い、撮影可能時間帯と明るさとの関係を調査した。その結果（図－3）、国土地理院が使用しているデジタル航空カメラ UCD では、露出時間を最大、絞りを開放にした場合でも、以降の画像判読やマッチング処理を考慮すると、2000 ルクス程度以上の明るさが必要となることが判明した。



撮影日時	4/13 12:03	5/26 18:42	4/16 18:33	5/26 19:08
照度	87800 Lx	1867 Lx	473 Lx	206 Lx
露出時間	1/250	1/32	1/32	1/32
絞り	11	5.6	5.6	5.6

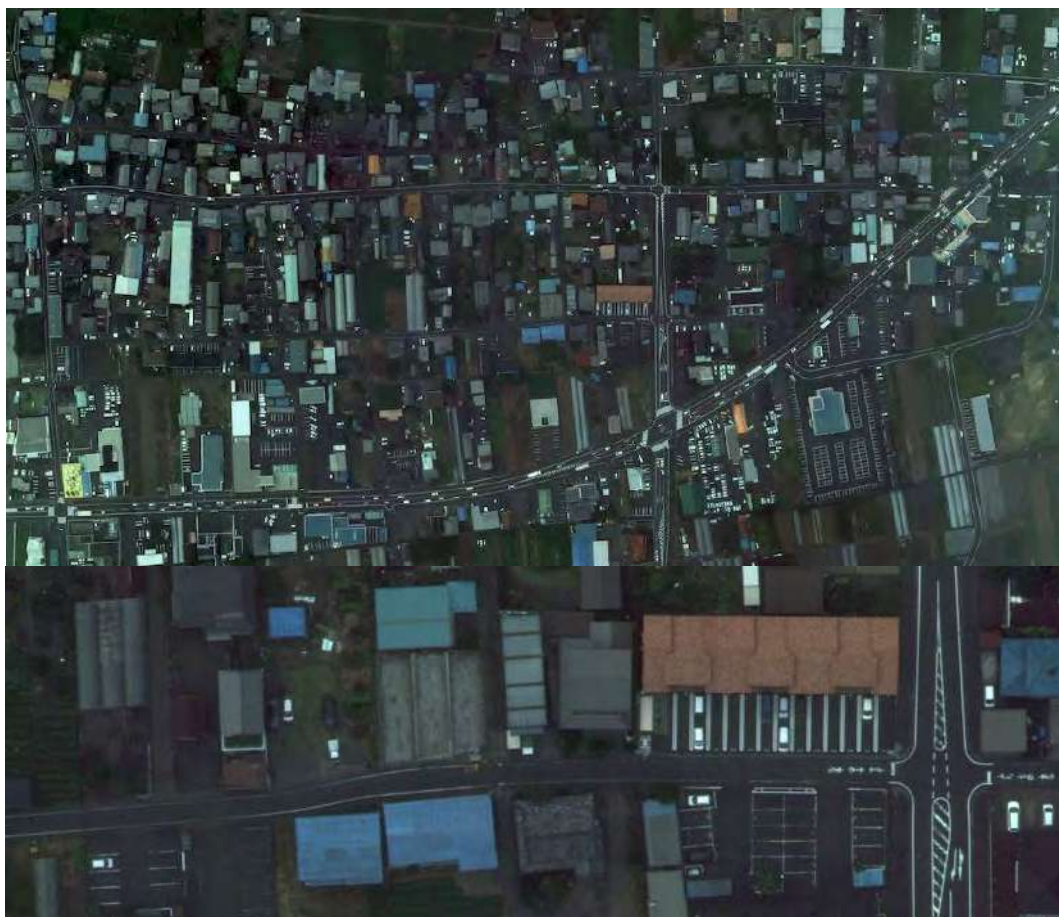
図－3 夕刻時撮影画像と照度計測結果

さらに、条件の一般化のため、国土地理院本院の屋上において3ヶ月間の継続的な照度の計測を行った。その結果、夏場の晴天日に 2000 ルクスを割るのは日没時間の概ね 30 分前であり、明け方に 2000 ルクスを上回るのは日の出 30 分後である。また冬場の晴天日であればそれぞれ日没 15 分前、日の出 15 分後であった。また、日中の照度は、日射の有無により大きな変化があるが 2000 ルクスを下回る照度は観測されず、風速や視程といった条件が整えば明るさの面では曇天時の撮影も問題ないと言える。

このことから、従来は太陽高度 30 度以上の時間帯が空中写真撮影に適しているとされており、一日のうちの 25% の時間しかよい条件で撮影できないとされていたが、航測用デジタルカメラの導入により、一日のうちの 45% の時間において、画質の低下はあるもののデジタルカメラを使った緊急撮影が可能であることが明らかになった。これは、撮影機会が従来より 80% 増加することを意味する。

この結果をもとに、国土地理院では、平成 21 年度にデジタルカメラを用いた緊急撮影のマニュアルを改訂し、大規模災害発生時の民間航測機によるものを含めた緊急撮影体制の再構築を行った。

なお、平成 21 年 8 月に発生した、駿河湾を震源とする地震においては、これらの検証結果を活かし、実際に被災地の緊急撮影を当日夕刻に行い、発災当日の迅速な撮影が可能であることを実証した。（図－４、表－２）



図－４：静岡県牧之原市付近撮影画像（日の入り 50 分前）

表－２　夕刻時撮影諸元

撮影日	平成 21 年 8 月 11 日
撮影時刻	17：26～18：02、[日没時刻（静岡市） 18：41]
地上画素寸法	10 cm
飛行高度	1,150m
焦点距離	105.2mm
使用カメラ	UltraCamD

3-2 曇天時を想定した低高度広角撮影

3-2-1 目的

広範囲の被災状況を捉えるための緊急撮影は 2000m 程度の高度から行われることが多いが、これより下に雲があった場合には、雲の下の被災状況が写真に写らないことや、安全な運行の観点（有視界飛行では雲から一定の距離を取らないと飛行できない）から、撮影をすることができない。仮に撮影高度を下げることであれば、雲の影響は少なくなる反面、飛行機の進行方向に対して一度に撮影できる地域の幅が狭くなることから、撮影面積が狭くなり、同一面積を撮影する際は、高度を下げれば下げるほど撮影時間が長くなり撮影枚数が増えるという二律背反の状況下にある。撮影枚数が増えると後続処理の作業時間が比例して長くなり、結果として処理に時間を要して必要なタイミングで空中写真画像を提供できないことになる。

そこで、一枚の写真でより広い範囲を撮影できる広角レンズを使用することにより、低高度から広範囲を撮影した場合に、災害状況把握という観点から有効な空中写真となるかを調査することを目的として、低高度広角撮影を実施した。広角レンズを用いることによって増大する画像の歪みがどの程度、位置精度に影響を及ぼすかを調査することによって検証した。

3-2-2 低高度撮影の実施

測量用デジタルカメラにより撮影された画像は、解像度を高めるために複数のレンズで撮影した画像を合成しており、さらに色情報として RGB それぞれのデータを別々に記録することや、データ量も膨大なることから、事後の画像処理に時間を要することが課題となっている。一方、一般的に使用されるいわゆるデジタルカメラは、導入に係る費用が安価なこと、取り扱いが容易なこと、撮影後即座に画像が閲覧可能になること等の利点があり、更に高機能化、高画素化が進んでいることから、ここでは市販のデジタル一眼レフカメラに広角レンズを装着し、GPS/IMU 装置を用いた位置姿勢の記録を行いながら、高度 900m の低高度から東京都心地域の撮影を行った。（図-5 及び表-3）



図-5 航空機への搭載の状況（市販のデジタルビデオカメラも同時搭載）

表－３ 低高度広角撮影諸元

撮影日	平成 22 年 2 月 20 日
地上画素寸法	40 cm
飛行高度	900m
焦点距離	14mm
使用カメラ	Canon EOS5D

航空機への搭載にあたっては、一眼レフのカメラを固定する架台を製作し、航空機に装着した状態で耐空検査を受験し、航空法の法規に従って撮影作業を行った。

３－２－３ 広角撮影画像の評価

図－６は、撮影された画像１枚の例である。地上の 2.3×1.5km の範囲が写っており、これは測量用デジタルカメラ UCD で高度 2300m から撮影した場合の範囲に相当する。また、建物の倒れ込みが特に画像周辺部において顕著であり、建物の側面の確認が容易である一方、高層建物により遮蔽される範囲も多くなることが見てとれる。

図－７は、撮影された写真から 10m メッシュ標高データを使用して作成した

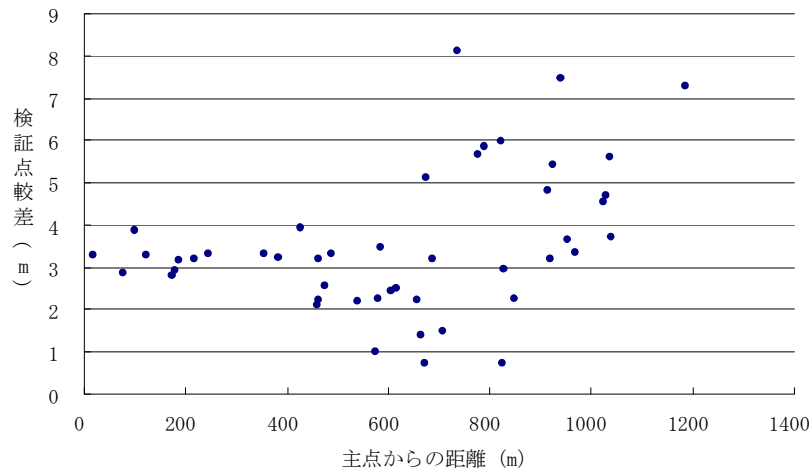


正射写真の平面位置精度を、写真の中心位置（主点）からの距離の関係としてあらわしたグラフである。中心から概ね 600m の距離では、誤差 4m 程度に収まっているが、それより距離が離れると、レンズの幾何学的な特性により、誤差が大きくなる傾向があることがわかる。

また、撮影機会の拡大については、成田及び羽田空港上空の雲量とその高度に関して、約一年間の気象観測情報の統計をまとめたところ、日中において、高度 1800m から撮影して雲に遮られない可能性は 11% しかないが、撮影高度 900m であればその確率は 49% にまで高まることから、統計的にも低高度からの撮影は撮影機会の拡大に大きく貢献することが確認された。本技術は、精度よりも早さが優先される発災初期段階の情報把握の可能性を高める技術と

図－６ 広角撮影画像

して有効であると思われる。実際の適用に当たっては、画像の特性や精度に留意し、災害の種類（建物倒壊か土砂災害か等）や撮影する地域（都市部か山間部か等）を考慮しながら、航空測量用カメラとの使い分けや、最適な撮影コースについて検討する必要がある。



図ー 7 広角画像から作成したオルソの主点からの距離と誤差の関係

3-3 デジタル一眼レフカメラを使用した斜め撮影

3-3-1 目的

国土地理院が災害時の緊急撮影に使用している航空機は、平成 22 年度に機種改変し、航測カメラ用の架台が 2 基設けられる計画である。このうち 1 基は、空中写真撮影に使用されるが、もう 1 基余裕があることから、本研究で行う DSM を用いた二時期比較による被害抽出では抽出されない、建物の高さ方向の変化を伴わない建物側面の被害を把握するために、カメラを斜めにセットして面的に斜め撮影を実施した。

また、直下写真よりも斜め写真の方が直観的に状況を把握しやすいことから、写真に迅速に地名などを挿入する技術を併せて開発し、直下写真による画像処理をする期間における簡易な被害状況把握に用いることを想定した技術開発を実施した。

表ー 4 カメラ及びレンズの諸元

3-3-2 斜め撮影の方法

通常の航空測量用カメラを搭載した飛行機に、デジタル一眼レフカメラを設置し、斜め撮影を行った。測量用の写真は直下方向のみを撮影するため、それと同時に斜め方向の撮影を実施しより多角的な画像を得ることにより、状況を直感的にとらえ複雑で立体的な都市災害を把握するのに有効である。

機種名		Pentax K20D
画素数		4672×3104(1460 万画素)
焦点距離		31mm
画角	長辺	43 度
	短辺	28 度

またデジタル一眼レフカメラは、コンパクトで価格も航測用カメラの約 1/100～1/1,000 と安いため、複数台の設置も可能である。

使用したデジタル一眼レフカメラは、表－4 及び図－8 のとおりである。また、航空機には、通常の測量用カメラ設置のための機体底部開口部を利用して、専用の架台を作成し、図－9 のとおり二台の一眼レフカメラを、それぞれ斜め 45 度角度で対角に取り付けた。

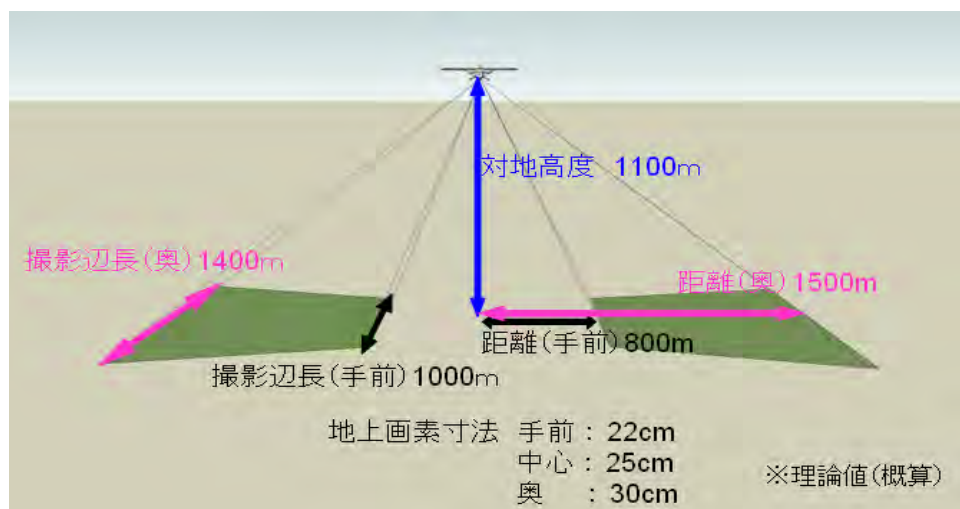


図－8 使用カメラ



図－9 航空機への取り付け状況（左：機体外から見た底部、右：機体内部）

撮影方法は、図－10 のとおり、高度 1100m を飛行しながら一定の間隔で連続的な撮影を行った。また、測量用航空カメラで使用されている GPS/IMU 装置の位置姿勢の記録とも連動させることにより、カメラ 2 台それぞれの外部標定要素を直接算出した。



図－10 斜め撮影方法の模式図

3-3-3 斜め写真の撮影

今回使用した一眼レフカメラは、空中写真撮影時に重要となる、連続シャッター枚数、シャッター間隔、シャッター速度といった条件に制約があり、撮影する画像の地上分解能とそれらのバランスを取りながら機種選定及びコース設計を行う必要があった。図-11 は連続的に撮影した斜め画像をつなぎ合わせる処理を行ったモザイク画像である。ヘリ等から撮影される斜め写真との相違点は、一定間隔で連続的に撮影される点である。これを飛行方向に連続的に貼り合わせた連続斜め画像を作成することができ、簡易な被害状況把握に活用することができる。

また、斜め方向から見ることにより、ビルの壁面、高架下、道路の交差状況等の認識に優れており、現地の状況の直感的かつ容易な認識と、測量用カメラで撮影される垂直写真の死角の補完が可能であることがわかる。また、画質については高度 1100m からの撮影（地上画素寸法 20cm～30cm）であれば、全体的な都市の状況を把握することが可能であるとともに、GPS/IMU で記録された外部評定要素から、画像の位置精度について簡易計測（直接定位）を行ったところ、平面位置で最大 20m 程度の誤差に収まることが確認できた。

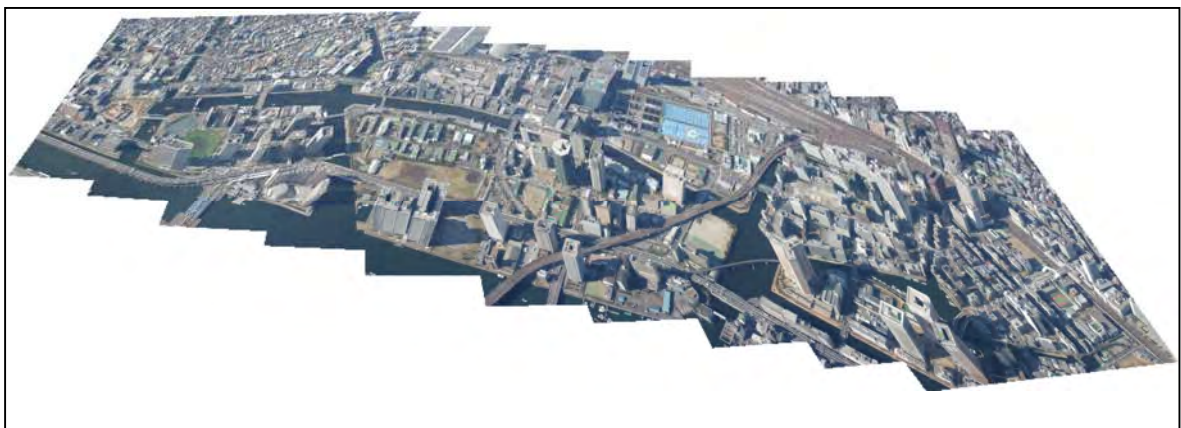


図-11 斜め連続空中写真のモザイク画像

また、別の研究項目である「地上計測車による画像の取得技術の開発」の研究成果である、撮影時の GPS/IMU データをもとに画像に地名を挿入するツールを用いて、斜め写真に写っている場所の地名を挿入した結果を図-12 に示す。カメラのシャッターを押した場所ではなく、写真に写っている箇所の地名等の挿入により、土地鑑が無くても画像の位置の特定が容易になる。



図－12 地名の挿入ツールの処理の結果
(地形図のデータを使用しているため、駅名がひらがなで表示されている)

3－4 超高速インターネット衛星「きずな」を利用した画像伝送実験

3－4－1 目的

空中写真撮影後の画像は、データ量が合計数十 GB～数百 GB に達することから、既存の通信インフラで伝送することができず、ハードディスクに記録して飛行場から国土地理院本院までの陸送に頼っている。これらに要する時間が、災害の初動対応期における迅速な画像提供を行う上で無視できないボトルネックとなっている。

従来は、フィルムカメラによる撮影であったため、フィルム自体を陸送するしかなかったが、デジタルカメラの導入により画像が直接デジタルデータとして取得できることから、広帯域・可搬性の通信インフラさえ確保できれば、技術的には空中写真画像をデータとして伝送できると見込まれていた。

一方、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が平成 20 年 2 月に超高速インターネット衛星「きずな」の打ち上げに成功したことから、数十 Mbps という広帯域・可搬型の通信インフラが利用できるようになった。これが利用できれば、遠隔地での空中写真撮影であっても着陸後数時間でデータを国土地理院に伝送して後続の画像処理に供することができ、大幅な処理時間の短縮が見込まれる。そこで、「きずな」を利用した空中写真伝送が現実的に可能かどうかを検証するとともに、利点及び問題点を把握し、今後の運用について評価を行うことを目的

とし、実際の災害を想定した実験を JAXA と共同で実施した。

3-4-2 伝送実験の概要

緊急撮影実施時に測量用航空機が利用する可能性がある飛行場は複数存在するが、データを送信する基地として、海上自衛隊徳島基地を選定した。その理由は、本院からの機材の陸送が現実的でありかつ伝送の効果が大きい距離帯（700km）にあると考えられること、測量用航空機の運行部隊が駐留しており実験の調整が行いやすいこと、実験の時期に実際に撮影を実施していることによる。データの受信はつくばの JAXA 筑波宇宙センターで行った。

現地からのデータの送信には、JAXA のアンテナ、「可搬型 VSAT」一式を借り受け、実際の災害発生時を想定してアンテナを国土地理院本院から徳島基地まで陸送し、アンテナ組み立て、通信確立、画像の伝送、アンテナ分解までを行い、特に伝送時間について評価した。図-13 に「きずな」用可搬型 VSAT アンテナと徳島基地におけるその設置状況、図-14 に可搬型 VSAT アンテナの装備一式と車両への積載状況を示す。

● 徳島基地伝送実験スケジュール

5 月 22 日（金）	アンテナ一式 JAXA から国土地理院が借受
5 月 24 日（日）	アンテナ一式 陸送（本院→徳島基地）
5 月 25 日（月）	アンテナ設置、当日午後に「くにかぜ」が撮影した画像を伝送
5 月 26 日（火）	効率的な伝送手法の検討
5 月 27 日（水）	アンテナ設置・撤収訓練
5 月 28 日（木）	フェリーにて帰還
5 月 29 日（金）	アンテナ一式 国土地理院から JAXA に返却

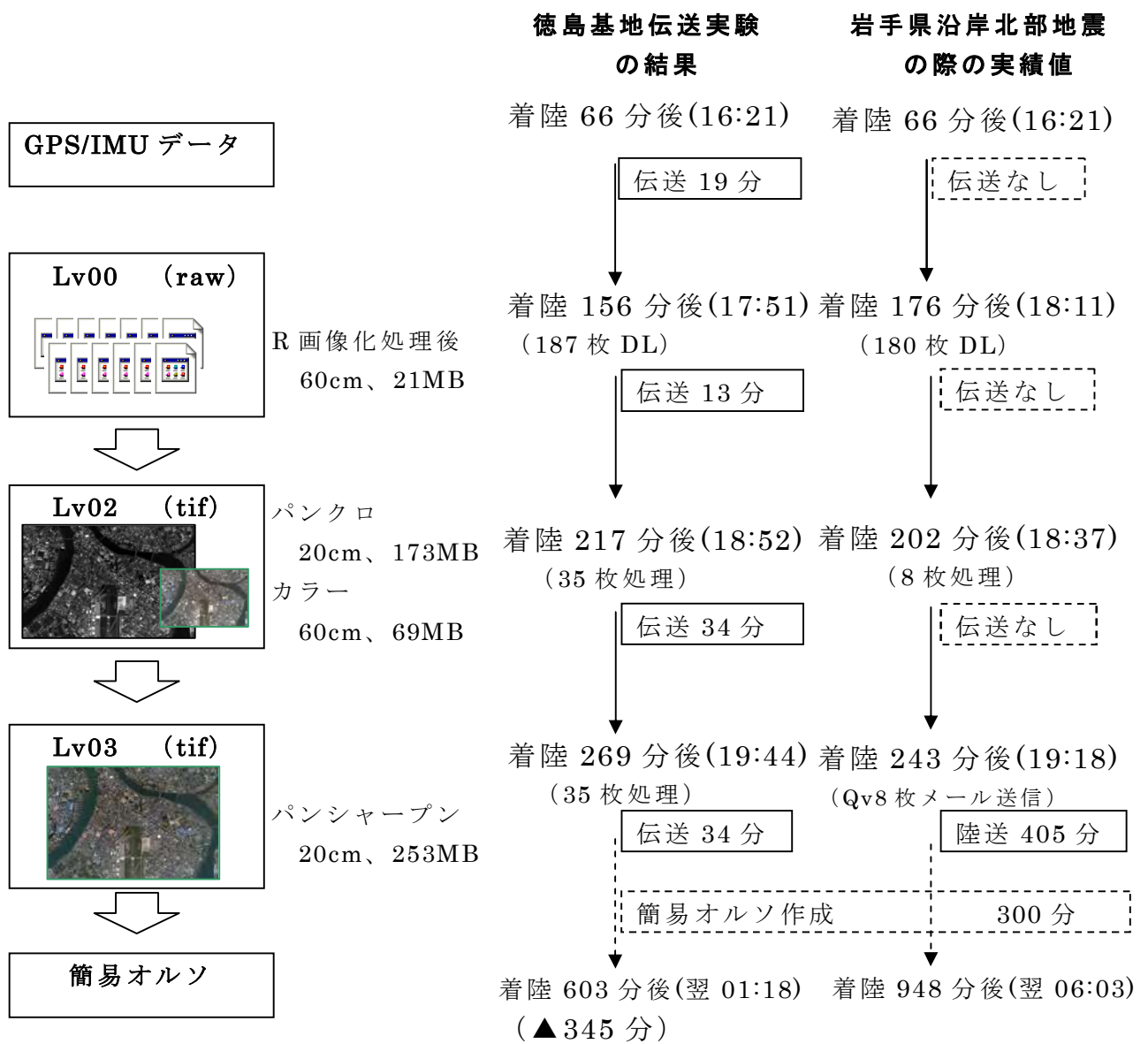
※「きずな」の衛星リソースは、5 月 25 日～27 日まで確保した。



図-13 アンテナ設置状況（左側写真奥の青い機体が「くにかぜⅡ（当時）」）



図－14 機材一式（左）と官用車への搭載状況（右）



図－15 徳島基地伝送実験と岩手県沿岸北部地震時の緊急撮影との比較

3-4-3 伝送実験の評価

図-15に示すとおり、徳島基地伝送実験の結果と、国土地理院が初めてデジタルカメラによる地震災害の緊急撮影を実施した平成20年岩手県沿岸北部地震の際のデータ陸送の実績値を比較したところ、「きずな」を使用することで約6時間の時間短縮効果が得られることが分かった。

緊急撮影における有効性が大きいことが判明したため、研究期間中ではあったが平成21年度中に緊急撮影時に「きずな」を使用する協定をJAXAと締結した。また、地方整備局等の出先機関においても「きずな」を使用した大容量通信を可能とすべく、「きずな」による通信の設定方法や伝送方法を手順書として取りまとめた。

3-5 二時期の数値標高モデル(DSM)による被災箇所の自動抽出

本研究項目は、3-2から3-4の研究項目が画像取得に関するものであったのに対し、それらで取得された画像を処理することによって被害状況の抽出を行おうとする研究項目である。

3-5-1 目的

大規模地震災害では、建物の倒壊や土砂災害の発生状況などを画像取得後迅速に把握することが求められる。このため、航測用デジタルカメラにより撮影された画像から作成された被災前後二時期の数値標高モデル(DSM)から自動処理によって迅速に被災状況を抽出する手法の開発と検証を実施した。

3-5-2 倒壊家屋の自動抽出

平成19年新潟県中越沖地震に見舞われた柏崎市中心部を対象地域として、災害発生前後二時期のDSMを使用し、建物一棟単位での倒壊情報を抽出する手法の検討を行った。

倒壊家屋抽出手法の処理工程を図-16に示す。本手法ではまず、災害発生前(2007年4月)及び災害発生後(2007年7月)に撮影された二時期の空中写真を使用して、それぞれ

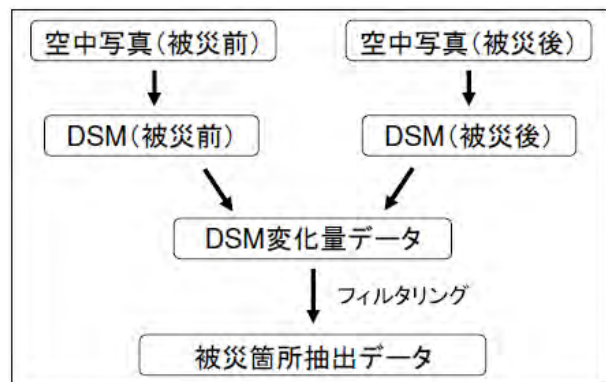


図-16 倒壊箇所抽出処理工程

のDSMを作成した。その際、建物一棟単位での倒壊情報を抽出するため、一般的な図化ソフトではなく、空中写真の地上画素寸法とほぼ同等のメッシュサイズを持つ高密度なDSMが作成可能な市販のステレオマッチングソフトウェアを利用した。そして、二時期のDSMの差分をとり、1時期目(災害発生前)よりも2時期目(災害発生後)の方が低くなっている箇所を抽出した。但し、このDSM変化量データには種々のノイズが含まれているため、次の工程として以下のフィルタリング処理を行った。

- [1] 標高差分値が2m以下の部分を削除
- [2] 標高差分値が8m以上の部分を削除
- [3] 水平方向に関しておよそ3m四方の矩形を内包できない抽出点群を削除

[1]の処理は、二時期の写真で自動車等の位置が変化すること起因するノイズや、二時期のDSM間における高さ方向の全体的なズレに起因するノイズを除去するために行うものである。今回は、普通自動車の車高以上であり一般家屋の1階層分の高さ以下である2mを閾値として設定した。[2]の処理は、ステレオマッチングによって生じるノイズの除去を目的としたものである。ここでは、中高層ビルは倒壊しないと仮定している。[3]の処理は、二時期のDSM間における水平方向の全体的なズレに起因する線状ノイズや、建物とは認められないほど小さな抽出箇所を除去するために行うものである。図-17にその処理イメージを示す。この処理ではまず、DSM変化量データに存在する抽出点群（図-17の緑色部分）内の或る注目点を中心として、方位角0°から175°までの12本の直線を引く。次に各直線と抽出点群との重複部分（図-17の赤色、桃色、橙色に相当する部分）の長さをそれぞれ計測する。そして、その1本でも3mに満たない場合にはノイズであると判断して除去する。以上の処理を経て、最終的な倒壊箇所抽出データを得る。

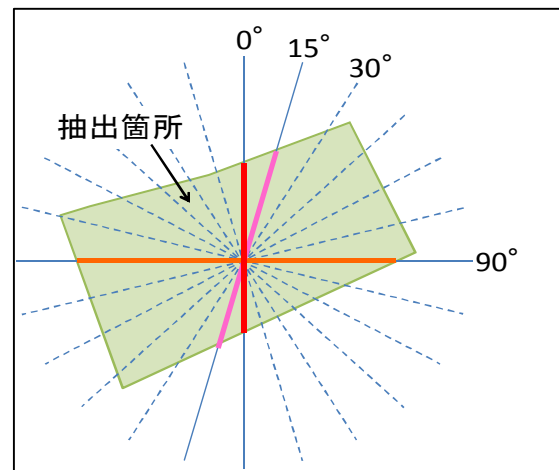


図-17 フィルタリング[3]のイメージ

図-18に比較前後の画像と抽出結果を示す。現地検証により、本手法で倒壊家屋として抽出した建物のおよそ9割は実際に倒壊していたという

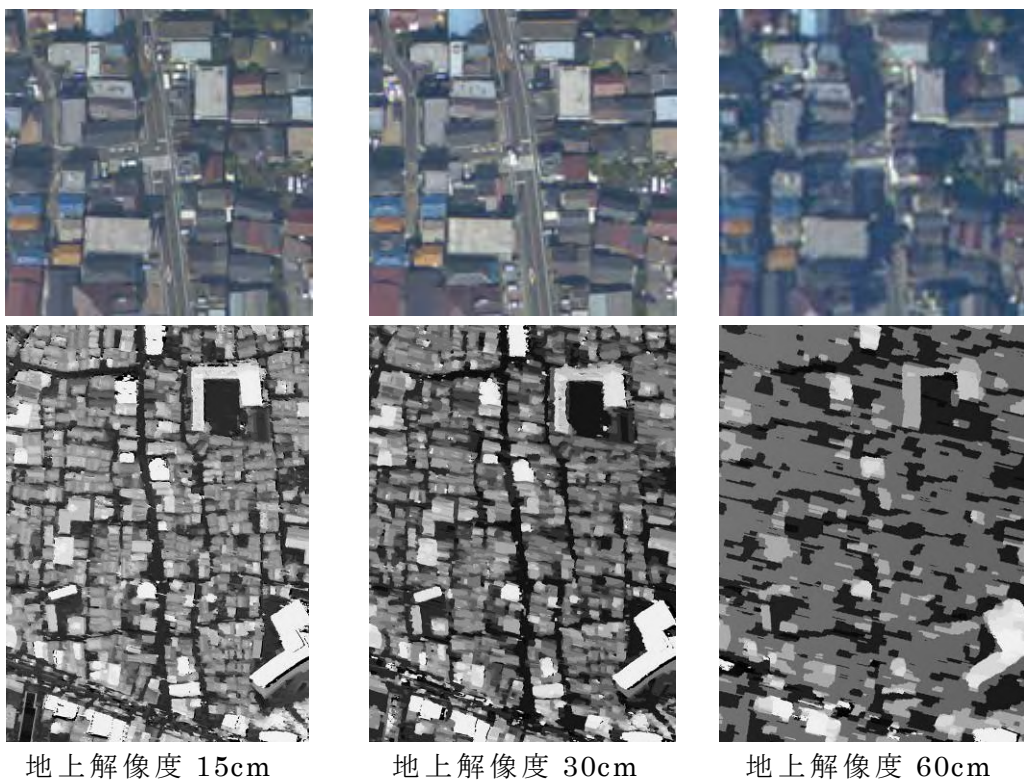
結果が得られた。また、30km²のDSM作成には20時間程度必要であるため、撮影から倒壊家屋抽出完了までにかかる時間は、災害発生前DSMの存在を仮定した場合、今回の6モデルの範囲では約48時間が必要となる。

抽出した結果を評価するため、対象地区の現地調査結果、地上計測車で得られた360度映像及び空中写真の写真判読によって、倒壊家屋として抽出された箇所の正確度を調査した。その結果、自動抽出による倒壊家屋数95に対し、実際に消失（全壊）していた家屋数86、抽出できなかった倒壊家屋11となり、プラスマイナス10%程度の誤抽出率を含むものの、概ね90%の倒壊家屋が抽出されていた。

また、地上解像度と撮影効率はトレードオフの関係にあるため、本手法に最低限必要な写真の地上解像度の検証のため、異なる解像度の写真からDSMを作成した。その結果、図-19のとおり、60cm解像度では建物を個別に識別することは不可能であり、最低でも30cm程度の地上解像度が必要であることが明らかになった。



図－18 DSM の比較による倒壊家屋自動抽出



図－19 地上解像度の異なる写真から作成した DSM

3-5-3 土砂災害箇所自動抽出

平成 20 年 6 月に発生した岩手・宮城内陸地震による大規模な土砂災害を対象に、図-20 に示すとおり、被災前後の空中写真から作成された二時期の DSM を比較し、その変化からの土砂災害箇所の自動抽出を行うことができるかについて検証した。

抽出は、まずデジタル図化ソフトを使用してメッシュサイズ 5 m で作成した二時期の DSM から、誤差や樹木の影響を考慮して、10m 以上の高さ変化部分のみを抜き出し、さらに細かい箇所を排除するフィルタリング処理を行った。図-21 は、特に被害が大きかった地区についての処理結果を、図-20 と同様に被災後に標高が高くなった部分をピンク、低くなった箇所を青で示したものである。

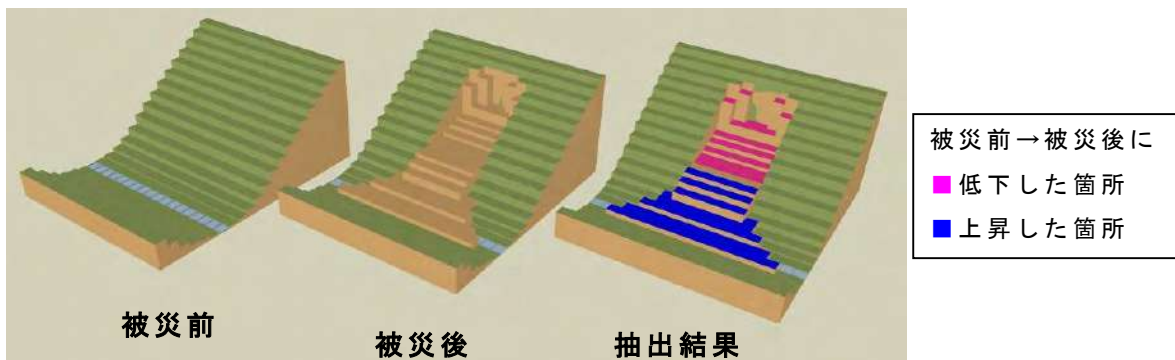


図-20 DSM の二時期比較による、土砂災害箇所抽出手法の概念図

抽出結果には一部に小規模な崩壊の抽出漏れや誤抽出も見られた。これは使用した写真が、前後ともアナログカメラによる撮影であったこと、5 m メッシュという粗い DSM による判定であること、さらには樹木の倒れこみが補正されていないことが原因と思われる。しかしながら、従来の画像処理による土砂災害の抽出は、植生がなくなったことを唯一のキーとして、色調・テクスチャ・NDVI 値等の変化部分を抜き出すことに拠っているのに対し、今回の手法では、ある程度の高低差が生じていれば、地すべりによる土塊移動のような表層の乱れを伴わない崩壊地の抽出もある程度可能であることが分かった。



図－21 土砂災害抽出結果

3－6 三次元詳細建物データの図化による取得

3－6－1 目的

本プロジェクトで国土技術政策総合研究所が実施している「市街地火災総合対策支援ツールの開発（テーマ②）」において、精度の高い延焼シミュレーションを実現するための建物データ作成を目的として、ステレオ空中写真画像から詳細な建物形状の図化を行った。

詳細な三次元モデルが必要とされたことから、三次元モデルに必要とされる面の定義などを行い、実在の街区の三次元データを空中写真から高精度に取得する際に必要となる要件を整理した。

3-6-2 三次元モデルの取得

対象とした地区は、木造の一般家屋が密集しており、一度火災が発生すると被害が大きくなると予想される東京都荒川地区とした。延焼シミュレーションにあたっては、建物各層毎の形状や屋根形状が重要な入力データとなるため、建築構造物の階層及び屋根の形状を精密に計測した三次元モデルを作成した。図-22 に、図化データの例を示す。右の図が実際のデータを表示したものであり、外周ポリゴン(階層別)および屋根ポリゴンをそれぞれ属性分けしている。

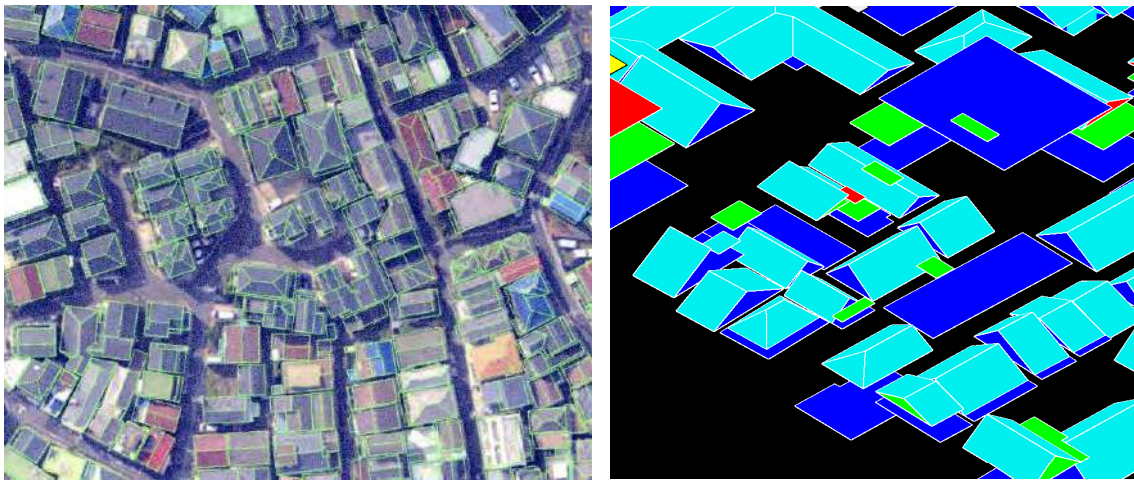


図-22 三次元図化データの例

3-7 まとめ

得られた成果と課題等を表-5のとおり示す。本研究により、航空機からの写真撮影に関する災害対応の各段階について「撮影機会・手段の拡大」、「提供までの時間の短縮」、「被災状況の自動抽出」を可能とすることを達成することが出来たといえる。平成22年度より就航予定の「くにかぜⅢ」はこれまでより機体も大きく、通常の航測用カメラと一眼レフカメラの同時搭載など、今回開発した技術を十分に発揮する能力を有しており、今後、実用化に向けた課題の解決により、より迅速で幅広い災害対応に役立つことが期待される。

表－５ デジタルカメラの迅速な処理に関する技術開発のまとめ

研究内容	目的	成果	課題等
(ア) 夕刻時における撮影可能性の検証	従来撮影を実施していなかった時間帯への撮影機会の拡大	・デジタルカメラの導入により、撮影機会の 80% 増加 ・緊急撮影マニュアルとしてとりまとめ	光量不足により発生する画質低下及びノイズ等への対応
(イ) 曇天時を想定した低高度広角撮影	従来不可能であった気象条件下への撮影機会の拡大	・低高度であるほど、撮影機会が拡大することを確認 ・画像中心付近であれば 4 m 程度の平面位置精度を確保できることを確認	・適切な撮影コースの設定に関する検討 ・撮影画像の処理方法の検討
(ウ) デジタル一眼レフカメラによる斜め撮影	・斜め写真から従来にない情報を得る ・処理時間を大幅に短縮する	・斜め写真で垂直写真の死角を補完 ・概況の直感的な把握が可能 ・地名の挿入による迅速な状況把握	・撮影画像の処理方法の検討 ・効率的な提供方法の検討
(エ) 超高速インターネット衛星「きずな」を利用した画像伝送実験	撮影から処理までの時間の短縮	・着陸から 2 時間以内の第一報の情報提供 ・従来よりも最大 6 時間程度の提供時間の短縮 ・伝送手順書をとりまとめ	・技術保持のための継続的な訓練実施 ・機材の省力化、効率的な輸送の検討
(オ) 二時期の数値標高モデル (DSM) による被災箇所の自動抽出	被災状況を自動で抽出する	・建物密集地における、高精度な倒壊家屋の抽出 ・山間部における、土砂災害の全容の把握	・災害前後の DSM を作成に多大な時間と手間を要する。 ・被災前のステレオ写真が撮影されている必要がある
三次元詳細建物データの取得	事前対策のための基礎資料の提供	・ステレオ図化による建物の精細な三次元形状の取得に必要な要件を整理	

(2)「だいち」による災害状況把握

1. はじめに

本研究は、大規模地震発生時の広域的な災害状況を迅速、効率的に把握することを目指して、衛星画像の位置合わせに関する研究（以下、「衛星画像の位置合わせ」）、災害前後の衛星画像からの変化情報の抽出に関する研究（以下、「変化情報（被災可能性箇所）の抽出」）の2課題を中心に、陸域観測技術衛星「だいち」を主とした衛星画像の処理、解析技術の開発を行ったものである。

2. 本研究の概要

「だいち」は光学センサである PRISM、AVNIR-2 及び合成開口レーダである PALSAR を搭載している。本研究では、データ撮影までにかかる日数や解析の容易性、多様性等を考慮して、ポインティング機能により 1～3 日以内に災害域の画像撮影ができ、かつ可視から近赤外までの4バンドを有する AVNIR-2 の使用を主とし、「衛星画像の位置合わせ」について、衛星の軌道姿勢情報あるいは手動で取得した基準点を用いて地理情報との位置合わせを行う技術、この結果を用いてオルソ補正を行う技術及び災害前後（2時期）のオルソ画像を自動で精密に重ね合わせる技術の検討を行った。これら作業の成果としては、地図と正確に重なる（オルソ）補正済みの画像及び各種地理情報との重ね合わせ画像が得られることとなる。また、「変化情報（被災可能性箇所）の抽出」は、災害前後の重ね合わせ画像から抽出した変化情報より災害状況を把握するための技術検討である。これら作業の成果として、広域被災状況の早期把握を容易に行うための変化抽出画像が得られることとなる。

3. 衛星画像の位置合わせ

(1) 斜め撮影画像からのオルソ画像作成

AVNIR-2 斜め観測画像から単画像オルソを作成するための手法として、以下の3種の手法について検討を行った。

- ① 「衛星の軌道情報、姿勢情報」を基に位置合わせを行う方法
AVNIR-2 レベル 1B1 データに記録されている軌道・姿勢情報等を使用して、AVNIR-2 幾何センサモデルにより画像位置を求め、オルソ画像を作成する。
- ② 「PRISM による位置参照画像」を基に位置合わせを行う方法
PRISM レベル 1B2 直下視画像を位置参照画像として、AVNIR-2 斜め観測画像を手動または半自動で位置合わせを行い、AVNIR-2 画像の位置を求め、オルソ画像を作成する。
- ③ 「1/25,000 地形図」を位置参照として位置合わせを行う方法
AVNIR-2 画像と 1/25,000 地形図との対応点から位置合わせを行い、オルソ画像を作成する。

これらの精度を比較した結果について表－１にまとめる。

表－１ 衛星画像の位置合わせに関する検証結果まとめ

位置基準データ			衛星の軌道姿勢情報	PRISM画像	1/25000地形図
精度	評価シーン数		1	1	1
	平均 (m)	X	-132.3	0.0	-2.6
		Y	-19.0	-3.1	-0.9
	標準偏差 (m)	X	5.5	3.3	3.0
		Y	4.5	2.6	2.4

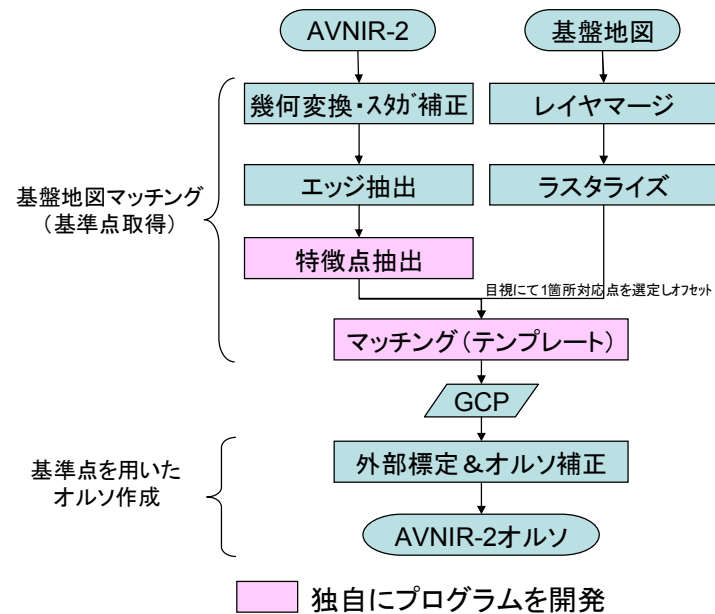
衛星の軌道姿勢情報のみを用いた場合は、130m 程度の誤差が発生した。これは 1 シーンのための結果ではあるが、JAXA 公表の AVNIR-2 幾何精度スペックにはほぼ当てはまり妥当な結果と言える。ただし、検証に使用したエリアは比較的平坦であったため、DEM との位置ずれによる相対誤差(標準偏差)の低下は認められなかったが、エリアが急峻である場合は、地形歪みが補正しきれずに相対誤差が低下する可能性もある。PRISM 画像及び 1/25,000 地形図を位置参照とした場合は、それぞれの手法で平均標準偏差ともにほぼ 5m 以内で補正ができており、センサ解像度(10m)からみて妥当なレベルとなっていることを確認した。

(2) 基盤地図情報と衛星画像との自動位置合わせ

(1)の検討結果により、衛星の軌道・姿勢情報のみを基に位置合わせを行うよりも GCP 等の基準点を使用した方が精度良く位置合わせできることが確認された。ただし、基準点の取得はマニュアル作業となるため作業効率の点では不利となる。よって、AVNIR-2 画像に対する基準点を自動で取得することを目的として、基盤地図情報（2 万 5 千分の 1 レベルのベクトル形式）と AVNIR-2 画像特徴のマッチングを自動で行うためのアルゴリズムを検討した。

本研究では、柏崎地区および岩手・宮城地区の AVNIR-2 の 1B1 画像と基盤地図情報を用いて、図－１に示すフローでオルソ作成を行うとともに、検証点を用いて精度評価を行った。

COTS (Commercial off the shelf)製品（LPS）に実装されている機能についてはそれを利用し、実装されていない機能（図－１に示すフローのピンク色の部分）については独自にプログラムを開発した。



図－１ オルソ作成のフロー

1) 基盤地図情報とのマッチング技術の開発

AVNIR-2の1B1画像と1/25,000基盤地図情報とのマッチングにより、基準点を取得する技術を独自に開発した。ただしマッチング用データの前処理については、LPSのver.9.1及び9.2を使用した。

① データの前処理

a. 幾何変換・スタガ補正

AVNIR-2の1B1画像の幾何変換・スタガ補正には、LPSのver9.1用ESRIジャパン製ALOSインポータを使用した。

b. エッジ抽出

幾何変換・スタガ補正を実施したAVNIR-2画像について、LPSのエッジ抽出の機能を使用してエッジ抽出を行った。

c. 基盤地図情報レイヤのマージ&ラスタライズ

基盤地図情報の中から、AVNIR-2の画像から抽出したエッジに対するマッチングに有効と考える海岸線、軌道の中心線、建築物の外周線、水涯線および道路縁のレイヤをArcGISのMerge機能を利用してマージした。また、マージされたレイヤについて、ArcGISのラスタ変換機能を用いて、AVNIR-2の地上解像度10m(0.000165173567°)に合わせてラスタライズした。

② 基準点の取得

a. エッジ画像の2値化およびノイズ削除

AVNIR-2から抽出したエッジ画像について、2値化およびノイズ削除を行った。2値画像のノイズ削除には線幅1画素の要素は保存できるようなアルゴリズムを採用した。

b. 特徴点の抽出

特徴図形を抽出するために、まず 2 値化画像に対して 8 近傍ラベリングを行った。ラベリングされた図形のピクセルの合計値に上限値と下限値を設定し、その範囲から外れる図形は使用しないものとして塗りつぶした。

得られたラベリング情報を用いて、図形の重心を特徴点、図形全体を包含する矩形領域をテンプレートマッチング時のテンプレート画像として使用した。

c. マッチング

特徴点抽出で得られた情報を元に、地図画像に対してテンプレートマッチングを行った。

テンプレート画像のサイズが小さい場合、地図画像にわずかな白ピクセルしかない場合でもマッチング度合いが高く算出される場合があるので、この条件とは別に、地図画像側に白のピクセルが最低 10% 存在していることを制約条件として付加した。一方、衛星エッジ画像はテンプレート画像がほとんど白ピクセルとなる場合があるため、テンプレート画像に最低 30% の黒画素が存在していることを制約条件として付加した。

d. 基準点の取得

マッチングによって得られた座標値は、幾何変換した画像の画像座標と地上座標の経緯度値であるが、最終的な基準点(GCP)としては、幾何変換前の画像座標と地上座標の UTM 座標値が必要であるため、座標変換を行った。座標変換は、LPS により付加される GeoTIFF のタグ情報を利用した。また同時に 10m メッシュ DEM もしくは 50m メッシュ DEM データから高さを付与し、後のオルソ作成処理で利用し易い形式で出力した。

2) オルソ画像の作成

1)で取得した基準点(GCP)を用いた精度評価用オルソ作成には、LPS の ver9.2 を使用した。オルソ画像の作成の検討では、軌道情報と姿勢情報に加えてこれら GCP を用いた外部標定計算を行う方法を採用した。また、オルソ補正に使用する標高データ(DEM)について、異なる DEM を使用した場合の影響を調査するために 50m メッシュ DEM 及び 10m メッシュ DEM の 2 種類を使用した。

3) 精度評価

作成した AVNIR-2 オルソ画像に対し検証点を選定して精度評価を行った。各オルソ画像の精度誤差統計値を表 2 に示す。なお、表 2 における誤差統計値は、各検証点の地図上における X 誤差及び Y 誤差の Root Sum Square (RSS: $(X^2 + Y^2)^{0.5}$)に基づく。

表－２ 各オルソ画像の誤差統計値

作成 オルソ名	ポイン ティング 角	雲量	マッチ ング特 徴点 数	採用 GCP数	検証点 数	誤差統計値 (m)				
						平均	SD	RMS	最大	最小
柏崎1	-41.5	11～20%	22	6	26	164	224	274	593	9
柏崎2	0.0	3～10%	26	14	26	38	9	39	55	18
柏崎3	-41.5	0～2%	18	8	47	531	298	607	1,238	69
柏崎4	0.0	41～50%	29	6	23	421	559	690	1,825	116
柏崎5	-41.5	0～2%	18	8	47	530	303	608	1,250	60
岩手・宮城1	-41.5	40～60%	18	7	28	1,231	458	1,310	2,077	627
岩手・宮城2-1	0.0	0～2%	23	6	22	196	223	292	725	17
岩手・宮城2-2	0.0	0～2%	28	9	13	193	135	233	412	26
岩手・宮城3	-2.5	0～2%	23	6	18	1,141	470	1,229	1,772	596
岩手・宮城4	-41.5	11～20%	18	7	28	1,283	442	1,354	2,019	624
岩手・宮城5	-2.5	0～2%	32	8	18	1,309	165	1,319	1,487	1,001

精度評価結果に対する考察について以下に示す。

① 全体傾向

ポインティング角が -41.5° の場合は、全体的にセンサの方向に向かってシフトする傾向があった。一方、ポインティング角 0° の直下視の場合は、シフトする方向がさまざまで、系統的なシフトは見受けられなかった。

② ポインティング角との関連性

ポインティング角が 0° の直下視であれば、位置精度の誤差は小さく、ポインティング角が大きくなると、誤差も大きくなる傾向が見られた。ただし、雲やマッチング時の条件などによって、良好な GCP が取得できなかった場合、ポインティング角が小さくても、誤差は大きくなるという結果が得られた。

③ 雲量との関連性

雲量の多い画像は誤差が大きくなる傾向が見られた。さらに、ポインティング角も大きくなると、その誤差はさらに大きくなるという結果が得られた。

(3) 2 時期の画像の精密位置合わせ

2 時期の AVNIR-2 オルソ画像について、2 時期の画像同士の相関係数等をもとに画像の相対位置を半自動的に合わせる技術を開発した。2 時期の画像の位置合わせについて、基準画像と参照画像の間に画像内に適度に分布した複数の同一点(Tie Point: TP)を自動取得し、その傾向に基づいて両画像全体の相対位置関係をモデル化して基準画像のフレームに対して参照画像をリサンプリングする方式を検討した。TP の自動取得を行うに当たっては、あらかじめ高いマッチング精度が期待できる点を特徴点として基準画像上で選択しておき、その点についてのみ参照画像上での TP を自動取得する方式とした。

① 特徴点の抽出

特徴点としては、エッジをある程度含み、輝度値の分散が高く、飽和画素を含まない点とした。エッジデータについて汎用のフィルター処理を用いて抽出し、2 値化及び細線化したものを特徴点抽出用エッジデータとした。

② テンプレートマッチング

①により得られた基準画像上の特徴点について、テンプレートマッチングによる TP の参照画像上での探索を行った。マッチング指標としては相互相関係数を使用した。

③ 相対位置のモデル化及びリサンプリング

②で得られた TP について、基準及び参照画像間の相対位置を評価し、その傾向に基づいて最適な変換モデルを求めた。変換モデルを使用して基準画像のフレームに対する参照画像のリサンプリングを行い、精密位置合わせ画像とした。

災害前後それぞれ二組の AVNIR-2 画像について、検討したアルゴリズムを利用した精密位置合わせを行い、評価用に TP 64 点を手動計測して両画像間のアドレスを比較(参照－基準)した。結果について表－3 に示す。AVNIR-2 画像の両組み合わせにおいて、それぞれ 1 画素以内の精度で精密位置合わせが達成できていることを確認した。

表－3 2 時期の衛星画像の自動精密位置合わせ結果

画像		AVNIR-2	AVNIR-2
ポインティング角 (°) (画像右方向を正)	災害前	+41.5	0.0
	災害後	0.0	0.0
誤差RMS (pixel)	X方向	0.88	0.27
	Y方向	0.39	0.24

4. 変化情報（被災可能性箇所）の抽出

(1) 画像の NDVI を用いた差分演算による変化抽出手法の検討

抽出手法の検討として、画像の輝度値／NDVI の差分演算、画像の輝度値／NDVI やその他の指標を用いた相関演算、その他の指標を用いた相関演算による変化抽出手法について解析を行った。演算結果の検証により、差分演算が被害抽出に有効であり、特に NDVI の差分演算は土砂災害抽出に威力を発揮する可能性があることがわかった。以下に、NDVI を用いた差分演算について記載する。

NDVI は、植生に感度が高い近赤外バンドと赤バンドとの差分を近赤外バンドと赤バンドとの総和で正規化した指標で、式－1 で示される。一般的に、植生活性度が高い領域で高い数値を示し、植生活性度が低い領域で低い数値を示すことから、災害時においては植生から裸地に変化する土砂災害の抽出が期待

できる。

$$NDVI = a \cdot \frac{DN_{NIR} - DN_{RED}}{DN_{NIR} + DN_{RED}} + b \quad (\text{式} - 1)$$

$NDVI$: 正規化植生指標

DN_{NIR} : 近赤外バンドのピクセル値

DN_{RED} : 赤バンドのピクセル値

a 、 b : 係数

NDVI の差分演算方法は、まず、簡易大気補正を行った後、地震前後の画像それぞれの NDVI を算出し、その差分を計算する。なお、計算値は正負に分布するため、必要に応じて正の値となるように係数で調整する。この NDVI の差分演算について、石川県能登半島地震の被災地区を対象とした検証を実施した。図－2 に演算結果を示す。



(左：災害後画像、 右：災害後画像と変化情報の重ね合わせ画像)

図－2 AVNIR-2 による NDVI 差分演算結果

図－2 からは土砂災害箇所をもれなく抽出していることが確認できる。2 時期の衛星画像から変化情報（被災可能性箇所）を抽出する方法については、NDVI の差分演算が土砂災害を抽出する手法として効果的であることがわかった。

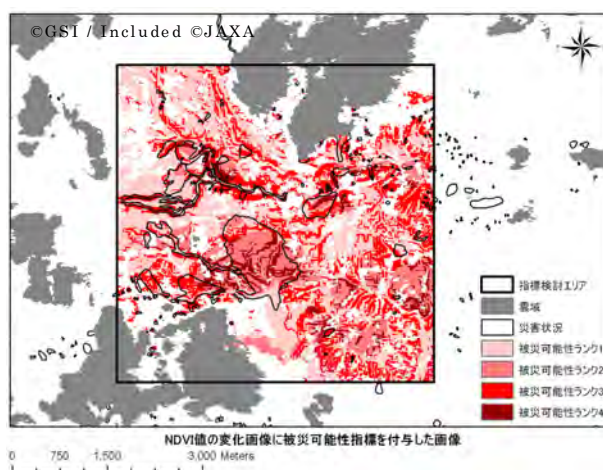
(2) 地理情報参照による変化抽出の信頼性向上

(1)の検討により、NDVI 変化画像が災害域の抽出に有効であることが確認されたことを受け、岩手・宮城内陸地震における地すべり、土石流、斜面崩壊の災害を対象に、各種の地理情報と実際の被災箇所との相関を利用することによる変化抽出の信頼性向上の検討を行った。あらかじめ被災箇所を把握済みとする $5\text{km} \times 5\text{km}$ の範囲において、地理情報と被災箇所との関連性を検

討し、地すべり地への該当の有無と地表面の傾斜の2つの地理情報を参照することで、被災可能性を示す指標値（1～4のランク付け）を算出した（表－4、図－3）。更に、対象地域全域において、災害前後2時期のNDVI値を利用して抽出した変化箇所に対して同様に被災可能性を示す指標値を付与し、実際の被災箇所との適合性を検証した（図－4（左））。その結果、抽出された変化部分に指標値を付与し被災可能性を示すことにより、変化部分の被災箇所としての信頼性向上が可能であることを確認した。

表－4 被災可能性指標の算出基準

被災域との関連性	得点	傾斜度	地すべり地	総得点	傾斜度	地すべり地	指標
強	2	20° ～	あり	4	20° ～	あり	被災可能性 高 ↑ ↓ 被災可能性 低
				3	20° ～	なし	
弱	1	～ 20°	あり	2	～ 20°	あり	
			なし	1	～ 20°	なし	

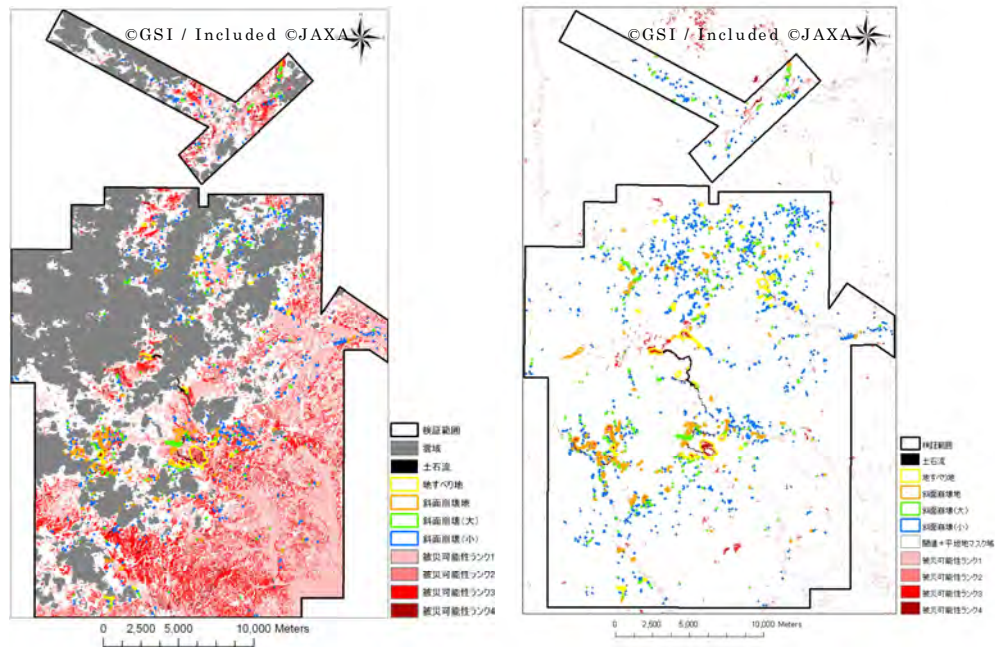


図－3 指標算出法の提案範囲における被災可能性指標画像

(3) 変化情報抽出の信頼性向上のための検討

さらに適合率を向上させ、より信頼性のある変化画像を作成するため、NDVI 変化画像からの誤抽出の特徴として把握した季節変化等の要因及び平坦地では土砂災害の発生可能性が低いことを考慮して、NDVI 変化画像への閾値及び平坦地マスク適用について検討した。閾値の検討においては、災害状況図の被害ポリゴンの総面積と NDVI 変化箇所の総面積との差が最小となる閾値を探索し、閾値 0.5 が適切であることを定性的・定量的に確認した。被災抽出の定量的評価では、災害状況図との適合率が 40%程度で被災箇所を抽出できることを確認した。平坦地マスクは、平坦地の定義である「傾斜が 30 パーミル以下」を基準に作成し、閾値を適用した NDVI 変化画像に適用した。その結果、適合率が数パーセント向上し、被災抽出の定量的評価では、

総合的に 50%程度の適合率で被災箇所が抽出できることを確認した。閾値・平坦地マスク適用後の被災可能性指標付与画像について図－4（右）に示す。



（左： 閾値・平坦地マスク適用前、右： 閾値・平坦地マスク適用後）

図－4 検証範囲における NDVI 値の変化画像に被災可能性指標を付与した画像

5. まとめ

本研究では、陸域観測技術衛星「だいち」による衛星画像から大規模地震発生時の広域的な災害状況を把握するための手法について検討した。災害状況の把握を行うにあたっては、衛星画像の位置合わせの方法及び災害前後の衛星画像における変化抽出解析の方法に分けて検討を行った。

衛星画像の位置合わせに関しては、位置参照データを用いた方法が最も汎用性が高く精度や効率の面でバランスの良い結果が得られることが確認された。また、2 時期の衛星画像を自動的に精密位置合わせする方法については、画像同士の特徴点に基づく相関係数を用いて 1 画素以内の精度が達成できることを確認した。災害前後の衛星画像における変化抽出解析の方法に関しては、NDVI 変化画像が土砂災害の抽出に最も効果的であることを確認した。また、DEM と地すべり地形分布図を利用した被災可能性指標の適用が被災箇所の抽出精度向上に寄与することが示され、閾値や平坦地マスクの適用によって、更なる抽出精度の向上が可能であることがわかった。そこで、被災可能性指標の適用手法も含めた衛星画像入手後の一連の画像処理について、国土地理院の担当者向けマニュアル「衛星画像処理による大規模地震時の斜面災害状況把握のための作業マニュアル」を作成した。

さらに、本総プロの目的とする「72 時間以内の被害抽出と適切な伝達を目的

とする技術開発」を考慮に入れ、外部有識者及び地方整備局とのヒアリングを行いつつ、実際の災害シナリオに沿った本開発技術の整理・考察を行った。発災時間や天候条件によるが、撮影とデータ提供が速やかに行われた場合には、これらの画像作成・関係機関への情報提供は半日程度で可能である。作成した画像からは、個々の詳細な被災状況の把握は難しいものの、広域を一度にカバーできるため大規模な土砂災害の早期抽出がある程度可能となり、**TEC-FORCE** をはじめとする国や地方公共団体等の応援・救援活動の計画策定・改訂に役立つ可能性が高いと考えられる。

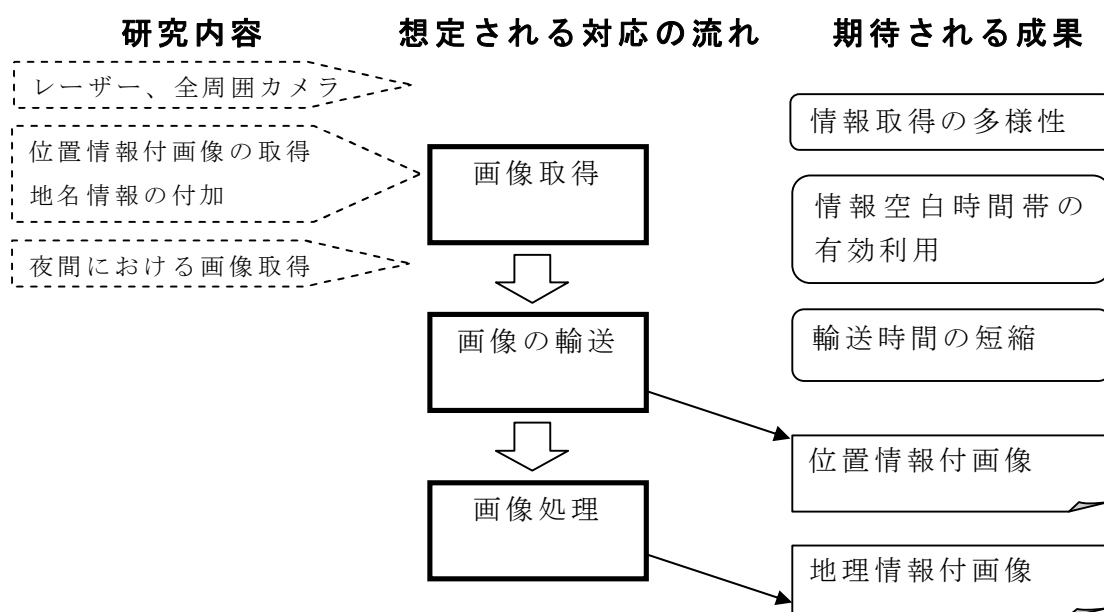
今後の研究上の課題としては、閾値設定方法の明確化、被災箇所を減少させない平坦地マスクの作成及び他の地理情報の効果的な利用があげられる。以上の課題について検討することで、さらなる被災箇所抽出の精度向上が期待できる。また、運用上の課題としては、大規模災害時の衛星データ入手と公開のためのルール作りがあげられる。

(3) 地上計測車による画像の取得技術の開発

1. はじめに

国土地理院の災害対応のうち、被災地の画像情報の取得については、現在のところ保有する航空機から撮影のみを実施しているが、被害の状況によっては空からでは得られないものもあり、また、航空機運行には時間や気象等の制限もある。このため、本テーマでは地上からの画像情報の取得に着目して、以下の技術開発及び検証を行った。図－1は、地上からの画像取得に関して想定される災害対応の流れと研究成果の適用が想定される場面についてまとめたものである。

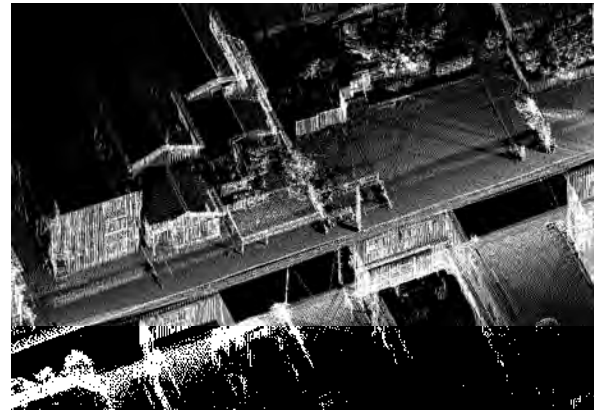
- (ア) レーザースキャナによる倒壊家屋の抽出
- (イ) 全周囲カメラ画像からの被災家屋の抽出
- (ウ) 位置情報付き画像の取得と地名情報の付加
- (エ) 夜間等における画像取得可能性の検討



図－1 地上からの画像情報取得に関する災害対応と研究の概要

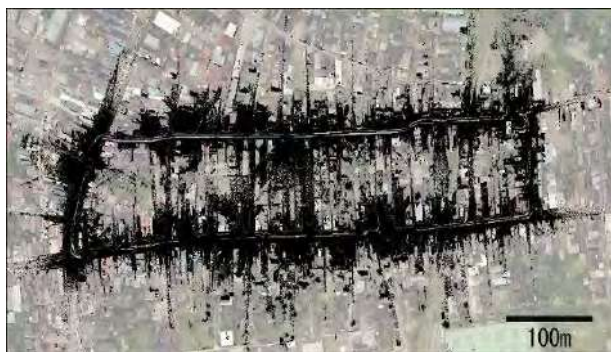
2. レーザースキャナによる倒壊家屋の抽出

測量にも幅広く利用されるレーザースキャナを図－2（左）のように車載して走行した場合、図－2（右）のような三次元点群データを得ることができる。また、夜間でも利用可能であることから、家屋倒壊地域における通行手段が確保されていれば情報把握が可能と考えられる。



図－２ 車載されたレーザースキャナ（左）、取得される三次元データ（右）

このため、新潟県中越沖地震の被災地である新潟県柏崎市内の特に家屋倒壊の被害が大きかった２地区（東本町及び西本町）において、それぞれ 1.5 km 程度の周回観測ルートを設定し、被災から約４ヶ月が経過した 2007 年 11 月下旬に、車載型レーザにより道路周辺の構造物の高さを推定した。また、被災前の 2007 年 4 月撮影の空中写真からステレオマッチングによって被災前の DSM を作成した。この二つのデータを比較し、表層高の変化部分を抽出した。図－３（右）に黒く表示されている部分が、被災前と比較して 2 m 以上低くなった地点であり、ほぼすべての倒壊家屋跡地を検出することができた。また、作業時間は表－１のとおりであり、今回の 1.5km コース（道路に沿った地域：面積約 0.1 k m²）では、一地区あたり 4 時間半ほどのデータ取得時間が必要であった。



図－３ レーザデータ取得範囲（左）および表層高低下部分の抽出結果（右）

表－１ 作業時間

本手法により、災害発生前の DSM が用意されていた場合、半自動処理による倒壊家屋の高精度な抽出が可能であるが、それなりの時間や手間も要することも明らかになった。特に計測時間については条件により大きく変わってくることも考えられることから、作業の

項目	時間
準備	1.0
計測	3.0
結果確認	1.5
解析作業	1.3

実施にあたっては災害の状況に応じた適切な判断が求められる。

3. 全周囲カメラ画像からの被災家屋の抽出

新潟県中越沖地震の直後に車載の全周囲カメラで取得した画像から、目視により倒壊家屋の抽出を行った。カメラは複数のレンズで構成されており、図－4は1コマ分の360°全周囲合成画像である。専用ビューワではこの画像の一部を表示し、視点（見る方向）を自在に変えることができる。また、画像はコマ毎に位置情報を持っている。



図－4 360度合成画像

判読は、車載カメラからの映像であるため、道路から視認できる範囲の情報から行うこととなる。今回、柏崎市中心部を二日間にわたって35km分（総走行距離100km）のデータを判読した結果、全壊家屋数127軒、半壊家屋数122軒を検出することができた。作業に要した時間は表－2のとおりであり、自動化が困難なことから、作業員1名が判読した場合約19時間と多くの時間を要した。今回実施した手法は全倒壊の完全な抽出を目指したが、360°全ての視点からの情報を網羅的に得られることから、画像のみの提供であっても大きな効果があると考えられる。



図－5 データ取得範囲

表－2 作業時間

項目	時間
撮影時間	5.0
データ編集	4.5
データ作成	2.5
全半壊家屋の目視抽出	19.0

また、「デジタルカメラの迅速な処理」の（カ）三次元詳細建物データにより荒川地区で取得した建物各層毎の形状や屋根形状に、全周囲カメラで実体視計

測した窓枠、バルコニー、樹木等、上空から取得できない情報を加え、詳細な建物モデルを作成することができた。(図-5) 本データは、「市街地火災総合対策支援ツールの開発(テーマ②)」における、精度の高い延焼シミュレーションに必要なデータとして提供するとともに、今後の建物データ作成の一方法として検討対象とした。

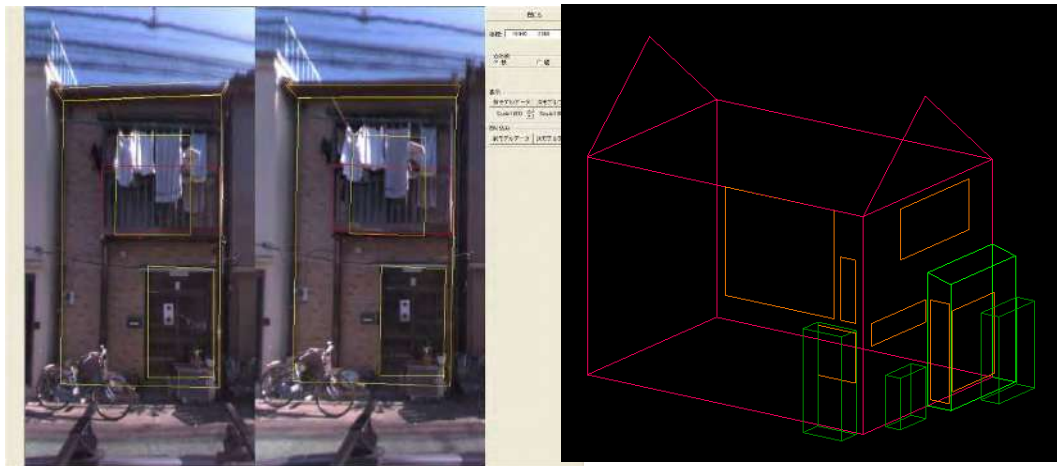


図-6 全周囲画像からのステレオ計測画面(左)と建物データサンプル(右)

4. 位置情報付画像の取得と地名情報の付加

前述したレーザー及び全周囲カメラについては、データ処理にある程度の専門的知識と時間を要する。そこで、より簡便かつ迅速な方法であり、直感的な情報が得られる市販のデジタルカメラ・ビデオ等で撮影された画像を利用する方法を検討した。特に、被災状況の把握に重要な「何処を見ているか」を特定するため、位置姿勢の計測及び地名情報の追加の技術開発を行った。

(1) 静止画像への地名情報の付加機能の開発

a) 静止画像への位置姿勢情報の付加ツールの作成

一般的なデジタルカメラにより撮影された画像のヘッダ部分に、GPS/IMU から取得した位置姿勢情報を書き込むツールを開発した。現在の Exif 規格では位置と方位を記録するタグしか存在しないため、コメント欄に、X、Y、Z、 κ 、 Ω 、 ϕ をまとめて記録することとした(図-7の赤枠部分)。これにより遠隔地で画像を受け取った第三者が、撮影された画像ファイルのみから即座に撮影位置と姿勢の情報を得ることができ、また、これらの画像を容易に各種地理情報システムで利用することが可能となった。

メーカー	PENTAX Corporation
カメラ	PENTAX K20D
コメント	009.jpg 140.080397 36.190772 19.7 1.0 5.6 -178.9
撮影日付	2009/10/29 10:20:33
修正日付	2009/10/29 10:20:35
緯度	N 36°11'26.7"
経度	E140°04'49.4"
標高	197m
測地系	WGS84
方位	88.91度(真方位)
GPSIFDバージョン	2.2.0.0
GPS時刻	01:20:32
GPS DOP値	1.0
画像向き	上-左
画像解像度(横)	72inch



図－７ 位置姿勢情報の画像への書き込み

b) 静止画像への地名挿入ツールの作成

撮影時の位置姿勢情報をもとに、地名等の地理情報を画像に付加するツールを作成した。使用する情報は、測量用航空カメラの GPS/IMU データ及び、前述した Exif 書き込みツールで処理された画像データのいずれにも対応することが可能である。(一眼レフ空中写真画像への適用例は別テーマ「デジタルカメラの迅速な処理」に記載する。) また、処理時間は一枚あたり数秒から数十秒と迅速な処理が可能である。

c) 自動車へのデジタルカメラの搭載と撮影画像への地名挿入

普通乗用車にデジタルカメラと携帯型 GPS/IMU 装置を図－８のとおり搭載した。GPS/IMU 装置は航空機カメラに搭載されるものと比べ精度は劣るが、価格、携帯性、取り扱いの容易さに優れる。これらの装置により撮影を行い、前述のツールを使用して画像への地名挿入を行った。



- 写真左 : 搭載の様子
 写真右上 : GPS アンテナ
 写真右中 : IMU 装置
 写真右下 : シャッタータイミング記録装置

図－８ デジタルカメラ及び GPS/IMU 装置の車載

実際の撮影画像の処理例を図－9に示す。通常、地名データは平面位置のみを有するが、数値標高データから求めた標高値を利用することにより、地名挿入ツールでは適切な高さ位置への挿入を実現している。今後は一層の精度向上と、適切な注記の配置など表示方法の改善が課題である。



図－9 地名等を付加した画像（開発したツールの動作テストの結果）

（3）動画への地名等のリアルタイムの付加ツールの開発

動画の撮影は、静止画では見逃すような情報でも連続的に記録されるというメリットがある。しかし、静止画と同様に撮影した画像そのままでは、位置の特定が困難であり情報の把握手段として不十分である。そこで、市販の PC、PC カメラ、携帯型 GPS/IMU を用いて、動画中にリアルタイムで周囲に存在する地理情報を挿入するツールを開発した。



図－10 開発したソフトウェアによる画像

図－10 は処理された動画のスナップショットである。表示させる地名等は、座標値を持った任意の地点リストを読み込むことにより変更できる。また、今回は対象物の方向と距離のみを表示する機能としているが、システムの改良によって、静止画と同様にピンポイントで対象物の位置に地名等を表示させることも可能である。

5. 夜間等における画像取得可能性の検討

災害の発生時刻が夕刻～夜間の場合の状況把握においては一般的な光学カメラの撮影は困難であり、レーザー計測についても使用条件が限定的と考えられるため、夜間の情報収集を行う手段が限られているのが現状である。一日のうち8時間～12時間は夜間であり、この時間帯でも使用可能でかつ安価で災害時でも扱いやすいセンサについて調査するとともに、夜間の災害情報収集手段としての可能性を評価した。使用したセンサは、光学カメラの代替としての超高感度カメラ及び熱赤外センサである。

今回検証した超高感度カメラは、ISO 感度を 10 万相当まで引き上げられるデジタル一眼レフカメラである、センサで光量を増幅しているため、ごくわずかな光でも撮影ができ、軍事用のパッシブ型暗視装置並みの能力を有している。また、熱赤外カメラは、物体が放射する赤外線を画像化する装置であり、サーモグラフィーとも呼ばれる。熱赤外線は人間の目には見えないが、すべての物体から（温度の高いものほど強く）放射されており、熱赤外カメラは、検地された熱赤外線の強弱（表面温度差）を、濃淡やグラデーションとして画像化する。

図－11 は、ほぼ同一地点より撮影した三種類のカメラによる都市部の画像である。日没後数時間後においても建物の形状が認識可能であることがわかる。

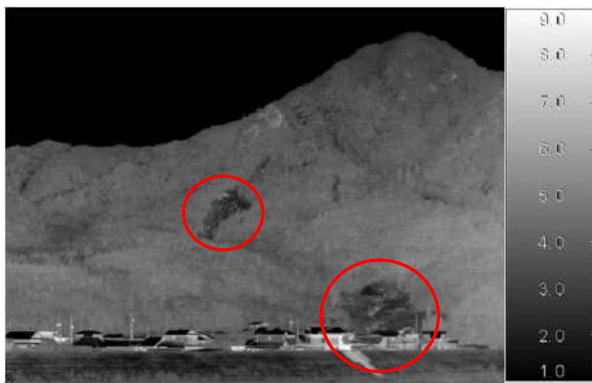


通常のカメラ(16時撮影) 超高感度カメラ(20時撮影) 熱赤外カメラ(21時撮影)

図－11 都市部における各種センサによる撮影

超高感度カメラの画像は、一見すると普通の夜景写真のようだが、通常のカメラでこのような写真を撮るためには、カメラを固定して数秒間の長時間露光が必要である。一方今回の撮影は走行中の車から行ったものであるが十分な光量が得られていることが分かる。このように都市域であれば、停電等により光量が大きく不足しない限り現況を把握することが可能と考えられる。

熱赤外カメラでは、背景と建物等の境界だけでなく窓枠など様々な形状についての情報を得ることが可能であり、可視光が全くない状況でも形状の変化を伴う建物被害の把握の可能性が有ることが明らかになった。また、山間部においては周囲の光量が少ないことが想定されることから、更に熱赤外画像の有効性が高いと考えられる。対象物の絶対温度を知るためには、最低一箇所の温度を把握する必要があるが、今回は周囲との相対的な温度差のみから被害箇所の特定が可能かどうかについて検証した。図-12は、山口県においてH21豪雨災害で発生した崩壊地を、約半年後に熱赤外カメラおよび通常のカメラでとらえた画像である（○内が崩壊地）。画像を見ると、崩壊地は周囲の木々の部分とは数度の温度差が生じるという特徴がみられ、被災箇所を判別することは十分可能と思われる。このように相対的な温度差を使用した熱赤外画像を用いて、様々な対象物の見え方や崩壊からの時間・撮影時の季節及び気象条件等による違いを把握することにより、夜間における簡易な土砂災害箇所の判読手法となり得ると考えられる。



熱赤外カメラ(19時撮影)



通常のカメラ(17時撮影)

図-12 土砂災害箇所の撮影（山口県防府市）

今回使用した超高感度カメラは、都市部であれば走行中の車内からの撮影も問題がなく、デジタル一眼レフカメラを高機能化した市販品であるため容易に使用が可能である。一方、熱赤外カメラは人工的な明かりの少ない山間地においても、土砂災害の発生箇所の判読に適用できる可能性があることが実証されたが、解像度に限界があること、特殊機器であり操作性に難があること、長時間の連続使用が困難であることなどの運用上の問題がある。

今回の検証により車載された高感度カメラ、熱赤外カメラのいずれも夜間における被災状況の把握手段として有効性が認められることが明らかになった。なお、これらのカメラによる夜間の空撮も技術的には可能ではあるが、航空機の夜間運行には制約が多く、運用面では地上からの計測に留まらざるを得ない可能性が高い。

6. まとめ

本研究で得られた成果と課題等を表－3に示す。本研究により、地上を走行する車両に種々のセンサを取り付け、情報を得ることは航空機からの画像情報が得られない時間帯及び視点からの被災情報の取得に活用が可能であることが明らかになった。しかし、いずれも画像の解析に時間を要するため、災害発生時の情報収集手段として活用するには、位置計測及び被撮影箇所の特定技術と組み合わせた自動処理化が不可欠である。

本研究では、自動処理化までは研究対象としていないが、地名情報付加の際に開発した被撮影箇所特定技術を活用することで有効な情報収集手段とすることができる可能性がある。特に夜間における被害情報収集が可能となると、人命救助に直接結び付くだけでなくいち早い被災状況把握のための危機管理上有効な情報となり得ることから、今後の課題としてさらなる研究開発が求められる。

表－3 地上計測車による画像の取得技術の開発のまとめ

研究内容	目的	成果	課題等
(ア) レーザースキャナによる倒壊家屋の抽出	時間に左右されずに倒壊建物を半自動抽出する	被災前 DSM との比較により倒壊家屋跡地を高精度に抽出できる	データ取得と処理に時間がかかる。
(イ) 全方位カメラ画像からの被災家屋の抽出	走行した地域の被災の全貌を網羅する情報の取得	目視により確実な被災抽出が可能であることを確認、記録映像としても重要	自動抽出に結びつけるのは困難
(ウ) 位置情報付き画像の取得と地名情報の付加	被災位置の迅速かつ容易な把握を画像からのみで可能とする	自動で迅速に画像に地名等の位置の属性を持つ情報を挿入することが可能となった	地名等情報の適切な表示方法の改良が必要
(エ) 夜間等における画像取得可能性の検討	光学センサの利用不可能な時間帯にも、被災状況の把握を行う	高感度カメラ、熱赤外映像ともに被災状況把握に有効と考えられる	熱赤外カメラは運用上の特殊性がある

(4) インフラ施設管理機関における災害対応業務分析と 画像処理技術の適用可能性検討

1. はじめに

1-1 研究の背景

大規模地震発生後、国民生活や経済活動に大きな支障を来す可能性のある施設被害に対しては、インフラ施設管理機関が、緊急措置を講じたり、応急的に施設機能を確保するための復旧作業を実施したりする。このような震後の災害対応業務のために、インフラ施設管理機関による施設の被災状況の調査が必要であるが、特に大規模な地震が発生した場合、交通網の寸断や通信網の途絶等に加えて、職員の参集の遅延や住民対応等により調査に割ける人員が不足することにより、甚大な被害が発生している地域にある施設の情報をインフラ施設管理機関が発災後の一定期間収集できなくなる「情報空白」が発生する。

人員や資機材を優先的に投入すべき甚大な被害が発生しているエリアの把握が遅れると、結果としてインフラ施設管理機関による効率的な対応が妨げられることが懸念される。

大規模な海溝型地震である東海地震や東南海・南海地震、南関東直下の地震の切迫が指摘されているが、このような大規模地震では、なおさら、情報空白がインフラ施設管理機関の効率的な災害対応業務に悪影響を及ぼすことが想定される。このため、情報空白への対応は喫緊の課題であるといえる。

一方、人工衛星や航空機等を利用して空中から地表の状況を撮影する技術である「画像取得技術」や、撮影された画像を処理する技術である「画像処理技術」が、被災地の状況を把握する方法として、開発されている。大規模地震発生後に被災状況を把握する手段の一つとして、この画像取得・処理技術が有用であることが、近年の大規模地震発生後の衛星運用機関による衛星画像の撮影実績により示されている。例えば、2010年1月に発生したハイチの地震の後に、人工衛星から被災地の撮影が行われ、現地の被災状況を確認できたことは記憶に新しい。

大規模災害後の被災状況の迅速な把握に向けて、このような画像取得・処理技術をインフラ施設管理機関が利用することについて、議論が行われているところである[1]。

本サブテーマでは、画像取得・処理技術による災害対応業務の効率化に向けて、インフラ施設管理機関の災害対応業務を分析し、画像取得・処理技術の適用可能性を検証した。さらに、導入に向けて解決すべき課題を抽出した。

1-2 研究の目的

大規模地震発生後の災害対応業務における課題を解決するために、どのような画像取得・処理技術をどのように適用し得るかを明らかにすることを本研究の目的とした。

1－3 報告書の構成

本報告書の構成を以下に示す。

2. では、大規模地震発生後の災害対応業務について整理した。その上で、インフラ施設管理者に対するヒアリング等から、災害対応業務における課題を抽出した。

3. では、災害対応業務に適用可能な画像取得・処理技術の整理を行った。また、画像の処理段階について説明した。さらに、それらの画像取得・処理技術の災害対応業務への適用可能性を整理した。

4. では、迅速性に着目して適用性の評価を実施した。ここでは、被災状況の把握に要する時間について整理するとともに、画像処理技術により得られる情報の整理を行った。その上で、迅速性の面での適用性を評価した。

5. では、災害対応業務の実態を考慮した適用性の評価を実施した。まず、机上検討として、想定地震を設定し、災害対応業務への衛星画像の利用シナリオを作成した。その結果を基にインフラ施設管理機関の防災担当者を対象に、画像取得・処理技術の適用可能性や導入に向けた課題についてヒアリング調査を実施した。

6. では、研究成果のとりまとめの結果である、「画像取得・処理技術データ集」について説明した。最後に、今後の課題を整理した。

2. 災害対応業務の現状分析

本章では、インフラ施設管理機関における災害対応業務の現状を分析し、課題を抽出する。

2-1 災害対応業務とは

被災状況の把握に向けた画像取得・処理技術の適用可能性について検討する前提として、災害対応業務がどのようなものであるかを整理することが必要である。そこで本節では、大規模地震発生後の災害対応業務について体系的に整理された文献として業務継続計画[2]に基づいて災害対応業務について概説する。

図 2-1 は、大規模地震発生後の地方整備局等のインフラ施設管理機関がどのような業務を実施するのかを示すため、中部地方整備局の業務継続計画に位置付けられている業務を、発災後の時系列で整理したものである。切迫性が指摘されている東海地震への事前対応が、東海地域の行政機関によってとられており、中部地方整備局の業務継続計画も東海地震を対象としたものとなっているため、本研究で採用した。

図中の「本部」、「道路部」、「河川部」はそれぞれ、災害対策本部、災害対策本部（道路部）、災害対策本部（河川部）を示す。本部は、災害対策本部の運営、防災ヘリによる被災概況の把握、被災状況の収集・整理・記録等を実施することとされている。道路部は、災害対策本部（道路部）の運営、支部点検報告の収集・整理等を実施することとされている。河川部は、災害対策本部（河川部）の運営、支部点検報告の収集整理等を実施することとされている。なお、支部点検で収集するのは、所管施設の具体的な被災状況である。

図から、被災状況の把握が災害対策本部の設立後に迅速に求められていることが読み取れる。特に、被害の概況把握や必要性の高い道路の被災状況の把握については、他の項目よりも迅速な対応が要求されている。

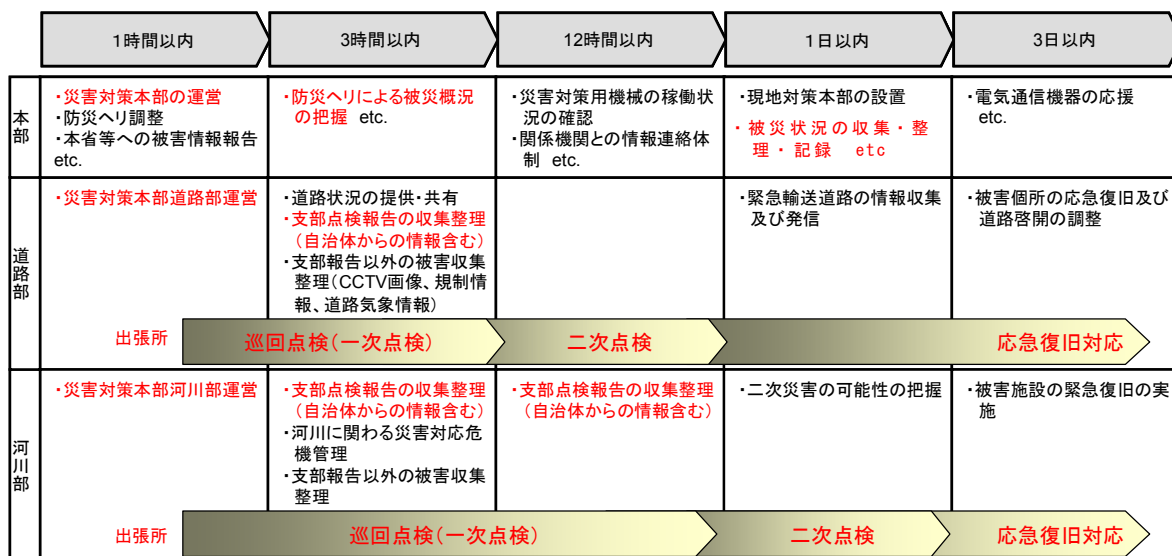


図 2-1 中部地方整備局業務継続計画における災害対応業務

被災状況の把握においては、各地域の出張所が道路施設被害、河川施設被害、土砂災害等の状況を緊急調査によって把握することとなっており、収集した被害情報は災害対策本部が集約する。また、災害対策本部では、被災状況の把握に防災ヘリも活用する。県や市町村は、緊急調査、さらには、住民、警察、消防からの情報提供によって被災状況の把握を進め、収集した情報を地方整備局に伝達する。

次に、これらの被災情報の内容について説明する。震後の点検の方法や点検で収集する情報の内容は、河川や道路といった施設の種類によって異なる。

大規模地震発生後、道路管理者は初めに「初動パトロール」を実施する。この初動パトロールでは、所管している国道が走行可能であるかをパトロール車が巡回して確認する。その次に、道路管理者は「初期点検」を実施する。初期点検では、施設の被害把握と、その被害が悪化するかどうかの状況を道路管理者が確認する[3]。震後に道路管理者が実施する緊急調査の際に対象となる道路施設の項目について表 2-1 として掲載した。本研究で対象とする道路施設の被害は、「初期点検」で対象とするような路面の走行可能性に関する被害が主であるが、道路施設を対象とした実際の緊急調査では、表 2-1 に示された項目全体を対象として調査を実施する。

河川施設の調査は「一次点検」と「二次点検」で構成される[4]。一次点検では、堤防天端や構造物周辺からの目視により被害の有無と被害があった場合の状況を、出張所職員や点検業者等が確認する。二次点検では、出張所職員や点検業者等が、全対象物の異常の有無とその状況に対して詳細に点検を行う。ここで、堤防、護岸については一次点検の際に二次点検が必要と判断されたものに対して二次点検が実施される。大規模地震発生後の点検の対象は、すべての河川施設である。河川施設の点検項目のうち、一次点検で把握される被害が、本研究で対象とする画像取得・処理技術による被害抽出の対象となる。

次に、被災状況に関する情報を国土交通省内部でどのように伝達するかについて示したのが図 2-2 である。図 2-2 は、中部地方整備局を対象としたヒアリングの際に提示した資料である。大規模地震発生後、国土交通省内部、特に地方整備局を中心とした部局における情報伝達がどの様に行われるかを把握することを、この図の目的とした。

点検等によって収集された被災情報は、災害対策本部まで伝達され、リエゾン、TEC-FORCE 等の人員の派遣、ポンプ車、照明車、衛星通信車等の災害対策機械の出動等を調整する際の判断材料として使われる。

所管施設を対象とした点検結果は事務所が集約し、事務所が本局の担当部局に報告する。その被災情報は、本局の担当部局が集約し、本省の担当部局に報告する。また、本局の担当部局は、集約した情報を、本局の災害対策本部にも報告する。災害対策本部は本局内で集約された情報を本省の災害対策室に報告する。このように災害対策室に情報が伝達されるまでには 2 つのルートが存在する。1 つは、河川、道路といった施設区分ごとに情報が本省の

各部局に伝達され、本省内で災害対策室に情報が集約されるルートである。
もうひとつは、地方整備局本局内で災害対策本部に各施設の被災情報が一旦
集約され、そこから災害対策室に情報が伝達されるルートである。

表 2-1 緊急調査の対象となる項目
～道路震災対策便覧（震災復旧編）[8]より～

対 象 施 設		調 査 ポ イ ン ト
平 坦 道 路		大きな路面陥没，きれつ，路上障害物
切土のり面・斜面		大規模斜面崩壊，大きな落石，大きな路面欠壊
盛 土		大きな路面陥没，路体沈下，流出
橋 梁	全 体	落橋
	橋 面	車両用防護柵，地覆のずれまたは折れ角，蛇行
		縦断線形の折れ角
		伸縮部のひらき・盛り上がり・段差
	橋梁上部構造	不連続なたわみ
	橋梁下部構造	沈下，傾斜，大きなひびわれ，コンクリート剥離 鉄筋の曲がり，破断
	支 承 部	支承の崩壊，ボルトの破損
	落橋防止構造	破損，変形
トンネル	坑口周辺	大崩壊
	覆工	大規模な崩落
その他の道路施設	共同溝	路面上への突出（地上からのパトロール）
		本体の大破損（共同溝内からの調査の場合，収容物件については，各管理者の責任）
	掘割道路	擁壁のひびわれ，はらみ出し，躯体の浮き上がり，湧水，大きな路面陥没
	擁 壁	擁壁のひびわれ，はらみ出し，上部地山のひびわれ，湧水
	ロックシェッド，スノーシェッド	落石，土砂崩落，雪崩の有無，施設本体の破損，傾斜，大きなひびわれ
	横断歩道橋	落橋，橋脚の大破損
	カルバート 地下横断歩道	大きな路面陥没，目地の開口
	開削トンネル	大きな崩落，大きなひびわれ，コンクリート剥離，躯体の浮き上がり，湧水

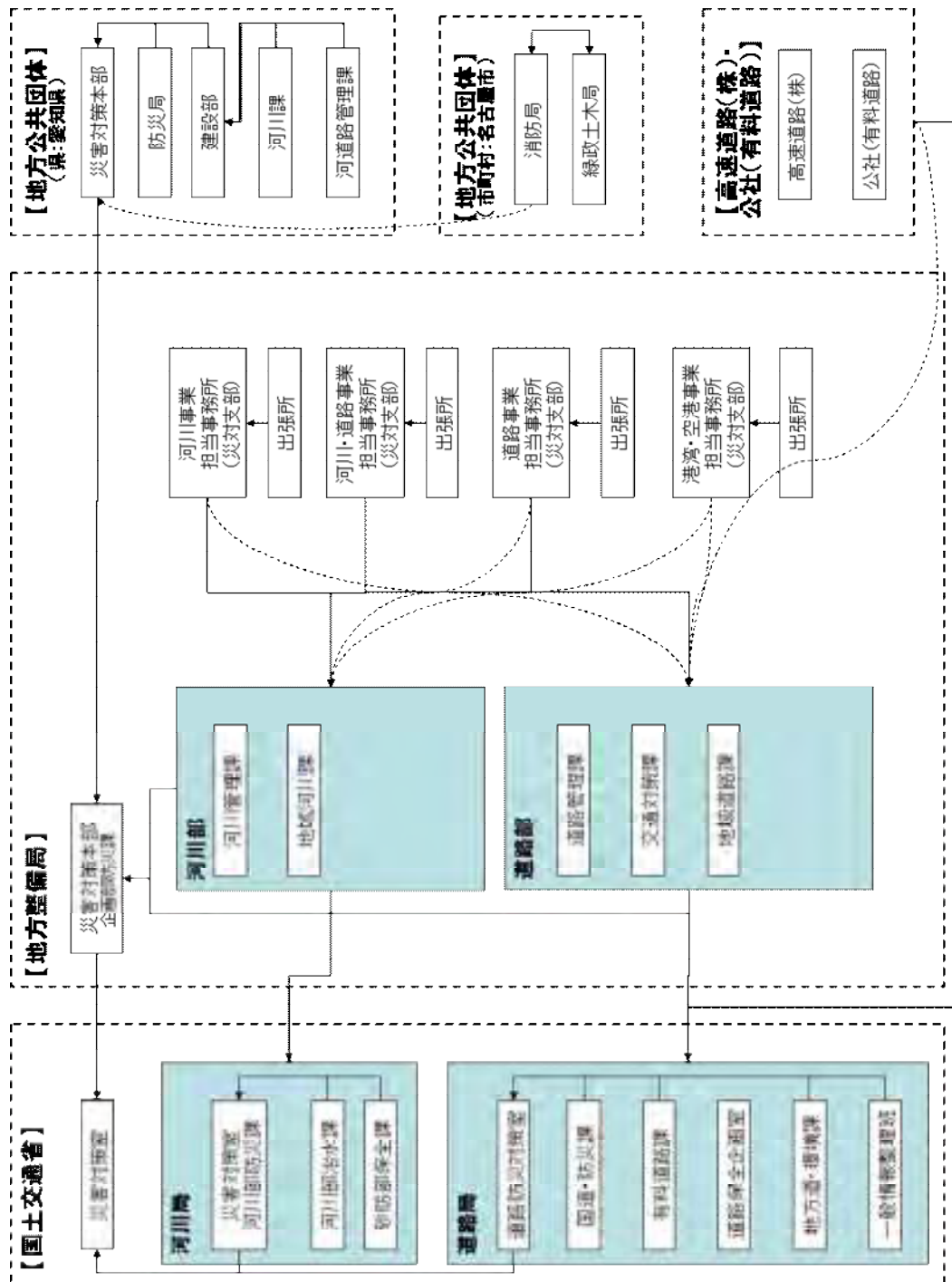


図 2-2 地方整備局を中心とした災害時の情報共有体制
(業務継続計画等を基に 2009 年 6 月に作成。)

2-2 災害対応業務における課題の抽出

災害時の情報集約についてインフラ施設管理者に対してヒアリング等を実施した結果[5]や、中部地方整備局の防災担当者へのヒアリング調査から、被災状況の把握における課題を抽出した。ヒアリングでは、大規模地震発生後の情報伝達のルート等について調査した。

1) ヒアリングの結果

ヒアリングの結果得られた意見等を列挙する。

- i) 自治体職員は、住民対応に迫られるため、所管施設の被災状況の把握や、地方整備局への情報伝達を速やかに進めることができない場合がある。
- ii) 道路管理者が周辺の道路交通状況を把握できず、通行規制や迂回ルートの設定に十分対応できないケースがある。
- iii) 土砂災害は、被害個所に人が近づくことが危険なため、道路施設や河川施設の被害に比べ、被災状況の把握に時間を要する。
- iv) 山間部には照明設備が無いため、夜間に法面の点検を車両の灯火のみで行うことは困難である。
- v) ヘリによる被災状況に関する情報収集は、初動期の対応に非常に効果的であるが、夜間や気象条件が悪い場合には飛行ができない。
- vi) 事前に計画されているヘリの飛行ルートと実際の被害が対応しない可能性がある。

2) ヒアリングの結果に対する考察

上記で挙げたヒアリング結果から得られる課題等は以下の様なものである。以下の課題等は、本研究で考察した結果を基にしている。課題の番号は、1)のヒアリング結果の番号と対応している。

- i) 自治体から地方整備局への情報伝達に時間を要する場合、地方整備局には、自治体所管施設の被災情報が長期間提供されないことになる。的確な災害対策支援を実施するために、地方整備局が被害に関する情報収集を別な手段により実施することが求められる。
- ii) 道路管理者は、道路の被災状況とともに、交通状況を迅速に把握することが必要である。
- iii) 地震の規模が大きく広いエリアが被災し、地上からの調査が困難である場合、上空からの被災状況の把握が有効となる場合が多い
- iv) 天候や時間帯による制約のため、点検が進捗しない場合があり、被災状況の把握に時間を要するケースもある。悪天候時や夜間にも点検を実施できるように被災状況の把握手法が求められる。

v) 上空からの調査としてヘリコプターによる観測が実施できない場合の代替手法が必要である。ヘリコプターが機能しなかった例として、以下の事例が挙げられる。

平成20年7月24日午前0時26分に発生した岩手県沿岸北部地震においては、地方整備局の2機のヘリコプター「みちのく号」と「ほくりく号」の準備を行ったが、夜明けまで待機し、夜明け後も悪天候のために待機が必要となり、ヘリコプターによる調査が十分実施できなかった。みちのく号は約8時間待機した後、調査飛行を実施した。一方、天候不順のため、発災当日のほくりく号による調査は実施できなかった。（図2-3）

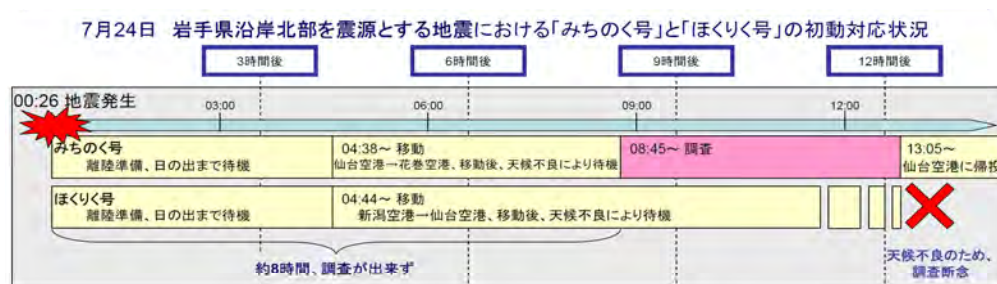


図 2-3 災害対応においてヘリコプターが機能しなかった事例

vi) 広域災害が発生した場合、単独の手法では被災状況の全体像を把握できない。複数の手段で被災状況を把握することで、被害把握の取りこぼしを防ぐことが必要である

上記をまとめると、大規模地震発生後、災害の地域性や気象条件によっては情報空白が発生する。この情報空白を解消するための解決手段が求められている。3.で紹介する画像取得・処理技術により、これらの課題の解決が図られる可能性がある。例えば、衛星画像により、緊急点検が及んでいない地域やヘリで把握しきれない地域の情報を収集することができる。また、SAR¹で夜間、悪天候時の観測を実施することができる。この様に、画像取得・処理技術による大規模地震発生後の災害対応業務の合理化について、以降の章で検討する。

¹ SAR(Synthetic Aperture Radar: 合成開口レーダ) とは、マイクロ波を用いたレーダ観測の一種であり、人工衛星等の移動体からの観測手法として用いられている。

3. 画像取得・処理技術の整理

本章では、大規模地震発生後における被災状況の把握に利用することが適している各種の画像取得・処理技術を整理する。ここで、「画像」とは、観測の対象となる地物の色や形をスクリーンや感光紙に映し出した映像のことを指す。

3-1 災害対応業務に利用可能な画像取得・処理技術の整理

画像取得・処理技術を整理するにあたって様々な方法が考えられるが、ここではプラットフォームを軸として整理する。被災状況の把握への適用を考えた場合に、重要となる撮影精度、撮影の迅速性や頻度は、プラットフォームに強く依存することになるからである。なお、本研究ではプラットフォームを軸として整理したが、プラットフォームはあくまで整理軸の一つである。その他に、センサの種類等で整理する方法もある。

画像取得・処理技術で利用可能なプラットフォームとしては、表 3-1 に示すように、気象観測に用いられる静止衛星やラジコン機等を含む UAV²、スペースシャトル、クレーン車や気球等もある。

飛行高度の高いプラットフォームになるほど、地上分解能は低下し、撮影範囲は広がる。反対に、飛行高度の低いプラットフォームになるほど、地上分解能は向上し、撮影範囲は狭くなる。プラットフォームの高度を軸として、このようなトレードオフの関係がある。また、航空機やヘリコプター等、高度を変化させることが可能なプラットフォームについては、特定のプラットフォームの高度設定を軸としたトレードオフの関係が成立する。

これらの中で、震後の被災状況の把握が可能な撮影範囲を有するものであること、地上分解能の面で大規模地震発生後の被災状況の把握に適すること、普段から運行しているか、普段から運行していないものの画像提供のプロセスが既に確立されており、地震発生時に最低限の準備で撮影を実施できること、を満たすプラットフォームとして、地球観測衛星、航空機、ヘリコプター、車両の4つを挙げた。本研究ではこの4つのプラットフォームについて検討することとし、その概要を以下に記す。

² Unmanned Aerial Vehicle(無人航空機): 人が搭乗することなく飛行する航空機のことである。災害調査等に用いられている。

表 3 -1 利用可能なプラットフォームの種類と特徴

プラットフォーム	高度	目的・用途	備考
静止衛星	36,000 km	定点からの地球観測	気象衛星等
地球観測衛星	500km～1,000km	定期的地球観測 ³	ALOS ⁴ 、IKONOS ⁵ 、TerraSAR-X ⁶ 等
スペースシャトル	240 km～350 km	不定期地球観測 ⁷ 宇宙実験	
ラジオゾンデ	100 m～100 km	気象観測等	
高高度ジェット機	10,000 m ～12,000 m	広域調査	
低中高度飛行機	500 m～8,000 m	災害状況の撮影、道路・鉄道の開通等に対応した地形図修正のための撮影、航空写真測量等	
飛行船	500 m～3,000 m	災害監視等	
ヘリコプター	100 m～2,000 m	災害状況の撮影、鉄道や道路の監視、写真測量等	
ラジコン機	500 m 以下	災害状況の撮影、写真測量等	飛行機、ヘリコプター
地上計測車	0～30 m	グランドトゥルースの取得 ⁸	

※(社)測量技術協会(日本リモートセンシング研究会編)「図解リモートセンシング」より編集

³ 数日～数十日といった固有の間隔で、同一の地域を観測

⁴ JAXA が運用している地球観測衛星。2006 年に打ち上げ。

⁵ 米国の民間企業が運用している地球観測衛星。1999 年に打ち上げ。

⁶ ドイツ航空宇宙センターとヨーロッパの大手航空宇宙企業との官民連携事業によって運用されている地球観測衛星。2007 年に打ち上げ。

⁷ プラットフォームを打ち上げた時期にのみ観測を実施

⁸ 他の計測手法の精度を検証するための対象物の実際のデータ

(1) 人工衛星（地球観測衛星）

人工衛星による観測とは、衛星軌道上を周回する人工衛星が被災地の上空付近を通過する際に、センサを用いて地表の状況を観測することを指す。このような用途に用いられる人工衛星を特に地球観測衛星と呼ぶ。

衛星が一度上空を通過した地点を再度通過するまでにかかる時間を回帰日数と呼び、多くの衛星では数日～十数日となっている。

地球観測衛星による撮影は、基本的には衛星軌道の直下の地域が対象となるが、衛星直下から外れた目標に対してカメラを傾けて撮影することを可能にする方法であるポインティング機能が近年の地球観測衛星に付加されたため、衛星の斜め下の地域の撮影も可能となっている。ポインティング機能により、衛星がある地点の真上を通過してから、もう一回その地域の真上を通過するまでの日数である回帰日数よりも少ない日数で同一地域を再び撮影することが可能となる。この日数のことを再帰観測日数と呼ぶ。

地球観測衛星は、機体を打ち上げた後は力学的な法則にしたがって地球を周回し、飛行経路を変えることができないため、撮影範囲や撮影方向の設定の自由度は他のプラットフォームと比較して低い。また、衛星を打ち上げるために必要な初期投資が他のプラットフォームと比較して高いことや、絶対数が少ないために、撮影頻度が少なくなることが課題となっている。

発災から画像取得までに要する時間については、撮影範囲の設定、撮影指示、撮影したデータの送信、地上での画像化作業等に約8時間かかる。しかし、衛星から被災地を撮影できる機会は毎日来るわけではないため、常にそのような迅速さで画像が提供される訳ではない。ポインティング機能を搭載した地球観測衛星の場合でも、再度同一地域を撮影するために3日程度は待つことが必要となる。そのため、発災後の一番早いタイミングで画像を提供できる可能性は、再帰観測日数が3日の衛星の場合、約3分の1ということになる。

また、災害前後に取得された画像を比較することによって被災箇所等を抽出する等の画像取得・処理技術の利用が可能である。

衛星の寿命は数年だが、その間は再帰日数の間隔で周回するため、観測対象となるエリアを定期的に撮影し続けることが可能である。

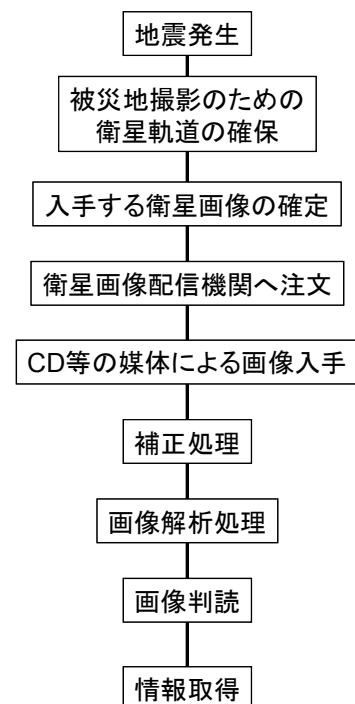


図 3-1 衛星データの入手から情報取得までのフロー

地球観測衛星は天候や昼夜に関わらずに飛行することが可能である。また、約 500km～1,000km 程度の上空からの撮影となり、一度に撮影できる範囲は、1m 程度の高い地上分解能を持つセンサを搭載した衛星で、数百 km²～数千 km² となる。他のプラットフォームと比べて広域の撮影が可能である。なお、特定の地球観測衛星の飛行高度は基本的に変わらないため、飛行高度を変化させることによる、撮影範囲や地上分解能の変化を考慮する必要はない。

衛星画像の精度について説明する。約 1 m の地上分解能を持つセンサを高分解能光学センサと呼び、約 1～10m の地上分解能を持つセンサを中分解能光学センサと呼ぶ。地上分解能は、1980 年代で 30m、1990 年代で約 10m と分解能の向上が図られてきている。2000 年代からは約 1m の地上分解能の画像を提供可能となっている。例えば、1999 年に打ち上げられた衛星 IKONOS は、地上分解能 0.82m（直下）のセンサを搭載している。また、2008 年に打ち上げられた衛星 GeoEye-1 は、地上分解能が 0.41m のセンサを搭載している。

図 3-1 に、地震が発生してから衛星画像の判読による情報取得までの一般的なフローを示す。地球観測衛星による撮影は一般的に 10 時 30 分頃に行われるため、衛星画像配信機関への注文は 7 時頃までに行うことが必要とされている。画像の伝送方法として、CD や DVD といった記録メディアに保存したものが送付されるのが一般的であるため、「CD 等の媒体による画像入手」と記した。なお、「判読」とは画像から被害を読み取る作業のことを指す。

（２）航空機

航空機を用いた観測は、大規模地震発生後に、測量用航空機によって上空から被災地を撮影するものである。防災担当者が広い範囲を対象として撮影計画を立てる際、直線上を 1 回飛行させるだけでは、帯状の範囲を撮影するに留まり、被災状況を把握するために必要な面積を観測することができない。そのため、防災担当者は、被災地の上空を U ターンを繰り返して短冊状に往復する経路を航空機にとらせることにより、被災地を面的に撮影する計画を立てるのが一般的である。この際、航続距離等を考慮して計画を立てる必要があるが、撮影範囲や方向等については比較的自由に設定できるものと考えることができる。また、航空機の離着陸及び飛行の可否は天候に左右されることも考慮する必要がある。

迅速性の面では、航空機を運用している機関が撮影指示を受けてから 5 時間程度で航空機による画像取得を開始でき、発災から約 10 時間以内にインフラ施設管理機関に画像を提供できる。

確実性の面では、夜間の運用については航空機及び空港に計器着陸装置が必要であることが挙げられる。また、そのような装置を操作できる操縦者の訓練が必要となる。そのため、夜間における飛行は困難となる

ことが多い。雨天時の撮影は不可能となっている。晴天時の有視界飛行についても、飛行視程や雲からの距離などの条件が整わなければ飛行することはできない。

航空機による定期的な撮影は一般的に実施されていない。航空機の名称や飛行経路等が記された過去の撮影計画等の資料が存在すれば、前回と同一の軌道で航空機による画像取得が原理的には可能であるが、一般に2回の撮影で気流等の条件が異なることが多く、航空機により全く同じ条件で画像を取得することは困難である。しかし、高い精度で軌道の同一性が求められる解析を行う干渉 SAR⁹を航空機による観測で実現する手法として様々なものが利用されている（例えば[6]）。

航空機で撮影される範囲は、1日2回撮影したと仮定して、1日で500km²程度であり、撮影された画像の地上分解能は、約0.2mとなる¹⁰。以降、この値を航空機による撮影の地上分解能として用いる。高度を下げて撮影した場合、地上分解能は向上するが、撮影範囲は狭くなる。

(3) ヘリコプター

ヘリコプターによる撮影は、被災地上空を飛行しているヘリコプターに設置されたセンサにより実施される。被災地上空を飛行しているヘリコプターから、斜面崩壊や盛土崩壊等が発生している箇所の個別の被害を対象として観測が行われたり、道路等に沿って飛行し、ヘリコプターの進路にある地物の状況を撮影したりする。

航空機と比較して巡航速度や機体の転回方向を自由に変えることが可能であり、撮影範囲や撮影方向の設定をある程度任意に行うことができる。

国土交通省地方整備局の防災ヘリは撮影指示を受けてから最短で30分程度で飛行可能である。さらに、無線で画像を配信することが可能であるため、迅速な画像提供が可能である。飛行高度が低いため、地上付近の天候や風の影響を強く受け、状況によっては飛行できないこともある。また、有視界飛行を原則とするため、航空機と同様に夜間運用の際には計器着陸装置等の特別な対策や操縦者の訓練が前もって必要になる。

撮影範囲は限定的である。一般的な航空機搭載用カメラの画角は29°程度である。このカメラで上空300mから撮影した場合、約24mの広さで被災地を捉える事が可能である。より上空から撮影すれば、高範囲を捉えられるが、地上分解能は低くなる。

衛星や航空機が面的な画像取得に適しているのに対し、ヘリコプターは高度が低く、撮影範囲は狭い。しかし、ヘリコプターでは、飛行高度

⁹干渉 SAR(SAR Interferometry)とは、SAR データの伝搬経路の相違から位相差を利用して干渉させ、地形の高低差を求める技術のことである[21]

¹⁰測量用の航空機及びカメラで、速度200km/h、高度2,300mの条件で、2時間ずつ撮影を行った場合の一例であり、撮影コースや使用するカメラによって異なる。

や進路を比較的自由に變えることができるため、道路や河川等の曲線状の地物を対象とした画像取得や被害個所をスポット的に撮影することに適している。

航空機と同様、定期的な撮影が組まれることはまれである。

防振装置付き高解像度CCDカメラと無線機を装備したヘリコプターである、ヘリコプターテレビシステムでは、衛星通信による長距離の情報伝達ができるようになっている。ヘリコプターテレビシステムの場合、動画により比較的高範囲を連続的に撮影できる。

搭載されているカメラが航空機と同程度であり、航空機よりも低空を飛行するため、地上分解能は、飛行高度によって数十cm～数mとなっている。

(4) 車両

車両による撮影とは、IMU¹¹やGPSを搭載した車両に設置されたセンサにより車両が走行する道路の周辺の様子を撮影するものである。このような車両を地上計測車と呼ぶ。この地上計測車が被災地の道路上を走行し、道路周辺の観測を行うことにより、例えば、地震による道路沿いの構造物の倒壊の有無を調査できる。

GoogleMapのストリートビューに見られるように、地上計測車による沿道建築物の画像のアーカイブが整備されている。また、整備された地上計測車であれば迅速な画像取得が可能となっている。車両による画像取得について本研究で取り上げたのは、地上計測車による観測として、様々な活用方策があり得るためである。

一般的な自動車を車両として利用することが想定されるため、出勤までに殆ど時間を要さないと考えられる。

撮影の定期性に関しては、以下の様なことがいえる。道路状況等によって必ずしも同じ条件で撮影できる訳ではない。豪雨等の極端な気象条件を除いて走行は可能である。また、夜間にも走行することができ、超高度カメラや熱赤外カメラを使用すれば撮影を実施することが可能である。

厳密に撮影条件を合わせることを考えなければ、車両が通行できる道路が確保されていれば、その道路を定期的に走行することで定期的な観測が可能となる。また、アーカイブデータを利用することで、表層高の変化部分を抽出できるので被災前後の画像を準備することは可能である。

高い分解能の画像を得ることができ、高精度のカメラで3m程度の至近距離からの計測で、1cm以下の分解能を実現しているものもある。反面、撮影範囲は必ずしも広くはない。一般的に、道路から数m程度離れた所までの計測が可能となっている。

¹¹ Inertial Measurement Unit (慣性計測装置): 3軸の加速度計と3軸のジャイロにより構成される装置。車両の姿勢を把握する目的で使用される。

以上をまとめ、4つのプラットフォームの相対的な特徴を整理すると表 3-2 のようになる。迅速性に関しては、条件が整えば当日中に撮影準備ができるものが多い。ただし、衛星については、数時間で画像を取得できるケースは少ない。

各プラットフォームによる観測は、撮影の必要が生じたときに1回で撮影して、画像を提供する、というやり方になると考えられる。しかし、定期的な観測は衛星が最も実施しやすいため、衛星によって定期的に被災地を撮影して画像を提供し続ける、というやり方も、余震が続く場合等にはあり得る。

表 3-2 プラットフォームの特徴比較

項目	人工衛星	航空機	ヘリコプター	地上計測車両
機体運用	不要	必要	必要	必要
撮影指示から撮影開始までの時間	数時間～	数時間～	30 分～	— (緊急調査に利用することは想定されていない)
飛行経路の自由度	固定軌道	有り	有り	有り (道路状況による)
同一条件での繰り返し撮影	可能	困難	困難	困難
天候の影響	有り (SAR の場合、無し)	有り	有り	無し
夜間運用	可能 (SAR なら撮影可能)	可能 (機体設備、操縦者訓練が必要)	可能 (機体設備、操縦者訓練が必要)	可能 (街灯があった方がよい。山間部は不可能)
撮影範囲	大 (1 回あたり数百 km ² ～数千 km ²)	中～大 (1 回あたり 250km ² 程度)	中	小 (2 日で約 35 k m)

※国総研資料第 159 号_災害時被害把握へのリモートセンシング技術の適用マニュアル(案)を参考に一部改変

3-2 画像処理のレベルについて

衛星画像に関して、衛星から取得したデータを図化した状態である原画像から、画像判読により抽出された様々な被害を地図中に記入した図面である災害概況図までの、画像処理の各レベルについて、その名称、内容の説明、さらに、点検等で得られる情報との対応を以下に整理した。

- 1) 「原画像」：取得したデータを画像化したものであり、画像処理のフロー（図3-1）において初めに得られる画像である。斜め上空から撮影された画像が多く、得られた画像が地図と一致したものになっていないのが一般的である。例えば、山岳や建築物等が斜めに倒れたように映っており、さらに、標高差による歪も画像に含まれている。そのため目視判読時に直感的な理解がしにくく、判読精度が劣る。倒壊家屋の分布等、被害の概況の把握や、土砂災害等の比較的規模の大きい被害を捉えるために利用できる。
- 2) 「オルソ画像」：原画像に対して、撮影範囲の地図と3次元地形モデルであるDEM¹²を用いて補正処理を行い、斜めから撮影された画像から、真上から見た画像を再現している画像である。原画像より歪が少なく、目視判読の精度が高いものとなっている。また、真上からの投影画像であるため、地図との重ね合わせが可能となり、斜面崩壊等の構造物以外の被害についても位置精度の高い判読結果が得られる。一次点検で対象となる被害のうち、上空から視認可能な被害の位置の抽出に利用できる。
- 3) 「エッジ強調画像」：オルソ画像に対して、濃度勾配を急峻にする処理を実行することで、人工的な輪郭を強調した画像が得られる。エッジ強調処理により、目視判読の対象となる構造物の輪郭を明確に認識できるようになるため、日常的にその構造物を管理している職員が、輪郭の不自然さを見つけることで被災箇所を認識することが可能である。特に道路施設や河川施設等の人工物に関して、判読精度の向上が期待される。一次点検で対象となる被害のうち、上空から視認可能な被害を迅速に判読可能である。インフラ施設の輪郭の線形を判読することで、被害状況を把握することが可能である。エッジ強調処理により、河岸斜面の崩壊を抽出しやすくなった例はある[7]。
- 4) 「災害概況図」：一次処理画像や二次処理画像を目視判読し、その結果を被災地全体の地図中に記入した図面が災害概況図である。図面上に分布する被害の特徴等、様々な情報を一覧できるため、災害対応業務に必要な移動

¹² Digital Elevation Model（数値標高モデル）：地形の形状を表現するためのデータ。等高線によって表示されるものやメッシュ点の標高データによって表現されるものがある。

ルートの検討や緊急調査の優先順位の決定等の様々な意志決定を支援する参考資料とすることが可能である。災害概況図は画像ではないが、画像から抽出された被害の情報を取りまとめた図面であるため、説明を加えた。

説明文中に記している、「一次処理画像」、「二次処理画像」については、それぞれ以下のように定義した。

- 「一次処理画像」：原画像に対して、オルソ補正やエッジ強調処理のような機械的な処理を加えた画像のことを一次処理画像と定義した。処理に時間がかからず、短時間に画像を提供可能である。原画像から判読することが困難であるが、一次処理画像から判読することが比較的簡易な被害の抽出には、この一次処理画像の利用が有効となる。対象となる被害の例として、3-2 3) で例示した、河岸斜面の崩壊などが挙げられる。表 2-1 に記されているような、一次点検で対象となる被害のうち、上空から視認可能な被害を確認できる。
- 「二次処理画像」：一次処理画像を基に、人間による判読の代わりに、機械的な処理により、被害箇所を推定するのが二次処理である。例えば、発災前後の 2 枚のオルソ画像の差分を取って、差分の大きい部分を被害箇所であると推定する処理が二次処理に相当する。変化箇所を抽出することで、斜面崩壊の様な二時期で色が変化している箇所を特定できる。判読対象となる被害は、一次処理画像と同様であり、表 2-1 に記されているような、一次点検で対象となる被害のうち、上空から視認可能な被害である。

3-3 画像取得・処理技術の災害対応業務への適用可能性の整理

本節では、災害対応業務への画像取得・処理技術の適用可能性を評価するにあたり、5つの評価軸を設定する。さらに、各評価軸に関して、現状の技術レベルを調査する。さらに、災害対応業務のニーズを基にした要求性能と技術レベルの比較から、画像取得・処理技術の適用可能性について整理する。

適用可能性を整理するための評価軸として、「迅速性」、「正確性」、「広域性」、「確実性」、「定期性」という5点を設定した。以下、これらの評価軸に関して説明する。

「迅速性」は、画像提供の時間に関する軸である。迅速性の評価を行う際、災害対応業務の各ステップに画像提供が間に合うかどうかという視点で検討することとなる。「正確性」は、画像の精度に関する軸である。画像から被害を把握できるかどうかという視点で検討することとなる。「広域性」は、画像の広さに関する軸である。画像取得・処理技術による被災状況の把握が必要な地域をカバーしているかどうかという視点で検討することとなる。プラットフォームによっては、撮影範囲の形状に制限が発生する場合があります、画像解析の精度にも影響を及ぼす。「確実性」は、画像の提供が機能する可能性に関する軸である。画像の提供が様々な要因からどの程度阻害されるかという視点で検討することとなる。「定期性」は、同じ条件で複数回撮影できる可能性に関する軸である。同じ条件で繰り返し撮影することができるかという視点や、撮影のインターバル等を自由に設定可能であるかどうかという視点で検討することとなる。定期性を検討する目的は、同じ地域を撮影対象とした時期の異なる画像から差分を抽出できる可能性があるためであり、画像解析の精度は軌道の再現性や撮影のインターバルに影響を受けるからである。

次に、現在の画像取得・処理技術が有している技術レベルについて説明する。

迅速性に関しては4. で詳細に説明しているが、概略を以下に示す。衛星により撮影される画像は、12時間以内に提供できる場合がある。航空機により撮影される画像は、12時間以内に提供することが不可能である。24時間以内に画像を提供できる可能性については、発災の時刻によって、航空機、衛星ともに可能な場合と不可能な場合がある。4. には記していないが、地上計測車による画像提供は発災後5時間後からとなる。

正確性に関しては、中分解能光学センサを搭載した衛星で撮影された画像は、地上分解能が約10mである。高分解能光学センサを搭載した衛星により撮影された画像は、地上分解能約1mである。航空機で撮影された画像は、地上分解能約0.2mである。

広域性に関して、画像取得の範囲については、中分解能光学センサで撮影された画像のように、広範囲で被災地を捉えられるものはある。ALOS を例にとって考える。ALOS に搭載されているセンサには、AVNIR-2、PRISM、PALSAR の 3

種類があるが、ここでは AVNIR-2 のみを扱う。その理由は、PRISM にはポインティング機能がなく、画像の精度は高いものの直下のみの撮影となっているため、再帰観測日数が 46 日となっており、本研究の趣旨としては適合しないと考えられるからである。PALSAR は、SAR であり、比較的地上分解能が低いのでここでは考えない。AVNIR-2 の撮影面積は 10,000km² 程度である。また、その一方で、高い地上分解能を持った画像取得・処理技術の撮影面積は相対的に狭いものとなっている。例えば、約 0.5m の地上分解能を有する光学センサを搭載した GeoEye-1 により約 3,000km² の範囲を一度に撮影した実績がある。GeoEye-1 のばあい、帯状の撮影のみでなく矩形領域の撮影も可能となっている。

確実性に関しては、衛星による撮影については、天候や軌道条件により、撮影が可能となるかどうかが決まる。光学センサで撮影する場合、日中の観測が時間帯に関する条件となる。一般的な地球観測衛星の再帰日数が数日程度であり、単独の衛星では毎日撮影することはできない。しかし、複数の衛星を組み合わせることや、SAR を利用して悪天候時も情報収集する取り組みが実施されており、確実性は改善しつつある。衛星に関しては、国際災害チャータ¹³による大規模地震発生後の緊急撮影等の実績は多いが、常に発災当日に緊急撮影が実施される訳ではない。画像取得・処理技術のプラットフォームとして航空機やヘリコプターを利用する場合、日中の飛行が前提となる。計器飛行により夜間の撮影を実施するとした場合でも、計器着陸装置等の装置を備えた機体や設備が整った飛行場は限られているため、災害の発生時刻にかかわらず確実に画像提供ができるケースは限られる。

定期性に関しては、同一条件での衛星による撮影は、回帰日数の間隔で行うことが可能である。航空機やヘリコプターによる撮影については、位置や姿勢を制御することで、過去の撮影条件を再現することが原理的には可能である。しかし、一般的には、気流等の条件が整わないために完全に一致した条件での撮影は困難となっている。

表 3-3 は、現状の技術レベルを表にまとめたものである。この表は、地上分解能が約 1m 以下の画像を取得できる高分解能光学センサのうち最新のものの、地上分解能が約 10m の画像を取得できる中分解能光学衛星、地上分解能が約 0.2m の画像を取得できる航空機、地上分解能が数 cm の画像を取得できる地上計測車、に関する諸元等を整理したものである。どのような周期、時間、時刻で画像が取得できるか、また、得られる画像の諸元として波長帯、地上分解能、撮影幅・長さ、がどのようなものか、さらにそれらの画像を処理するために必要な設備等に関する情報を載せている。表 3-3 の中で、「パנקロ」(パנקロマティックスセンサ)により、肉眼とほぼ同じ明暗を白黒で表現できる。「マルチ」(マルチスペクトルセンサ)により、赤、緑、青に相当する波長帯を観測し、カラー

¹³宇宙機関を中心とする災害管理に係る国際協力枠組みのことである。2005 年 4 月現在までに、宇宙航空研究開発機構(JAXA)を含む 7 つの宇宙機関が参加している。大規模な災害発生時に、地球観測衛星データの無償提供を行うことにより、災害から生じる危機の軽減等に貢献している。

画像を再現できる。「ラインセンサ」とは、列状に撮像素子を並べたセンサを走査させて画像を取得するセンサである。「エリアセンサ」とは、航空カメラと同じ投影方法で画像を取得するセンサである。

最後に、画像取得・処理技術の要求性能と技術レベルを比較し、各評価軸に関する適用性を評価する。

迅速性に関しては、大規模地震発生後における地方整備局による被災状況の把握の目標時間は3時間（道路）、12時間（河川）、24時間（本部室）となっている。一方、上記の通り、衛星画像の提供は12時間以内に可能となる場合があるが、3時間以内に可能となることはないため、河川施設の被害状況や災害対策本部室への情報提供方法として有効となることが考えられる。詳細は4. に記した。

表 3-3 実用面を考慮した画像取得・処理技術の整理表

プラットフォーム		人工衛星				航空機	地上計測車 (360° 撮影)
		WorldView-2	GeoEye-1	IKONOS	ALOS (AVNIR-2センサ)		
外観							
開発国		米国	米国	米国	日本	日本	日本
運用機関(会社)		DigitalGlobe社	GeoEye社	GeoEye社	JAXA	国土地理院	—
諸元	高度	770km	681km	680km	691.65km	1.1km	0km
	傾斜角	98°	98°	98°	98°	—	—
	回帰日数	3.7日	11日 (60° 以内)	11日 (10° 以内) 3日 (60° 以内)	2日以内	—	—
	周期	100分	約98分	約98分	約99分	—	—
センサ諸元							
	観測 バンド	パングロ マルチ (8バンド)	パングロ マルチ (4バンド)	パングロ マルチ (4バンド)	マルチ (4バンド)	パングロ マルチ 近赤外	カラー画像 熱赤外・超高感度素 子 (検討中)
	地上 分解能	パングロ (0.46m) マルチ (1.84m)	パングロ (0.41m) マルチ (1.64m)	パングロ (0.82m) マルチ (3.3m)	パングロ (2.5m) マルチ (10m)	数cm~1m (カメラの空間分解能 や撮影高度に依存)	撮影距離による (数mm~数十cm)
	観測幅	16.4km (直下)	15.2km (直下)	11.3km (直下) 13.8km (1.0m分解 能)	70km (直下撮影) 150km (斜め44度撮 影)	数百m (ラインセン サ) 数km (エリアカメラ)	—
	観測長さ	数百km	数百km	数百km	数百km	数百m~数km (ライン センサ) 数百m~数km (エリア カメラ 1 シーン)	2日で35km (柏崎の実績)
撮影時間帯		午前10時30分前後	午前10時30分前後	午前10時30分前後	午前10時30分前後	日中	日中 (夜間の検討 中)
画像入手までの 最短時間		8時間	8時間	8時間	7 時間	14時間	場所・観測時間によ る
データ容量		1km ² あたり約32MB (50cm分解能 カ ラー4バンド)	1km ² あたり約32MB (50cm分解能 カ ラー4バンド)	1km ² あたり約8MB (カラー4バンド)	1シーン (70km× 70km程度) あたり 約160~230MB	1シーンあたり数百MB ~数GB (エリアカメラ の場合 1 シーン数 100m ² ~数km ²)	1kmあたり400MB
データ受信のため に必要な装置		・通信用アンテナ及び付属する通信設備 等 ・インターネット回線 ・FTPサーバ					
画像情報を表示す るためのハード ウェアに関する情 報		・ディスプレイは通常のもので問題ない (3D等の特殊処理を除く) ・処理能力を向上させるためには、メモリ、グラフィックボードなどが必要となる ・画像データを保存するためのHDD等の記憶装置 (TB (テラバイト) ~PB (ペタバイト)) が必要となる ・ハードコピーを出力するための大型プリンタ (プロッタ) が必要となる					
画像情報を表示す るためのソフト ウェアに関する情 報		・リモートセンシング画像処理用ソフトウェア (画像管理検索用ソフトウェア等も含む) が必要となる ・GISソフトウェアが必要となる ・その他必要な画像の処理専用で作製された (独自の) ソフトウェアが必要となる					

正確性に関しては、中分解能光学センサを搭載した衛星で撮影された地上分解能約 10m の画像は、数 m 程度の大きさの被害を捉えられない。しかし、斜面崩壊等の 100m 程度の大きさの被害の有無を捉えられるため、大きな被害を取りこぼさずに抽出する目的で利用できる。高分解能光学センサを搭載した衛星により撮影された地上分解能約 1 m の画像や、航空機で撮影される地上分解能約 0.2m の画像であれば、対象物が 10 ピクセル分あれば画像からの判読で被害を抽出可能である[9]ことから、表 2-1 における、盛土や橋梁等の道路施設の被害等 10m 程度の大きさの被害を捉えることができる。具体例として、地上分解能 0.2m の航空機画像から、切土のり面の崩壊を検出でき、被災度の判定を行える可能性がある。切土のり面の崩壊は、落石土量が 100m^3 を超える場合に被災度 A と判定される。崩壊土量の容積から、このような崩壊は 4 ～ 5 m 程度の大きさを持つと考えられるため、地上分解能 0.2m の航空機画像から被災度 A の崩壊の有無を判定することができる。

地上分解能が高い画像を利用した方が、詳細な施設被害を抽出可能である。しかし、例えば、中分解能の光学画像が迅速に入手できた場合、道路施設などの施設被害を抽出することはできないが、地すべり等の土砂災害を抽出することは可能であるため、大きな被害を取りこぼしなく把握することに役立つと考えられる。

大規模地震発生後における被害の情報と、画像取得・処理技術により抽出できる情報の対応をとった結果を表 3-4 に示す。表 3-4 は、航空写真をもとに、地上分解能を落とした画像を利用して、被害を抽出できるかどうかを検証した結果をまとめた資料である。表 3-4 の下には、表に掲載された被災状況を示す写真を載せた。以下、個別の被害について説明する。No.1 は、西宮港大橋の落橋現場の写真である。支間 52m の桁が落下した状況を示している。地上分解能 2m の画像から被害状況を判読することが可能となっている。No.2 は、浜手バイパスの桁の移動現場の写真である。橋軸直角方向に約 3.5m の相対変位が生じている。地上分解能 1m の画像から被害状況を判読することが可能となっている。No.3 は、大開駅直上の路面陥没状況の写真である。最大で 2.5m に及ぶ陥没が生じる被害を受けている。地上分解能 1m のカラー画像であれば検出可能であるとされている。No.4 は、神戸港中突堤地区の被害状況を示す写真である。護岸倒壊等の被害が生じている。倒壊した護岸の長さは約 156m であるが、被害の大きさに相当する護岸の幅は約 4.5m である。地上分解能 2m の画像であれば、液状化、土砂流出、護岸被害を抽出することが可能となっている。この検討によると、対象物が 10 ピクセル以下の大きさであっても抽出可能であるという結論となる。しかし、参考文献[9]には、地物の形状によっては被害が 3～4 ピクセル程度の大きさでも、判読誤差を小さく抑えられるという内容も記されているため、既往研究の内容と整合する結果が得られている。

現在の地球観測衛星や航空機等によって撮影される画像には、これらの地上分解能を有するものがあるため、現在の画像取得・処理技術にも高い正確性を

有するものがあるといえる。

広域性に関しては、大規模地震の場合、被害が集中する地域の広さが、約 1,000～約 10,000km² となるため、この程度の広さを捉えられる画像取得・処理技術が求められる。1 回の撮影でこの範囲を撮影可能なプラットフォームは衛星のみである。それ以外の、航空機、ヘリコプター、地上計測車は、部分的な被災状況を把握するために利用されることになる。

確実性に関しては、大規模地震発生後に、天候や昼夜に関わらず、画像取得・処理技術をインフラ施設管理者が利用でき、画像を入手できることが求められる。発災後の確実な画像取得が災害対応業務に求められるからである。この条件を完全に満たす単独の画像取得・処理技術は現在には存在しない。先述の通り、衛星の場合、国際災害チャータ等による複数衛星を利用した観測を実施することで軌道条件により撮影できない状況を避ける努力は行われている。

定期性に関しては、同一の条件で繰り返し撮影できることが求められる。なぜなら、二時期に撮影された画像どうしを比較することで、その前後に発生した変化を抽出し、被害の位置や大きさを特定することが、被害抽出の一つの方法であるからである。ここで、画像提供のインターバルは、画像取得・処理技術の運用上可能な程度の長さであり、かつ、災害対応業務に利用可能な程度の短さであることが求められる。技術レベルの段落で述べた通り、航空機やヘリコプターで完全に一致した条件で再撮影を実施することは困難である。また、衛星の場合、一定の期間で再撮影可能となっているが、インフラ施設管理者がインターバルを決めることはできない。ここでも、複数の衛星を利用することで定期性を確保することが有効となると考えられる。

以上より、「迅速性」、「正確性」、「広域性」、「確実性」、「定期性」という画像取得・処理技術の各技術レベルについて、現在の技術の中で、要求性能を部分的に満たす技術があるものの、要求性能をすべて満たす画像取得・処理技術は現時点では存在しないことが整理された。

表 3-4 被災状況とセンサの地上分解能の関係

被災施設	被害状況	地上分解能 20cm		地上分解能 50cm		地上分解能 1m		地上分解能 2m		地上分解能 10m	
		カラー	白黒	カラー	白黒	カラー	白黒	カラー	白黒	カラー	白黒
西宮港大橋	落橋(橋長52m)										
浜手バイパス	桁3.5m横ずれ										
大開駅直上	路面陥没										
神戸港中突堤	液状化										
	土砂流出										
	護岸被害										

: 検出可能
 : 検出おおよそ可能
 : 検出不可能

No. 1 : 西宮港大橋



支間52m 落差25m[23]

No. 2 : 浜手バイパス



横ずれ約 3.5m[23]

No. 3 : 大開駅直上



延長約 90m、幅約 23m、
最大深約 2.5m[22]

No. 4 : 神戸港中突堤



護岸倒壊 約 156m[23]

4. 迅速性に着目した適用性の評価

3. で述べたとおり、本研究では、画像取得・処理技術の評価軸として、迅速性、正確性、広域性、確実性、定期性を挙げ、各評価軸について適用性を整理した。国民生活や経済活動に及ぼされる地震災害の影響を軽減するためには、その中でも迅速な被災状況の把握が不可欠である。そのため、迅速性は重要な評価軸の一つである。

画像取得・処理技術の迅速性については比較的多くの研究が実施されてきており、さらに、定量的な検討が可能であるため、4. では、迅速性を中心に評価を実施する。

4-1 被災状況の把握に要する時間について

迅速性については、各種画像取得・処理技術によって得られる画像を、災害対応業務の現場にとって利用価値のある時間に提供できるかどうかを整理する。

以下、1) で、業務継続計画に記されている事項から、画像提供に求められる目標時間を整理した。次に、2) で過去の大規模地震における点検状況から、現状としてどの程度の時間を被災状況の把握に要しているかを整理した。そして、3) で、迅速性を評価する基準について検討した。なお、判読に費やされる時間は、提供される画像の撮影範囲や、地上分解能、判読者の人数等に依存する。そのため、判読時間に関する検討が別途必要であるが、本研究では、判読に時間を要さないという仮定を設定した。

1) 災害対応業務における目標時間の抽出

図2-1に整理した業務継続計画の内容のうち、本研究で対象としている被災状況の把握に該当するのは、1日以内を目標とした「被災状況の収集・整理・記録」（災害対策本部室）、12時間以内を目標とした「支部点検報告の収集・整理」（災害対策本部室河川部）、3時間以内を目標とした「支部点検報告の収集・整理」（災害対策本部室道路部）である。

業務継続計画は、重要度がⅠ～Ⅴのレベルに分類された災害対策業務のうち、Ⅲ以上のレベルを対象としてまとめたものである。表4-1は、レベルとその内容を整理したものである。レベルⅤは、「人命にかかわること、深刻な安全・治安の問題、大多数の被災者困窮等の甚大な社会的影響が発生するレベル」である。本研究では、生命にかかわるような重大な遅延を回避

表 4-1 「影響レベル評価」の基準

レベルⅠ：影響は軽微～	目立った故障や不便はなく、社会的影響はわずかなレベル
レベルⅡ：影響は小さい～	若干の社会的影響があるレベル
レベルⅢ：影響は中程度～	国民生活上での不便、法定手続の遅延、契約履行の遅延などの社会的影響が発生するレベル
レベルⅣ：影響は大きい～	法令違反、重要な法定手続の遅延等の相当の社会的影響が起こることが予想されるレベル
レベルⅤ：影響は極めて大～	人命に関わること、深刻な安全・治安の問題、大多数の被災者困窮等の甚大な社会的影響が発生するレベル

することを目標として、各業務のレベルⅤの目標時間を基準として採用した。

これらの目標時間は、地方整備局本局や事務所、出張所のインフラ施設管理体制の被災状況の把握能力を考慮した上で決定されたものであり、インフラ施設管理機関のニーズを反映していると考えられる。

一方、「愛知県庁業務継続計画〔想定東海・東南海地震連動編〕」[10]には、部局ごとの行動目標が時系列に整理されている。その中で、「道路の応急復旧」として、「3時間以内に通行規制情報（第1報）を提供し、24時間以内に緊急輸送道路全体の被害状況を把握する」ことが挙げられている。また、「公共土木施設の応急復旧」として、「河川及び海岸については、3時間以内に被害情報（第1報）を提供し、3日以内に全体の被害状況を把握する」ことが挙げられている。各行動目標の影響レベルについては記されていなかった。

緊急調査で収集する情報と画像取得・処理技術で収集される画像から得られる情報の対応について説明する。ここで、目標時間に収集されるべき情報は、緊急調査で把握できる被害となっている。例えば、道路に関しては、表2-1の項目がそれに相当する。画像取得・処理技術によって被害を抽出することが可能なのは、これらの被害のうち、上空から視認できるものである。画像取得・処理技術を用いることで、道路が寸断されて緊急調査に入っていけない地域の被災状況の把握が可能となる。また、平面道路等の上空からの視認で確認できる構造物やダム等の大型構造物の被災状況を把握できるため、緊急調査を実施する上で、参考にすることが可能である。

2) 過去の大規模地震発生後における被災状況の把握に要した

調査対象とした大規模地震

地震名	発生年月
兵庫県南部地震	1995年1月
新潟県中越地震	2004年10月
石川県能登半島沖地震	2007年3月
新潟県中越沖地震	2007年7月
岩手・宮城内陸地震	2008年6月
岩手県沿岸北部を震源とする地震	2008年7月

管理区分	地震名称	経過時間 [時間]											
		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
道路	高速	兵庫県南部											
		兵庫県南部											
		中越											
		能登半島											
		中越沖											
	直轄	岩手・宮城											
		岩手北部											
		兵庫県南部											
		中越											
		能登半島											
	県	中越沖											
		岩手・宮城											
		岩手北部											
		中越											
		能登半島											
河川	直轄	中越沖											
		岩手北部											
		岩手・宮城											
		中越											
		能登半島											
	県	中越沖											
		岩手・宮城											
		岩手北部											
		中越											
		能登半島											
砂防	県	中越											
		能登半島											
		中越沖											
		岩手・宮城											
		岩手北部											

図 4-1 被災状況の把握に要した時間

時間の抽出

実際の地震災害において被災状況の把握にどの程度時間がかかったかを知るため、本節では、過去の大規模地震で被災状況の把握に要した時間を調査した。対象は、兵庫県南部地震以降の大規模地震とし、記者発表資料等により、施設の種類毎に被災状況の把握に要した時間について整理した。

その結果を図 4-1 に示す。図中の地震名称という列には、付属している表「調査対象とした大規模地震」の中の地震名を略して記している。道路については、高速道路、直轄国道、県管理道路の順番に被災状況の把握が完了していることが分った。この原因として、点検に割ける人員や管理延長の違いが挙げられる。高速道路や直轄国道については、多くの場合 6 時間以内で被災状況の把握が完了し、道路網が広範囲に被災した兵庫県南部地震や、有料道路を中心として能登地方の主要幹線道路に被災が集中した石川県能登半島地震でも、24 時間程度で完了している。また、県管理の道路については、概ね 24 時間以内に被災状況の把握が完了しているが、兵庫県南部地震の際は、10 日以上要している。河川に関しては、国管理の河川については目標時間である 12 時間から 24 時間で被災状況の把握が完了しているが、県管理河川についてはすべてのケースで 24 時間以上要し、2 日間以上を要する場合もあった。砂防については、すべてのケースで被災状況の把握に 3 日以上要している。

3) 迅速性を評価する基準について

被災状況の把握について、1) の文中に記した業務継続計画の目標時間と、2) で検討した過去の災害における実績時間とを整理すると以下のようなになる。

直轄については、本局の道路部で 3 時間、河川部で 12 時間、本部室で 24 時間が目標とされている。一方、過去の実績では、この時間を超えるケースはあるものの、概ねこの時間を目途に被災状況の把握が完了しているといえる。また、県管理区間については、対象延長の長さや被災状況の把握に割ける人員の問題等から直轄よりも大幅に被災状況の把握の完了が遅れる傾向があり、実績として道路は約 24 時間、河川は約 48 時間を要し、砂防は 72 時間程度以上要している。これらの時間が、画像取得・処理技術による画像提供の迅速性を評価する基準となる（表 4-2）。表中で「本部」とは、本局に設置される災害対策本部のことである。なお、表中では、業務継続計画に記されている目標時間を「目標」、過去の大規模地震発生後における被災状況の把握に要した時間を「現状」として、目標と現状の差がどの程度あるかを示した。

目標時間のうち、県管理の

表 4-2 被災状況の把握時間（不明な項目は「—」で標記した）

管理区分		目標 [hr]	現状 [hr]
本部	国	24	—
	県	3	—
道路	国	3	6
	県	24	24
河川	国	12	12
	県	72	48
砂防	県	120	72

インフラ施設の被災状況の把握に要する時間は前出の「愛知県庁業務継続計画〔想定東海・東南海地震連動編〕」[10]と「地震等に伴う大規模土砂災害発生後の『土砂災害危険箇所等の緊急点検要領（長野県版）』」[11]を基に記した。それ以外の目標時間、現状の時間は、これまでに検討した結果を記している。県管理の河川施設の被災状況の把握に要する時間が、目標よりも現状の方が短いものがある。これは、目標時間を愛知県の業務継続計画から引用している一方で、現状の時間を複数の過去の大規模地震の平均的な時間を用いていることが原因である。

4-2 画像処理技術により得られる情報の整理

画像取得・処理技術によって得られる画像を、どの程度の所要時間で提供可能となるのかを表す時系列について整理した。画像の提供時間を示す図が図 4-2～図 4-3 である。画像提供のためのプラットフォームとしては、人工衛星、航空機を考慮した。ヘリコプター、自動車については、撮影準備に時間がかからないため、図には記さなかった。センサとしては、光学センサ、マイクロ波センサ等を考慮するものとした。所要時間の整理にあたっては、撮影に至るまでの所要時間、画像の処理レベルに応じた所要時間、画像伝送・配送のための所要時間、についても考慮して作成した。ここで、一般的な画像提供に至る段階は、撮影計画、撮影指示、軌道確保、撮影、画像データの受信、画像解析、となっている。

また、図中に、今回調査対象とした地震災害のうち規模の大きな 3 ケースにおいて被災状況の把握に要した時間も併記することで、各画像提供のタイミングでどの地震のどの種類の施設への画像提供が可能であるかが示されている。

各地震における被害把握実態と比較して、これらの画像取得・処理技術の利用可能性を図 4-2～図 4-3 の中の吹き出しで示した。吹き出しの中に記した内容の意味は以下に示すルールにしたがって読み取ることができる。

《地震》

兵：兵庫県南部地震

新：新潟県中越地震

岩：岩手・宮城内陸地震

《対象分野》

河：河川関係（堤防破損 等）

砂：砂防関係（がけ崩れ、地すべり、河道閉塞 等）

道：道路関係（道路閉塞、落橋、高架段差 等）

《管理者》

（国）：国管理

（県）：県管理

《記述例》

図 4-2 の IKONOS の第一行、すなわち、軌道条件が「軌道：1 日目に撮影可能」となっている行の、「二次処理画像」と記されているセルのコメントに、「兵／道（国・県）」と記されている。これは、「兵庫県南部地震において道路（県管理・直轄）の状況把握を実施している際に画像が提供され、

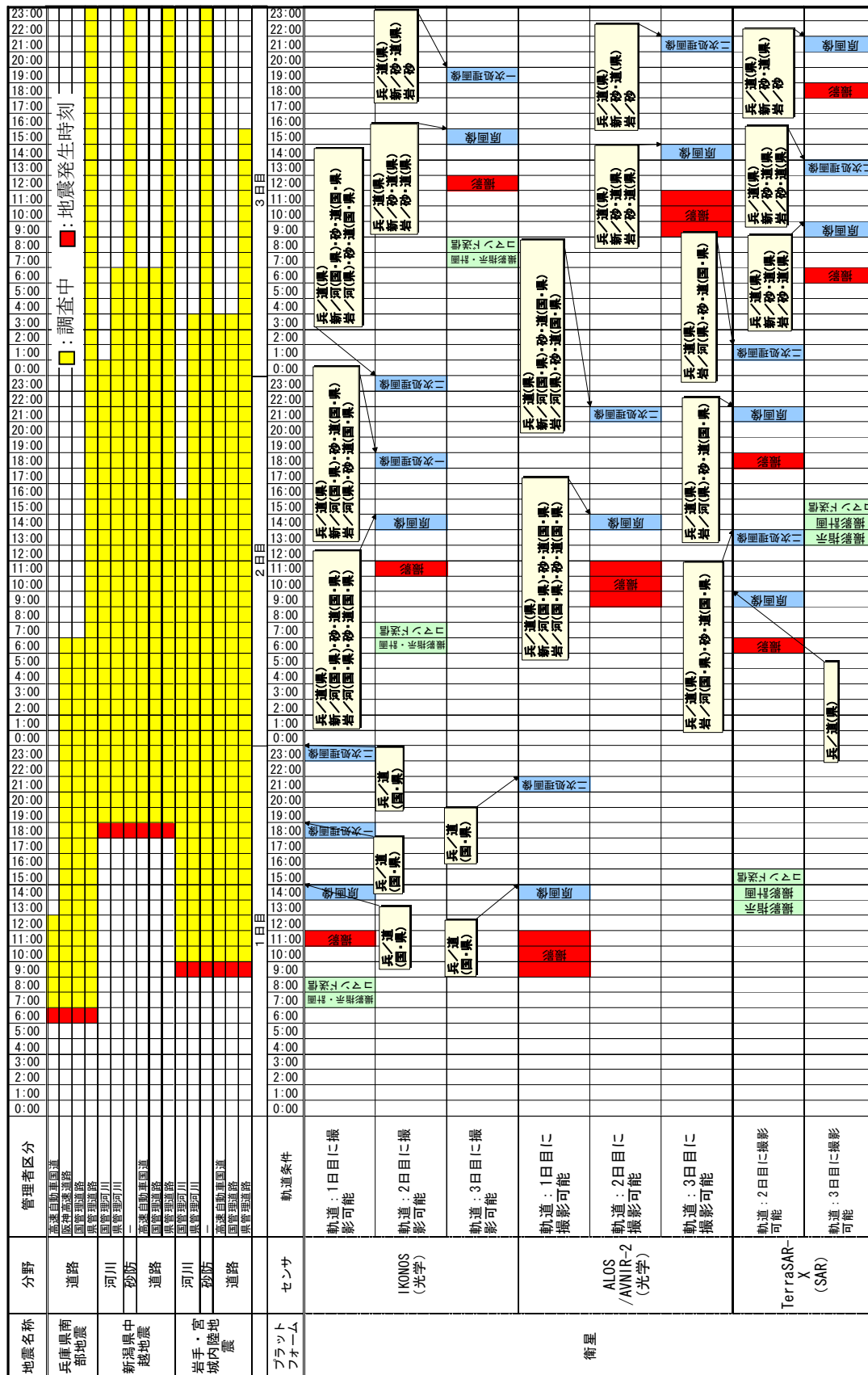
未調査エリアの被災状況の把握や既に調査したエリアの被災状況の確認を実施できる」という意味である。一次処理画像のセルにも同様な記述がある。この場合、原画像と一次処理画像との使い分け方として、原画像から把握し易い被害を原画像が提供された時刻以降に判読し、一次処理画像を用いた方が容易に判読できる被害については一次処理画像が提供されてから判読を行う、というやり方があり得る。

図中に示したプラットフォームで撮影された画像は、それぞれ異なる仕組みで処理される。そのため、全ての行に、「原画像」、「一次処理画像」、「二次処理画像」が揃っている訳ではない。

また、図中で、防災担当者によって、飛行ルートや撮影範囲等を決めた撮影計画の立案や、プラットフォームを所有している組織に撮影計画を伝えて撮影を指示することが行われる。ここで、防災担当者とは、インフラ施設管理機関の災害対策本部に属している担当官のことを指す。

地上局から衛星に向けた具体的な撮影指示の送信は、衛星運用機関が実施する。航空機による撮影に関しては、民間企業に撮影を外注する場合は、業者選定等の手続きがインフラ施設管理機関内部で必要となる。そのため、国土地理院が管理している直営の航空機での撮影よりも、民間企業による撮影が数時間遅れて実施されることになる。今後、海溝型地震などの広域災害に対する業務継続計画に、事前に選定した民間企業による撮影を位置付けることができれば、この時間は短縮される。

提供された画像から判読可能な情報は、上空から視認可能なものに限定されている。そのため、橋脚やトンネル覆工等の調査は、インフラ施設管理者による緊急調査が必要となる。この様に、実際の被災状況の把握には、複数の手法を組み合わせる必要があることになるため、本研究で検討結果は、あくまでも迅速性の面における適用の可能性を示すものである。今後、判読により抽出される被害の種類を整理した上で、画像取得・処理技術を適用した場合の被災状況の把握がどの様に変化するかを調査することが必要である。



地震名称	分野	管理者区分	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
兵庫県南部地震	道路	高速自動車国道 阪神高速道路 国管理道路 県管理道路 国管理河川 県管理河川																								
	河川																									
	砂防																									
	道路	高速自動車国道 国管理道路 県管理道路 国管理河川 県管理河川																								
新潟県中越地震	河川																									
	砂防																									
岩手・宮城 内陸地震	道路	高速自動車国道 国管理道路 県管理道路																								
	砂防																									
プラットフォーム	センサ	天候条件	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
航空機	光学 (外注)	天候：2日目良好 (晴れ)																								
	光学 (直営)	天候：2日目良好 (晴れ)																								
	一眼レフデ ジカメラ (斜め)	天候：2日目良好 (晴れ)																								

図 4-3 画像取得・処理技術及び状況把握実態 (2)

4-3 迅速性の面での適用性の評価

1) 過去の地震災害を対象とした検討

図 4-2～図 4-3 から、規模の大きな地震災害において被災状況の把握が完了するまでに画像を入手できるかどうかを読み取る。対象とする地震災害は、兵庫県南部地震、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震の 3 つの地震である。衛星画像を利用する場合、軌道条件にもよるが、発災当日や翌日に衛星が被災地を撮影できるようになる場合があるため、発災当日や翌日に画像が提供可能となる場合がある。一方、航空機で撮影された画像を利用する場合、撮影準備や移動に時間を要するため、多くの場合、発災翌日に撮影が実施され、発災翌日の夜や 3 日目に画像が提供されることになる。ただし、夕刻時撮影が可能である場合、早朝に発災した場合に限り、当日中の撮影が可能である。ヘリコプターや車両による観測を実施する場合、日中で気象条件が良好であれば、当日に画像の提供が可能である。

具体的な例として、IKONOS による画像提供に絞って、過去の地震災害における被災状況の把握が完了するまでに画像提供が可能となるかを考察する。IKONOS について記すのは、打ち上げから 10 年以上経過し、災害監視の実績や画像解析に関する研究が数多く実施されてきており、実績が蓄積されているからである。以下の検討では、衛星が毎日上空を通過すると仮定する。発災が早朝であった兵庫県南部地震については、当日の画像提供により、大きな被害を把握することで緊急調査の優先順位を変えることができるため、被災状況の把握が効率化する。新潟県中越地震の場合、翌日夕方に画像を提供することができ、河川、砂防、道路といった多くの施設の被災状況を画像から把握する事が可能となる。画像の地上分解能が約 1m という高分解能であるため、河川に関しては、天然ダムの形成確認や河川堤防の崩壊が把握され、砂防に関しては、斜面崩壊の発生状況が抽出され、道路に関しては、盛土の崩壊や切土の崩壊が抽出される。岩手・宮城内陸地震の場合、新潟県中越地震の場合と同様な画像提供が可能となるが、地震発生時刻が撮影指示の期限の直後であったため、県管理河川等、緊急調査の完了の方が画像提供よりも早くなるインフラ施設が数ケース見受けられる。

ここで、複数の衛星から画像が提供される仕組みが構築されていることが、衛星が毎日上空を通過するとの仮定の前提である。

2) 一般的な地震災害を対象とした検討

次に、画像取得・処理技術がどの程度インフラ施設管理機関のニーズを満足しているかを評価するために、表 4-3(a)～(d)のように衛星や航空機といったプラットフォームで撮影される画像の提供の可能性を整理した。表中の「○」「×」は、「原画像」と「二次処理画像」が目標時間内に提供できる場合と、提供できない場合にそれぞれ対応している。この表を作成するに当たり、各画像取得・処理技術による画像提供が、図 4-2～図 4-3 に記されている時系列で実施されると仮定した。また、衛星搭載の光学センサについて、衛星が対象地域付近の直上を毎日通過し、画像撮影が毎日可能であること、晴天が続くことと、航空機搭載の光学センサについても、天候条件が良好であり、毎日撮影が可能であることも仮定した。

整理した結果から、3 時間以内の画像提供はいずれの手段を用いても不可能であることが分る。一方、72 時間以内の画像提供は、どの手段でも可能となっている。航空機による空中撮影では、12 時間以内の画像提供は不可能であるが、衛星画像の提供は 1 2 時間以内に行うことが可能となる場合がある。24 時間以内の画像提供については、航空機、衛星ともに可能な場合と不可能な場合が、発災の時間帯によって異なっている。

衛星画像の迅速性にもっとも大きな影響を及ぼすのは、衛星の軌道である。したがって対象とする災害が、何時に発生するかによって迅速性が大きく異なってくる。

発災後すぐに、インフラ施設管理者が撮影依頼範囲の設定等の準備に取り掛かると仮定すると、災害の発生が 14:00 から 7:00 頃の時間帯であった場合、発災から 24 時間以内に原画像の提供が可能となる。

表 4-3 に関して補足する。QuickBird や WorldView-1, 2 については、国内に衛星と通信する基地局がないため、IKONOS や GeoEye-1 よりも撮影依頼の期限が早いものとした。また、ALOS との通信は国内の基地局で実施することが可能であるため、撮影依頼の期限が IKONOS や GeoEye-1 と同じであるとした。

3) 衛星画像の提供機会数に関する検討

さらに、衛星画像のみに焦点を絞り、被災状況を把握しようとする施設の種類と管理者から設定された目標時間と災害の発生する時間を軸として、それぞれ目標とする時間内に原画像あるいは二次処理画像を提供し得る撮影機会が何回あるかを整理したのが表 4-4 である。

例えば、直轄管理の道路については、目標時間が 3 時間となっており、処理に要する時間等から原画像、二次処理画像ともに提供する機会はない。直轄の本部室と県管理の道路の目標時間である 24 時間について考えると、地震発生時刻が 0:00 から 7:00 の間である場合、原画像、被害概況図ともに 24 時間以内に一回の撮影機会がある。現在の再帰観測日数は 2 ～3 日程度であることから、目標時間内に撮影の機会が確実に回ってくるのは、現状では点検に 72 時間以上要している県管理の砂防施設のみ、と考えられる。さらにここで扱う光学センサは、雲があると地上の撮影ができないため、さらに晴天であるという条件が付加される。

次に、提供される画像の適用可能性に関して述べる。原画像や二次処理画像が災害対策本部の各部局に提供されると、情報空白となっている地域の状況を把握するべく、画像判読が実施される。これにより、緊急調査によって判明した被害から順番に対応するのではなく、概況を把握した後で、複数の被害に優先順位を付けて、人員派遣、機材配置を実施することが可能となる。また、地上分解能の 10 倍以上の大きさの被害については、画像取得・処理技術で取りこぼすことはない。そのため、被災地の中でも大きな被害が発生しているエリアに対する優先的な人員・資機材の投入を実施することが可能となる。

ここで、インフラ施設を対象とした震後の緊急調査で実施される点検で得られる情報は、例えば、道路施設の場合、表 2-1 に記されている被害の全体である。一方、提供された画

像から得られる情報は、表 2-1 のうち、上空からの視認性があるもので、かつ、衛星や航空機に搭載されているセンサで撮影される画像の地上分解能よりも 10 倍程度の大きさの被害である。そのため、画像が迅速に提供された場合でも、この条件に合わない被害については、把握できない。画像取得・処理技術は、従来の緊急調査等の補助的な位置づけで利用されることになる。

表 4-3 情報提供の可能性

(a) 航空機カメラ

目標 時間	対応する施設		災害発生時刻							
	地整	県	0時～5時		5時～10時		10時～20時		20時～24時	
			原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次
3h	道路部	—	×	×	×	×	×	×	×	×
12h	河川部	—	×	×	×	×	×	×	×	×
24h	本部室	道路	×	×	○	×	○	×	×	×
48h	—	河川部	○	○	○	○	○	○	○	○
72h	—	砂防	○	○	○	○	○	○	○	○

(b) 高分解能光学センサ IKONOS, GeoEye-1

目標 時間	対応する施設		災害発生時刻							
	地整	県	0時～2時		2時～7時		7時～14時		14時～24時	
			原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次
3h	道路部	—	×	×	×	×	×	×	×	×
12h	河川部	—	×	×	○	×	×	×	×	×
24h	本部室	道路	○	○	○	○	×	×	○	×
48h	—	河川部	○	○	○	○	○	○	○	○
72h	—	砂防	○	○	○	○	○	○	○	○

(c) 高分解能光学センサ WorldView-2, QuickBird

目標 時間	対応する施設		災害発生時刻							
	地整	県	0時～2時		2時～5時		5時～14時		14時～24時	
			原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次
3h	道路部	—	×	×	×	×	×	×	×	×
12h	河川部	—	×	×	○	×	×	×	×	×
24h	本部室	道路	○	○	○	○	×	×	○	×
48h	—	河川部	○	○	○	○	○	○	○	○
72h	—	砂防	○	○	○	○	○	○	○	○

(d) 中分解能光学センサ ALOS

目標 時間	対応する施設		災害発生時刻									
	地整	県	0時～2時		2時～7時		7時～14時		14時～21時		21時～24時	
			原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次	原画像	二次
3h	道路部	—	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
12h	河川部	—	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×
24h	本部室	道路	○	○	○	○	×	×	○	×	○	○
48h	—	河川部	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
72h	—	砂防	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 4-4 発災時刻別の画像提供機会数の最大値

管理区分		目標 時間	0時～2時		2時～7時		7時～12時		12時～14時		14時～24時	
			原画像:概況図	原画像:概況図	原画像:概況図	原画像:概況図	原画像:概況図	原画像:概況図	原画像:概況図	原画像:概況図	原画像:概況図	原画像:概況図
直轄	本部	24h	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
	道路	3h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	河川	12h	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
県管理	道路	24h	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
	河川	48h	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1
	砂防	72h	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2

5. 災害対応業務の実務を考慮した適用可能性の評価

中部地方整備局等を対象としたヒアリングを実施することで、画像取得・処理技術の適用可能性を実戦的な視点に基づいて評価するとともに、災害対応業務への画像取得・処理技術の導入に向けた課題を抽出した。ヒアリングでは、迅速性を含めた複数の種類の評価軸に関して適用性を把握することを目的とした。このヒアリングを実施するにあたり、2種類の想定地震に関して机上検討を実施し、さらに、それらの想定地震に対する画像取得・処理技術の利用シナリオを作成した。

5-1 想定地震に関する机上検討の結果

本研究では、東海地震と伊那谷の地震の2種類の想定地震を想定した。この2種類の地震を想定したのは、沿岸部と山間部という異なる地域特性のもとで発生する災害を対象とするためである。東海地震を想定することにより、海溝型地震による沿岸部の広域被災への対応について検討する。伊那谷の地震を想定することにより、過去の実績から緊急調査が難航しそうな山間部の直下型地震について検討する。

1) 東海地震

東海地震とは、東海地域で発生が予想されている海溝型地震のことであり、フィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界にある駿河トラフがその震源域となると想定されている。

日本列島の太平洋側では、100～150年程度の周期で海溝型地震が発生している。直近の地震として、東南海地震（1944年）、南海地震（1946年）が観測されているが、駿河ト

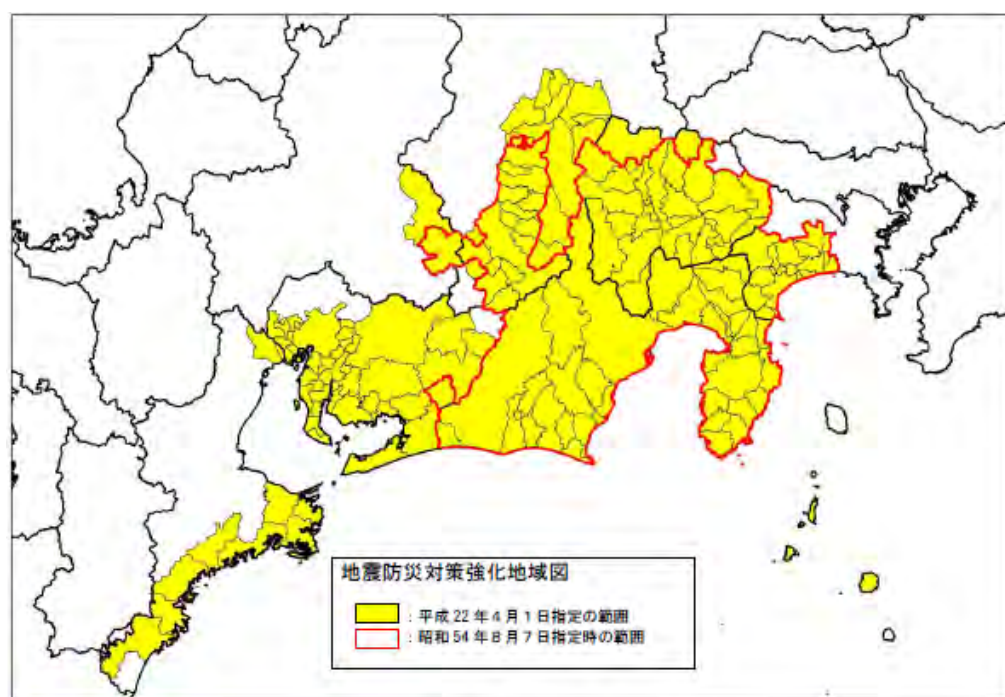


図 5-1 地震防災対策強化地域

ラフ周辺においては大規模な地震は発生しなかった。このことから、近い将来マグニチュード8程度の大規模な地震が発生すると予想されている。

東海地震に対しては、様々な機関により対策が実施されている。東海地震により甚大な被害が発生することが予想されている地域、すなわち、震度6弱以上の地震動を受けたり、高さ3m以上の津波が地震発生後20分以内に来襲したりする恐れのある地域が、内閣府の中央防災会議により「地震防災対策強化地域」と指定されており、様々な地震防災対策が実施されている[12]。地震防災対策強化地域の分布を図5-1に掲載した。約30年前の強化地域から地震防災対策強化地域が増加して、現状では8都県160市町村の区域となっている。図5-2に示したのが、想定東海地震の震度分布図である。

2) 伊那谷の地震

国や県等多くのインフラ施設管理機関によって対策が検討されている東海地震とは異なり、多くの組織で対策が未検討となっている地震として、伊那谷の地震を想定した。この伊那谷の地震は、長野県南部に位置する伊那谷断層帯の主部を震源とする地震である。地震調査研究推進本部によると、「伊那谷断層帯主部は、全体が一つの区間として活動する場合、マグニチュード8.0程度の地震が発生すると推定される。」とされている[13]。

この地震が発生することで、伊那谷周辺のインフラ施設に被害が発生することが推定されるとともに、強震に襲われる地域には、天竜川の支流が多く、土石流の発生も懸念される。また、周囲を山岳地域で囲まれていることから広域支援が難しく、応援要員や資機材の投入が難しい地震災害となると予想される。

平成21度においては、この震度分布は発表されていなかったため、本研究では、独自に距離減衰式[14]を利用して地震動分布図を作成した。その結果を、図5-3に示す。ヒアリングでは、こちらの地震動分布図を利用した。伊那谷の地震に関しては、被害想定が地方公共団体等で実施されているところである[15]。

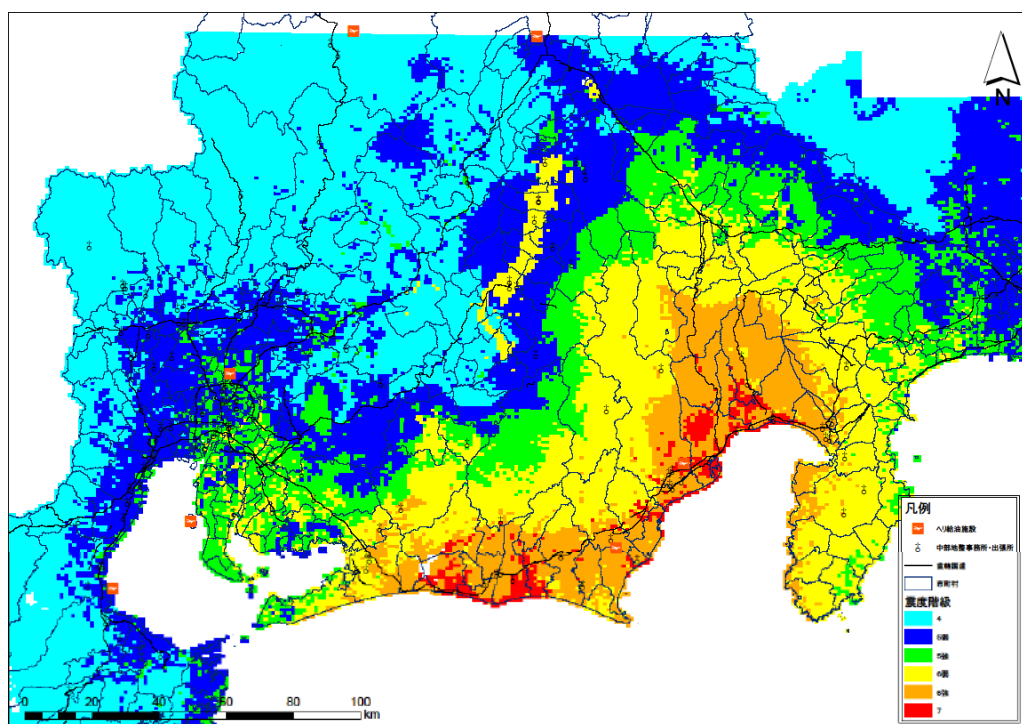


図 5 - 2 想定東海地震の震度分布図

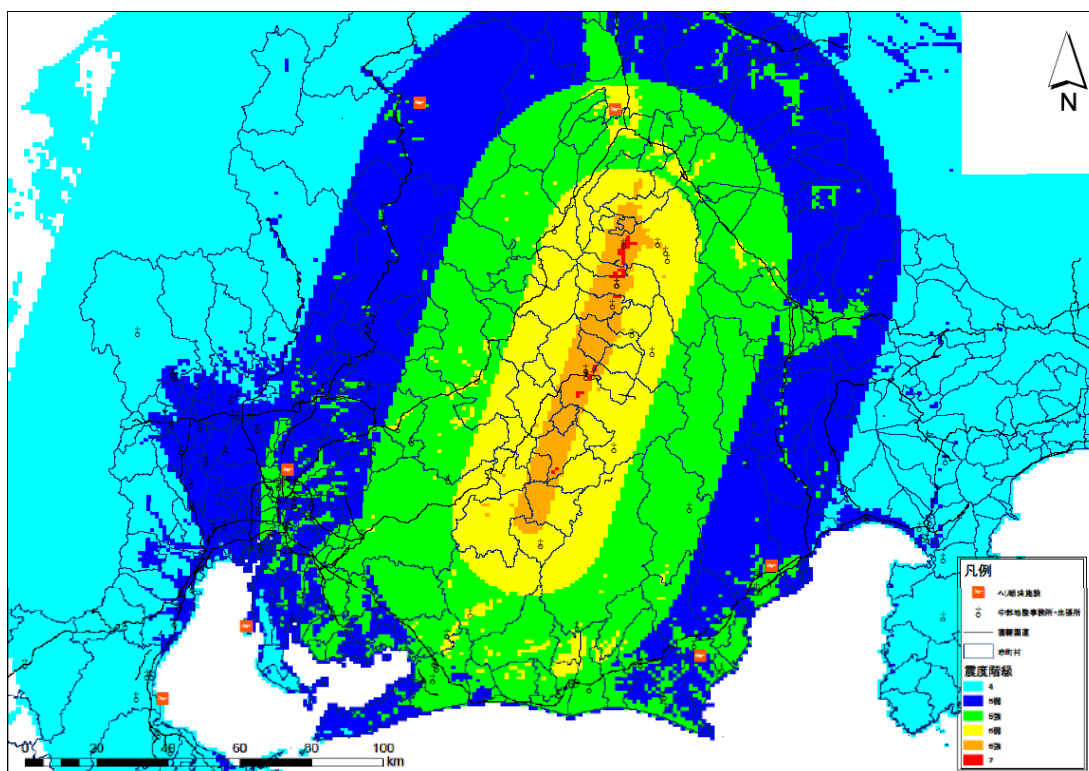


図 5-3 伊那谷の地震の震度分布図

5-2 災害対応業務への衛星画像の利用シナリオの整理

大規模地震発生後において、どの様に画像取得・処理技術を利用するかを、シナリオとして作成し、画像取得・処理技術の利用イメージを明らかにした。具体的には、前節で実施した、想定地震の震度分布図の作成結果を基に、想定地震が発生した際に、どの様に画像取得・処理技術を利用するかを考案し、提示した。対象としたのは、衛星画像である。この際、衛星画像の販売代理店等へのヒアリングで得られた情報を踏まえ、衛星画像に関して利用シナリオを提示するものとする。衛星画像の販売代理店は、衛星運用機関と契約を締結している企業のことである。

以下で提示するシナリオの基本的な考え方は、

- ・ヘリコプターで被災状況を把握する
- ・ヘリコプターで把握しきれないエリアの情報については衛星により把握する

というものである。したがって、衛星画像の撮影範囲は、震源との距離と関連するだけでなく、ヘリコプターの飛行ルートとも関連することになる。

1) 東海地震

まず、衛星画像の利用シナリオが適用可能となる前提として、以下の2点が挙げられる。

- ・衛星画像の販売代理店とインフラ施設管理機関が協定を締結しており、緊急時に画像提供を依頼することが可能となっている
- ・斜面勾配を記した地図や土砂災害危険箇所の分布図等の地図データが揃っている

以下に、衛星画像の利用シナリオを時系列で示す。

- i) 衛星の選定：表 5-1 のような、様々な地球観測衛星による被災地の撮影可能日が記入されたカレンダーを地震発生前に衛星運用機関が作成しておき、インフラ施設管理機関の防災担当者が手元に持っておく。大規模地震発生後、衛星画像の販売代理店の担当者はこの表から、最速で画像を撮影できる衛星を探し、その衛星で被災地を撮影するように衛星運用機関に依頼する。表 5-1 は、米国の民間企業が運用している光学センサを搭載した地球観測衛星のうち、QuickBird, WorldView-1, WorldView-2 の撮影可能日を示す。その他の衛星運用機関によって運用されている衛星も表に加えることで、ほぼ毎日の撮影が可能となる。
- ii) 被害個所の特定：震度分布図、斜面勾配が急な地域の図（図 5-4）、土砂災害危険箇所の分布図から、斜面崩壊等の大きな被害が発生していると予想される箇所を、防災担当者が推定する。斜面勾配が急な地域で斜面崩壊が発生しやすいことが一般的に知られているため、参考図として図 5-4 を掲載した。
- iii) 撮影範囲の決定：このフェーズでは、ii) までの得られた情報をもとに衛星画像の撮影範囲を決定することになる。図 5-5 は、中部地方整備局の業務継続計画に記されたヘリコプター飛行ルートからでは概況把握ができない地域を示している。この様な地域で

被害が発生していると予想されるエリアを中心に撮影範囲の決めることが考えられる。また、都市部においてヘリの飛行ルートと重複する範囲であっても衛星画像により被災情報を確定させる必要のある地域を撮影範囲とすることも考えられる。

- iv) 画像取得の要請：防災担当者から、協定を締結している衛星画像の販売代理店に対して、画像取得の要請が行われる。要請の内容は、衛星の名称、画像の種類、撮影範囲等となる。

撮影範囲の例を図 5-6 や図 5-7 に示す。ヒアリングの結果、IKONOS や GeoEye-1¹⁴については、約 5,000km² の範囲を撮影することが可能であり、WorldView-2、QuickBird¹⁵については、それぞれ約 22500km²、7500 km² の範囲を撮影することが可能であることが分った。本研究で想定している地震のように広域な被害が発生する場合、被災地全域を捉える事ができない。そのため、各衛星について、東海地震発生時においては図 5-6 や図 5-7 のように強い揺れが発生しているエリアを中心とした範囲を指定して撮影することで、被害の大きい地域の被災状況をいち早く捉えることが可能となると想定される。なお、図 5-6 では、IKONOS の撮影実績に基づいて撮影可能な領域を示している。一方、図 5-7 では、衛星を特定せず、ヒアリングの結果得られた撮影可能な面積に対応する領域を示している。そのため、図 5-6 と図 5-7 で撮影範囲が異なったものとなっている。

例えば、早朝 6 時に発災し、当日上空を衛星が飛行するとした場合、発災後、震度分布等を把握したらすぐに撮影指示を出すことにより、その日のうちに画像を入手することができ、3-2 で示したような画像が順番に提供される。例えば、土砂災害に対象を絞ると、撮影が 10:30 頃行われ、原画像が 14 時頃に提供される。この原画像により、道路や河川の構造物のうち、上空から視認される被害を検出することが可能となる。さらに、原画像をオルソ補正した後、一次処理画像として GSI 値が閾値を越えた区域が塗り分けられた画像、すなわち、地表面が削げ落ち、裸地となっている部分が抽出された画像が 18 時頃に提供される（図 5-8）。ここで、「GSI」とは、Grain Size Index の略称であり、斜面が露出している場所である裸地に関する指標のことである。この値は、複数の周波数帯による観測結果から計算される。GSI 値が高いほど、裸地である可能性が高く、したがって、斜面崩壊が発生している可能性が高いと考えられる。

¹⁴ GeoEye 社が運用している地球観測衛星。2008 年に打ち上げ。IKONOS の後継機の位置付けである。

¹⁵ DigitalGlobe 社が運用している地球観測衛星。2001 年に打ち上げ。

表 5-1 3機の衛星の撮影可能日

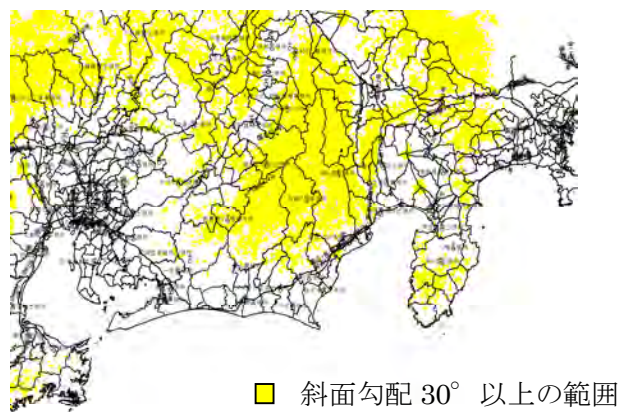
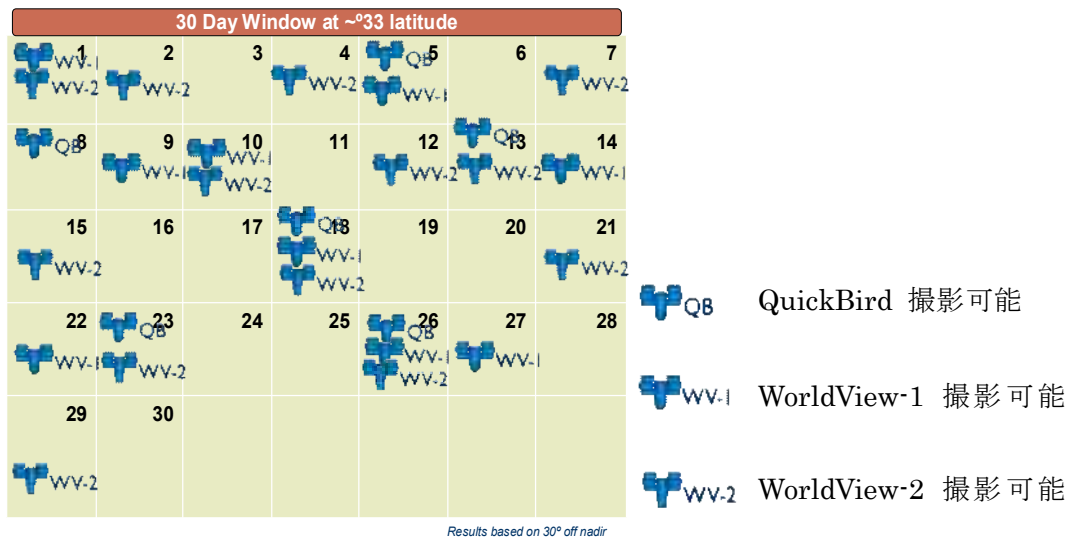


図 5-4 勾配が急な地域の図

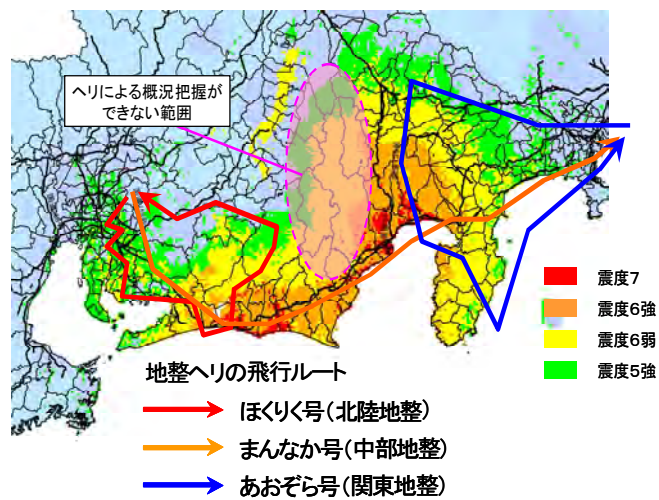


図 5-5 想定東海地震の震度分布とヘリの飛行ルート

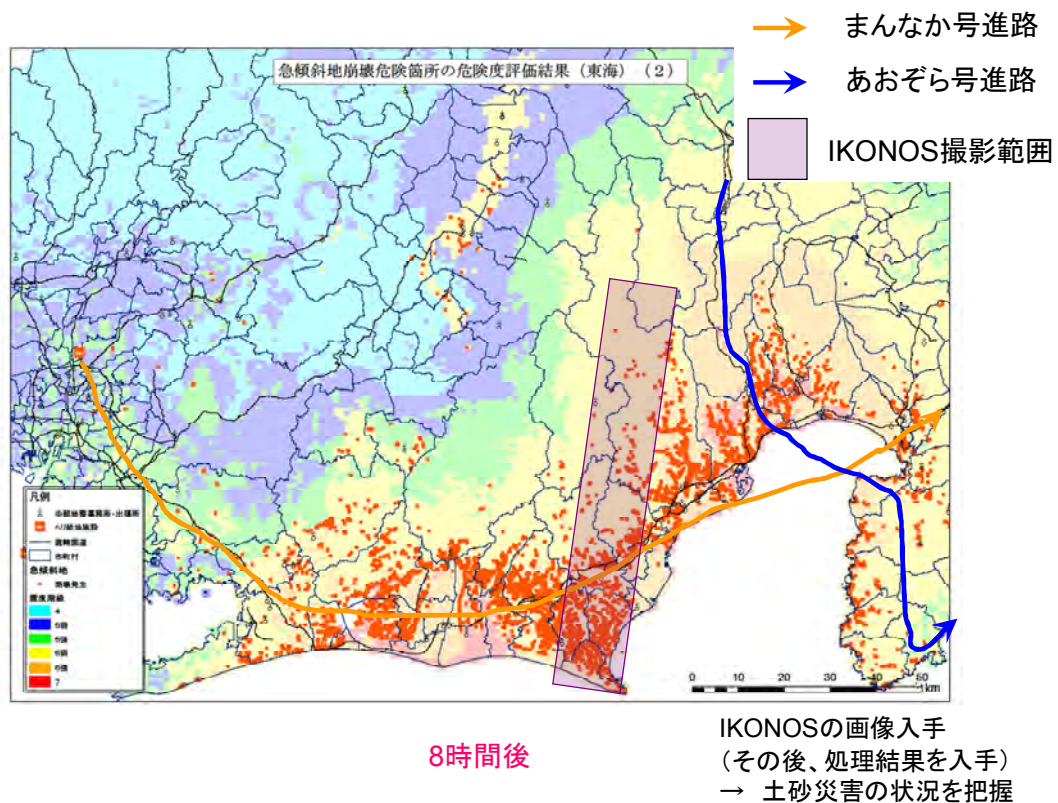


図 5-6 撮影範囲の設定イメージ（1）

～2010 年 2 月中部地方整備局ヒアリング資料より～

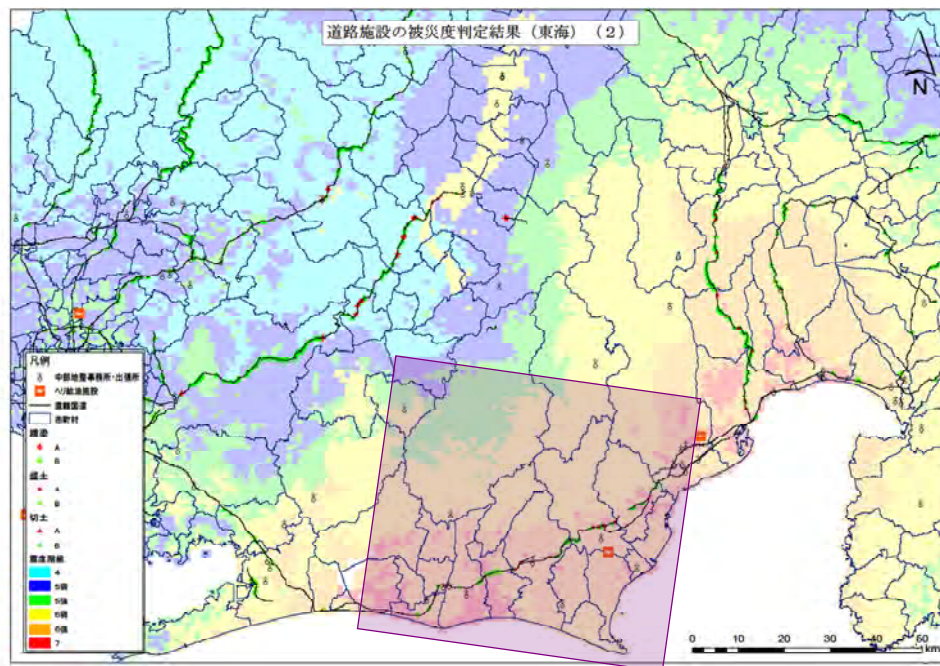


図 5-7 撮影範囲の設定イメージ（2）

～2010 年 2 月静岡県ヒアリング資料より～

2) 伊那谷の地震

画像取得・処理技術を利用する際の撮影範囲の決め方としては、東海地震と同様に、

- ・衛星による撮影が可能な日程
- ・震度分布図
- ・斜面勾配が急な地域の図

を利用して1) で設定した、

- i) 「衛星の選定」
- ii) 「被害個所の特定」
- iii) 「撮影範囲の決定」
- iv) 「画像取得の要請」

の手順を踏むことが考えられる。さらに、

- ・土砂災害危険箇所の分布図
- ・中部地整のヘリ受信エリア図

等も利用することになる。ヘリ受信エリアに関しては、伊那谷の中心部分ではヘリの飛行範囲を自由に設定できるが、山間部では画像受信が可能なエリアが限られている。「中部地整のヘリ受信エリア図」は、ヘリコプターで被災状況を把握できないエリアを確認する目的で利用することになると考えられるため、取り上げた。これらを踏まえて、撮影範囲を決めることになる。強い揺れが発生している地域を重点的に撮影するとした場合、図5-9のように撮影範囲を設定することになる。

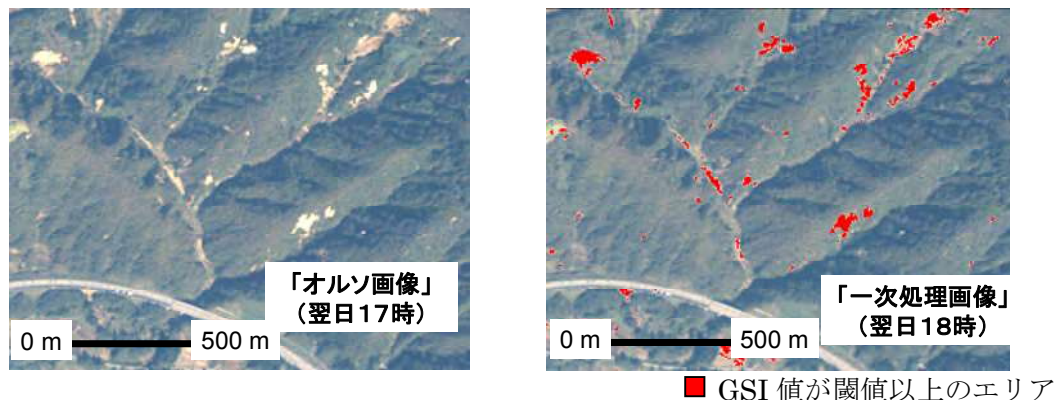


図 5-8 斜面崩壊を捉えた画像

(中越地震後に IKONOS により撮影された画像。場所は新潟県魚沼市付近。

「オルソ画像」、「一次処理画像」の説明は、3-2 参照)

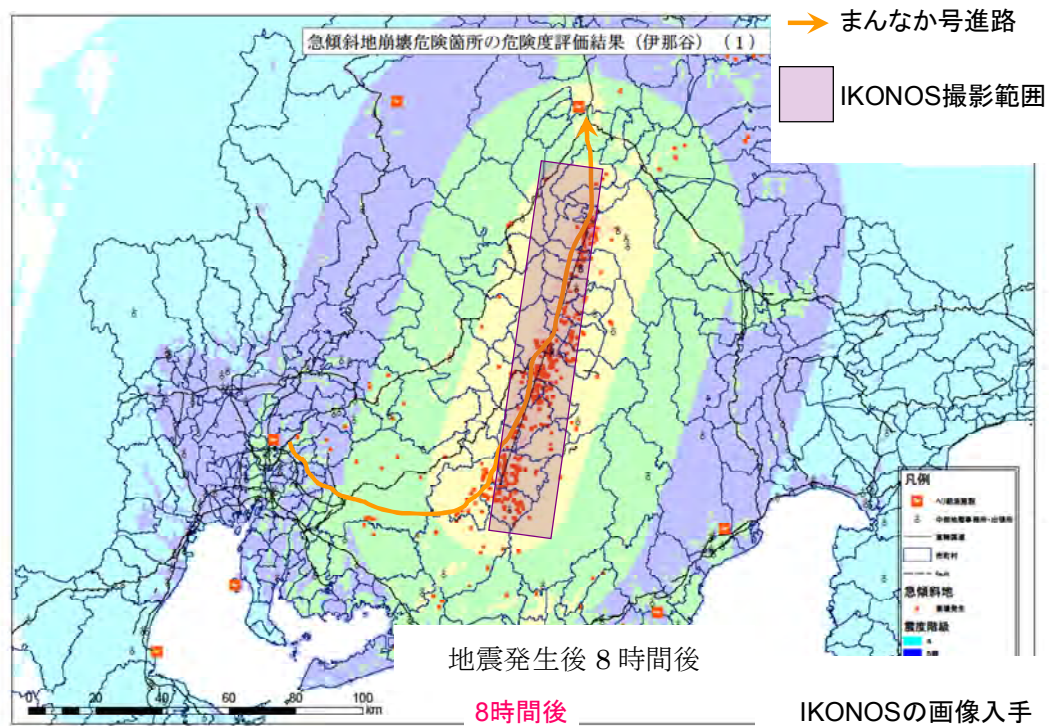


図 5-9 撮影範囲の設定イメージ（1）
～2010 年 2 月中部地方整備局ヒアリング資料より～

5-3 ヒアリングの実施

1) 調査対象

調査対象として、業務継続計画等東海地震への対策が検討されており、画像取得・処理技術の災害対応業務への適用に関して有効な意見を収集することができると考えられる、中部地方整備局と静岡県を選定した。中部地方整備局では企画部の職員を対象としてヒアリングを実施した。また、静岡県では、主に建設部河川砂防部（現 交通基盤部河川砂防局）の職員を対象としてヒアリングを実施した。中部地方整備局でヒアリングを実施した際、本総プロの委員にも参加いただいた。画像取得・処理技術で大規模地震発生後の被災状況の把握に適用することに対して、インフラ施設を管理している立場の方から、実戦的な意見を収集することをヒアリングのねらいとした。

2) 調査項目

迅速性を含む画像取得・処理技術の適用性に関して、実戦的な視点から意見を収集した。さらに、画像取得・処理技術を災害対応業務に導入する場合における課題を抽出した。

3) 調査方法

画像取得・処理技術、机上検討の結果、画像取得・処理技術の利用シナリオについて説明した上で、フリーディスカッションを行い、意見を収集した。ヒアリングの概要を表 5-2 に示す。中部地方整備局を対象としたヒアリングでは、直轄国道の被災状況を把握する様子を再現した資料を提示したが、静岡県を対象としたヒアリングではその資料は提示しなかった。また、静岡県を対象としたヒアリングの際、過去の大規模地震発生後の被災状況の把握に要した時間を提示することで、災害対応業務の時系列上のどの時刻に画像を提供できるかを実感できるように工夫した。

表 5-2 ヒアリングの概要

開催場所	参加部局	提示資料
中部地方 整備局	・企画部 ・名古屋大学教授(ゲスト)	・各種画像取得・処理技術の紹介 ・被害想定の結果 ・現在の方法による被災状況把握 ・各種画像処理・取得技術を利用した場合の被災状況把握
静岡県	・建設部河川砂防局 (現 交通基盤部河川砂防局) 他	・各種画像取得・処理技術の紹介 ・被害想定の結果 ・過去の大規模地震災害の際に状況把握に要した時間 ・各種画像処理・取得技術を利用した場合の被災状況把握

○ 提示した資料

以下に、提示した資料について説明する。

- ・災害対応業務への適用が見込まれる画像取得・処理技術の整理表

現在利用可能な画像取得技術のうち代表的なものに対して、地上分解能、周波数帯、観測幅等をプラットフォームごとに整理した表を作成した。資料としては、表 3-3 と同様なプラットフォームの技術レベルを整理した表を用いた。この資料を提示すること

で、ヒアリング対象者が技術に関する知識を持った上で、ヒアリングを実施できるようにした。なお、表 3-3 は、ヒアリングで提示した資料に WorldView-2 を加え、その他の部分についても若干修正したものとなっている。

- ・各プラットフォームから撮影される画像の時系列図

衛星運用機関による撮影指示、撮影、画像提供、といった、画像提供側のフローが記されている時系列表を提示した。これにより、インフラ施設管理機関の防災担当者への画像提供が、どのようなタイミングで実施されるかが理解される。なお、ヒアリングでは、画像取得技術ごとに 1 時間刻みでのスケジュールを示した資料を提示した。

- ・利用シナリオに関する資料

各想定地震に関して、震度分布図、被害想定の結果、想定地震が発生した際の点検進捗の再現結果を提示した。これにより、各想定地震によりどのような災害が発生し、緊急調査がどのように進捗するかを、ヒアリング対象者がイメージできるようにした。

また、地方整備局の防災ヘリコプターの飛行ルートと、震度分布図や勾配が急な地域の図を対応させることにより、防災ヘリコプターでは把握できない地域で被害が生じ得ることを説明した。これにより、新たに画像取得・処理技術を適用することが必要であることを示した（図 5-5 参照）。

ヒアリングで提示した被害想定の結果は、橋梁、盛土、切土等の道路施設、河川堤防等の被害程度を、震度や SI 値といった地震動のパラメータや地盤条件、構造物の特性等から求めたものである。被害想定に必要なデータを全て揃えることができず、限られたデータを基にした検討である。そのため、大規模地震の発生が懸念されている地域で活動している組織が地震災害への対応を具体的に検討するための資料にはなりえないが、ヒアリングで災害のイメージを共有する目的としては有効であった。

また、ヒアリングで提示した点検進捗の再現結果は、点検進捗の速度を車両と徒歩に対して仮定し、道路施設の被害想定結果状況を基にしてえられたものである。各点検区間に対して点検の始点を仮定し、点検の途中で被災度 A の道路施設被害があった場合は、その先の点検は徒歩で実施するものとして、点検済みの領域がどのような速度で広がっていくかを再現した。

- ・画像取得・処理技術によって得られる画像の時系列

大規模地震発生後の画像取得・処理のシナリオを提示し、画像取得・処理技術の時系列図とともにヒアリングの場で説明した。また、図 5-10～図 5-12 に画像取得・処理のシナリオを示したスライドを示す。各図には、その画像が提供される時刻について説明が加えられている。図 5-12 は、実際に取得された災害時の高分解能光学衛星画像を用いて、インフラ施設の被災状況を原画像や一次処理画像等から判読することによってどの程度把握できるものかを示したものである。そのため、ヒアリング対象者が、今回提示した画像取得・処理技術によって被害をどの程度把握できるかを実感できる材料となっている。



図 5-10 原画像のイメージ
(原画像から被害個所を推定)

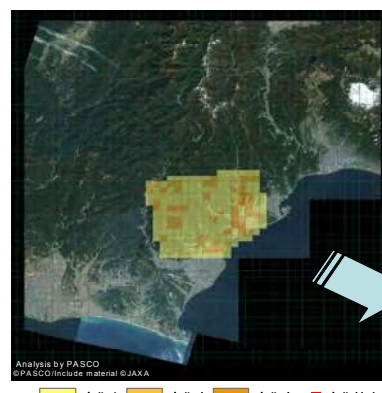
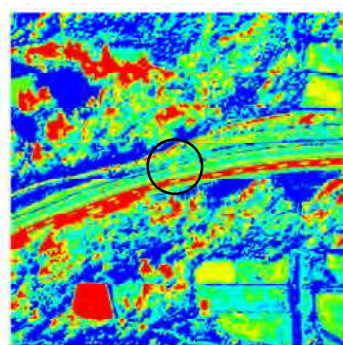
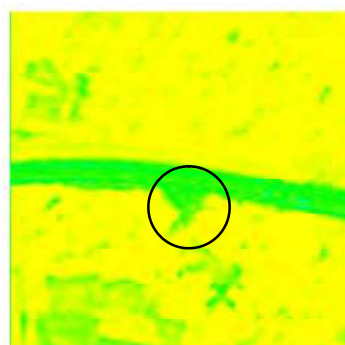


図 5-11 差分解析結果、被災集中地の特定
(画像処理の結果から被害個所を推定)



↓



↓



6:00 地震発生
↓
10:30 撮影
↓
14:00 原画像
↓
16:00 処理画像
↓
18:00 判読画像
(被災集中地のみを
対象として判読)

地震発生から12時間後

図 5-12 各施設の被災状況が判読できる画像例

5-4 ヒアリングの結果

ヒアリングで得られた意見のうち画像取得・処理技術の適用可能性に関するものを整理して表 5-3 にまとめた。得られた意見は、プラットフォームごとに整理されており、各意見は画像取得・処理技術の適用性評価に関する評価軸である、「迅速性」、「正確性」、「広域性」、「定期性」に関連付けた。「確実性」に関する意見は挙げられなかった。

整理した結果を述べる。地上分解能が約 10m である中分解能光学センサで撮影された衛星画像に関しては、100m 程度の大きさの被害の抽出が可能となっている。100m 程度の大きさの被害の例として、比較的大規模な地すべり¹⁶や斜面崩壊、天然ダム¹⁷のような被害が挙げられる。しかし、基本的には、他の画像取得・処理技術と比較して広い範囲を撮影できるという性質を活かし、被災地域全体の状況を概観し、防災担当者の意思決定を支援できる、という利点が挙げられている。地上分解能が約 1m である高分解能光学センサで撮影された衛星画像に関しては、地上分解能の高さを活かして比較的小さい被害を捉えることが可能となっている。特に、落橋や盛土崩壊といった 10m 程度の大きさの道路施設の被害も抽出可能であり、インフラ施設管理機関の緊急調査を補うことが可能である、という利点が挙げられている。地上分解能が約 0.2m である航空機カメラに関しては、高分解能の衛星画像と同様な利点が挙げられており、さらに、斜め撮影¹⁸を利用して、行政機関の庁舎や病院等の重要な施設の状況把握を詳細に行う等、地上分解能の高い航空機撮影独特の活用方法がヒアリングで参加者から挙げられた。

整理した結果から、画像取得・処理技術の適用可能性について考察する。まず、「広域性」については、衛星画像のように、複数の行政区画をまたがった画像情報である場合、人員や資器材の配置等、隣接する行政区画に属する組織どうしの連携をとる上で有用である。「迅速性」については、発災後に迅速に状況把握を行うために求められるだけでなく、余震が続く場合において情報を迅速に更新するためにも求められる。

さらに、ヒアリングで得られた意見のうち、画像取得・処理技術の導入に向けた課題に関するものを表 5-4 にまとめた。この表では、意見は高分解能衛星センサや航空機デジカメ等の画像取得技術ごとに整理されている。さらに、各意見が示している課題について、新規の調査研究を要する課題を「研究」、運用体制等の仕組みの構築が必要となる課題を「体制」、既存の知見を活かして新たな技術開発を実施することが必要な課題を「技術」と課題解決の方法について分類した。さらに、課題解決法の種類を細分化する形で、課題の種類による分類も行った。例えば、「研究」は、「計測」、「処理」、「表示」に細分化される。

¹⁶ 岩手・宮城内陸地震では、約 500m 四方の地すべりが発生した

¹⁷ 新潟県中越地震では、約 300m 四方の河道閉塞が発生した

¹⁸ 上空から被災地を撮影する場合、センサを傾斜させて、真上ではなく斜め上方から撮影する方法のことである

高分解能光学センサで撮影された衛星画像に関しては、原画像から、斜面崩壊や道路施設の被害など個別の被害を捉えることはできているため、画像処理技術の開発に関する課題が主に挙げられている。例えば、SAR と光学センサの組み合わせによって斜面崩壊が高い確率で抽出される事を目的とした技術開発や、画像処理により道路の通行可否を判定する技術の開発等が課題として挙げられた。中分解能光学センサで撮影された衛星画像に関しては、JAXA が運用している ALOS に関して意見が挙げられた。ALOS は、行政機関が利用することを前提に運用されていることから、総合運用サーバに画像を載せることや GIS との重ね合わせることなど、技術的な仕組みの構築や表示方法の工夫等の実務的な技術開発が求められている。航空機カメラで撮影される画像に関しては、個々の構造物に対する 180° の全方位写真の利用など、斜め撮影の応用に関して技術開発が求められている。

地上計測車に関するコメントは少なかったが、地上計測車から遠方の被災状況を観測する際、被害個所の位置情報が分かると有用であるとの意見があった。

表 5-4 において、「オンボードのメモリー」とは、衛星に搭載されている記憶装置のことである。「KML」とは、Keyhole Markup Language の略称であり、Google Earth、Google マップ、モバイル Google マップ等の Earth ブラウザで、地理データの表示に使用するファイル形式のことである。

表 5-3 画像取得・処理技術の適用性に関するコメント

プラットフォーム			該当分野				評価軸	コメント
衛星 (高 分解 能)	衛星 (中 分解 能)	航 空 機	災 対 本 部	道 路	河 川	砂 防		
○				○		○	正確性	山間部の道路において土砂災害等で取り残された自動車等 は分かる
○		○		○	○	○	正確性	点検パトロールやヘリによる巡視の見落としがないかを確認 できる
○			○	○	○	○	正確性	直前の周回で撮影した画像と比較できると有用である
○	○	○	○	○	○	○	広域性	全体の被害を俯瞰して意思決定を行う上で有用
○			○				広域性	海溝型地震が発生した際に、都道府県間の連携をとるために 有用
○					○	○	広域性	天然ダムのような大規模な被害に関して、被害箇所数や位置 を早い段階で把握できると、初動体制を早期に確立できる。
○			○	○			広域性	道路閉塞が読み取れるため、孤立集落の発生を予想可能。孤 立集落の発生が判明すれば、県や市町村はヘリで始めから物 資輸送する計画に切替えられ、点検者も孤立地帯を後回しに した順路で点検可能。
○	○	○	○				広域性/ 正確性	TECFORCE 等のように、1 日～2 日後に他地整から応援が 来た際に、部隊の展開を最適化するための計画を立てるのに 有効
○			○				広域性/ 正確性	個別の施設を点検できる余裕のある災害ではない場合、点検 より優先順位の高い作業を行う判断をする上で有用である
○		○		○	○	○	迅速性	余震が続く場合の情報の更新
○			○	○	○	○	迅速性	広さのわりに職員が少ない市町村の被災状況の把握に有用
	○		○	○	○	○	定期性	災害前後の画像について、1 ヶ月間くらいの差分で見ること ができると有効
	○		○	○	○	○	迅速性	JAXA の通信衛星「きずな」を介して迅速に地理院に転送す る技術は、早期の被災状況の把握に有用
	○		○	○	○	○	迅速性	発災後 24 時間後以降にアーカイブを要求された際に、5 時 間程度で画像を用意できるのであれば有用 (TECFORCE から 要望があるのが発災後 24 時間ごろになる)
		○	○	○	○	○	正確性	国土地理院開発の斜め撮影で地名が挿入される技術は有効
		○	○				正確性	大規模地震が発生後した際において、最低限必要な都市機能 が健全性を保っているという情報を外に発信できる

表 5-4 画像取得・処理技術の災害対応業務への導入に向けた課題

計測方法			課題解決法の種類	課題の種類	コメント
高分解能衛星センサ	中分解能衛星センサ	航空機デジカメ			
○			技術	アーカイブ	様々な画像を、同様な季節・気象条件を軸として揃える必要がある
○			研究	計測	機能上は東京から名古屋まで一気に撮影できるはずだが、オンボードのメモリーに限界がある
○			研究	処理	SAR と光学センサの組合せで高い確率で抽出できると有用
○			研究	処理	高架橋の縦ずれ段差が抽出され、通行可否の判定ができると有用
○		○	研究	処理	人口密集地等優先順位を決めて画像処理をすれば、提供時間を短縮可能
○			研究	処理	二時期の画像の比較をする場合、全体を粗いメッシュで解析すると、道路施設の被害等の局所的な被害は平均化される可能性がある。道路のみ抽出して変化率を求める等の工夫が必要
○			体制	協定	災害規模に対応した画像の値段等を、事前に調べて取り決めておく契約をする必要がある
○			体制	協定	外国の商用衛星に関して、日本で地震が発生した際に被災地の画像を取得する体制が必要。自国の災害でなければ撮影しない傾向があった。
	○		技術	通信	画像を取得した瞬間に外部から利用できる総合運用サーバ上にデータを載せられる仕組みを構築できれば有用
	○		研究	処理	土塊がまとまって動き、地表面の色彩からの推定では土砂災害を抽出しにくいケースがある。過去に開発された画像処理技術を適用しただけでは把握できないこのような被害を抽出するための画像処理技術を開発する必要がある
	○	○	研究	表示	画像に地理座標情報が付いていると良い
	○		研究	表示	KML ファイルでサーバに載せる技術を開発すれば、google map や google earth 上で重ねられる
	○		体制	情報公開	ある災害レベルを超えたときに画像を提供できる仕組みを JAXA と作った方が良い
		○	体制	計画	実際に活動する出先機関への画像提供も必要
		○	研究	処理	斜め撮影に関して、個々の構造物に対して 180° の全方位写真を撮影できると有用である。角度や視点に応じて、撮影した画像を閲覧できると有用である。
		○	体制	処理	人口密集地等優先順位を決めて、画像処理をすれば提供時間が短縮される
		○	体制	協定	全国の航測会社が協力した場合に撮影可能となる面積を把握すべき

6. まとめ

6-1 研究のまとめ

本研究では、まず、大規模地震発生後の災害対応業務を分析し、課題を抽出した。大規模地震発生後における被災状況の把握に利用することが適している各種の画像取得・処理技術について、適用可能性を整理した。業務継続計画に記されている目標時間や過去の大規模地震発生後において被災状況の把握に要した時間と、画像取得・処理技術を用いた場合に要する時間との比較から、画像取得・処理技術の迅速性の面での適用性を評価した。インフラ施設管理機関の防災担当者にヒアリングを行い、画像取得・処理技術の適用可能性を災害対応業務の実態を踏まえて評価した。2回実施したヒアリングには、防災担当者の他に、大学教授やインフラ施設管理機関の施設管理者にも参加いただいた。ヒアリングの結果をもとに、画像取得・処理技術の適用可能性と災害対応業務への導入に向けた課題を整理した。

6-2 研究成果のとりまとめ

本研究の成果から、インフラ施設管理機関の防災担当者が参考にできる資料「画像取得・処理技術データ集」を作成した(図 6-1)。このデータ集は、インフラ施設管理機関の防災担当者が、想定地震における被災状況の把握を効率化する目的で画像取得・処理技術の導入を検討する際の資料となるように作成した。

画像取得・処理技術の内容を提供するのみではなく、これら技術の災害対応業務への適用可能性の検討結果や導入に向けた課題を

合わせて提示することで、災害対応業務への適用可能性について意味のある情報となるように工夫した。

さらに、具体的な想定地震に対して、災害対応業務に画像取得・処理技術を適用した場合、画像が提供される手順や、撮影範囲の決定方法等を提示した。これにより、災害対応業務における画像取得・処理技術の利用され方について、具体的なイメージを持って画像取得・処理技術の導入を検討できるようにした。

6-3 今後の課題

以上で、画像取得・処理技術に関して、技術の紹介や適用可能性の評価、実際に大規模地震発生後に撮影するとした場合の画像提供の手順等について説明したが、これらの画像取

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">1. はじめに<ul style="list-style-type: none">1. 1. 背景1. 2. 目的1. 3. データ集の構成2. 画像取得・処理技術の概要3. 画像取得・処理技術の整理<ul style="list-style-type: none">3. 1. プラットフォームの種類と特徴3. 2. センサの種類と特徴3. 3. 画像処理技術の種類と特徴3. 4. 所要時間3. 5. 判読可能な被害の種類・大きさ3. 6. 主な画像技術の実用例・研究開発状況4. 適用性の検討結果<ul style="list-style-type: none">4. 1. 適用性の検討結果4. 2. 導入に向けた課題 |
|--|

図 6-1 「画像取得・処理技術データ集」の構成

得・処理技術を災害対応業務に適用するとした場合に、どのような課題があるかを整理する。

特に、調査研究により解決すべき課題については、個別の課題の他に、画像取得・処理技術の評価軸のうち、「迅速性」、「正確性」、「広域性」、「確実性」について整理した。

6-3-1 体制面の課題

新規の技術開発は要さないが運用体制等の技術的でない仕組みの構築が必要となる課題として以下の点が挙げられる。

1) コスト面に関して

衛星画像の販売代理店へのヒアリング結果から、現在、新規に画像取得を依頼する場合、最小の撮影範囲の場合でも数百万円のコスト（例えば、[16][17][18][19]）を要する。また想定東海地震で多くの被害が想定される静岡県のほぼ全域の画像を取得する場合には数千万円のコストを要することが分かった。また、取得された画像を処理する際にも画像処理設備の使用料・人件費等のコストが発生することとなる。これらのコストに対して、被災状況の把握が効率的に進捗することによる便益との比較を定量的に検討する必要があると考えられる。

2) 画像取得体制の構築

まず、画像の入手経路を確保することが必要である。3-1（1）で述べた通り、画像の伝送に関しては、平常時であれば CD や DVD といった記憶メディアに格納されたものが送付されるのが一般的であるが、時間が優先される災害時にはインターネット回線を利用したファイル転送システムを利用することが考えられる。そのため、平常時から衛星画像の販売代理店等との間でファイル転送を行えるようにしておくことが求められる。また、画像処理については、バンド間演算¹⁹等のあまり複雑ではない処理であれば通常のパソコンでも処理ができ、ソフトウェアについてもフリーウェアが存在する。しかし、オルソ補正などの比較的重い処理を実施するためには高価な設備を整備する必要がある。専門的な衛星画像解析ソフトは数十万円要するのが一般的である。また、画像化処理からオルソ補正までの工程については DEM データや GIS データが必要であり、取得されるデータのフォーマットやオルソ補正の内容に関する知見が必要である。さらに、処理自体にも専門性が求められるため、画像取得機関によって行われるのが一般的である。

また、JAXA や民間の衛星画像の販売代理店との協定も求められる。この協定の内容は、震源位置や震度分布等の画像取得条件を決めておき、その条件に合致した地震が発生した場合に自動的に決められた範囲の画像を取得するというものである。この様な協定により、初動期の画像取得に要する時間を短縮でき、災害時の意思決定に衛星画像を利用することが可

¹⁹マルチスペクトルセンサで観測されたデータは、赤、青、緑等の複数のバンドの値から構成される。バンド間演算とは、各バンドの値どうしの演算処理を指す。特に、バンドの比を計算することが多い。

能となり得る。航空機による画像撮影を民間に委託する場合、航空測量会社²⁰との協定も求められる。

3) 画像分析官の派遣

大規模地震発生後において衛星画像や空中写真を利用することを考えると、迅速に画像処理を実施したり、処理された画像を表示する機器を扱ったりすることで画像を分析する業務に携わる専門家である「画像分析官」が必要である。特に、SAR センサで捉えられた画像は肉眼とは異なるため、判読作業は専門家にしかできない作業である。

4) 複数衛星の利用

複数衛星を同一の機関が運用して情報収集を行う「衛星フリート」の例として、COSMO-SkyMed が挙げられる。COSMO-SkyMed はイタリア宇宙庁・イタリア防衛省が運用している SAR 衛星であるが、2010 現在 3 機体制であり、2010 年 10 月に 4 機体制となり、各地の上空を 12 時間ごとに飛来するようになる。この様に同種の複数衛星を利用して観測間隔が開かないようにすることで、衛星技術の問題点である不確実性が解消されることが期待されている。また、各国の宇宙機関が運用している衛星を共同で利用する「国際災害チャータ」も有効な枠組みである。

5) アーカイブの蓄積・利用

過去に撮影された空中写真や衛星画像を有効に利用することも、今後の画像取得・処理技術の発展にとって重要な要素である。このためには、画像データを蓄積するためのアーカイブシステムの構築が必要となる。例えば、衛星観測による地球観測データは、年間で数百テラバイトにもなる[20]。インフラ施設管理を目的とした場合にも同様な大きさのデータを収集することになるとすると、この様な大容量のデータを格納するシステムの構築が必要となる。

6-3-2 技術開発により解決すべき課題

1) 合成開口レーダの技術開発

天候や時間帯によらずに地表面の観測が可能である、合成開口レーダ（SAR）は災害監視に有効であるが、データ処理に時間がかかることや地上分解能がまだ高分解能光学センサに追いついていないといった問題点が現状ではある。これらの課題を実用に供することができない方向に解決することが必要である。

2) 通信インフラの整備

²⁰航空機から地上を撮影し、写真を販売する業務を実施している会社。空中写真は、地形図の作製や災害時の状況把握等に利用される。

情報空白を埋めることを目的とした場合、迅速に画像を提供することが求められる。撮影指示から画像取得までの時間を短縮するのは複数衛星の利用で解決するが、撮影してから画像化するまでの時間を短縮するには、衛星から解析を実施する場所までの通信時間の短縮が必要である。これらを達成するため、優先的に通信可能な緊急回線の開設や、既存の回線の迅速化に向けた改良が必要である。

3) 画像処理の並列化

画像取得・処理技術は、特に、海溝型地震の連動等、緊急調査が迅速に行えない災害が発生した場合に有効となるとされている。このような災害状況を捉えるために、広域の画像処理を実施することになる。広域でかつ、1m 以下の地上分解能を持つセンサで捉えた被災状況を分析するためには、膨大な計算量を要求される。例えば、オルソ補正は、画像の地上分解能に合わせた分解能の DEM データを利用するため、多くの計算資源を使用しなければ迅速な画像提供には繋がらない。そこで、画像処理に適した形で計算機の並列化を行うことになる。オルソ補正や GSI 処理等、処理の種類によって、メモリーやハードディスク等のシステムを構成する要素について最適化を図ることが求められている。

6-3-3 調査研究により解決すべき課題

1) 迅速性に関する検討

画像提供に要する時間のうち、通信に要する時間は大きなウェイトを占めている。衛星や地上局、解析センター等の間で行われるデータ通信に要する時間や画像処理に要する時間を評価することが必要である。情報収集を行って所要時間を推定するとともに、実証的な試験等により実際に画像がどの程度の時間で入手できるかを測定することも必要である。

2) 正確性に関する検討

客観的な分析を可能とするため、被害の種類や大きさ毎に、被害を抽出するために必要な画像取得技術のスペック、例えば、地上分解能、観測周波数帯、ビット数等、を統計的に整理することが必要である。そのためには、実際の被害画像に加えて、仮想的な画像を利用することも必要である。

3) 広域性に関する検討

実用化について実証的に検討するため、様々な撮影範囲を設定して、試験的に撮影を実施することが必要である。これにより、想定地震が発生した際の撮影範囲の設定を実証的に行うことが可能となる。

4) 確実性に関する検討

どのような組織の衛星同士を組み合わせれば、効率的に衛星による観測が可能とな

るか、また、角度、地上分解能、周回高度等のスペックがどの程度であれば、被災状況の把握に求められている要求レベルを満たす衛星を単独で運用できるか、を検討することも必要である。

参考文献

- [1] 「大規模自然災害時の初動対応における装備・システムのあり方（提言）」、大規模自然災害時の初動対応における装備・システムのあり方検討委員会、2009
- [2] 「中部地方整備局業務継続計画（東海地震対策編）」、中部地方整備局、2008
- [3] 「地震発生時における道路施設点検要領（案）」、中部地方整備局道路部道路管理課、2008
- [4] 「地震発生後の河川管理施設及び許可工作物等の点検要領」、中部地方整備局河川部、2009
- [5] 「自治体における災害時の情報集約等に関する現況整理業務報告書」、国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室、2004
- [6] 「航空機搭載型合成開口レーダ（Ku バンド）を用いたデータ取得及び検証業務」、小井土 今朝己 田中 宏明、国土地理院調査研究年報、2005
- [7] 「新潟県中越地震・スマトラ沖地震津波施設被害の衛星画像による把握」、国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室、2006
- [8] 「道路震災対策便覧（震災復旧編）平成 18 年度改訂版」、社団法人 日本道路協会、2007
- [9] 「災害時の人工衛星資料を用いた地被判読の精度評価と 効率化について」、村上泰啓、山下彰司、河川技術論文集、第 11 巻、2006
- [10] 「愛知県庁業務継続計画[想定東海・東南海地震連動編]」、愛知県防災局防災危機管理課、2009
- [11] 「地震等に伴う大規模土砂災害発生後の『土砂災害危険箇所等の緊急点検要領（長野県版）』」、長野県建設部砂防課、2009
- [12] 「平成 22 年版防災白書」（第 2 部 災害の状況と対策、第 2 章 我が国の災害対策の推進状況）、内閣府、2010
- [13] 「地震ハザードステーション J-SHIS (Japan Seismic Hazard Information Station)」、地震調査研究推進本部ホームページ、<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- [14] 「短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式」、片岡正次郎、佐藤智美、松本俊輔、日下部毅明、土木学会論文集 A、2006
- [15] 「長野県地震対策基礎調査について」、長野県ホームページ、<http://www.pref.nagano.jp/kikikan/bosai/jishink/hp/>

- [16] 「GeoEye-1／IKONOS 衛星画像データ 価格表（国内・国外）」、日本スペースイメー
ジングホームページ、
http://www.spaceimaging.co.jp/Portals/0/images/purchase/flow/price/GeoEye-1_IKONOS_pricelist.pdf
- [17] 「QuickBird 画像プロダクトライセンス価格表」、日立ソフトウェアエンジニアリング
ホームページ、
http://hitachisoft.jp/products/hgiis/function/dl/WorldView-2_PriceList_08-06-2010.pdf
- [18] 「WorldView-1 画像プロダクトライセンス価格表」、日立ソフトウェアエンジニアリング
ホームページ、
http://hitachisoft.jp/products/hgiis/function/dl/WorldView-1_PriceList_08-06-2010.pdf
- [19] 「WorldView-2 画像プロダクトライセンス価格表」、日立ソフトウェアエンジニアリング
ホームページ、
http://hitachisoft.jp/products/hgiis/function/dl/QuickBird_PriceList_08-06-2010.pdf
- [20] 「大規模地球環境データアーカイブシステムにおけるデータマイニングツールの構築」、
生駒栄司、谷口建司、小池俊雄、喜連川優、Proceedings of Data Engineering Workshop、
2004.
- [21] 「リモートセンシングの画像処理」、星仰、森北出版、2003
- [22] 「神戸高速鉄道東西線大開駅災害復旧の記録」、佐藤工業株式会社、1997
- [23] 「阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害」、阪神・淡路大震災調査報告編集委
員会、1997

第3章

画像・基盤情報の利活用に関する研究

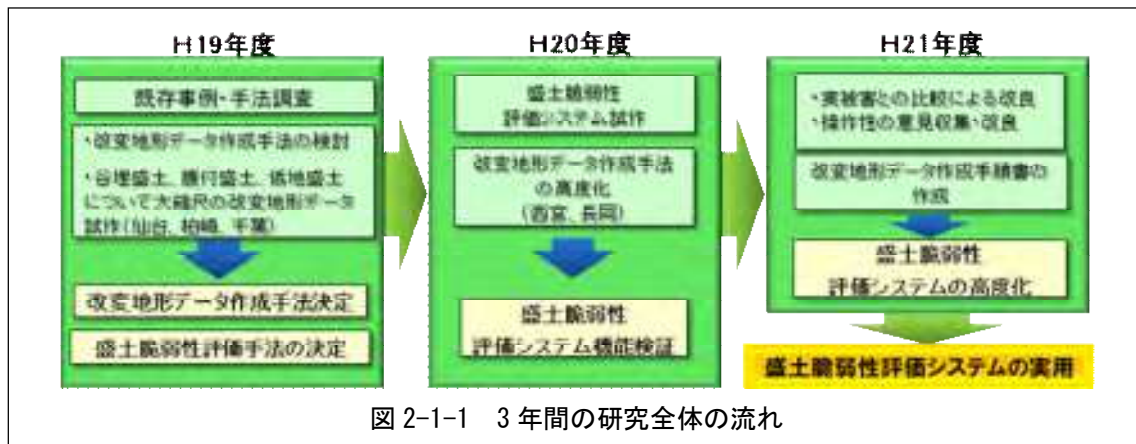
（１）地盤の脆弱性把握のための開発

１．はじめに

空中写真、地形図等の地理空間情報を時系列的に解析することにより、人工改変地（盛土、切土、埋立地等）の把握が可能となる。また、それら人工改変地を地形的に解析することにより、その脆弱性もある程度把握することができる。国土交通省が宅地耐震化推進事業に基づいて公表している「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン」（以下、「ガイドライン」という。）においては、第一次スクリーニングとして盛土の位置と規模を把握することが義務づけられている。さらに、その後の第二次スクリーニング（詳細調査）を効率的に実施するためには、盛土の相対的な危険度を簡易に把握する必要がある。このため、本研究では、盛土の分布と形状を把握する標準手法の開発と、抽出された盛土形状からその脆弱性（危険度）を簡易に把握する手法の開発を目標とした。

２．研究の概要

本研究は、（１）盛土の分布と形状を把握する標準手法の開発と、（２）改変地形データを用いた盛土の脆弱性把握手法の開発の２本柱で構成され、図 2-1-1 のような流れで３年間の研究を実施した。



（１）では、国土交通省により公表されている「ガイドライン」に基づき実施する第一次スクリーニングに有効な手法の開発を目指し、各種手法による改変地形データ（盛土地形データ）の精度と作業の効率性について検証するとともに、後述の評価システム構築のための高精度データの作成を行い、最終的に改変地形データの作成手順書としてまとめた。手順書は、実際のデータ作成技術者向けの詳細版と、作成を発注する地方公共団体の担当者向けの概要版を作成した。

(2) では、ガイドラインに基づき実施する第二次スクリーニング箇所の絞り込みに役立つ情報の取得を目的とし、ガイドラインに掲載されている現行手法の問題点やそれらを解決できる手法について、専門家会合や有識者との意見交換の結果を踏まえて検討し、盛土の地形情報のみで半自動的に盛土の脆弱性を評価するシステムを構築した（図 2-1-2）。

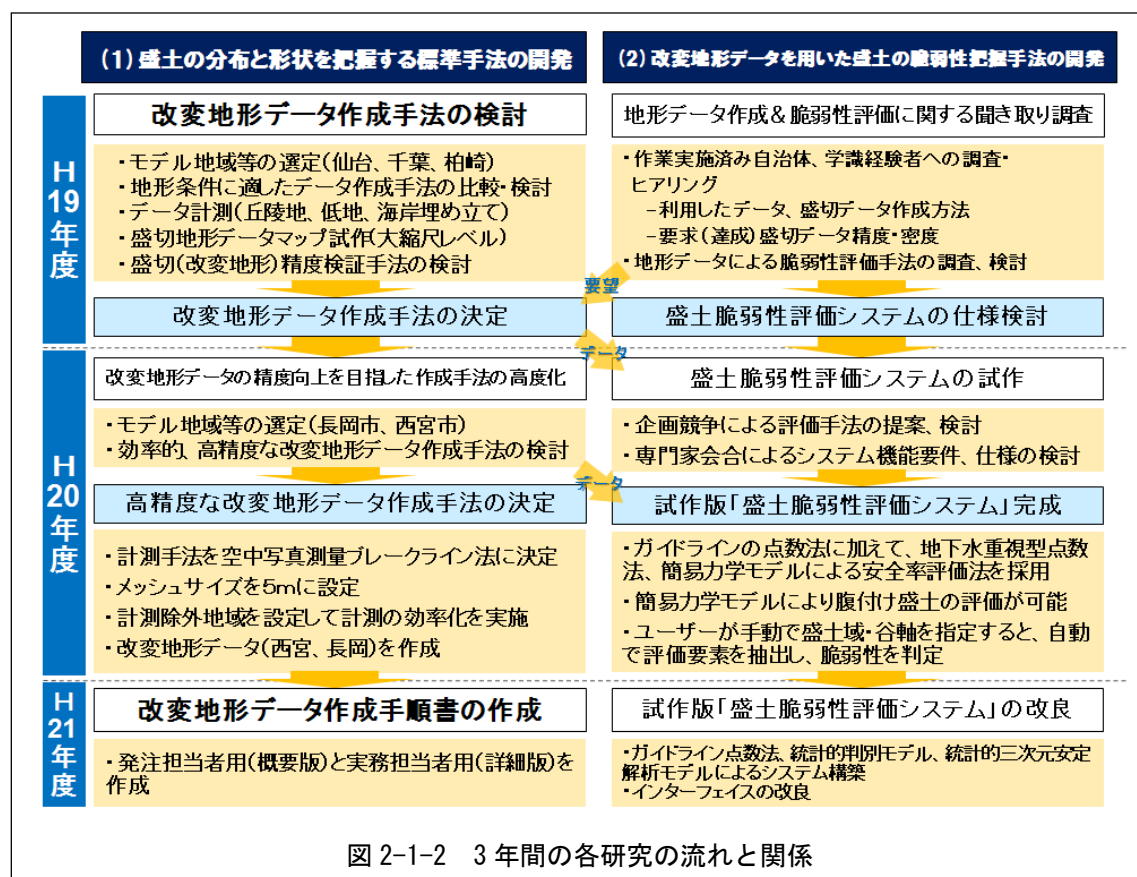


図 2-1-2 3 年間の各研究の流れと関係

3. 得られた成果

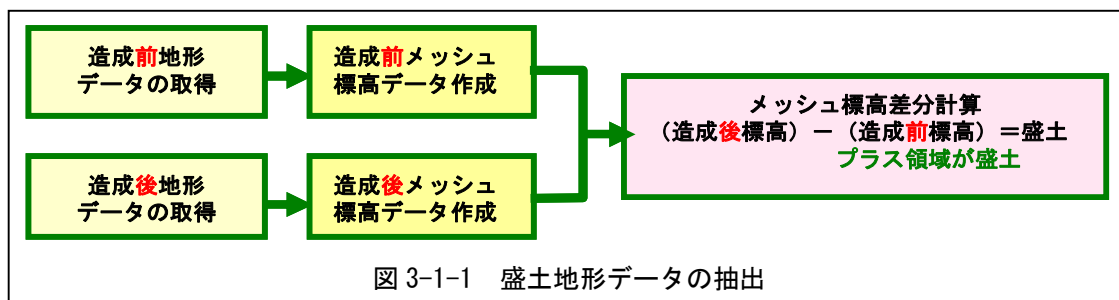
本研究で得られた成果を、研究ごとに以下にまとめる。

3-1 盛土の分布と形状を把握する標準手法の開発

3-1-1 盛土地形データ作成手法の検討

平成 19 年度は、原資料となる地形図や空中写真などの作成時期も考慮して、4 つの手法（①マップデジタイズ、②空中写真測量（点群データ取得）、③空中写真測量（ブレイクライン取得）、④空中写真測量（ステレオマッチング））を用いてモデル地域（仙台、千葉、柏崎）でデータを試作し、各手法による計測精度やデータ取得の効率性、取得されたデータの均質性を検討した。

改変地形データは、造成前後のメッシュ標高データを作成して、その差分により抽出した（図 3-1-1）。



(1) 盛土地形データ作成手法

1) 空中写真を使用した作成手法

空中写真を使用した盛土地形データ作成は、ステレオ図化機を使用して人工改変前・後の空中写真を使用して作成する。作成方法として、メッシュ法、ブレイクライン法、ステレオマッチング法がある。

①メッシュ法

空中写真を使用して、ステレオ図化機(写真 3-1-1)により、あらかじめ座標設定した格子点(メッシュ)の標高データを取得する方法である。

この手法では、格子点の標高データを直接測定するため高精度なデータ取得ができ、DEM データを直接作成することができるが、メッシュ毎に標高データを計測するため、計測時間がかかり、空中写真の陰影部データ取得が難しいなどの課題がある。



写真 3-1-1 ステレオ図化機

②ブレイクライン法

この方法は、ステレオ図化機(写真 3-1-1)に空中写真をセットして、被覆の上下端など地形形状が連続的に変化する箇所を 3 次元のラインとして取得する方法である。この方法では、メッシュ法で作成した標高データを補完し、より詳しい地形データ取得を行うため精度の高い盛土地形データを作成することができる。この手法では、地形変化点のデータを取得するため、詳細な地形モデルを作成することができるが、連続する地形を連続的に計測するため、凹凸の地形が多数分布する地域では計測に時間がかかる。また、陰影部データの取得が難しいなどの課題がある。

③ステレオマッチング法

この方法は、オーバーラップした空中写真を使用して対応する像を画像の濃度分布などの類似性を指標として自動的に探索し標高データを取得する方法である。

この手法は、自動処理のため効率的な作業が可能であるが、表層のデータを取得するため、人工構造物などを取り除くフィルタリング処理を行う必要がある。また、使用す

る空中写真画像の劣化状態によりデータを取得できない箇所が生ずるなどの課題がある。

2) 地形図を使用したマップデジタルイズ法

旧版及び新版地形図を使用した盛土地形データ作成方法としてマップデジタルイズ法がある。この方法は、スキャニングした地形図データから等高線や標高値をデータとして取得し、その数値データからメッシュ毎のデータにする方法である。

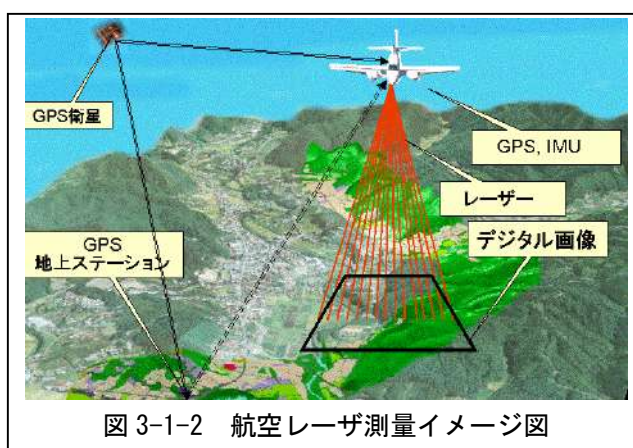


図 3-1-2 航空レーザ測量イメージ図

3) 航空レーザ計測法

航空機から地上に向けてレーザ光を照射し地上から反射して戻ってくる時間差で地物の高さを取得する方法である（図 3-1-2）。

この方法では、データの取得密度及び精度が高く、取得に人の介在が少なく効率的である。しかし、表層のデータを取得するため、人工構造物などのデータを排除するフィルタリング処理を行う必要があり、取得に経費がかかるなどの課題がある。

(2) 手法毎に作成したデータの比較及び手法の評価

手法毎の比較を行うためサンプル地区を設定して手法毎に計測を行った。サンプル地区の設定は、盛土地形が比較的多数分布する低地及び丘陵地を選んだ。低地は、台地を侵食して谷底平野が分布する千葉市（図 3-1-3）、丘陵地は、人工改変により大規模住宅団地が分布する仙台市を選択し、これらの盛土データの精度、均質性及び効率性の比較を行い、手法ごとに盛土地形をどれだけ正確に抽出できたかについて、以下の4つの観点で検討した。

- i) 谷埋め盛土の範囲を捉えているか
- ii) 腹付け盛土の範囲、特に法面部分の連続性を捉えているか
- iii) 尾根と谷・沢を造成した切盛りが混在する範囲を捉えているか
- iv) 造成していないと考えられる範囲において、標高変化を示していないか



図 3-1-3 試験計測範囲（低地）

図 3-1-4 及び図 3-1-5 は、低地（千葉地区）における新・旧の地形図である。地図上の赤、緑、青の楕円は作成データを手法毎に比較するための共通エリアである。

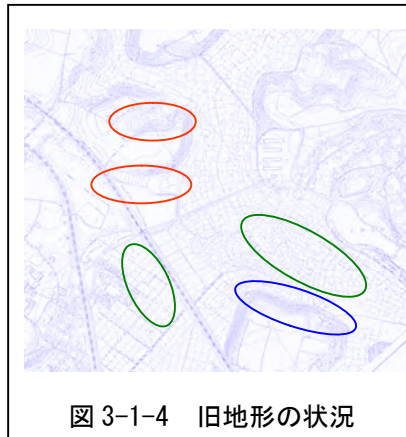


図 3-1-4 旧地形の状況



図 3-1-5 新地形の状況

手法毎に作成した盛土地形データ(10mメッシュ)から作成した縮尺 1/2, 500 の盛土地形分布図(ピンク、黄色が盛土) が盛土地形を正しく表示しているか比較した。

1) メッシュ法

図 3-1-6 は、写真測量のメッシュ法により作成した盛土地形分布図である。赤で囲んだ箇所のピンクと黄色部分が盛土地形で、谷を埋めた盛土を概ね捉えている。青の範囲では、斜面における盛土（擁壁部分）の連続性が悪い。グリーンの範囲は人工改変が行われていない地区なので盛土を示さず正しい結果である。



図 3-1-6 盛土地形の計測結果（メッシュ法）

2) ブレークライン法

図 3-1-7 は、ブレークライン法により作成した盛土地形分布図である。赤で囲んだ箇所のピンク及び黄色部分が盛土地形で、谷を埋めた盛土を捉えている。青の範囲では、斜面での盛土の擁壁部分に連続性があり、切土と盛土の境界を捉えている。グリーンの範囲は造成されていない地区なので盛土を示さず正しい結果である。



図 3-1-7 盛土地形の計測結果（ブレークライン法）

この手法では、谷埋盛土は概ね正確に計測できたほか、斜面の上下端や擁壁位置を連続的に取得できた。

3) ステレオマッチング法

図 3-1-8 は、ステレオマッチング法により作成し

た盛土地形分布図である。赤で囲んだ箇所のピンク及び黄色部分が盛土地形で、谷を埋めた盛土を概ね捉えている。青の範囲では、斜面の盛土を捉えていない。緑色の範囲では、造成されていないと考えられる地点でも、建物の高さを捉えており、その部分が盛土となっている。

ステレオマッチング法では、谷埋盛土は概ね正確に計測できたが、腹付け盛土を正確に計測することが難しかった。また、住宅地では建物の高さを計測し、地表面の正確なデータを取得できなかった。



4) マップデジタイズ法

図 3-1-9 は、マップデジタイズ法により作成した盛土地形分布図である。赤で囲んだ箇所のピンク及び黄色部分が盛土地形で、谷を埋めた盛土を概ね捉えている。青の範囲では、盛土が等高線に沿っており、切土と盛土の境界を捉えていない。緑色の範囲では、造成されていない地点でも、標高情報が無く、周辺の等高線に影響されるため、盛土として表示され、誤った結果となった。

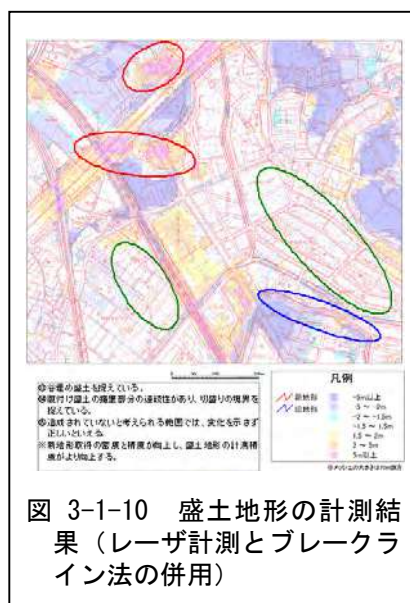
マップデジタイズでは谷埋盛土は概ね正確に計測できたが、腹付け盛土では等高線のみしか情報がなく、切盛境界を正確に捉えることは難しい。また、平坦地では、内部に等高線が存在しないため周辺の等高線の分布に標高値が大きく影響され、正確な値の取得が難しい。



5) レーザ計測とブレイクラインの併用

図 3-1-10 は、レーザ計測と空中写真測量ブレイクラインを併用して作成した盛土地形分布図である。赤で囲んだ箇所のピンク部分が盛土地形で、谷を埋めた盛土を捉えている。青の範囲では、斜面の盛土の擁壁部分の連続性があり、切土と盛土の境界を捉えている。緑色の範囲は造成されていない地区なので盛土を示さず正しい結果となっている。

この手法は、比較的標高の精度が高い。しかし、



レーザ計測手法は最近の手法なので、宅地造成後の地形データとしては利用が可能であるが、宅地造成前の地形データ取得には、前述の各手法のいずれかを選択することが一般的である。

レーザ計測手法の長所は、地表を直接計測するため、高精度である。一方、この手法の短所は、表層のデータしか取得できないため、フィルタリング処理により構造物や植生などのデータを取り除く必要がある。

(3) 作成手法別データの比較と評価

1) 作成手法別比較

盛土地形データ計測手法の検討では、使用する地形図や空中写真などの作成時期も考慮して、①メッシュ法、②ブレイクライン法、③ステレオマッチング法、④マップデジタイズ法の4手法を選定し、実際にデータを作成することにより、計測精度やデータ取得の効率性、取得されたデータの均質性（操作者による差異）について検討を行い、次の結果が得られた（表 3-1-1）。計測精度については、実際の計測結果を比較した結果、ブレイクライン法、メッシュ法、マップデジタイズ法、ステレオマッチング法の順に評価が高かった。マップデジタイズ法では谷埋盛土は概ね正確に計測できたが、腹付け盛土では等高線のみしか情報がなく、切盛境界を正確に捉えることが難しい。また、平坦地では、内部に等高線が存在しないため周辺の等高線の分布に標高値が大きく影響され、正確な値の取得は難しい。ステレオマッチング法では、谷埋盛土は概ね正確に計測できたが、腹付け盛土を正確に計測することが難しい。また、住宅が建っている地点（その多くは平坦地）では、建物の高さを計測してしまい、地表面の正確なデータを取得するのが難しかった。メッシュ法では、谷埋盛土は概ね正確に計測できたが、連続した地形形状の情報を取得するのが困難なため、擁壁などの正確な位置をデータ化するのが難しかった。ブレイクライン法では、谷埋盛土は概ね正確に計測できたほか、斜面の上下端や擁壁位置を連続的に取得できるため、腹付け盛土も概ね正確に計測できたが、データ取得の効率性の観点からみると、他手法より劣るという結果であった。

2) 作成手法別の評価

危険度評価システムで使用する盛土地形データ作成手法の検討を行うため、2つの地域でそれぞれの手法により人工改変前後の標高地形データを作成し、それぞれの差分により盛土地形データを作成した。このデータから盛土地形分布図を作成し、盛土地形がどれだけ正確に表示できたか比較を行った結果、盛土地形データ作成では、使用する資料や作成方法の違いによって抽出する盛土地形の精度、均質性、効率性が異なることが明らかになった。危険度評価システムで使用する盛土地形データを作成する場合は、その地域の地形特性、特に谷の密度などの違いにより必要とする精度が異なるため、どの作成方法を選択するかを検討する必要がある。

表 3-1-1 計測手法ごとの精度・均質性・効率性の比較

計測手法			メッシュ法	ブレークライン法	ステレオマッチング法	マップデジタイズ法
計測精度	盛土地形の特徴	旧地形	○	◎	×	○
			地形の連続性をやや考慮しにくい	地形の連続性を考慮可能	樹木の上の標高を取得 質により標高数値が変わる	地形の連続性を比較的考慮可能 等高線と標高点のみのデータ取得
		新地形	○	◎	×	△
			擁壁をピンポイントで計測できない	擁壁をブレークラインとして連続的に取得 航空レーザ測量結果を併用することでより精度が高くなる	建物が建った範囲も取得 画質により標高数値が変わる	高さを取得できない 擁壁の標高データを取得できない
		諸元の盛土	○～△	◎	×	△
			(盛土地形範囲)	連続的な地形の特徴がある 盛土の正確性がやや低い	盛土地形範囲の正確性が比較的高い	盛土地形の範囲を正確に把握できない
	均質性	○		△	◎	○
平面位置が決まっており差異が出にくい		操作者により、ブレークラインかどうかの判断にやや差異が生じる	機械による作業のため、人為的な差異は生じない	決まった情報を取得するため、差異が生じにくい		
効率性	△	△	○	○		
	モデル作成にやや時間を要する モデル作成 約 0.4 日 データ取得 約 7.0 日 (2km ²)	モデル作成にやや時間を要する モデル作成 約 0.4 日 データ取得 約 7.0 日 (2km ²)	モデル作成にやや時間を要するが、データ取得は自動 モデル作成 約 0.4 日 データ取得 約 1.0 日 (2km ²)	作業準備の時間が少ない モデル作成 約 0.1 日 データ取得 約 5.0 日 (2km ²)		
総合評価		○	◎	×	△	

3-1-2 盛土地形データ作成手法の高度化

平成 20 年度は、平成 19 年度に開発した手法を用いて過去の地震被害地域（西宮市、長岡市）を対象に、盛土地形計測の精度向上の検討と大縮尺レベルの改変地形データの試作を行った（図 3-1-11）。詳細な盛土地形を表現するため、地形データのメッシュサイズは 5m とした。また、後述の評価システムの改良に利用するために、地震による

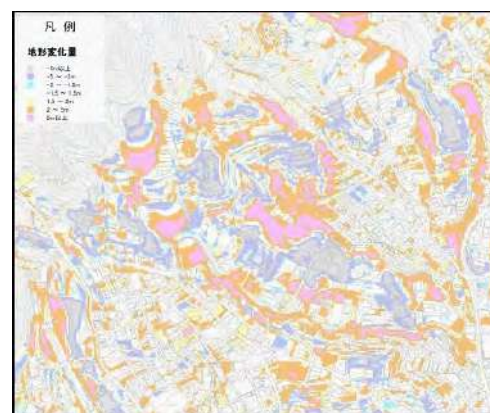


図 3-1-11 西宮市の盛土地形変化量図(背景図は改変後の地形図)

地盤変位分布等の情報を整理した分布図と盛土ごとの台帳も作成した。

3-1-3 盛土地形データの標準作成手順書の作成

これまでに検討した盛土地形作成手法と盛土地形分布図作成等の成果を基に、平成 21 年度は、実際にデータ作成を実施する地方公共団体向けの「人工改変地形データ抽出のための手順書（技術者用の詳細版と発注担当者用の概要版）」を作成した。

（１）データ作成に使用する資料及びデータ作成地域の絞り込み

データを作成する調査対象地域の絞り込み（除外地域の判別）を行うことにより、調査の効率化及び調査費用の軽減化を図ることができる。また、調査の除外地域を判別するため、表 3-1-2 の資料により①の沖積低地と台地上の平坦部を絞り込んだ例が図 3-1-12 と図 3-1-13 である。

表 3-1-2 盛土造成地の抽出

除外区域の地形要素	判別に使用する資料
① 沖積低地、海部、台地上の平坦部	* 原地形の様子がわかる資料 旧版地形図、土地条件図、旧空中写真、傾斜量図等
② 自然地形（山林・原野等）	* 現在の改変の無い自然地形を把握する資料 最新空中写真、最新地形図等
③ 宅地関連造成地以外の用途造成地	* 現在の土地利用の状況がわかる資料 最新空中写真、最新地形図等

図 3-1-12 は旧版地形図の上で等高線間隔などを参考に沖積低地を判別したものである。判別には、縮尺 1/10,000～1/25,000 の旧版地形図を用い、旧空中写真を補助的に使用し、沖積低地は除外区域であるが図中の a・b 等の谷部及び緩扇状地部は調査の対象地域として組み入れた。

図 3-1-13 は旧版地形図上で台地上の平坦部を判別したもので、台地上の平坦部は土地条件図あるいは傾斜量（図）を併用して判別し、台地上の浅い谷（c）又は改変地の周り（d・e 等）は調査対象となり得るので空中写真などを参考に判別した。

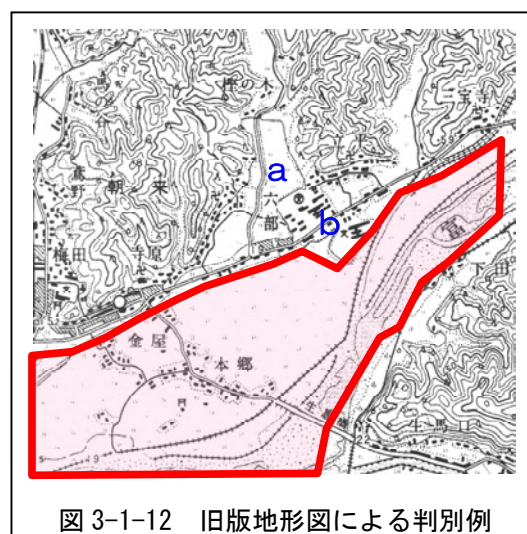


図 3-1-12 旧版地形図による判別例

(2) 盛土地形データの精度

取得する盛土地形データの精度として作成に使用する原資料の標高の精度の組み合わせによって得られる盛土造成地形データの精度の目安が表 3-1-3 である。この精度は、原資料の精度を基に作成した。

(3) 盛土地形データ作成手順書の作成

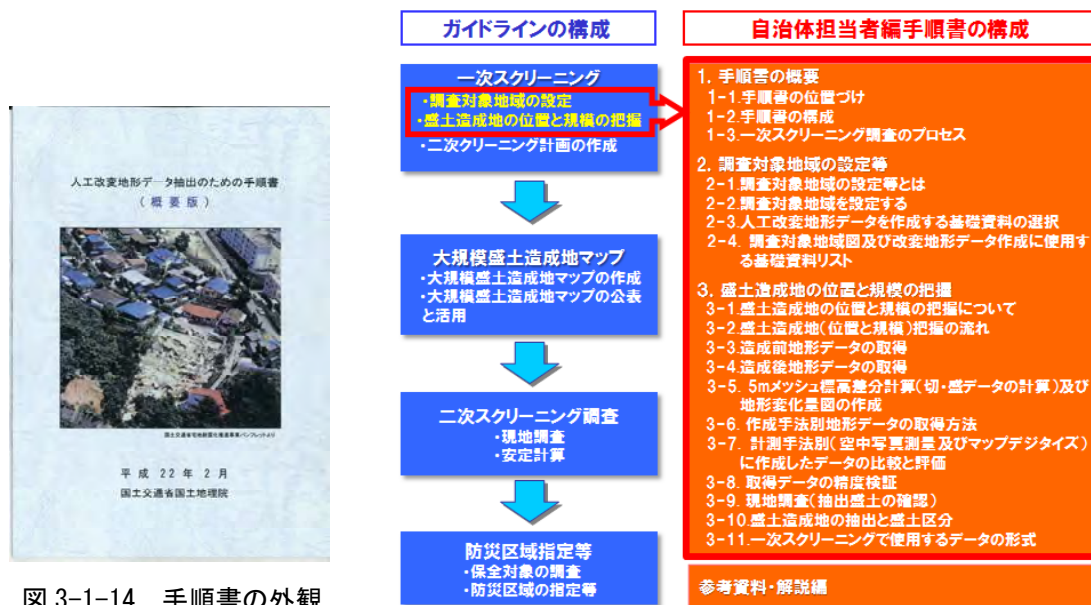
本手順書は、ガイドラインの第一次スクリーニングの中の「調査対象地域の設定」と「盛土造成地の位置と規模の把握」の部分を対象



図 3-1-13 旧版地形図による判別例

表 3-1-3 盛土地形データの精度目安

造成後基礎 資料 造成前 基礎資料	5m メッシュ 標高データ (レーザ) (直接利用)	2,500 砂防基 盤図データ (直接的に利 用)	2,500DM データ (ほぼ直接的 に利用)	1/2,500 地 形図(数値化 利用)	1/10,000 級空 中写真(写真測 量による取得)	1/20,000 級 空中写真(写 真測量によ る取得)
2,500DM データ (ほぼ直接的に利用)	±0.5m ~ 1.1m	±0.7m ~ 1.4m	±0.7m ~ 1.4m	±0.7m ~ 1.4m	±0.6m ~ 1.4m	±0.8m ~ 2.2m
1/2,500 地形図 (数値化利用)	±0.5 m ~ 1.1m	±0.7 m ~ 1.4m	±0.7m ~ 1.4m	±0.7m ~ 1.4m	±0.6m ~ 1.4m	±0.8m ~ 2.2m
1/10,000 空中写真 (写真測量取得)	±0.4 m ~ 1.1m	±0.6 m ~ 1.4m	±0.6m ~ 1.4m	±0.6m ~ 1.4m	±0.4m ~ .4m	±0.9m ~ 1.7m
1/3,000 地形図 (数値化利用)	±0.8 m ~ 1.5m	±0.9 m ~ 1.7m	±0.9m ~ 1.7m	±0.9m ~ 1.7m	±0.9m ~ 1.7m	±1.0m ~ 2.4m
1/12,000 米軍写真 (写真測量取得)	±0.6 m ~ 1.3m	±0.8 m ~ 1.6m	±0.8m ~ 1.6m	±0.8m ~ 1.6m	±0.9m ~ 1.7m	±1.0m ~ 1.8m
1/20,000 空中写真 (写真測量取得)	±0.6 m ~ 2.0m	±0.8 m ~ 2.2m	±0.8m ~ 2.2m	±0.8m ~ 2.2m	±0.7m ~ 2.2m	±1.1m ~ 2.8m
1/40,000 米軍写真 (写真測量取得)	±2.0 m ~ 4.0m	±2.1 m ~ 4.1m	±2.1m ~ 4.1m	±2.1m ~ 4.1m	±2.0m ~ 4.1m	±2.2m ~ 4.2m
旧版 1/25,000 地形図 (数値化利用)	±3.0 m ~ 5.0m	±3.0 m ~ 5.1m	±3.0m ~ 5.1m	±3.0m ~ 5.1m	±3.0m ~ 5.1 m	±3.1m ~ 5.2m
旧版 1/20,000 地形図 (数値化利用)	±数m ~ 10 数m	±数m ~ 10 数m	±数m ~ 10 数m	±数m ~ 10 数m	±数m ~ 10 数m	±数m ~ 10 数m



としており、加えて後述の盛土脆弱性評価システムへの適応方法を含めた参考資料や解説も載せている。図 3-1-14 に手順書の外観を、図 3-1-15 にガイドラインに対する手順書の位置付けと構成を示す。

3-2 改変地形データを用いた盛土の脆弱性把握手法の開発

3-2-1 改変地形データを用いた地盤脆弱性把握手法に関する調査

平成 19 年度に、地盤災害対策を実施している自治体や学識経験者にヒアリング調査を行い、主として地形データを用いた簡易な危険度評価手法に関する研究状況や人工地形改変地形データ作成の現状について調査した。

(1) 自治体へのヒアリング調査

地盤災害対策事業を実施している 5 つの自治体、および実際に作業を実施した企業に対して、実施済事業の詳細に関するヒアリング調査を行った。ヒアリング調査では、事業の目標や人工改変前後の地形データ作成に使用した資料、地形データ・差分データの具体的な作成手法、盛土地域の抽出方法、危険度評価の方法(実施自治体のみ)に関して対面式による調査を実施した。結果は以下のとおりである。

- *5 自治体のうち、1 自治体が旧版地形図から人工改変前後の平面的な地形変化を取得している。残りの 4 自治体は改変前地形データの作成に昭和 30～40 年代の航空写真や米軍写真を用いていた。
- *改変後の地形データ作成には、1 自治体が航空写真測量を利用し、4 自治体が DM データからの地形データ抽出を行っていた。しかし、データ取得精度の検証を実施している

のは1自治体のみであり、標準的な検証方法の必要性が指摘された。

＊第一次スクリーニングの報告マップの表示方法、内容については、各自治体で対応が様々であるが、公開については、簡易評価法が具体的で統一的な有効基準となっていないことから、いずれの自治体も躊躇しており、1自治体が1/100,000イメージを公開し、2自治体が今後の公開を検討しているに留まった。

＊実際の盛土地域の判定では、全自治体が現地踏査を実施していたが、危険度評価の具体的な方法が必ずしも確立しておらず、有効な評価が実施できる調査項目や点数基準の必要性が指摘された。基本的には、「大規模造成盛土変動予測調査ガイドライン」に倣って実施されているが、ガイドラインに精度的な基準の記載がないことにより作業内容に差異が生じている。

＊第二次スクリーニングを経て最終的に「区域指定」に至ることを考えれば、第一次スクリーニング結果を絞り込むための今回の脆弱性評価においても、データの精度記述が必要であると指摘された。

以下、表3-2-1に対面聞き取り調査の要約を示す。

表3-2-1 5自治体に対する対面聞き取り調査の要約

1. 事業の基本的事項	
大規模盛土変動予測調査、事業の対応	事業に最も期待すること 国の補助事業として初めて実施され、全域の盛土の状況を把握でき、危険盛土地の分布が認知されること。これに対する手当て（対策）が具体的に講じられ、宅地の安全性の確保がはかれること。第二次スクリーニングについては難しさがある。
	事業に対する要望、意見 調査仕様の詳しい統一基準を整備し、標準的な歩掛も確立して欲しい。仕様、とりわけ評価手法の曖昧さ、不統一があつては、住民に事業を理解してもらうことができない。評価手法により安全、危険の答えが異なる。「地域性があり、事業の統一化は必ずしも良策と思われない」とする意見もあり。第一次スクリーニングにおいて現地調査を位置づけて欲しいとの意見もあった。何をもって安全と位置づけるか明示して欲しい。
	事業のやり易さ、困難さ 一旦許可承認した造成宅地に対し、たとえ基準が変わったと言え、事業を進める体制（啓蒙活動、指定された区域の法的措置、事業費用、救済措置）が整備されなくては責任を持って事業対応できない。公的な基準（危険度版評価）を明示して欲しい。住民主体でなければ、第二次スクリーニング及び事業自体が進まないと考える。事業予算の拡充をお願いしたい。宅造法変更の必要もあるのではと考える。
事業ガイドライン	事業費用・事業期間 事業に対する自治体の対応は様々であり、以下のような状況である。詳細仕様等の不十分さの課題を反映する状況と思われる。 ・第二次スクリーニングをスポット的に実施するが、いわゆる順序だったスクリーニング調査によるものでない。今後の調査は未定。 ・2カ年で造成盛土の調査を一通り進め、2年目に盛土マップとして公開する。それにより住民の側からの声を受け、第二次スクリーニング調査を進める。 ・19年度実施は0次スクリーニングを主体に進め、一部サンプル的に一次スクリーニングを実施し、現地調査及び評価手法の検討も併せて進めている。 ・第一次スクリーニングはある程度ラフな方法で実施し、抽出した対象箇所を行政側で順次絞り込み、現地調査も実施。最終的には二桁箇所をまとめ、庁内の検討委員会を経

	て、10 箇所程度に絞り込み5年間で第二次スクリーニングを計画。 ・他事業の関連で実施し、継続実施の考えは今のところない。
	全体的な業務仕様に対する意見 仕様の詳細記述が不十分で、第一次スクリーニング結果にもとづく調査優先順の指標がない等、評価手法の具体的な統一仕様を早く示して欲しいとする声が多くあった。
事業計画	実施予定期間（年度）・実施対象範囲 自治体により様々。 ・18年度に第一次スクリーニング終了。・18年度着手。19～20年度で第一次スクリーニングの切盛調査実施予定。 ・19年度0次調査と第一次スクリーニングサンプル調査。20年度第一次スクリーニング調査開始。 ・18年度に第一次スクリーニング終了。19年度職員で現地踏査、絞り込み実施。・18年度に合併周辺町村を対象に、宅地工事規制区域の見直し事業の関連で実施。旧市域の実施予定は今のところ無し。 事業範囲（第一次スクリーニング・第二次スクリーニング・区域指定） 「区域指定は、他の関連指定である宅地工事規制区域、急傾斜地、地すべり指定、砂防レッドゾーン等とどのように関わるか、法的指定等がスムーズに進められるか、住民の方の費用負担について救済措置はないか、等（国は）もっと事業推進のための体制を固めて欲しい。」との共通する意見が多く挙がった。 このうち1自治体のみ、19年度に第二次スクリーニングを実施しているが、第一次スクリーニングからの系統だった絞り込み結果ではなく、対象箇所をサンプリング特定し実施。

2. 実施業務内容（18年度を基本に19年度実施業務が対象）事業の基本的事項	
調査対象区域の把握方法	調査対象区域の特定を業務として発注（対象条件等特定業務の仕様） 業務の中で、具体的な調査項目として特定あるいは一部特定し、実施した自治体は2自治体のみ。 古い造成区域の扱い（有効資料の存在の観点から） 1自治体は資料精度の条件から、戦前の古い開発区域と戦後の開発区域を区分表示。それ以外の自治体では具体的に古い開発区域の問題に直面しない。許可申請のあった造成地の分布資料を参考に利用した自治体もあった。
第一次スクリーニング<切盛分布把握調査>	利用した資料（造成前：旧版 1/25,000 図、米軍写真、旧版 1/3,000 図、旧空中写真、その他） 1自治体が旧版 1/3,000 図画像を利用し、盛土区域が不明瞭な場合に空中写真で確認。その他の自治体では、米軍写真及び昭和 30・40 年代の空中写真、ないしは旧版 1/25,000 地形図等を利用。
	利用した資料（造成後：最新 1/2,500DM データ、詳細標高データ、1/2,500 図（数値化、その他） 3自治体では、最新地形は DM データから抽出。他は、写真測量により取得、または DM データに加え不明確な箇所はデジタルオルソ利用。 データ取得方法（等高線・標高点、メッシュ標高取得、ブレイクラインデータ取得、それらの混成方法、目視盛土判別抽出） 1自治体は地図画像から等高線の変化を判読抽出する方法で、それ以外の自治体では等高線・標高点、ブレイクラインデータ取得方法。

差分計算（メッシュ化差分方式、ベクトルデータ差分方式、その他の方法） 自治体により様々で、画像比較判読で盛土区域の最高位点と最低位点を抽出し GIS を用い地形要素を求める方法、ベクトルデータ差分方式、一旦メッシュ化しその差分方式、ベクトル差分方式とメッシュ差分方式を比較検討などがある。
取得精度（標準取得精度と結果：標高、水平要素も加味した精度） 資料により様々である。しかし 1/2,500 図ないしは 1/10,000 (～1/20,000) 空中写真に ついては、ある程度決まった精度幅にある。精度課題は旧地形における森林部の等高線データにもある。
表示方法（表示縮尺、背景図仕様） 1/2,500 図背景のことが多い。2 自治体で、1/5,000 のアウトプット。
メッシュ表示、実差分による表示（差分コンター） 1 自治体は盛土区域、切盛差分コンター表示。3 自治体が、盛土区域表示。残り 1 自治体は、メッシュ階層カラーリング表示。
付加表示事項（盛土エリア、断面図、防災関連情報他） 基本型は、地形図を背景に盛土区域を表示。その他に盛土メッシュ階層、盛土コンター、行政区域、緊急輸送道路、防災施設等を自治体個別に付加表示。
ガイドライン要件の盛土区域抽出作業の有無、谷埋め・腹付けの区分、宅地造成工事規制区域内外の別等 ガイドライン要件にかなう盛土区域のピックアップと、その一覧リストは各自治体とも作成。谷埋め盛土と腹付け盛土の区分は形態から判断するが、明確でないケースも多い。谷埋め盛土は一連のつながりで括り区分するが、主谷に対し、二次、三次の区分が一般的に実施されている。 盛土区域の範囲は、計算差分データの 0 値から設定している場合が多いが、精度（誤差）を見込んで設定する自治体もある。メッシュ方式とベクトル方式の場合でも表示が異なる。 腹付けの傾斜等のデータ取得の方法がマップのまとめ方によっても異なる。
造成前後データ及び差分データの精度検証方法と結果＜ボーリング、開発図書等の利用の可能性、他＞ 主に経年変化のない箇所についてデータを取得し、比較検証する方法が多く採られている。写真測量の基準点残差の標準偏差値を精度目安値とする。 抽出した盛土区域の存在の確認を含め、現地踏査を取り入れる必要性を唱える業者及び自治体もある。 ある自治体では実務のプロセスが、現地確認重視の流れにある。

3. 実施業務内容（18 年度を基本に 19 年度実施業務が対象）変動予測評価とマップの公開	
第一次スクリーニング ＜簡易安定評価＞	第一次スクリーニングと第二次スクリーニングの調査・評価の効果的かつ合理的な連続性について（一次スクリーニング評価の意義と二次スクリーニング評価の位置づけ） 第一次スクリーニングの簡易安定評価を適切かつ有効な手法で実施すれば、第二次スクリーニングのための真の絞り込みが実現される場所であるが、現状はその状況に至っていない。自治体により以下のような意見がある。 ・「ガイドライン」においては、第二次スクリーニング評価を二次元解析としているが、実務では三次元解析を実施している。二次元解析より三次元解析の方は「安全」側に結果がまとまる傾向にある。 ・第一次スクリーニングの段階では評価は行わず、ガイドライン要件の盛土の抽出、表示までを行っている。（「切盛分布図」） ・「現地調査」（現地視察）は、第一次スクリーニングにおいて図書資料から抽出した「盛土」について、その存在を判別、確認する上でも実施する必要がある。第一次スクリーニング結果から過度な評価を期待することは出来ない。現地確認によりスクリーニングを実施。 以上のように、第一次スクリーニングの概略評価報告においても「現地踏査」等の必要性を強調する声が多くあった。
	第一次スクリーニング、盛土地盤の簡易安定性評価項目(1) 地形条件（高さ、深さ、長さ、幅、面積、造成前・後の傾斜、容積）のみから有効な概略評価手法 (2) 地形条件に加えることのできる想定地質条件（盛土材、地下水位、施工方法）(3) 現地踏査（目視）の有効性、実施く個別の施工情報と想定統一条件の差異＞ ・第一次スクリーニングの図書資料からの抽出だけでは、精度的に問題であり、その曖昧なデータに基づく評価そのものに意味が無い。現地踏査等を組み入れ、有効な評価基準が示されねば第二次スクリーニングに至らない。 ・「現地調査」（現地視察）は「盛土」なのかどうかの判別をする上で実施する必要がある。「評価」について全国的な統一性が必要と考える。 ・基本型は、ガイドラインにある点数法に現地踏査項目を加味した点数法になるのか。評価項目及び配点ポイント等について、本作業で試行中。 ・第一次スクリーニングの盛土抽出は、あくまでも対象箇所の抽出が目的で、それをもとに、抽出の全盛土箇所について現地踏査を実施。
	具体的に実施した安定計算（評価）手法とその結果 現在、ガイドラインによる手法（点数法）が 2 自治体で採用されている。その他では、「評価」を実施していないか、他の手法を試行中である。ニューラルネットワーク手法は採用されていない。
	・評価の検証方法 「評価」の検証は具体的に実施されていない。
第一次スクリーニング ＜マップの公開について＞	公開するマップの目的（切盛分布図の公開 or 第一次スクリーニング評価図の公開） 1 自治体のみHPで公開（1/100,000、背景地形図は無し）。精度的に不安定であるので、この条件でしか公開できない。 他に、第一次スクリーニングを一通り実施してから、区別に盛土状況図として公開予定、盛土分布だけの公開は事業主旨から意味がなく評価とセットで公開する、という自治体もあった。 また、今後は、他のカテゴリー（揺れやすさ等）と複合的に調査、評価を進めていくという自治体もあった。現在公開していない自治体でも、住民の請求により調査報告書は開示する義務があることは認識されている。
	公開するマップの仕様（縮尺、表示内容等） 1 自治体が 1/100,000 で対象盛土分布図公開。 他の 1 自治体は、将来、1/10,000 区分図上に公開予定。 その他の自治体は未定。

(2) 学識経験者へのヒアリング調査

地盤脆弱性調査の学識経験者に対して、簡易的な地盤災害危険度評価の考え方、危険度評価の具体的手法、評価の際に重視すべき項目について対面式による調査を実施した。その結果、基本的な考え方として地形データのみを用いた評価では精度不足であり、現地調査は必須であるという指摘がされた。また、具体的な評価方法としては、いくつかの項目での評価による点数法が適当であるという指摘がされた。また、評価項目としては、現地調査による評価に重点を置き、地下水位や施工時の水抜き状況、盛土の材料や施工方法が重要であるという指摘がされた。ただし、どのような評価法を実施する場合でも、実際の被災事例による評価方法や配点に関する妥当性の検証が必要であるという指摘もされた。

3-2-2 「地盤脆弱性評価システム」の試作及び検証

上記のヒアリング調査の結果を受けて、平成20年度に盛土の危険度を評価できる「地盤脆弱性評価システム」を試作し、過去の被災事例において有効性を検証した。また、検証結果について考察した。

(1) 「地盤脆弱性評価システム」の試作

評価システムでは、前年度のヒアリング結果を踏まえながらも、主として地形データを用いた系統的な評価が半自動的に出来ることを目指した。そこで、次の3つの手法を採用した。なお、低地や埋立地の脆弱性評価については、それらの地域で発生する主な地盤災害は液状化であり、液状化の危険度評価についてはすでに一定の知見が得られている（例えば、国土庁、1999）ことから、本研究では対象外とした。

①国土交通省により公表されている「大規模盛土の変動予測調査ガイドラインの解説」

（以下、「ガイドラインの解説」という。）に示されている「点数方式」（国土交通省、2008）。表3-2-2に示す配点表により、盛土厚、盛土幅、盛土幅／盛土厚、原地盤勾配、地下水の有無で評価する。兵庫県南部地震時のデータに基づいている。ここでは「点数法1」と呼ぶ。

表 3-2-2 ガイドライン点数方式の配点表

盛土厚さ(m)		盛土幅(m)		盛土幅/盛土厚さ		原地盤の勾配(度)		地下水	
区分	点数	区分	点数	区分	点数	区分	点数	区分	点数
3以下	21	20以下	0	5以下	1	5以下	5	あり	1
3～6	12	20～50	3	5～10	2	5～10	4	なし	0
6～12	6	50～120	5	10～15	5	10～15	2		
12より大きい	0	120より大きい	10	15より大きい	8	15より大きい	0		

②地下水をより重視した数量化解析点数法（釜井・守随、2002）。図3-2-1 に示したカテゴリースコアを基に、幅/厚さ比、底面傾斜/厚さ比、形成年代、谷の長軸方向、地下水の豊富さで評価する。兵庫県南部地震時のデータに基づき構築されている。ここでは「点数法2」と呼ぶ。

③上記点数方式では脆弱性が評価できない腹付け盛土についても評価可能で、地形情報のみで評価できる簡易力学モデル（太田・榎田、2006）。谷側部の抵抗力と底面の過剰間隙水圧（滑動力）のバランスを考慮し、谷埋め盛土の形状を図3-2-2 のように単純化して評価する。これは、脆弱性評価指数が幅/深さ比と強い相関を持つことに基づいている。兵庫県南部地震時の被害事例に合うように地盤強度的パラメータを帰納的に求めた手法であり、ある盛土が兵庫県南部地震時に変動した盛土と統計的にどの程度類似しているかを求める手法と言える。

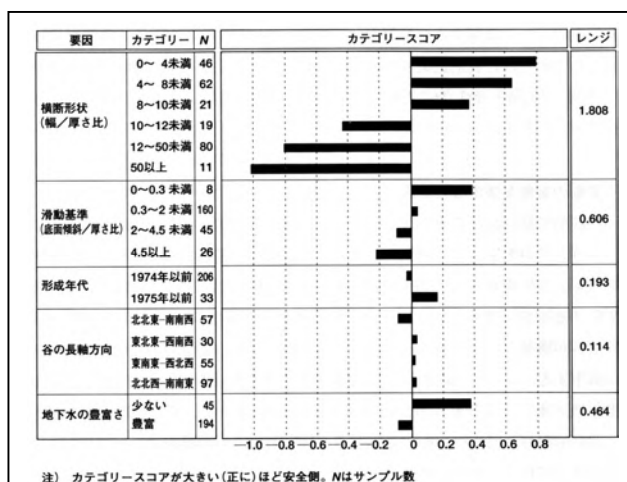


図 3-2-1 数量化解析点数法のカテゴリースコア

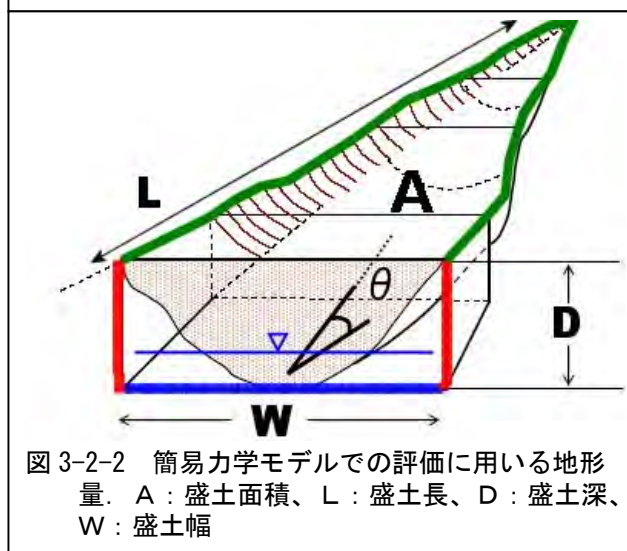


図 3-2-2 簡易力学モデルでの評価に用いる地形量. A: 盛土面積、L: 盛土長、D: 盛土深、W: 盛土幅

以上、3 手法を用いて試作した「地盤脆弱性評価システム」の操作画面を図 3-2-3 に示す。新旧地形データを読み込むと、自動的に盛土領域（青色の領域）と盛土の谷軸線（黒点の集合）が表示される。その谷軸を旧地形の等高線などを参考に手動で指定することにより、自動で計測範囲（赤枠）が生成されるとともに評価に必要な地形量が抽出され、3 つの手法による地盤脆弱性評価結果がそれぞれ一覧表に表示される。一覧表から盛土を選択すると、各盛土のより詳細な評価結果も表示される（図 3-2-4）。谷軸を指定する前に、盛土の管理を容易にするために、地区ごとや集水域ごとなど、ユーザーが手動で谷群（盛土グループ）を設定することもできる。また、表示設定パネルにより、表示縮尺や表示色の変更も可能である。

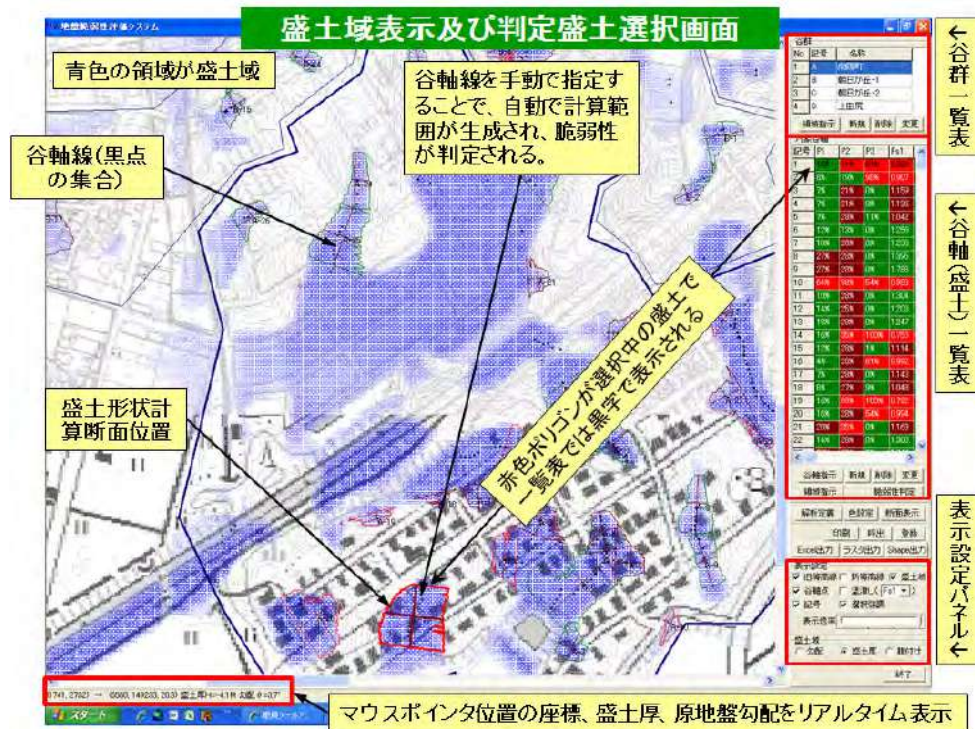


図 3-2-3 試作した「地盤脆弱性評価システム」の操作画面



図 3-2-4 盛土個別の地盤脆弱性判定画面

(2) 試作版「地盤脆弱性評価システム」の有効性の検証

試作した「地盤脆弱性評価システム」について、柏崎市の朝日が丘、向陽町、上田尻地区における造成宅地の改変地形データと、中越沖地震時の地盤変状分布を用いて検証を実施した。旧地形は昭和36年撮影の1/20,000空中写真、新地形は平成14年撮影の1/20,000空中写真を使用して作成した。盛土切土分布と地盤変状を重ね合わせたものを図3-2-5に示す。この図を見ると、地盤変状は盛土部分と盛土・切土境界部分で発生していることがわかる。

検証では、正誤判定基準を変動確率=50%及び安全性評価指数 $I_s=1.0$ (または変動確率=30%及び安全性評価指数 $I_s=1.2$) として正答率を求めた。点数法においては腹付け盛土の評価はできないため、腹付け盛土と判断された盛土は正答率の計算から除外した。また、本評価システムは、盛土の全体または大部分が元々の地盤をすべり面として変動する滑動崩落現象を対象としているため、現地調査等で滑動的変動が確実な盛土のみを変動盛土とした。以上により求めた3手法の正答率を表3-2-3に示す。変動・非変動盛土を合わせた正答率はいずれも70%以上であったが、変動盛土に限って見ると、点数法1では20%前後と低く、点数法2では正誤判定基準の違いによって約40%または70%となり、評価が分かれた。簡易力学モデルの正答率は、約70%~85%と他手法に比べて相対的に高くなった。また、簡易力学モデルによる腹付け盛土の正答率は、正誤判定基準によらず100%となった(表3-2-4)。

もうひとつの検証として、変動確率または安全性評価指数の相対的な順序を指標とした評価を実施した。これは、変動確率が高い順(安全性評価指数が低い順)に並べた際に、実際に変動した盛土が上位に集まれば正答率が高いとした評価である。全盛土中、上位 n 個(n は変動盛土の数)に変動盛土が何個含まれているかの割合を算出した(表3-2-5)。この評価でも、点数法1の正答率は低く、簡易力学モデルの正答率が相対的に高くなった。

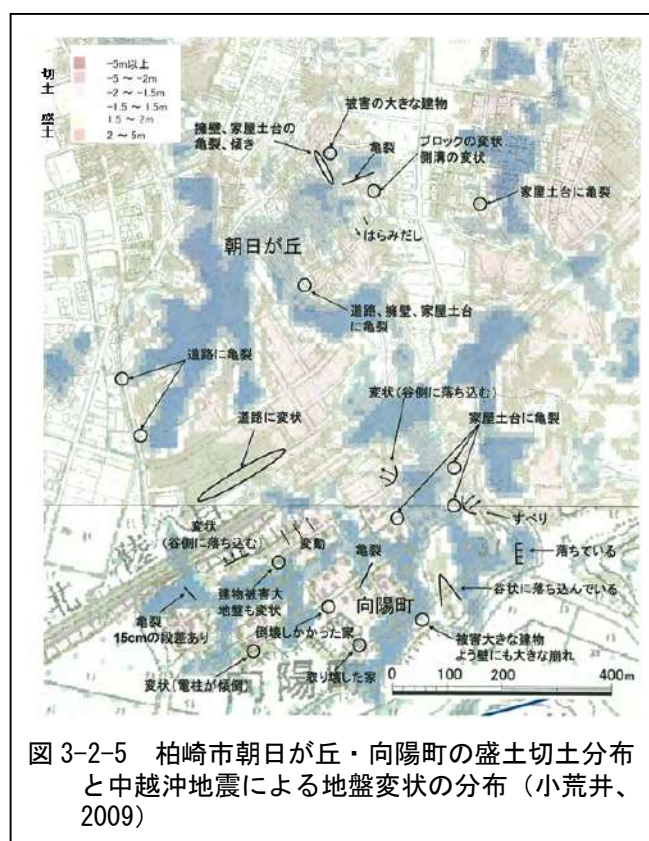


表 3-2-3 谷埋め盛土の評価結果

		変動確率50%、Fs=1.00基準				変動基準：変動確率30%、Fs=1.20 非変動基準：変動確率70%、Fs=0.90			
		点数法1	点数法2	簡易力学モデル		点数法1	点数法2	簡易力学モデル	
		P1	P2	P3	Fs	P1	P2	P3	Fs
変動	総数	13	13	13	13	13	13	13	13
	正答数	2	5	9	9	3	9	10	11
	正答率	15%	38%	69%	69%	23%	69%	77%	85%
非変動	総数	35	35	35	35	35	35	35	35
	正答数	32	33	32	32	35	33	30	34
	正答率	91%	94%	91%	91%	100%	94%	86%	97%
合計	総数	48	48	48	48	48	48	48	48
	正答数	34	38	41	41	38	42	40	45
	正答率	71%	79%	85%	85%	79%	88%	83%	94%

表 3-2-4 腹付け盛土の評価結果

		変動確率50%、Fs=1.00基準				変動基準：変動確率30%、Fs=1.20 非変動基準：変動確率70%、Fs=0.90			
		点数法1	点数法2	簡易力学モデル		点数法1	点数法2	簡易力学モデル	
		P1	P2	P3	Fs	P1	P2	P3	Fs
変動	総数	(9)	(9)	9	9	(9)	(9)	9	9
	正答数	(3)	(8)	9	9	(5)	(9)	9	9
	正答率	(33%)	(89%)	100%	100%	(56%)	(100%)	100%	100%
非変動	総数	(1)	(1)	1	1	(1)	(1)	1	1
	正答数	(1)	(0)	1	1	(1)	(0)	1	1
	正答率	(100%)	(0%)	100%	100%	(100%)	(0%)	100%	100%
合計	総数	(10)	(10)	10	10	(10)	(10)	10	10
	正答数	(4)	(8)	10	10	(6)	(9)	10	10
	正答率	(40%)	(80%)	100%	100%	(60%)	(90%)	100%	100%

表 3-2-5 変動確率または安全性評価指数の順序を指標とした評価による正答率一覧表

条件		サンプル数	ガイドラインP1		数値化解析P2		簡易力学モデルFs	
			正答数	正答率	正答数	正答率	正答数	正答率
谷埋め盛土	変動盛土（確実のみ）	13	4	31%	8	62%	9	69%
	変動盛土（確実+不確実）	25	14	56%	12	48%	16	64%
谷埋め+腹付け盛土	変動盛土（確実のみ）	(22)	(10)	(45%)	(16)	(73%)	18	82%
	変動盛土（確実+不確実）	(34)	(22)	(65%)	(21)	(62%)	25	74%

(3) 検証結果の考察

点数法1の正答率が低くなった理由のひとつとして、盛土の抽出精度の問題が考えられる。点数法1では、盛土厚に関する配点が高く、厚さ3m以下の盛土の点数が「21」となっている。図3-2-6は、空中写真測量ブレイクライン取得法による新旧地形データの差分

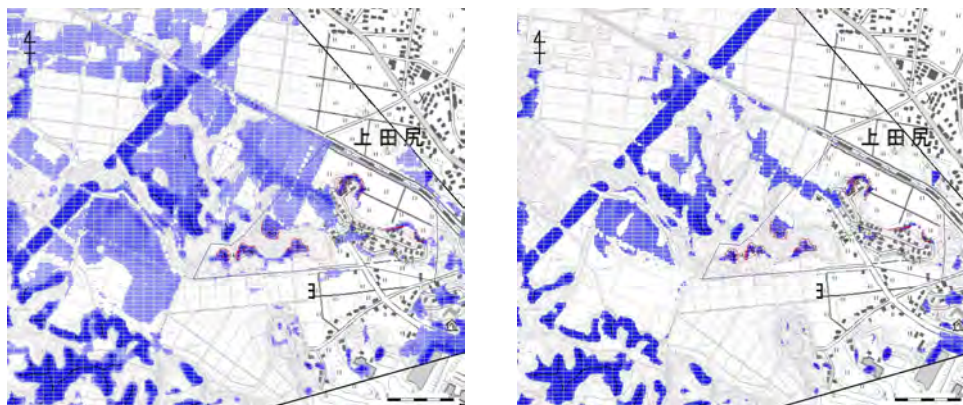


図 3-2-6 差分値の閾値の違いによる盛土分布の違い。左：閾値 2m、右：閾値 3m。

値の閾値を変えて表示した盛土分布図である。図 3-2-6 左が閾値 2m で表示した盛土分布図であるが、水田の半分程度の面積が盛土として表示されている。図 3-2-6 右は閾値 3m で盛土表示したものであるが、谷埋め盛土や道路部の盛土などが概ね適切に抽出されている。現地調査の結果、この地域の水田が 2m も盛土されているとは考えにくく、盛土厚の抽出精度は標高差 2～3m 程度と考えられる。従って、厚さ 3m 以下の盛土を正確に抽出することは難しく、厚さ 3m 以下の盛土の地盤脆弱性をかなり高く評価している点数法 1 の設定は、技術的に難しいものがあると言える。

3-2-3 「地盤脆弱性評価システム」の改良と有効性の検証

前年度の試作版評価システムで用いた 3 つの手法のうち、他手法に比べて相対的に正答率の高かった簡易力学モデルを、仙台・長岡・柏崎地区のデータセットも加えて改良し、盛土幅、盛土厚、盛土長、地山勾配等の盛土地形データのみから盛土の相対的な危険度を評価できる統計的側部抵抗モデルを構築した。また、地すべり土塊の安定性評価等に使用されている土研式修正 Hovland 法をベースに、統計的にパラメータを設定して、統計的側部抵抗モデルと同じパラメータだけで評価可能な統計的三次元安定解析モデルを構築した。これらとガイドライ

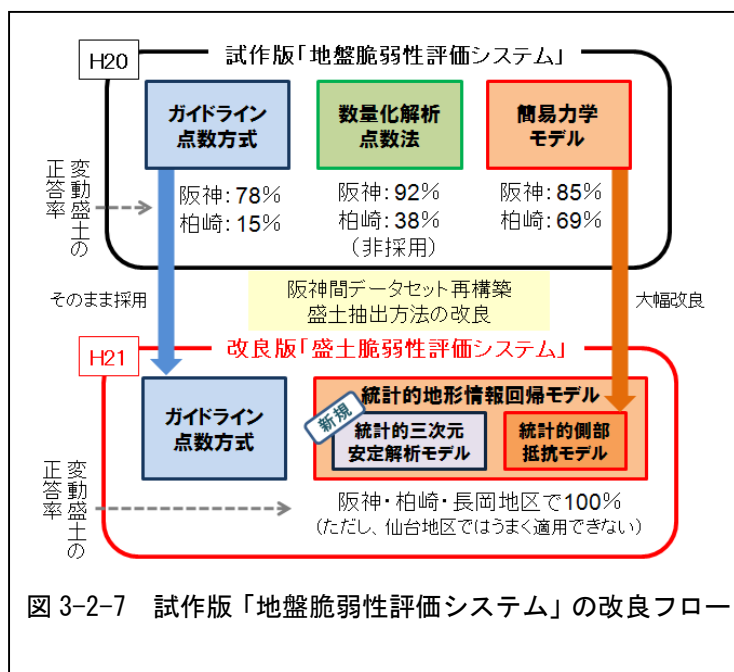
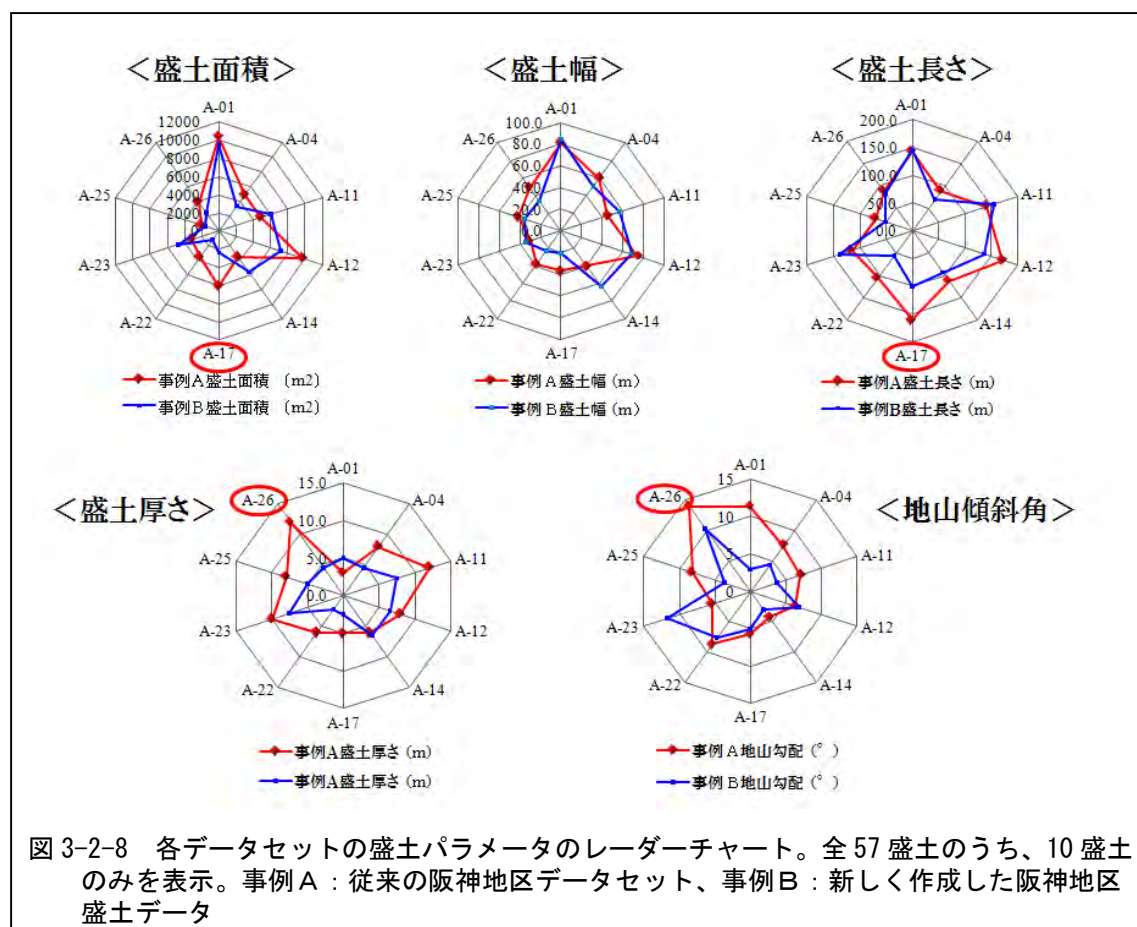


図 3-2-7 試作版「地盤脆弱性評価システム」の改良フロー

ンの点数方式を合わせて「盛土脆弱性評価システム」を構築し（図 3-2-7）、過去の被災事例のデータを用いて有効性を検証した。なお、当初の計画では、地震動予測データやボーリングデータの利用法についても検討することとしていたが、本システムの検証地域において、これらのデータが入手できなかったため、検討は見送った。

（１）阪神地区データセットの再構築

まず、上記のモデルの構築に先駆けて、簡易力学モデル構築のベースデータとなっている従来の阪神地区のデータセット（盛土地形データと盛土の変動・非変動データ）の検証と再構築を実施した。従来の阪神地区データセットは、位置精度や高さ精度が相対的に低い明治期や昭和初期の旧版地形図を用いて作成されたものであったため、前年度及び今年度に写真測量ブレイクライン取得法により作成した高精度な盛土地形データと比較した（図 3-2-8）。その結果、盛土パラメータ（盛土厚、盛土幅等）の値に有意な差が認められ、両者の合致率（＝許容値を満たす盛土数／全盛土数）はほとんどのパラメータで 5 割を下回ったため（表 3-2-6）、写真測量によるデータを用いてより精度の高い阪神地区データセットを再構築した。



(2) 統計的側部抵抗モデルの構築

統計的側部抵抗モデルの構築においては、新たに構築した阪神地区データセットに加えて、過去に被害事例のある仙台地区(緑ヶ丘地区)、長岡地区(高町団地)、柏崎地区(朝日が丘地区)のデータセット(いずれも写真測量で作成された高精度データ)も加えてキャリブレーションを実施した。キャリブレーションで求める土質パラメータは、土質工学的に変更が可能な側面粘着力、過剰間隙水圧高、底面内部摩擦角の3パラメータとした。

表 3-2-6 従来データセットと新データセットとの各パラメータの合致率。許容値は、盛土幅または盛土長さの差分が10%以下、または盛土深さの差分が2m以下、地山勾配の差分が3°以下とした。

項目	合致率
盛土幅	11%
盛土長さ	23%
盛土厚さ	37%
地山傾斜角	54%

ここではまず、各地区のデータのみでキャリブレーションを実施し(表 3-2-7)、それぞれの土質パラメータの傾向を把握してから、有効な地域組み合わせを設定した。キャリブレーションでは、従来の考え方において、幅/深さ比が脆弱性評価指数と強い相関をもつことから、幅/深さ比-脆弱性評価指数グラフにおいて、変動盛土の相関係数が最も高い場合を最適フィッティング値とした。その結果、統計的側部抵抗モデルにおいては、仙台地区を除いた3地区のみでキャリブレーションを実施することとした。阪神・長岡・柏崎の3地区でのキャリブレーションの結果を表 3-2-8 に示す。本システムでは、変動する盛土を見落とさないこと、すなわち変動盛土の正答率が高いことが求められ、その場合は表 3-2-8 左の設定値となるが、この設定値では非変動盛土の正答率が相対的に低くなり、危険度評価で上位にランクされた盛土の中に、実際には変動しない可能性が高い盛土が含まれることになる。つまり、調査の対象となる盛土数が少ない自治体や、予算が潤沢でほとんどの盛土に対して詳細な調査を実施できる自治体に向けた設定値と言える。表 3-2-8 中の設定値は、変動盛土と非変動盛土両方の正答率が高く、バランスの取れた設定であり、詳細調査の対象となる盛土を効率的に抽出できる。ただし、変動盛土の正答率が90%未満であり、危険な盛土を見落とす可能性を少々含んでいるため、事前の現地踏査や情報収集を十分に実施していて、盛土の現況を把握している自治体向けと言える。表 3-2-8 右の設定値は、変動盛土の正答率が90%を超えており、非変動盛土の正答率も80%弱であるため、表 3-2-8 中の場合よりも変動盛土の抽出効率を重視する場合に適している。

これらの設定値は、ユーザーが自由に変更可能であり、上記3つの場合から自らに適した設定値を選択してもらうことを想定している。

表 3-2-7 各地区の最適フィッティング値。変動盛土の正答率が可能な限り高くなるように設定した場合。

地区名	側面粘着力 c_1 (kN/m ²)	過剰間隙水圧高 Δh (m)	底面内部摩擦角 ϕ_2 (°)	盛土厚の中央値 (m)	滑動変状盛土正答率	記 事
阪神	30	4.0	36	4.2	100%	滑動変状と非変状盛土が脆弱性評価指数 $F=1.0$ を境に分離させることができる。
柏崎	30	5.5	44	4.8	100%	阪神地区と比較して、 Δh および ϕ_2 が大きくなっている。盛土厚が阪神に比べてやや厚い。
長岡	25	4.0	34	4.2	100%	阪神地区と非常に似通った結果が得られた。非変状盛土の正答率は低い(30%)。
緑ヶ丘	45	5.0	5	8.5	80%	c_1 と Δh が大きく、 ϕ_2 が著しく小さい特徴がある。その傾向は、鶴ヶ谷・南光台地区にも似た性質がある。仙台地区の特性である可能性がある。
鶴ヶ谷 南光台	100	7.0	12	8.2	13%	幅/深さ比が増大するにつれて脆弱性評価指数 F が増大するようにするためには、側面粘着力を大きくする必要がある。しかし、その場合大半が $F>1$ となり評価モデルが成立しない。

表 3-2-8 3 地区のキャリブレーション結果（最適フィッティング値）

変動盛土の正答率が100%となる設定			変動・非変動盛土の正答率の合計が最大となる設定			変動盛土の正答率が90%以上で非変動盛土の正答率が最大となる設定		
過剰間隙水圧高(m)	4.5		過剰間隙水圧高(m)	3.0		過剰間隙水圧高(m)	4.4	
水の単位重量(kN/m ³)	9.8		水の単位重量(kN/m ³)	9.8		水の単位重量(kN/m ³)	9.8	
単位体積重量(kN/m ³)	18.0		単位体積重量(kN/m ³)	18.0		単位体積重量(kN/m ³)	18.0	
側面粘着力(kN/m ²)	25.0		側面粘着力(kN/m ²)	39.0		側面粘着力(kN/m ²)	39.0	
側面内部摩擦角(°)	35.0		側面内部摩擦角(°)	35.0		側面内部摩擦角(°)	35.0	
底面粘着力(kN/m ²)	0.0		底面粘着力(kN/m ²)	0.0		底面粘着力(kN/m ²)	0.0	
底面内部摩擦角(°)	36.0		底面内部摩擦角(°)	25.0		底面内部摩擦角(°)	33.0	
側方土圧係数	0.5		側方土圧係数	0.5		側方土圧係数	0.5	
水平震度kh	0.25		水平震度kh	0.25		水平震度kh	0.25	
正答率	変動盛土 100%		正答率	変動盛土 85%		正答率	変動盛土 91%	
	非変動盛土 38%			非変動盛土 98%			非変動盛土 79%	

(3) 統計的三次元安定解析モデルの構築

統計的三次元安定解析モデルにおいては、ベースとなっている土研式修正 Hovland 法の性質上、適用可能な盛土の形状が単純なものに限られるため、まず、盛土形状が比較的単純な柏崎地区でキャリブレーションを実施した。その結果、表 3-2-9 のようなフィッティング値が得られた。ここで、各地区の過剰間隙水圧高は先述の統計的側部抵抗モデルと同値を用いることを考えると、危険な盛土を見落とさないという観点では、過剰間隙水圧高が最大である柏崎地区のフィッティング値を用いることが望ましいと判断した。腹付け盛土については、過剰間隙水圧が作用するすべりの他に、過剰間隙水圧が作用しない慣性すべりについても検討した。このフィッティング値を用いて 4 地区で検証した結果、変動盛

土についてはすべて 100%の正答率を得た。

表 3-2-9 柏崎・阪神・長岡・仙台（緑ヶ丘）地区における統計的三次元安定解析モデルの最適フィッティング値

	谷埋め盛土				腹付け盛土
地区別	柏崎	阪神	長岡	緑ヶ丘	考慮しない ($\angle h=0$)
過剰間隙水圧高 $\angle h$	5.5m	4.0m	4.0m	5.0m	
水の単位重量 γ_w	9.8kN/m ³				
単位体積重量 γ	18 kN/m ³				
側面粘着力 c_1	50kN/m2				0kN/m2
側面内部摩擦角 ϕ_1	35°				25°
底面粘着力 c_2	0kN/m2				0kN/m2
底面内部摩擦角 ϕ_2	35°				25°
水平震度 k_h	0.25				

（４）システム操作性、インターフェイスの改良

上記の作業と並行して、システムの操作性やインターフェイスの改良も実施した、主な改良点は、選択した盛土の形状を三次元で表示できるようにしたこと（図 3-2-9）や谷幅を指定可能としたこと、また、表示設定における切土領域表示、盛土等厚線表示、背景表示選択機能の追加等である（図 3-2-10）。

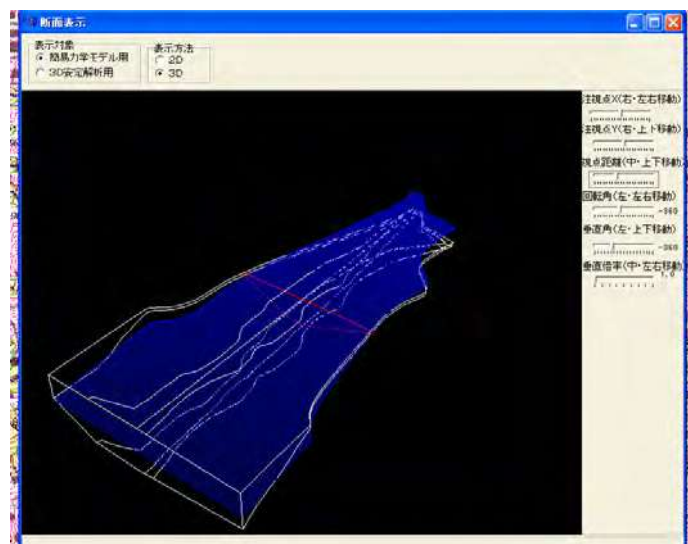


図 3-2-9 盛土の三次元表示機能

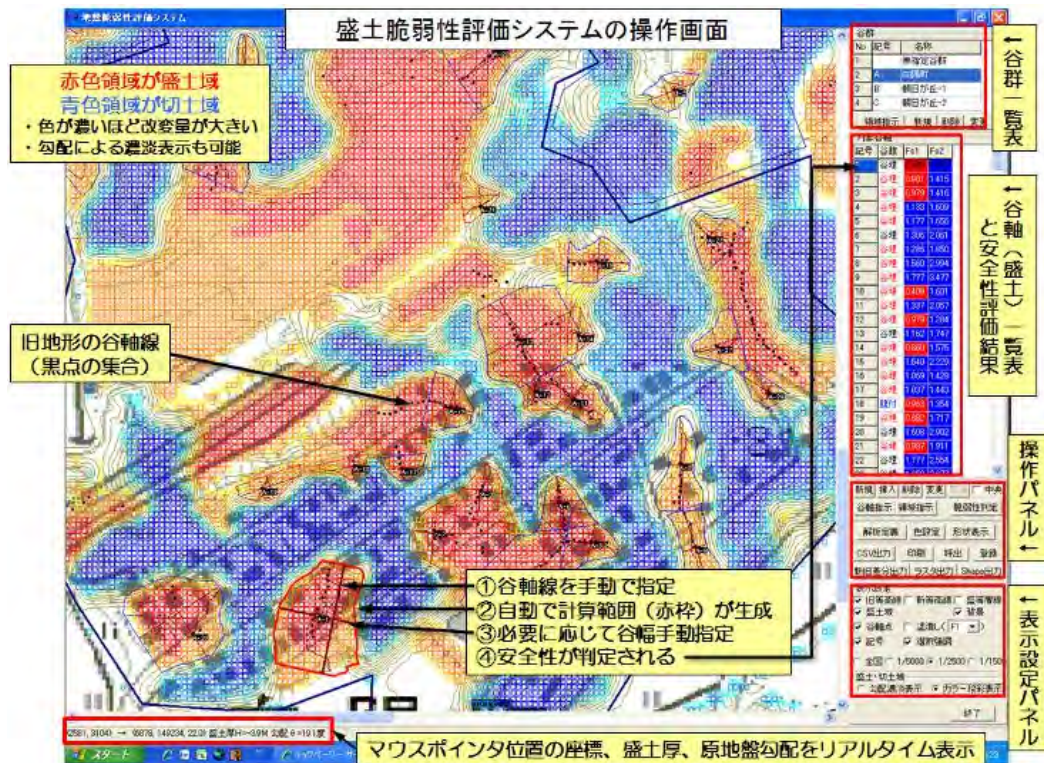


図 3-2-10 「盛土脆弱性評価システム」の操作画面

4. 成果の活用について

本研究で得られた成果は、地震防災・減災に関わる各種行政事業に活用されることが期待される。一例として、現在、国土交通省が実施している宅地耐震化推進事業において、本研究成果が参考資料・手法のひとつとして活用される見込みであり、ガイドラインへの掲載が検討されている。また、成果の具体的な提供方法として、改変地形データの作成手順書は、印刷物による関係自治体への配布及びホームページでの公開、盛土脆弱性評価システムは操作マニュアルと共にホームページから自由にダウンロードできるようにする。また、研究の中で作成した改変地形データ等については、必要に応じて関係自治体等に貸与する。

5. まとめと残された課題

本研究で盛土地形データ標準作成手順書が完成したことにより、データ精度等が明示され、一次スクリーニングの効率化が図られるものと考えられる。また、盛土脆弱性評価システムの完成により、二次スクリーニング（詳細調査、安定解析）の対象盛土の絞り込みを効率的にする有用な情報が得られるとともに、盛土地形データの抽出が簡素化され、作業の効率化にもつながると考えられる。

一方、評価システムにおいては、仙台地区で適用できない等、課題が残された。その理由としては、本システムが対象とする変状は滑動的変状のみであり、不等沈下、単なる亀裂、盛土内すべり等は対象外であること（仙台地区の変状の詳細が不明であること）や、地震の

メカニズムの違いによる影響（仙台地区のみ海溝型地震）等が考えられ、今後、海溝型地震での事例を増やす必要がある。また、今回新たに加えた統計的三次元安定解析モデルについては、正答率こそ 100%であるが、評価結果が盛土の抽出精度の影響を強く受けることから、評価に際しては注意が必要である。さらに、本システムの利用を進めるには、自治体への説明会やワークショップ開催等、アフターケアが必要と考えられる。

いずれにしても、現段階で入手できる事例・データで、最適のシステムが構築できたと考えられ、今後の利用促進に期待したい。

<参考文献>

- 星野実・吉武勝宏・木村幸一（2009）：盛土地形データ作成手法の検討．国土地理院時報, 119, 93-100.
- 釜井俊孝・守随治雄（2002）：斜面防災都市—都市における斜面災害の予測と対策. 200pp, 理工図書.
- 小荒井衛（2009）：2. 2 地震後の地形変化. 2007 年新潟県中越沖地震災害調査報告書, (社) 地盤工学会.
- 国土庁（1999）：液状化地域ゾーニングマニュアル（平成 10 年度版）. 123pp.
- 国土交通省（2008）：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説. 100pp.
- 国土交通省国土地理院（2010）：人工改変地検データ抽出のための手順書（詳細版）. 国土地理院技術資料 D・1－No. 557.
- 国土交通省国土地理院（2010）：人工改変地検データ抽出のための手順書（概要版）. 国土地理院技術資料 D・1－No. 558.
- 太田英将・榎田充哉（2006）：谷埋め盛土の地震時滑動崩落の安定計算手法. 第 3 回地盤工学会関東支部研究発表会講演集, 27-35.

(2) 市街地火災総合対策支援ツールの開発

1. 本テーマの目的と概要

本テーマは、火災発生時の自宅や自宅周辺への影響、自宅や市街地の改善によってどれだけ火災安全性が向上するのかを、住民が現実感を持って視覚的に体感出来るソフトウェアとして、「市街地火災総合対策支援ツール(以後、ツール)」を開発することを目的としている。ツールの活用により、キメの細かな対策の立案、住民への対策効果の説明等がより一層効果的に推進され、地域の防災性能を向上させることが期待される。

このツールは、今回技術開発を行った下記の3つの要素から構成される(図1-1)。また、検討スケジュールは図1-2のとおりである。

(1) 高度な市街地火災シミュレーション技術

上層階セットバック等、複雑な形状の建物の防火性能評価や、内装、床、外壁、内壁、屋根等の部材に応じたキメの細かな防火性能の評価を可能とする高度な市街地火災シミュレーション技術。

(2) 市街地火災映像化技術

住民が現状市街地の危険性を実感し、自宅や市街地を改善した際の、危険性の低減を実感可能な映像化技術。

(3) 市街地データ・建築物データの管理技術

市街地データ・建築物データの内容を定義し、それを準備する方法を確立するとともに、準備したデータに基づいて市街地火災シミュレーションプログラムを操作し、シミュレーション結果を市街地火災映像化技術を用いて表現する一連のデータ管理技術。

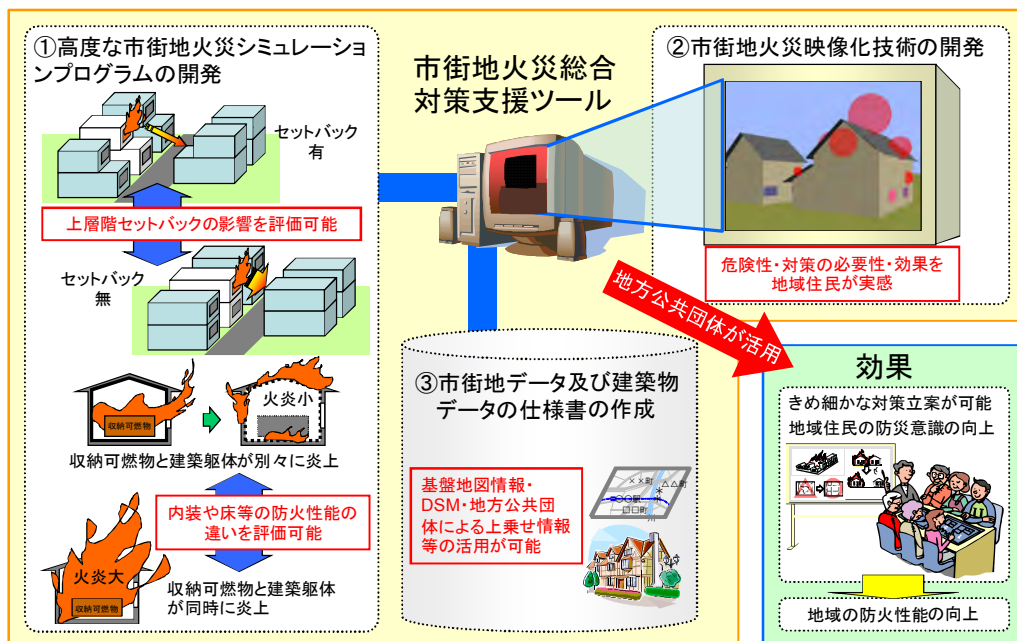


図1-1 本テーマの構成概要

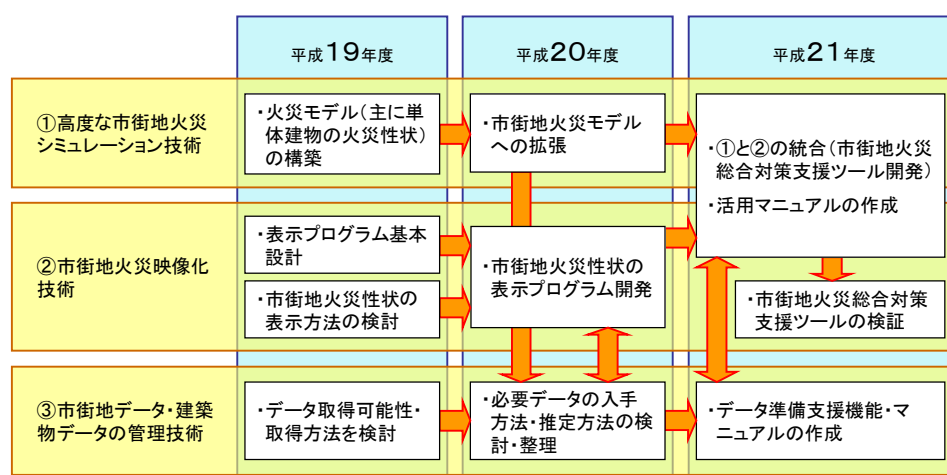


図 1-2 本テーマの検討スケジュール

上記の3つの技術開発を実施した結果、本テーマでは下記の成果を得た。

①高度な市街地火災シミュレーションプログラム

上層階セットバックや内装等の防火性能の違いを詳細に評価可能な市街地火災シミュレーションプログラムを開発した。

②市街地火災総合対策支援ツール

上記の高度な市街地火災シミュレーションプログラムを用いて市街地の火災対策を推進する際に必要な一連の作業を支援するツールとして市街地火災総合対策支援ツールを開発した。主な機能は下記の通り。

- 1)シミュレーションに必要なデータの準備支援機能
- 2)市街地状況データの管理・表示機能
- 3)防火対策に基づく計画案を作成するためのデータ編集機能
- 4)市街地火災シミュレーション条件の設定・管理機能
- 5)シミュレーションの実行機能及びシミュレーション結果の読み込み機能

③市街地火災総合対策支援ツールの活用法

地方公共団体が市街地火災総合対策支援ツールを用いて市街地の防火性能を評価する具体的方法について、実市街地でのケーススタディを中心として活用マニュアル(案)として取りまとめた。

2. 技術開発の内容

2-1 高度な市街地火災シミュレーション技術

上層階セットバック等、複雑な形状の建物の防火性能評価や、内装、床、外壁、内壁、屋根等の部材に応じたキメの細かな防火性能評価を実施可能な高度な市街地火災シミュレーション技術の開発を行った。

なお、市街地火災モデルは、単体建築物の火災進行モデルと建物間の延焼モデルに分けて検討を行っている。以下では、それぞれについて概要を示す。

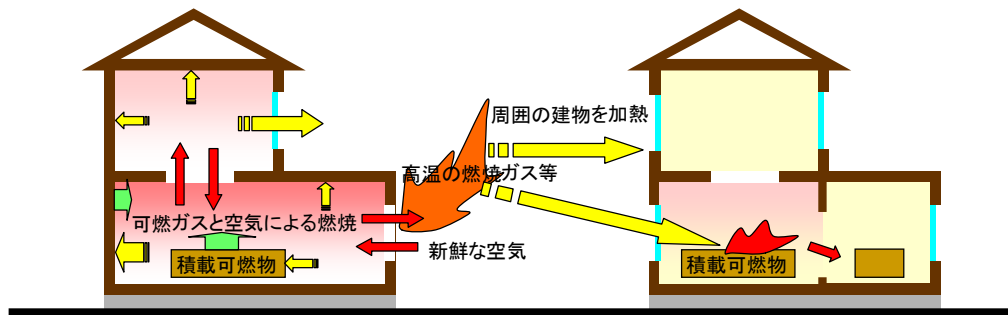


図 2-1-1 市街地火災の評価モデルの概要

2-1-1 単体建築物の火災進行モデル

建築物は壁、床・天井、屋根などの面材（以下、「面材」という。）と、家具やその他の物品などの積載可燃物の集合で構成されるものとし、面材で囲まれた空間（以下、「ゾーン」という。）ごとに、内部ガスの温度や化学種濃度を逐次計算して火災性状を求める。

(1) 面材及び積載可燃物の表面積

面材及び構成材料（以下、「面材等」という。）は、複数の構成材料を組み合わせで構成される。面材及び構成材料の主な属性は表 2-1-1 の通り。

面材等の表面積は、初期には面材等の見つけ面積 A_{m0} であるが、面材等の燃抜に伴って減少する。

$$A_m = A_{m0} - A_{bm} \quad (\text{式 1})$$

面材等の燃え抜けは、面材等が面する室内の温度時間面積により求める。屋外に面している面材は、外部からの受熱流束を雰囲気温度に換算して室内同様に取り扱う。

式 2 は面材等の燃え抜け面積を求める式である。 B^* は、標準火災温度曲線による t^* 経過後の温度時間面積である。ここで、 B_s は、式 3 の $t^* = t_{bs}$ の場合の B^* であり、 B_e は、式 3 の $t^* = t_{be}$ の場合の B^* である。

$$A_{b,m} = \left\{ 1 - \frac{\int_0^t (T_m(\tau) - T_\infty) d\tau - B_s}{B_e - B_s} \right\} A_{m0} \quad (\text{式 2})$$

$$B^* = \int_0^{t^*} \{345 \log_{10}(8\tau + 1)\} d\tau \quad (\text{式 3})$$

積載可燃物表面積は式 4 による。

$$A_f = \begin{cases} A_{f,0} & (W_f/W_{f,0} \geq 0.2) \\ 5A_{f,0} \times W_f/W_{f,0} & (W_f/W_{f,0} < 0.2) \end{cases} \quad (\text{式 4})$$

$$A_{f,0} = 0.61(W_{f,0}/A_{floor})^{1/3} A_{floor}$$

なお、面材等や積載可燃物の可燃物重量は熱分解に伴って減少する。 W_m 、 W_f が 0 となった時点で当該面材等の燃焼は終了する。

$$W_m = W_{m0} - \int_0^t \dot{m}_m dt \quad (\text{式 5})$$

$$W_f = W_{f0} - \int_0^t \dot{m}_f dt \quad (\text{式 6})$$

表 2-1-1 面材の主な属性

面材全体としての属性	
	燃抜開始時間[t_{bs}]
	燃抜完了時間[t_{be}]
	酸素消費係数[φ_b]
個別の構成材料の属性	
	燃抜開始時間[t_{ss}]
	燃抜完了時間[t_{ss}]
	熱伝導率[k]
	密度[ρ]
	比熱[c]
	厚さ[L]
	木材重量[W_{m0}]
	出火温度[T_{ig}]
	酸素消費係数[φ_s]

(2) 熱分解速度及び発熱速度

積載可燃物、面材等の熱分解の起こり易さは、木材のそれとの比（酸素消費係数）で表す。

初期には、 t^2 に比例する発熱源となることを想定し、可燃物ごとに式 7 の通り熱分解されるものとする⁶⁷⁾。なお、面材等の火災成長率は、個別の構成材料の露出面積に応じて加重平均をとる。

$$\dot{m}_f = \alpha_f t^2 / HR_f$$

$$\dot{m}_{m,j} = \alpha_{m,j} t^2 / HR_f \quad (\text{式 7})$$

$$\alpha_f = \begin{cases} 0.0125 & (w_f HR_f \leq 170) \\ 2.6 \times 10^{-6} (w_f \Delta HR_f)^{5/3} & (w_f HR_f > 170) \end{cases}$$

$$\alpha_m = \sum_j \alpha_{m,j}$$

$$\alpha_{m,j} = 0.35 \phi_{s,j}^2 A_{m,j,s} / \sum_j A_{m,j}$$

これより、初期の燃焼部分の表面積は式 8 となる。

$$\begin{aligned} A_{burn,f} &= \dot{m}_f / \dot{m}_b'' \\ A_{burn,m,j} &= \dot{m}_{m,j} / (\phi_{s,j} \dot{m}_b'') \end{aligned} \quad (式 8)$$

なお、燃焼部分の表面積は A_m 、 A_f を超えないものとした。

熱分解速度は式 9 とした。

$$\dot{m}_b'' = \min \left[\begin{array}{l} k \cdot \dot{m}_{in,eff} / (A_{burn,f} + \sum_j A_{burn,m,j}), \\ 0.007, \\ 0.003 + 0.12 \chi \exp(-11\chi) \end{array} \right] \quad (式 9)$$

$$\chi = A\sqrt{H_{eff}} / (A_{burn,f} + \sum_j A_{burn,m,j})$$

$$\dot{m}_{in,eff} = \left(\sum_j \dot{m}_{ji} Y_{O,j} + \rho_i V_i Y_{O,i} / \Delta t \right) / Y_{O,\infty}$$

$$A\sqrt{H_{eff}} = \frac{\sum_j \dot{m}_{in}(T_j - T)}{T_\infty - T} \bigg/ \frac{2}{3} \alpha \rho_\infty \sqrt{\frac{2g(1 - T_\infty/T)}{[1 + \{(1+k)^2 T/T_\infty\}^{1/3}]^5}} \quad (式 10)$$

式 7 は、元々単一開口区画に関する実験式であるが、開口部の条件が複雑な条件に適用するため、流入ガスのエンタルピー量が等しくなるよう換算した値 $A\sqrt{H_{eff}}$ を導入して近似的に求められるよう拡張したものである。

k は、外気に面した単一開口の場合に式 9 における $\dot{m}_b'' = 0.1\chi$ となるように、 $k \cdot \dot{m}_{in,eff} = 0.1A\sqrt{H_{eff}}$ を変形して得られる、式 11 を満たすように求めた。

$$k \cdot \dot{m}_{in} = 0.1 \dot{m}_{in} \bigg/ \frac{2}{3} \alpha \rho_\infty \sqrt{\frac{2g(1 - T_\infty/T)}{[1 + \{(1+k)^2 T/T_\infty\}^{1/3}]^5}} \quad (式 11)$$

なお、 k は温度依存性があるが、温度上昇が 200K 以上であれば、ほぼ一定値をとることから、計算上は、 $k=0.22$ (定数) として扱っている。

(3) 水分蒸発

可燃性材料の場合は、可燃物の熱分解に比例して水分が蒸発するものとし、式 12 とした。

$$\dot{m}_{H2O,c} = \frac{r_{H2O}}{1 - r_{H2O}} \dot{m}_b'' \cdot A_m \quad (式 12)$$

不燃性材料の場合は、温度時間面積に応じて水分が蒸発するものとした。材料の含有する全ての水分が、燃抜開始時間 t_s と燃抜完了時間 t_e のちょうど中央の時間までに蒸発するとし

て、式 13 とした。

$$\dot{m}_{H_2O,u} = \frac{w \cdot r_{H_2O}}{\int_0^{t_s+t_e} (T_\tau - T_\infty) d\tau} (T_t - T_\infty) \cdot A_{m0} \quad (\text{式 13})$$

(4) 室内温度・化学種濃度

室内温度及び化学種濃度は式 14～17 に示す保存式及び状態式を解いて求める。

$$\frac{d}{dt}(\rho_i V_i) = \sum_j (\dot{m}_{ji} - \dot{m}_{ij}) + \dot{m}_b \quad (\text{式 14})$$

$$\frac{d}{dt}(c_p \rho_i T_i V_i) = \dot{Q}_{b,i} - \dot{Q}_{f,i} - \sum_j (\dot{Q}_{d,ji} + \dot{Q}_{m,ji}) + \sum_j c_p (\dot{m}_{ji} T_j - \dot{m}_{ij} T_i) + c_p \dot{m}_b T_b \quad (\text{式 15})$$

$$\frac{d}{dt}(\rho_i V_i Y_{X,i}) = \sum_j (\dot{m}_{ji} Y_{X,j} - \dot{m}_{ij} Y_{X,i}) + \dot{\Gamma}_{X,i} \quad (\text{式 16})$$

$$\rho_i T_i = \rho_\infty T_\infty \quad (\text{式 17})$$

室内に流入流出する熱量及びガス量は式 18～21 による。

$$\dot{Q}_{b,i} = \min[HR_o(\sum_j \dot{m}_{ji} Y_{O,j} + \rho_i V_i Y_{O,i} / \Delta t), HR_f(\dot{m}_b + \sum_j \dot{m}_{ji} Y_{F,j} + \rho_i V_i Y_{F,i} / \Delta t) - \dot{m}_b L_b] \quad (\text{式 18})$$

$$\dot{Q}_{f,i} = \{\varepsilon_f \sigma (T_i^4 - T_f^4) + h(T_i - T_f)\} A_f \quad (\text{式 19})$$

$$\dot{Q}_{d,ji} = \{\sigma (T_i^4 - T_j^4) + \dot{q}_{OUT}''\} A_{d,ji} \quad (\text{式 20})$$

$$\dot{Q}_{m,ji} = \{\varepsilon_m \sigma (T_i^4 - T_{m,ji}^4) + h(T_i - T_{m,ji})\} A_{m,j} \quad (\text{式 21})$$

各開口部の流入流出ガス量 $\dot{m}_{ji}, \dot{m}_{ij}$ の算出式は次項に示す。

(5) 流入流出ガス量

a) 圧力差と中性帯高さ

図 2-1-2 は、外気風による圧力を考慮した区画内外の圧力分布を図示したものである。中性帯高さ ($z = Z_n$) では、式 22 が成り立つ。

$$P_j + P_w - \rho_j g Z_n = P_i - \rho_i g Z_n \quad (\text{式 22})$$

$\Delta P = P_j - P_i$ とすると、中性帯高さ Z_n は式 23 として得られる。

$$Z_n = \frac{\Delta P + P_w}{(\rho_j - \rho_i)g} \quad (\text{式 23})$$

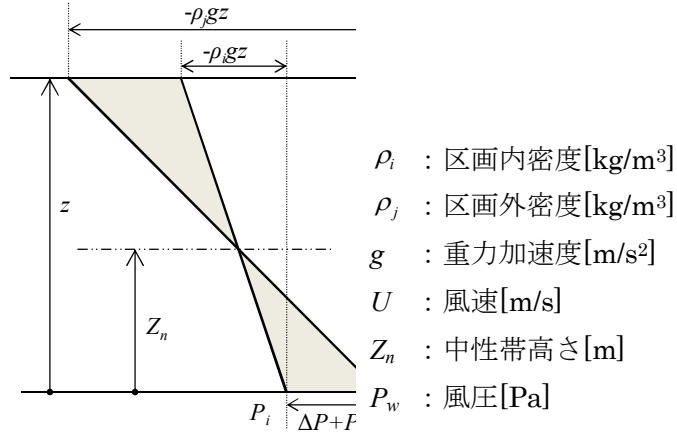


図 2-1-2 区画内外の圧力差

ここで、 ΔP は未知であるが、式 23 および次の b)から ΔP に依存して各開口部に関する $\dot{m}_{ji}$ および $\dot{m}_{ij}$ を求めることができ、ゾーン内の質量保存則式 15 の左辺を 0 と置き、左右の辺を入れ替えた式 24 を各ゾーンが満足すると仮定して連立一次方程式を解けば ΔP を求めることができる。

$$\dot{Q}_{b,i} - \dot{Q}_{f,i} - \sum_j (\dot{Q}_{d,ji} + \dot{Q}_{m,ji}) + \sum_j c_p (\dot{m}_{ji} T_j - \dot{m}_{ij} T_i) + c_p \dot{m}_b T_b = 0 \quad (\text{式 24})$$

なお、風圧 P_w は式 25 として得られる。 c は風圧係数[-]であり、同一壁面上でも位置によって異なるが、風向と壁面の成す角 θ を用いて、式 26 とした。

$$P_w = c \frac{1}{2} \rho_\infty U^2 \quad (\text{式 25})$$

$$c = \begin{cases} 0.1 & (-1 < \cos \theta < -0.9) \\ -\frac{0.15}{0.9} \cos \theta - 0.05 & (-0.9 \leq \cos \theta \leq 0) \\ -0.05 & (0 < \cos \theta < 1) \end{cases} \quad (\text{式 26})$$

b) 個別開口部の開口流量

開口部の上下端高さ、中性帯高さ等の関係から、個別開口部の流入・流出量が式 27～30 の通り得られる。ただし、 $\rho_j - \rho_i < 0$ の場合は、 i と j を入れ替えて適用する。

・垂直開口流量

$$\begin{cases} \dot{m}_{ij} = \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_i(\rho_j - \rho_i)} \left\{ (H_u - Z_n)^{\frac{3}{2}} - (H_l - Z_n)^{\frac{3}{2}} \right\} & (Z_n \leq H_l) \\ \dot{m}_{ji} = 0 \end{cases} \quad (\text{式 27})$$

$$\begin{cases} \dot{m}_{ij} = \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_i(\rho_j - \rho_i)} (H_u - Z_n)^{\frac{3}{2}} & (H_l < Z_n < H_u) \\ \dot{m}_{ji} = \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_j(\rho_j - \rho_i)} (Z_n - H_l)^{\frac{3}{2}} \end{cases} \quad (\text{式 28})$$

$$\begin{cases} \dot{m}_{ij} = 0 \\ \dot{m}_{ji} = \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_j(\rho_j - \rho_i)} \left\{ (Z_n - H_l)^{\frac{3}{2}} - (Z_n - H_u)^{\frac{3}{2}} \right\} \end{cases} \quad (H_u \leq Z_n) \quad (\text{式 29})$$

・水平開口流量

$$\begin{cases} \dot{m}_{ij} = \alpha A_{floor} \sqrt{2\rho_i \{ -(\Delta P + P_w) + gH_c(\rho_j - \rho_i) \}} \\ \dot{m}_{ji} = 0 \end{cases} \quad (\text{式 30})$$

α : 流量係数(= 0.7)[-]、 H_u : 開口部上端高さ[m]、 H_l : 開口部下端高さ[m]、 B : 開口幅[m]

(6) 面材・積載可燃物の表面温度

面材・積載可燃物の表面温度 $T_f, T_{m,ji}$ は式 21 より得られるゾーン内ガスからの流入熱流束を境界条件とする差分法により求める⁸⁾。

(7) 室間の延焼

室間の延焼は開口部（面材の燃え抜け部を含む）を通して発生する。開口部を火災室温の輻射面として、隣室の可燃物を加熱し、可燃物表面が 593K 以上となった時点で当該隣室が出火するものとした。なお、可燃物表面温度の計算には、次項の(3)②の着火判定点の温度上昇計算式を用いる。

2-1-2 建物間の延焼モデル

(1) 放射熱による熱移動

放射源としては、開口部面及び噴出火炎を対象とする。

① 噴出火炎の方向

噴出火炎の方向は、図 2-1-3 の通り座標軸をとり、水平方向の x 軸からの角度を α 、水平面からの仰角を ϕ とすると、式 31 により表すことが出来る。

$$(f_x, f_y, f_z) = (\cos \alpha \cdot \cos \phi, \sin \alpha \cdot \cos \phi, \sin \phi) \quad (\text{式 31})$$

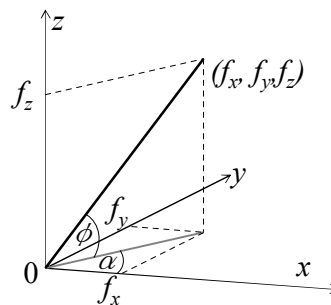


図 2-1-3 火炎の方向ベクトル

本モデルでは、 α は風向と同一方向をとることとし、 ϕ は式 32⁹⁾、33、34 による。

$$\begin{cases} \sin \varphi = 1 & F_r^2 / Q_f^{*2/3} \leq 0.98^5 \\ \sin \varphi = 0.98 \left(F_r^2 / Q_f^{*2/3} \right)^{-1/5} & 0.98^5 < F_r^2 / Q_f^{*2/3} \leq 20 \\ \sin \varphi = 3.97 \left(F_r^2 / Q_f^{*2/3} \right)^{-2/3} & 20 < F_r^2 / Q_f^{*2/3} \end{cases} \quad (式 32)$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gD}} \quad (式 33)$$

$$Q_f^* = Q / \rho_\infty C_p T_\infty g^{1/2} D^{5/2} \quad (式 34)$$

$$D = 2 \times rf \quad (式 35)$$

$$r_f = \sqrt{A_{op} / \pi} \quad (式 36)$$

C_p : 空気の比熱 [kJ/kgK]、 D : 火源の代表長さ[m]、 A_{op} : 開口部面積[m²]

② 噴出火炎の長さ

噴出火炎の長さは風による影響を無視しうることが示されている⁹⁾。

無風時の自由空間中の火炎高さについて提案されている式¹⁰⁾を応用し、火炎基点の違いによる補正、 $Q_f^* < 0.3$ の範囲への拡張を行い、式 37 とした。

$$L_{f,c} = 3.3 Q_f^{*n} D \quad \begin{cases} n = 2/3 & Q_f^* < 1.0 \\ n = 2/5 & 1.0 \leq Q_f^* \end{cases} \quad (式 37)$$

以上により、火炎先端位置が求まるが、これが噴出面の内側へ入るときは、噴出面を含む平面上に火炎先端を投影した位置とし、方向、長さを修正する。

また、火炎軸が他の壁面や他の区画、塀柵等の障害物に交わる場合には、その交点から先は鉛直方向に火炎軸の向きを修正する。

③ 放射源の設定

ある開口部及び当該開口部から噴出する火炎による任意の受熱点(受熱面の向きは一定とする)への放射受熱流束 $\dot{q}_r''$ は、受熱点からどれだけ見通せるかに依存する。そのため、見通し計算する部分($i=0 \sim N$)ごとに得られる値の和として式 38～式 44 により得られる。

ここで、 τ_i は、見通し計算の結果得られる透過率である。

$$\dot{q}_r'' = \sum_{i=0}^N \tau_i \dot{q}_i'' \quad (式 38)$$

$$\dot{q}_0'' = F_0 \left[(1 - r_m) \varepsilon_m \sigma T_m^4 + \{ (1 - r_m) \tau_m + r_m \varepsilon_j \} \sigma T_j^4 \right] \quad (式 39)$$

$$F_0 = \frac{A_m}{\pi d_0^2 + A_m} \cos \alpha_0 \cdot \cos \theta_0 \quad (式 40)$$

$$\dot{q}_i'' = \frac{\chi \dot{Q}_i}{4 \pi d_i^2} \cos \theta_i \quad (式 41)$$

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_g T_{fi}^4 / \sum_{l=1}^N T_{fl}^4 \quad (\text{式 42})$$

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_{i,j} \{c_p (T_i - T_\infty) + Y_{F,i} \cdot HR_F\} \quad (\text{式 43})$$

$$T_{fl} = \begin{cases} 900 + T_\infty & (\Delta L < 0.4L_f) \\ 72L_f / (0.2\Delta L) + T_\infty & (0.4L_f \leq \Delta L < L_f) \\ T_\infty & (L_f \leq \Delta L) \end{cases} \quad (\text{式 44})$$

ここで、 N が小さいと、受熱点との距離が短い場合や火炎が長い場合に誤差が生じやすくなることから、計算上は、式 45 により、受熱点での受熱流束と火炎長さに応じて求めることとした。

$$N = \min(q_{f1}/q_{\min}, l_f/l_{\min}) \quad (\text{式 45})$$

(2) 熱気流による熱移動

単一火源の場合、火源を通る風向に平行な鉛直断面における風下気流の温度上昇は下式で計算される¹¹⁾。

$$\Delta T_c(x, z) = \Lambda^s Fr^{-t} \left[1.7 \exp \left\{ -1.5^2 \left(\frac{z}{x} \Lambda^k Fr^n - 0.37 \right)^2 \right\} + 0.05 \right] \times \left(\frac{\dot{Q}_c^2 T_\infty}{C_p^2 \rho_\infty^2 g} \right)^{1/3} D_c^{-1/3} x^{-4/3} \quad (\text{式 46})$$

$$\Lambda = \frac{U D_c^{1/3}}{\left\{ \dot{Q}_c g / (C_p \rho_\infty T_\infty) \right\}^{1/3}}$$

x : 火源から受熱点までの水平距離[m]、 z : 火源から受熱点までの鉛直距離[m]、 $\dot{Q}_c$: 火源の発熱速度[kW]、 D_c : 火源の代表径[m]

火源を通る風向に平行な鉛直断面から水平方向にずれると温度上昇幅は減少するが、式 46 では計算できない。そこで、気流主軸（高さ方向で最も高温の位置）からの距離に応じた温度上昇幅の減少程度は、鉛直断面上の気流主軸高さからの z 方向のずれによる温度上昇幅と同一と見なして式 46 を適用することとする。

また、複数火源の場合には、それぞれ単一火源と見なした場合の温度上昇を下式により合成する方法が提案されている¹²⁾。

$$\Delta T_{c,eff} = \left(\sum_j \Delta T_{c,j}^{3/2} \right)^{2/3} \quad (\text{式 47})$$

以上より、受熱点での熱気流による受熱流束は、式 47 で表す。

$$\dot{q}_r'' = h \times \Delta T_{c,eff} \quad (\text{式 48})$$

(3) 温度上昇と着火判定モデル

着火は、着火可能領域に存在する可燃物が熱せられ、着火温度に達した時点で発生する。

本モデルでは、木材の着火温度を 593[K]とし、着火の判定を 48 式により行う。

$$T_s > 593 \quad (\text{式 49})$$

① 放射受熱点の設定

式 38 による計算は、受熱点の数だけ行う必要があり、受熱点の省略は計算負荷軽減効果の高い方法である。

最も不利な（出火温度に早く到達する）位置が事前に明らかにできれば 1 点のみの計算で良いが、その位置を正確に予測することは困難である。

本稿では、受熱点を受熱壁面上に、幅と高さ方向に一定間隔 $p[\text{m}]$ に配置し、 $p \times p[\text{m}^2]$ の担当面内での最大受熱流束を推定し、表面温度の応答を計算することとした。

予測自体の計算負荷を小さくすることを考慮して、1 ステップ前の計算ステップにおいて、周囲の火源の中で受熱点での熱流束が最大のものを探しておき、次のステップで、事前に探しておいた火源について、放射源の重心位置を式 50 により計算しさらに受熱壁面へ正投影した点を求め、担当面内でこの点と最も近い点を求める。

$$\vec{f}_g = \vec{f}_0 + \sum_{i=0}^N \left\{ \tau_i q_i \times (\vec{f}_i - \vec{f}_0) \right\} / \sum_{i=0}^N q_i \quad (\text{式 50})$$

なお、熱流束が最大の火源の検出の際にも、当該ステップの受熱点位置での熱流束ではなく、上記式 50 を用いて担当面内で放射源の重心位置に最も近い位置での受熱流束を式 38 により求めて、周囲の全ての火源の中で受熱流束が最大となる火源を特定する。

② 温度上昇

ある時刻 t における、放射および熱気流による着火判定点への入射熱流束は、それぞれの合計として得られ次式で表される。

$$\dot{q}_{OUT}''(t) = \sum \dot{q}_r''(t) + \dot{q}_{c, err}''(t) \quad (\text{式 51})$$

一定の入射熱流束 $\dot{q}_{OUT}''$ を定常的に受けたときのある受熱点の温度応答は、式 52 で近似的に与えられる³⁾。

$$1 / \sqrt{\frac{h^2}{k\rho c} t} = 1.18 \{ \varepsilon \dot{q}_{OUT}'' / h(T_s(t) - T_0) - 1 \} \quad (\text{式 52})$$

$k\rho c$: 受熱点の熱慣性 [$\text{kW}^2\text{s/m}^4\text{K}^2$]、 T_0 : 受熱点の初期温度（本モデルでは外気温度と同一で $T_0 = T_\infty$ とした）

入射熱流束が時刻により変動する場合、式 52 はそのまま使えないが、入射熱流束を受けて、表面温度が $\Delta T_s(t - \Delta t)$ まで上昇するのに要する時間として、式 53 に示す等価受熱時間 $t_s[\text{s}]$ を導入し、式 52 を変形することで、近似的に式 54、55 により入射熱流束の変化に対応した温度応答と表面温度を求める式とした。

$$t_s = \frac{k\rho c}{\left\{1.18 \cdot \left(\frac{\dot{q}_{OUT}''(t)}{\Delta T_s(t - \Delta t)} - h \right)\right\}^2} \quad (\text{式 } 53)$$

$$\Delta T_s(t) = \frac{1.18 \dot{q}_{OUT}''(t)}{\sqrt{\frac{k\rho c}{t_s + \Delta t} + 1.18h}} \quad (\text{式 } 54)$$

$$T_s(t) = T_0 + \Delta T_s(t) \quad (\text{式 } 55)$$

【記号】

t 時刻、 T 温度、 A 面積、 W 重量、 m ガス質量、 α 火災成長率、 HR ガス質量当たり発熱量、 ϕ 酸素消費係数、 Q 発熱量、 ρ 密度、 V 室体積、 L 熱分解潜熱、 ε 輻射率、 σ ステファンボルツマン定数

【添字記号】

i, j 対象室、隣室のサフィックス、 m 面材、 f 積載可燃物、 b 室内燃焼、 d 開口部、 X 化学種、「 $\cdot$ 」は単位時間当たりを示す。

【参考文献・引用文献】

- 1) 国土交通省：循環型社会および安全な環境形成のための建築・都市基盤整備技術の開発まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発報告書、2003.3
- 2) 樋本、田中：区画間の火災拡大を考慮した建築物燃焼性状予測モデル、日本建築学会環境系論文集第 573 号、2003.11
- 3) 岩見達也、萩原一郎：準耐火建築物の火災性状モデル化の試行、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.165-166、2007.8
- 4) 岩見達也：小規模木造建築物の火災性状モデルに関する基礎的検討、日本火災学会研究発表会概要集、pp.194-195、2008.5
- 5) 岩見達也：建築物の火災時の熱分解速度に関する基礎的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.29-30、2008.9
- 6) 2001 年版避難安全検証法の解説及び計算例とその解説、2001.3
- 7) 2001 年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説、2001.3
- 8) 建設省建築研究所：建築研究報告 No.123 <二層ゾーンの概念に基づく>建物内煙流動予測計算モデル、1989.10
- 9) 大宮喜文、林吉彦、岩見達也：有風下における建物周囲に形成される火炎性状-立方体模型を用いた実験に基づく火災性状モデル-、第 17 回風工学シンポジウム論文集、pp.179～184、2002.12
- 10) 長谷見雄二他：屋根が崩壊した建築物から噴出する火炎性状、日本建築学会関東支部研

究報告集、pp.293～296、1988

11)林吉彦、佐賀武司：有風下の火災気流の温度分布に関する実験的検討、日本建築学会環境系論文集、No.566、pp.25-32、2003

12)土橋常登、田坂茂樹、吉田正友、田中哮義：複数火源の火災気流の曝される受熱点の温度上昇の推定、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.13-14、2000.9

2-2 市街地火災映像化技術の開発

防災まちづくりを進めて地域の防災力を高めるためには、現状評価に加え、目標となる防災性能を確保するためにどのような手法が適切であるかの検討を行った上で、適切な計画案を作成し、それを実施していく必要がある。

防災まちづくりの進め方は地域ごとに異なるが、本検討では時間軸で整理し、図 2-2-1 のような流れを想定した。

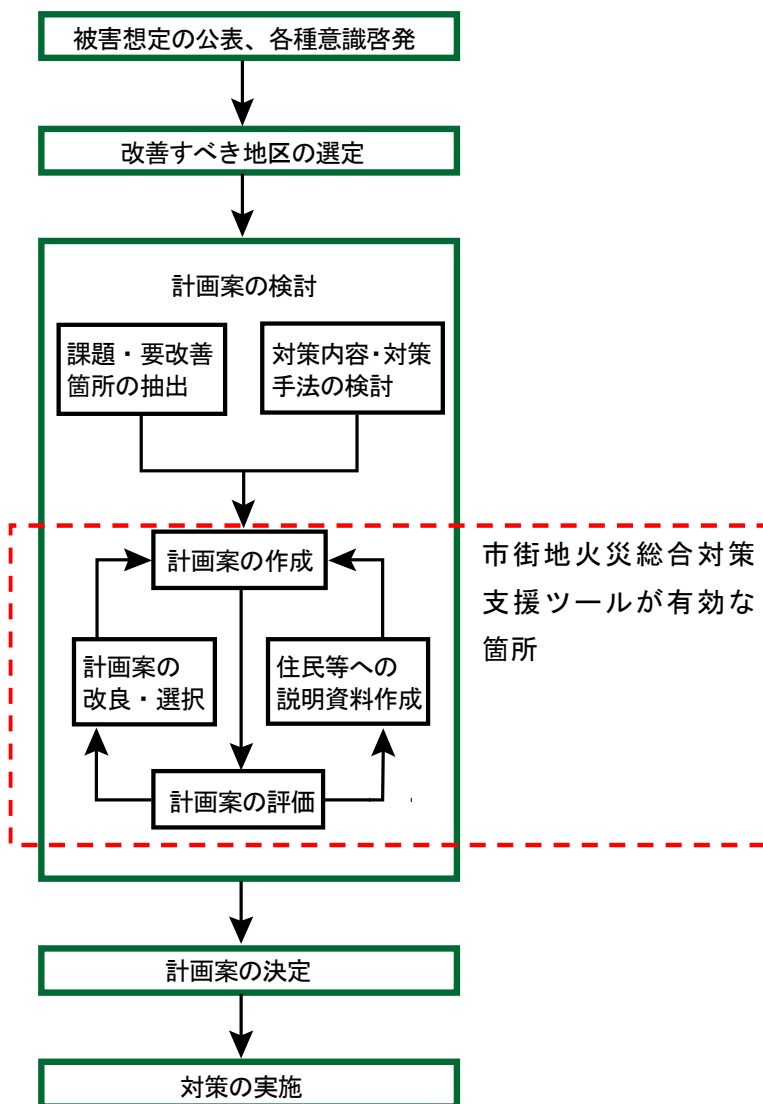


図 2-2-1 防災まちづくりの流れ

都市の防火性能を評価する手法・指標には様々なものがあるが、都市の中で危険な地区を抽出するための手法である不燃領域率、あるいは延焼抵抗率といった指標は、この防災まちづくりの流れでは「被害想定公表、各種意識啓発」あるいは「改善すべき地区の選定」において利用するものである。一方、今回開発する市街地火災総合対策支援ツールは、建物 1

棟ごとのデータをもとに、地区の防火性能を即地的かつ詳細に評価するものであることから、「計画案の検討」における利用が中心となると考えられる。

この「計画案の検討」における具体的な利用シーンを想定すると、以下の状況での利用が考えられる。

①地区内における防火上の課題や改善すべき箇所の抽出

～地区内のどこが、どれだけ危険なのか？ 一番危険な箇所はどこなのか？

②地区の防火性能を向上させる様々な対策の検討

～建築基準法の特例手法を適用する際の条件に関する検討

③対策内容の見直し、あるいは対策内容が複数有る場合の優先度の検討

～効果的な改善方法の検討

④地域住民等への説明

～現状の危険性を説明し、市街地を改善する必要があることを理解してもらう。

～計画案が適切なものかどうかを住民の目からチェックする。

⑤計画案の評価

～計画案の実現により、目標とする防火性能を確保出来るかをチェックする。

これらの利用シーンにおいて、市街地火災総合対策支援ツールを実際に用いるのは地方公共団体職員、あるいは民間コンサルタントやNPO等が想定される。そのため、出来るだけデータの準備や操作が簡便なことが望ましい。また、防災まちづくりにおいて、地域住民が現状市街地の危険性を実感出来る、自宅や市街地を改善した際の危険性の低減を実感出来る、という点を考慮すれば、評価結果は出来るだけ分かりやすいものである必要がある。これらを考慮しつつ、今回開発する市街地火災総合対策支援ツールにおいて必要な映像化技術について検討した結果、必要な機能として下記のものを抽出し、市街地火災総合対策支援ツールに組み入れた。

[基本機能]

- ・シミュレーションに必要なデータの準備支援機能
- ・市街地状況の管理・表示機能
- ・防火対策に基づく計画案を作成するためのデータ編集機能
- ・市街地火災シミュレーション条件の設定・管理機能
- ・シミュレーションの実行機能及びシミュレーション結果の読み込み機能

[操作性・リアリティ]

- ・航空写真等の読み込みによる市街地イメージの向上（図 2-2-2）
- ・任意の視点から市街地を表示（図 2-2-3）
- ・建物や火災のリアリティを向上（図 2-2-4、図 2-2-5）
- ・任意の表示領域を設定可能

なお、2－4においてこれらの詳細を述べる。



図 2-2-2 航空写真等との合成による市街地イメージの向上

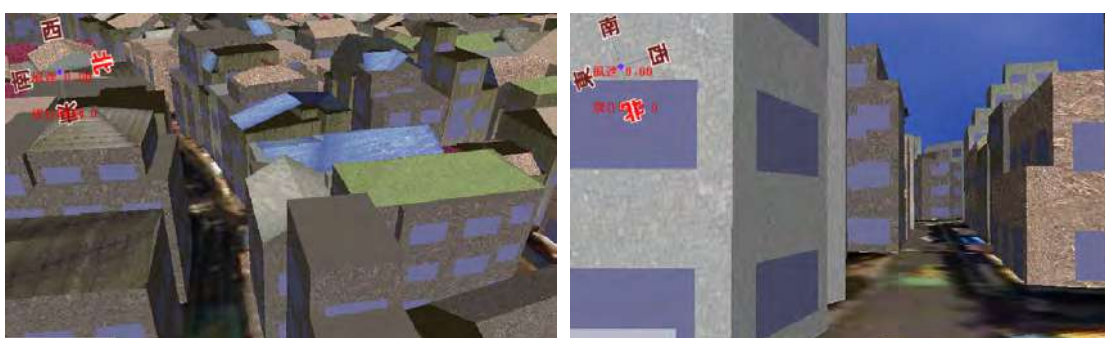


図 2-2-3 任意の視点から市街地を表示

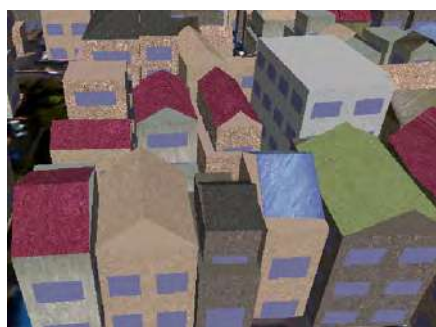


図 2-2-4 建物毎の壁面や屋根等を再現可能

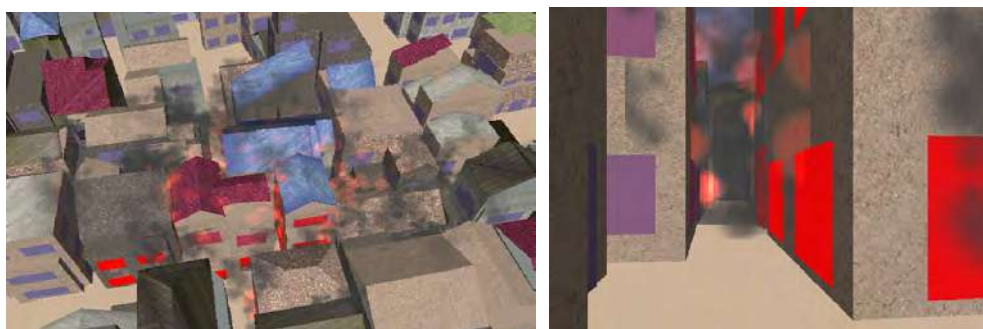


図 2-2-5 炎と煙の再現による市街地火災シミュレーション結果のリアリティ向上

2-3 市街地データ・建築物データの管理技術

市街地火災総合対策支援ツールを活用するためには、対象となる地区のデータが必要不可欠である。必要となるデータ数が多くなるとともに、データの準備はシミュレーション活用上の障害と成りかねない。そこで、市街地火災総合対策支援ツールにおいて必要となる市街地データ・建築物データの内容を定義し、それを準備する方法を検討した。また、準備したデータに基づいて市街地火災シミュレーションプログラムを実行し、シミュレーション結果を市街地火災映像化技術を用いて表現するために必要なデータ管理技術についてもあわせて検討を行った。

2-3-1 必要なデータの概要

「市街地火災総合対策支援ツール（以下、「ツール」）」を用いるためには、まず評価を行いたい市街地のデータを整備する必要がある。準備が必要な主なデータは表 2-3-1 のとおりである。

表 2-3-1 準備が必要なデータ及び任意で準備するデータ

分類	項目名	備考	必須	任意
建物	形状	位置	座標値	○
		平面形状	各階ごと	○
	属性	防火性能	建物の防火上の構造	○
		階数		○
		床高さ	各階ごと	○
		部屋割り	いわゆる間取り。押入れなども含む。	○
		内装材の種類	可燃、難燃、準不燃など。	○
		躯体材料	木造、S 造、RC 造/SCR 造など	○
		開口部の形状・材質	開口部とは戸、窓などのこと。	○
		付属面の形状・材質	付属面とは屋根、バルコニーなどのこと。	○
		木造・非木造の種別	木造か非木造の区分。	○
		用途種別	建物の主たる用途を指定。	○
道路	形状	ノード位置	座標値	○
		リンク形状	補完点数、端点及び補完点座標値	○
	属性	幅員	幅員	○
背景	標高データ	国土地理院の数値地図 5m メッシュなどを取り込むと、市街地の起伏を考慮したシミュレーション及び表示が可能となる。		○
	背景画像データ	航空写真などを取り込むと、表示上のリアリティが向上する。		○

表 2-3-1 中で、「必須」欄に「○」で示されたデータは、ツールを使うためにユーザが必ず用意する必要があるものである。また、「任意」欄に「○」で示されたデータは、ツールを使う上では必要となるが、「必須」データをもとにツールを用いて自動的に生成すること

が可能となるため、必ずしもユーザが準備しなくても良いものである。ただし、「任意」データを現実の市街地、あるいは計画案が実現した市街地での状態でユーザが独自に準備すれば、自動生成よりも現実に近い条件を与えることができ、シミュレーション結果の精度を高めることが可能となる。

2-3-2 データの入手先

表 2-3-1 で示した市街地火災総合対策支援ツールに必要なデータの入手先を示したものが表 2-3-2 である。表中で○のものは十分なデータが入手できるもの、△のものはデータの一部あるいや制約付きのデータが入手できるものである。

表 2-3-2 データの入手先一覧

分類	項目名	準備の区分		データの入手先										
		必須	任意	D M データ ファイル	住宅 地図	数値 地図 (空間 データ 基盤) 2500	建築 確認 申請書	固定 資産 課税 台帳 (家屋 課税 台帳)	都市 計画 基礎 調査	住宅 ・土 地統 計調 査	基盤 地図 情報	D R M	D E M	航空 写真 ・衛 星写 真
建 物	形状	位置	○		○	○	△	△	△	△	○			
		平面形状	○		○	○	○				○			
	属性	防火性能	○		△		△	△	△	△				
		階数		○	△	△	○	△						
		床高さ		○			○							
		部屋割り		○			○	△						
		内装材の種類		○			○							
		躯体材料		○			○	○	△	△				
		開口部の形状・材質		○			○							
		付属面の形状・材質		○			○							
		木造・非木造の種別		○	△		○	○	○	○				
		用途種別		○		△	○	○	○					
道 路	形状	ノード位置		○								○		
		リンク形状		○								○		
	属性	幅員		○								△		
背景	標高データ			○									○	
	背景画像データ			○										○

これらのデータ入手先の詳細は下記のとおりである。

○ODM データファイル

DM データファイルを所有する自治体においては、整備の状況によるものの、建物の「位置および平面形状」を取得することが可能である。また、細線で記載されたものは普通建物（3 階未満の建物及び 3 階以上の木造等で建築された建物）、太線で記載されたものは堅牢建物（鉄筋コンクリート等で建築された 3 階以上、または 3 階相当以上の高さの建物）、というように建物の構造や階数を多少推測することが可能である。

○住宅地図

冊子になって販売されているもの、GIS 用のデータとしてデジタル形式で販売されているものがある。

建物の「位置および平面形状」を取得することが可能だが、冊子版を使う場合、紙面の情報をもとに GIS 用のデータを作成する必要がある。建物ごとに表札が掲載されているため、建物用途を推測することがある程度可能である。また、集合住宅等では別記表示という形で表札データが掲載されている建物に関しては階数を推測することも可能である。

なお、冊子版は比較的廉価だが、GIS 用のデータは冊子版に比べて非常に高価である。

○数値地図 2500(空間データ基盤)

このデータからは、公共構造物等の主要な建物の「位置および形状」を取得することができる。

○建築確認申請書(建築計画概要書、設計図書)

建築確認を受ける際に提出する書類であり、建築計画概要書には階数や構造等が、設計図書には各階平面図等が含まれているため、建物の詳細な情報を取得することが可能。これらの情報を用いれば、より現実に近い建物データを準備することが可能となるが、古い建物については書類が保存されていない場合がある。

○固定資産課税台帳(家屋課税台帳)

固定資産課税台帳のひとつである家屋課税台帳からは、構造、建築用途、建築年次、階数といったデータを取得することが可能である。建物の防火性能については一般に記載されていないため、構造（木造、SRC 造、RC 造、S 造、軽量鉄骨造、煉瓦造、コンクリートブロック造、石造のように分類されている）や他の属性を踏まえて、防火上の構造に変換する必要がある。また、地方公共団体によっては階数を記載していない場合

もある

データを利用するにあたっては、課税部局と十分な調整をするともに、審査会等で利用許可を得る必要がある場合がある。また、個人情報のため、利用できる場合であっても取り扱いに十分注意する必要がある。

データは毎年更新されているため、比較的最新の情報が得られる。ただし、公共建築物等の非課税建築物は、固定資産課税台帳に掲載されていないため、これらの建物については別途情報を取得する必要がある。

○都市計画基礎調査

都市計画基礎調査では、建築物の用途、構造等が調査されるため、個票データを活用することができれば、固定資産課税台帳並みのデータを取得することができる。

ただし、都市計画基礎調査は概ね5年ごとに行われるため、必ずしも最新のデータを取得できるわけではない。また、建物の防火性能については多くの場合調査されておらず、構造（木造、RC造といった分類が多い）と他の属性を踏まえて、防火上の構造に変換する必要がある。

○住宅・土地統計調査

住宅・土地統計調査は標本調査となっており、また基本的に集計データとして公開されているため、個々の建物の属性を取得することはできない。そのため、個々の建物に関する情報が取得できない場合に、概ねの傾向としての情報として活用することが考えられる。

○基盤地図情報

地理空間情報活用推進基本法にもとづいて、国、地方公共団体が整備を進めている電子地図であり、建築物の外周線や道路縁等のデータをGISで利用可能である。縮尺レベル2500以上と縮尺レベル25000以上のものがあるが、市街地火災総合対策支援ツールではデータの精度を勘案して縮尺レベル2500を利用した方が良い。なお、これらは国土地理院のホームページからダウンロード可能である。

○ODRM(デジタル道路地図)

道路ネットワークデータであり、道路ごとの幅員等、様々なデータが網羅されている。基本的には有料での入手となる。

○ODEM

地表面の標高点データのことであり、基盤地図情報の一つとして整備が進められている。基盤地図情報同様に縮尺レベルは2500以上と25000以上があり、前者であれば

5m メッシュ、後者であれば 10m メッシュでのデータを国土地理院のホームページから入手できる。

○航空写真・衛星写真

様々な航空写真、あるいは衛星写真が市販されている。また、地方公共団体でも独自に撮影した写真を持っている場合があるので、それらを活用することが考えられる。

2-3-3 データの作成方法

(1) 建物データの作成方法

建物の平面形状は、正しい位置、方向で GIS 上にいったん整備する必要がある。この時、建物の平面形状はポリゴンで作成する必要がある。画面上ではポリゴンのように見えても、実際にはいくつかのラインから構成されているものは使用できない。

市街地火災総合対策支援ツールでは座標系として平面直角座標系を用いているため、GIS 上で建物データを作成する際にも座標系として平面直角座標系を用いることが望ましい。

GIS 上のデータを市街地火災総合対策ツールに取り込むためには、ユーザが独自にプログラムを作成してシミュレーション用のデータフォーマットに変換する方法と、GIS 上で Shape 形式にエクスポートする方法がある。緯度・経度系等その他の座標系で作成された GIS データの場合は、Shape 形式へのエクスポート前に平面直角座標系に変換する必要がある。

市街地火災総合対策支援ツールに建物形状をインポートした後は、インポートした建物平面形状や建物属性をもとに、建物内部データを自動生成する。詳細な建物仕様が分かる場合は、市街地火災総合対策支援ツール内でデータを修正することが可能である。

なお、ラスター形式の地図、あるいは紙地図しか保有していない場合は、GIS 上で建物形状をトレースする、あるいは市販のベクター変換ツールを使って、ベクトル形式のデータを作成する必要がある。

(2) 道路データの作成方法

GIS 上の道路データを市街地火災総合対策ツールに取り込むためには、ユーザが独自にプログラムを作成して市街地火災総合対策支援ツール用のデータフォーマットに変換して、インポートを行う。道路データを用いることで、道路幅員に対応して建物形状を一括して編集して、道路空間内あるいは道路斜線制限空間内にある建物の部分を削る機能を活用することが可能となる。

(3) 背景データの作成方法

背景データは、標高データと背景画像データとに大別される。

標高データに関しては、市街地が平坦な場合には標高差を気にする必要はないため不要で

あるが、傾斜地等で評価する場合は、標高差を考慮した方がより正確な評価となる。市街地火災総合対策支援ツールには、国土地理院が配布している基盤地図情報の数値標高モデル 5m メッシュデータを取り込んで建物データの鉛直方向の座標値を自動的に与える機能を実装している。そのため、標高データを取り込めば、建物が建っている箇所の地表面高さの調整が可能となる。

背景画像データに関しては、シミュレーション結果には影響しないものの、シミュレーション結果の可視化に際してよりリアルな表現が可能となるため、必要に応じて利用するものである。市街地火災総合対策支援ツールに背景画像データを取り込むためには、ワールドファイルを持つ航空写真や衛星写真等のデジタル画像データをユーザが用意すれば利用可能である。

2-3-4 建物属性等の取得方法

市街地火災総合対策支援ツールを用いて市街地防火性能を評価する場合、最も評価結果を左右する建物の防火上の構造分類が必要である。一般的には建物の防火性能を把握している場合は少ないと考えられるが、建築基準法上規定される最低限の防火性能を有しているとなすことで、防火地域・準防火地域の指定状況や建物の規模（延べ床面積や階数）などの比較的入手が容易な他の属性から、防火上の構造分類をある程度推定することが可能である。ただし、推定に基づく防火上の構造分類は市街地の実態に応じて適宜修正することが望ましい。特に、建築基準法上の既存不適格建築物については、以下の分類に適合しないものが多いと推定されることから特に注意を要する。

建物の防火上の構造分類を推定するにあたり、推定に用いる属性によってどのような変換が可能かについて検討した結果を以下に例示する。

なお、防火上の構造分類は下記の 5 分類を想定している。

- ・耐火造 : 耐火建築物相当の建築物
- ・準耐火造 : 準耐火建築物相当の建築物
- ・防火造 : 外壁、開口部、屋根に一定の防火性能を有している建築物（準防火地域内に建築できる木造建築物相当）
- ・準防火造 : 外壁及び屋根に一定の防火性能を有している建築物（建築基準法第 22 条により指定される地域に建築できる木造建築物相当）
- ・裸木造 : 上記のいずれにも該当しない建築物

（１）防火地域の指定状況及び主要構造が分かる場合の防火性能の推定例

防火地域指定および主要構造がわかる場合は、表 2-3-3 のように推定が可能である。

表 2-3-3 防火地域指定の状況と主要構造が分かる場合

防火地域 主要構造	防火地域	準防火地域	22 条地域	その他
SRC 造	耐火造	耐火造	耐火造	耐火造
RC 造				
S 造				
コンクリートブロック造				
煉瓦造				
石造				
軽量 S 造	耐火造	準耐火造	準耐火造	準耐火造
木造	耐火造	防火造	準防火造	裸木造
その他	耐火造	防火造	準防火造	裸木造

(2) 防火地域の指定状況、階数、延べ面積が分かる場合の防火性能の推定例

防火地域指定、階数、述べ面積が分かる場合は、表 2-3-4 のように推定が可能である。

なお、主要構造が分かる場合には、表 2-3-3 を併せて用いて、より防火性能の高い方を選択することができる。

表 2-3-4 防火地域指定、階数、延べ面積が分かる場合

防火地域 階数・延べ面積		防火地域	準防火地域	22 条地域	その他
階数4以上又は 3,000m ² を超える		耐火造	耐火造	耐火造	耐火造
3	500m ² 以下	耐火造	準耐火造	準防火造	裸木造
	500m ² を超えて 1,500m ² 以下	耐火造	準耐火造	準防火造	裸木造
	1,500m ² を超えて 3,000m ² 以下	耐火造	耐火造	準防火造	裸木造
2以下	100m ² 以下	準耐火造	防火造	準防火造	裸木造
	100m ² を超えて、500m ² 以下	耐火造	防火造	準防火造	裸木造
	500m ² を超えて 1,500m ² 以下	耐火造	準耐火造	準防火造	裸木造
	1,500m ² を超えて 3,000m ² 以下	耐火造	耐火造	準防火造	裸木造

（３）その他の建物属性の取得方法

必要な建物属性のうち、若干考慮すべきことがあるものについては下記のとおりである。

○床高さ

市街地火災総合対策支援ツールには、国土地理院が配布している基盤地図情報の数値標高モデル 5m メッシュデータを取り込むことによって、建物データの鉛直方向の座標値を自動的に与える機能を有している。この機能を活用すれば、データ作成時に際し、「床高さ」を意識する必要がない上、一括した設定を行うことが可能である。

○部屋割り・内装材の種類

「部屋割り」および「内装材の種類」は、建物の内部データにあたるもので、非常に精密なデータであり、建築確認申請書程度のデータソースでない限り、取得することは難しい。整備する建物数が多くなり、かつ建物内部レベルに至る精密なシミュレーションを必要としない場合は、市街地火災総合対策支援ツールの建物形状データ生成機能を利用することで、部屋割りを自動作成することが可能である。

○開口部の形状・材質

「開口部の形状・材質」は、建築確認申請書から調べるか、現地調査を行わないと取得することは難しい。シミュレーション範囲が広くない場合は現地調査も可能だが、広範囲にわたるシミュレーションを行う場合は、全ての建物を現地調査することは困難である。この場合は、市街地火災総合対策支援ツールで開口部を自動生成することによって取得するのが現実的である。なお、自動生成機能では、隣接する建物との隣棟間隔に応じて壁面の開口率を設定することが可能であるが、位置の指定は出来ない。なお、自動生成後も手動で開口部の位置や形状を変更出来る。

○付属面の形状・材質

「付属面の形状・材質」は、シミュレーションによる評価そのものには影響せず、建物データを可視化した場合のリアリティさを向上させるものである。そのため、必ずしも準備する必要はないが、住民説明等にシミュレーション結果を見せる場合などリアリティを必要とする場合は、屋根等の付属面を付与するとともに、現実の建物に似た材質の画像ファイルを用意することになる。

2-4 市街地火災総合対策支援ツールへの統合

ここでは、前節までの検討結果・技術開発を踏まえて行った、高度な市街地火災シミュレーション技術、市街地火災映像化技術、市街地データ・建築物データの管理技術を統合した市街地火災総合対策支援ツールの機能について記述する。

2-4-1 全体構成

市街地火災総合対策支援ツール起動後の画面が図 2-4-1 である。建物等の地図を表示するマップウィンドウ、現在表示している箇所を示す全体マップ、建物の属性を表示するプロパティウィンドウ、表示箇所の変更や視点変更等を行うビューコントローラ、市街地火災シミュレーション結果を制御するタイムコントローラから構成される。

視点変更等に関しては、ビューコントローラ上のボタン操作に加え、マウスクリックによる制御、パッドによる制御も可能とした。

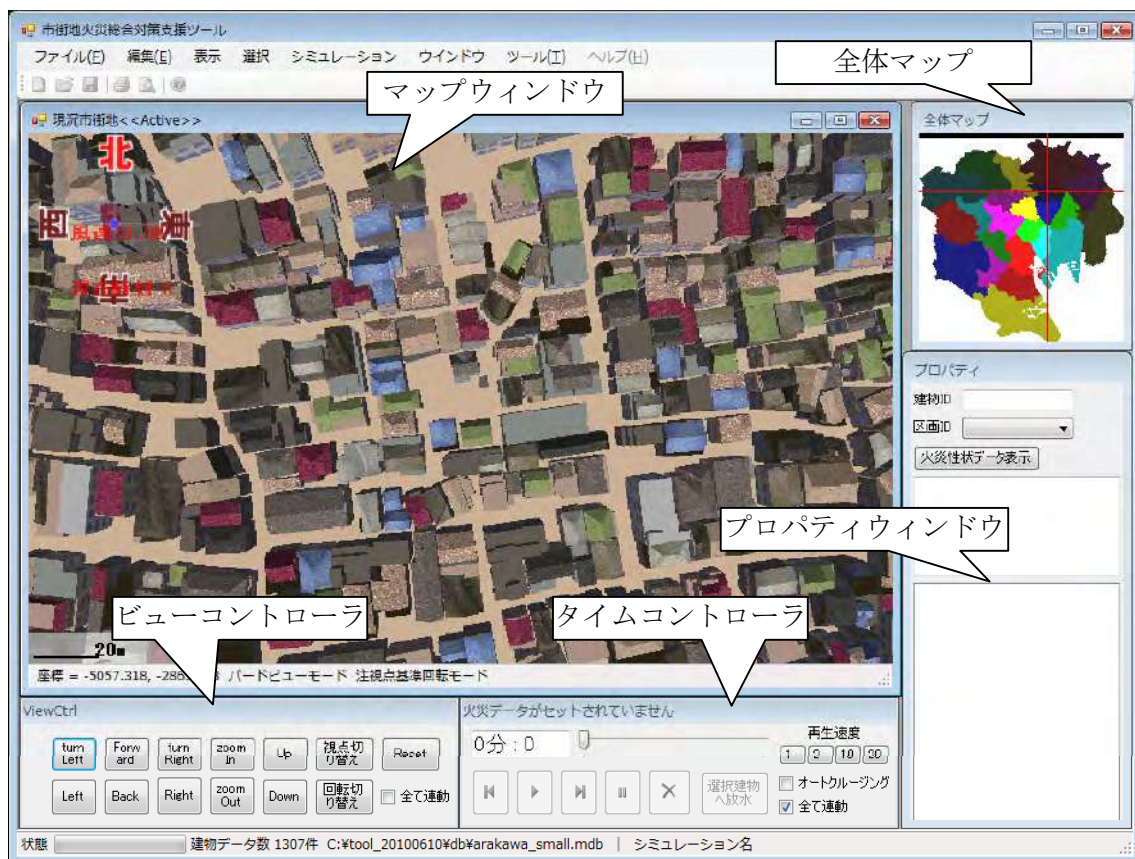


図 2-4-1 画面構成

2-4-2 シミュレーションに必要なデータのインポート機能

地方公共団体がこの市街地火災総合対策支援ツールを用いて市街地防火性能を評価する際に、必要なデータをインポートすることが必要である。建物データに関しては、市街地火

災総合対策支援ツールでは MDB 形式のデータベースを利用するが、このデータベースに既存の建物データをインポートする機能として 2 つの機能、さらに道路データのインポート機能を備えた。

(1) シェープファイルインポート機能

地方公共団体が独自に運用している GIS データの建物形状及び建物属性（建物構造等）を容易に活用可能とするため、GIS データの交換フォーマットとして広く利用されているシェープファイルのインポート機能を実装した。

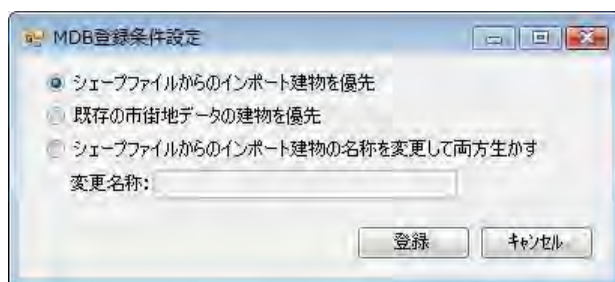


図 2-4-2 シェープファイルのインポート画面

(2) CSV ファイルインポート機能

市街地火災総合対策支援ツールを用いて高度な市街地火災シミュレーションを行う際には、前述した MDB 形式のデータベースを、高度な市街地火災シミュレーション用のデータ形式に内部的に変換している。この内部的に変換しているフォーマットと同様な形式をインポートする機能を実装した。



図 2-4-3 CSV ファイルのインポート画面

(3) 道路データファイルインポート機能

道路データをインポートすると、市街地火災総合対策支援ツールを用いて道路に面した建物の形状を一括で編集することが可能となる。市街地火災総合対策支援ツール用のデータ形

式にあわせたノードデータ及びリンクデータをインポートする機能を実装した。

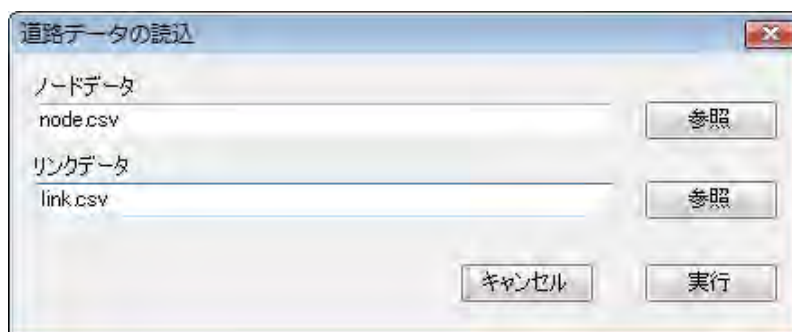


図 2-4-4 道路データファイルのインポート画面

2-4-3 市街地状況の管理・表示機能

(1) 市街地データ、シミュレーション結果データの表示機能

市街地の状況を住民等に分かりやすく説明するために、3次元の映像として建物等を立体的に表示することとした。さらに、延焼状況等を報告書等で示すためなどのために、2次元表示する機能も実装した。

表示方法としては、「簡易」及び「リアルモード」の2種を設けた。簡易モードでは市街地の状況・火災の状況を分かり易く表示する主題表示（防火上の構造種別、建物用途種別、被災種別、さらに市街地火災シミュレーション実行後の出火（着火）時刻別の表示）を行い、リアルモードでは建物のテクスチャや火炎・煙等の表現を現実に近い表現を行うものとした。また、表示する内容をユーザが任意に設定できる機能も実装した。



(a) 2次元表示の例



(b) 3次元表示の例

図 2-4-5 2次元表示・3次元表示の切り替え

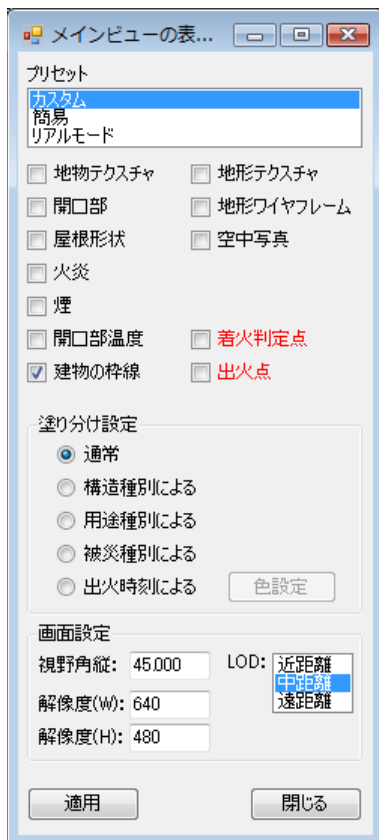


図 2-4-6 表示の切り替え
選択画面



図 2-4-7 市街地火災シミュレーション結果の表示
(リアルモード)



図 2-4-8 市街地火災シミュレーション
結果の表示 (簡易モード・燃烧建物表示)

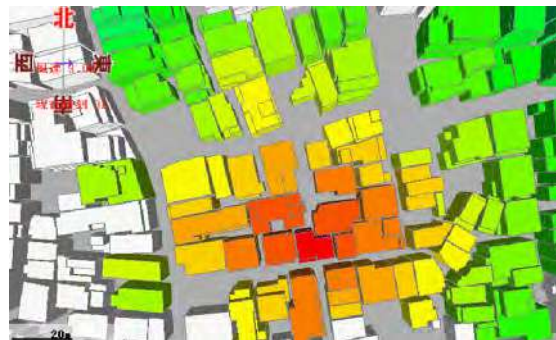


図 2-4-9 市街地火災シミュレーション
結果の表示 (簡易モード・出火時刻別表示)

また、マップウィンドウを複数開くことで、異なる表示方法や、異なる視点からの映像を同時に並べて確認可能とした。

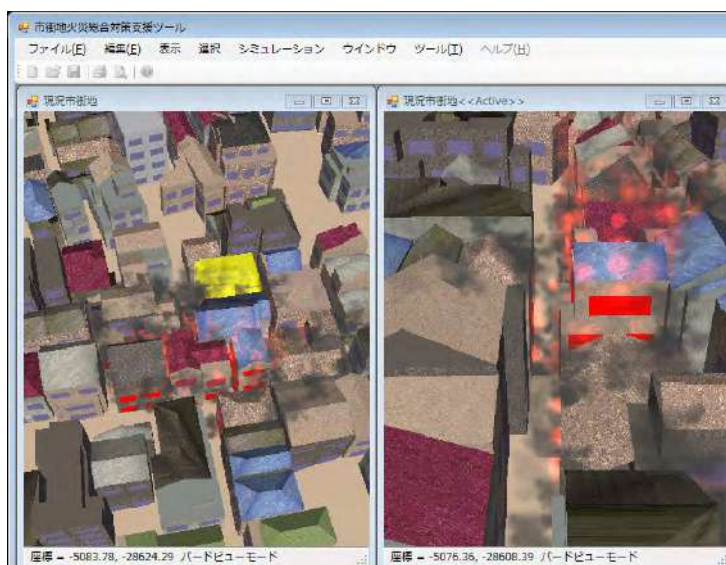


図 2-4-10 複数マップウィンドウの使用例（同一箇所を異なる視点から表示）

（２）市街地データ、シミュレーション結果データの管理機能

市街地の防火性能を評価し、改善案を作成する過程において、多数の市街地改善案が比較検討されることを考慮して、ユーザが任意の市街地データを切り替えることができる市街地データの履歴管理機能を実装した。

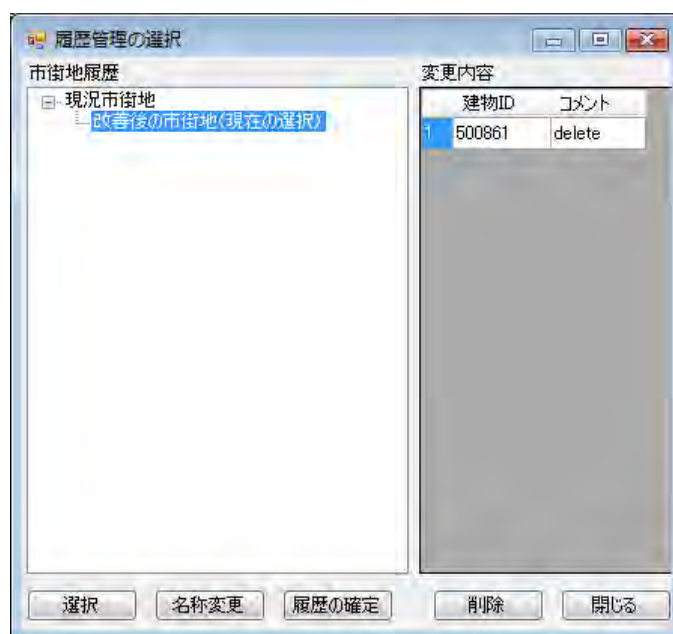
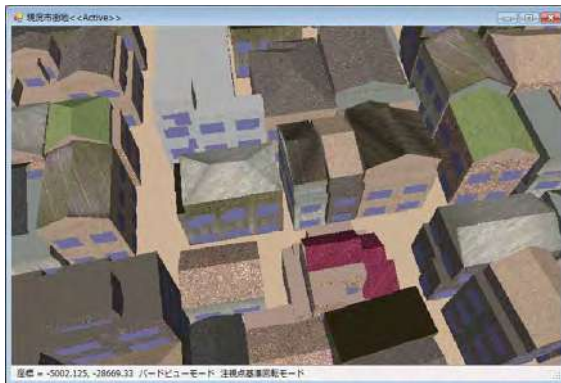
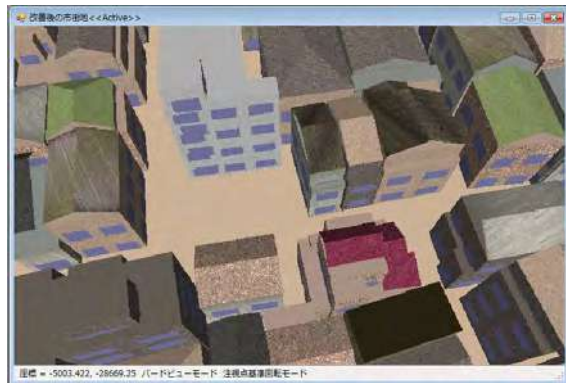


図 2-4-11 市街地データの管理画面



(a) 現況市街地の表示例



(b) 改善案の表示例

図 2-4-12 市街地データの切り替え例

2-4-4 防火対策に基づく計画案を作成するためのデータ編集機能

(1) 個別建物編集機能

マップウィンドウ上の建物を選択し、建物の位置・形状や開口部位置、部屋割り、及び各部材の防火性能等のデータを編集するための機能を備えた。この機能により、ユーザは任意の建物の編集が可能であり、複数の建物を編集すれば、計画案も作成可能となる。

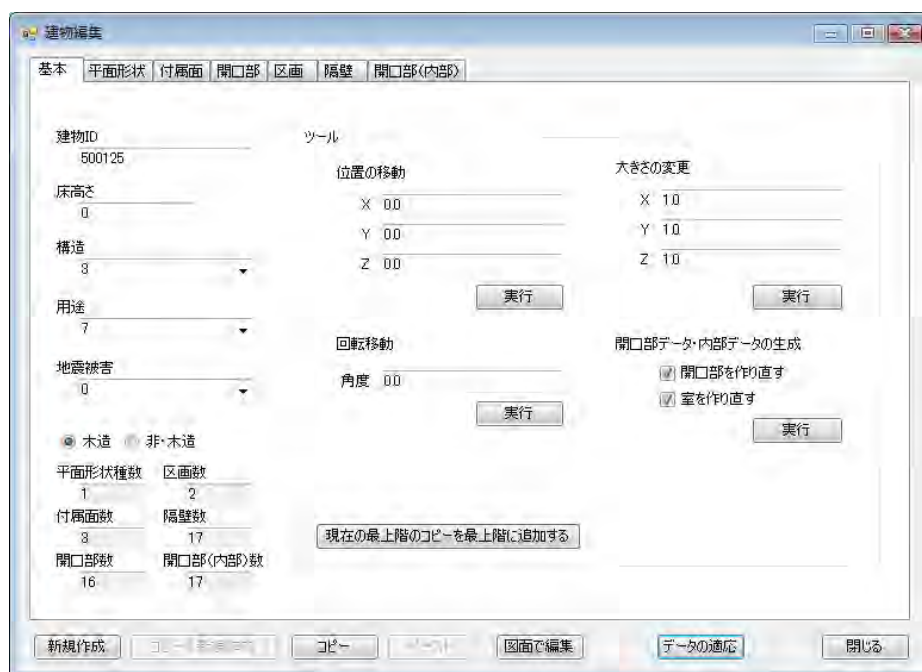
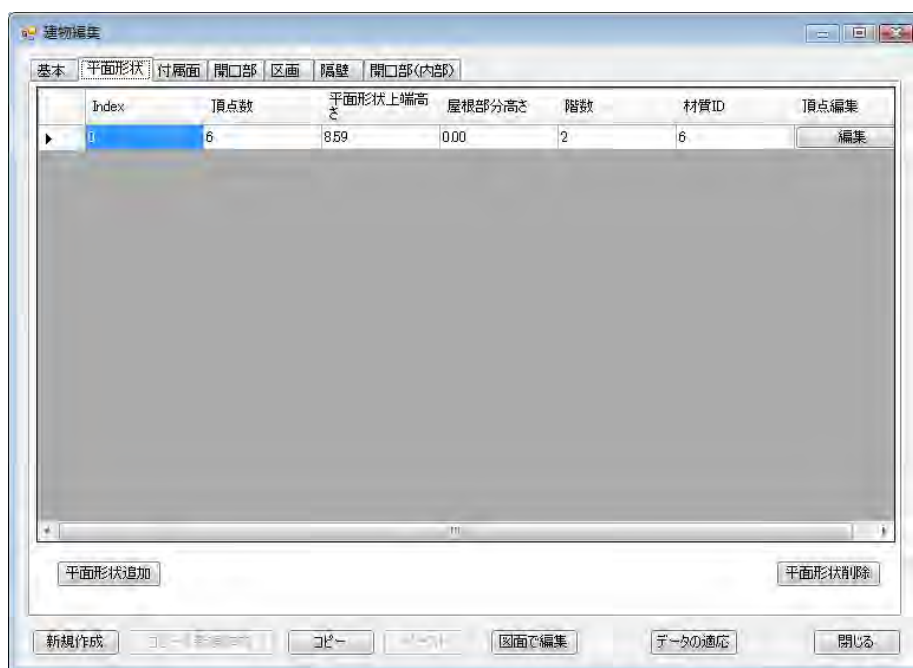
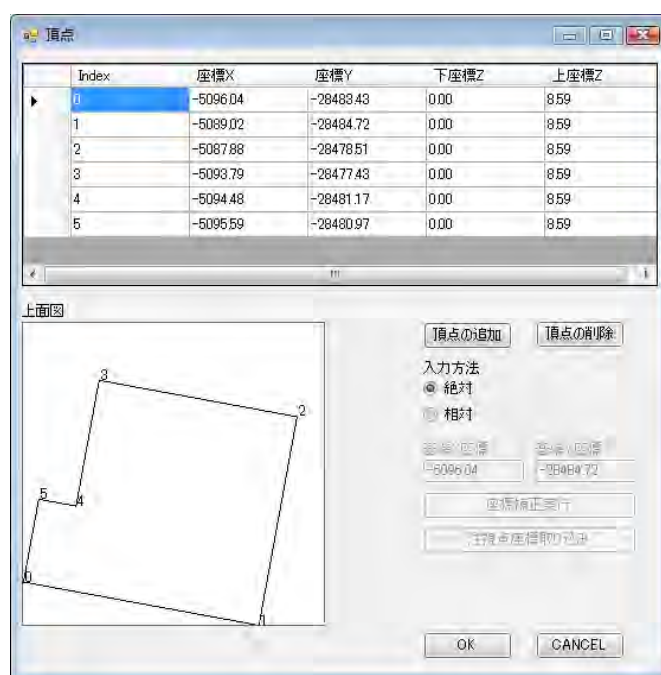


図 2-4-13 建物編集画面



(a) 平面形状の選択画面



(b) 平面形状の頂点編集画面

図 2-4-14 建物平面編集画面

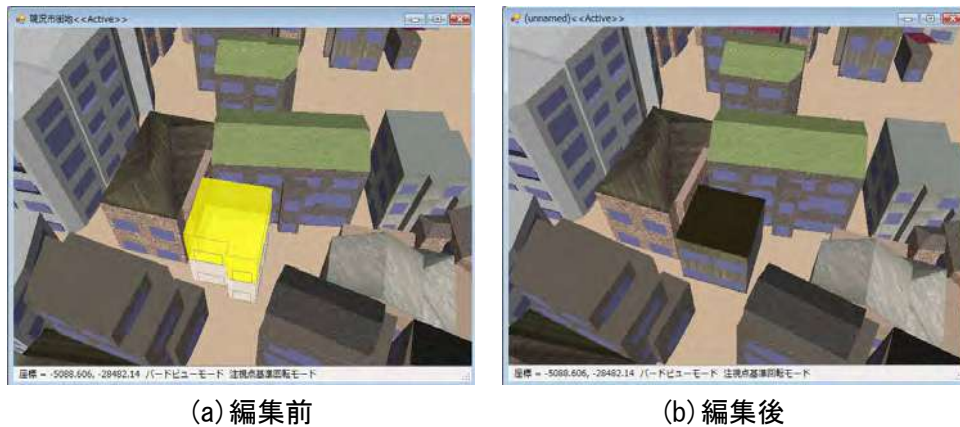


図 2-4-15 建物編集の例

(2) 計画案作成支援機能

個別の建物データを一つ一つ編集することは上記機能により可能であるが、市街地の改善案を検討する場合には、ある領域の全ての建物に対して、あるいは、ある道路区間の全ての沿道建物に対して、同様の変更（構造制限の強化や斜線制限の適用除外等に伴う建物形状や建物属性の変更）を適用する場合が想定される。このような一括処理を支援するためのデータ編集支援機能を備えた。

なお、道路に面した建物に対しては、下記2つの自動一括処理機能を備えた。

- ①道路空間内に建物がはみ出して建築されないことを想定して、道路空間内又は仮想的に道路幅を行った際の空間内にかかる建物の部分を自動的に一括して後退させる機能
- ②通常、建物は建築基準法に基づく道路斜線制限により、建物形状が制約されることが一般的であることから、道路データをもとに、道路斜線制限を受ける範囲の建物壁面を自動的に一括して後退させる機能

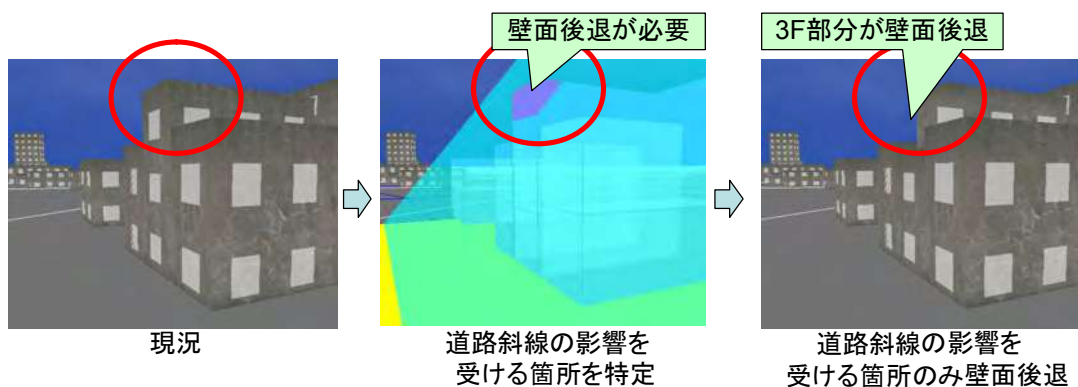


図 2-4-16 道路斜線の影響を受ける範囲の壁面後退機能

2-4-5 市街地火災シミュレーション条件の設定・実行・管理機能

市街地火災シミュレーション条件を設定する画面を用意した。出火点については出火時刻

の異なる複数の建物（区画）を選択できるようにしたほか、気象条件である風速・風向については、シミュレーション終了時間までの間で風速・風向を変化させることができるよう入力画面を用意した。さらに、シミュレーション結果は建物数や計算終了時刻によっては大きなファイルサイズになることもあることから、出力結果を簡易、標準、詳細から選べるようにしたほか、任意の出力項目を設定できるようにした。また、防災まちづくりの現場では、計画案をその場で作成し、シミュレーションを実行する場合もありえることから、いったんシミュレーション終了後にシミュレーション結果を表示することが可能な「計算後ファイル出力」モードに加え、即座に計算を始める「リアルタイム」モードを用意した。市街地火災シミュレーションを実行し、その結果を見込んで表示する機能を備えた。

この「リアルタイム」モードは、シミュレーション計算の実行途中において、ユーザの何らかの行動を取り込めるよう、シミュレーションの一時停止機能を用意するとともに、一時停止後、ユーザの操作を受け付けた上で、再度シミュレーションを再開できるような機能を有することとした。この機能により、任意の地点の温度や受熱量をユーザ操作により計測することが可能となるほか、将来的には計算中に燃焼中の建物に放水する、等の利用が可能となる。

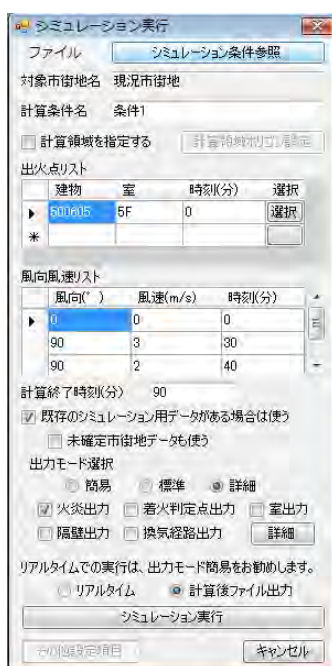


図 2-4-17 シミュレーション条件設定画面

また、過去に行ったシミュレーション結果を再利用する場合のために、過去のシミュレーション結果から計算条件を取得する機能を備えた。一方、目的によっては、全ての建物を対象とせず、ある範囲に限定してシミュレーションを行った方が良い場合もある。そこで、シミュレーション範囲を限定する機能を設けた。

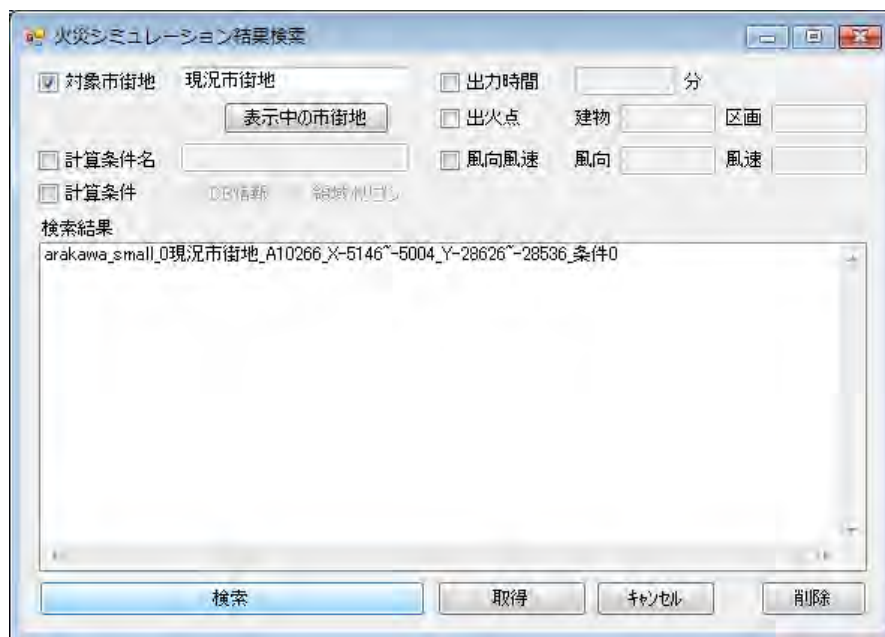


図 2-4-18 過去のシミュレーション条件呼び出し画面

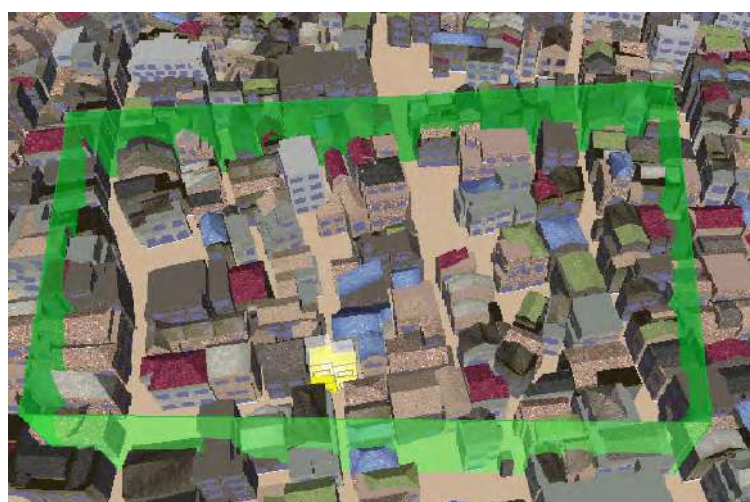


図 2-4-19 シミュレーション範囲の設定画面

3. 想定される市街地火災総合対策支援ツールの活用例

市街地火災総合対策支援ツールは、地区レベルから街区・建築レベルで、防災まちづくりの局面と課題に応じた様々な活用が期待できる。ここでは、防災まちづくりのプロセスの各局面における活用と地域課題に応じた活用として想定されるものを記す。

3-1 防災まちづくりのプロセスにおける活用場面の想定

防災まちづくりの事業・制度手法には先述のように様々なものがあり、どのような手法を活用するかによって具体的なプロセスは異なる。ただし、防災まちづくりの推進と事業実施、規制・誘導手法の活用に関する住民との協議・合意形成は不可欠であり、その協議・合意形成のプロセスという視点からは、どのような手法を活用するかに関わらず、大きく初動段階、構想・計画段階、実施段階の3つの段階に分けて考えることができる。

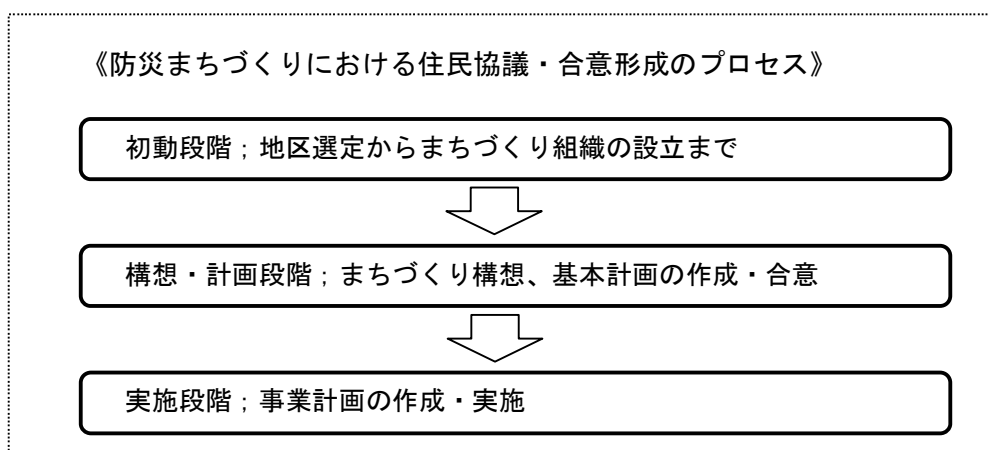


図 3-1-1 防災まちづくりにおける住民協議・合意形成のプロセス

(1) 初動段階：地区選定からまちづくり組織の設立まで

市街地状況等の調査に基づいて重点整備が求められる地区と課題を抽出し、関係住民に呼びかけてまちづくりの協議・推進体制を整備する段階であり、地区の問題点や危険性、防災まちづくりの必要性などについての理解と認識の共有化を図ることが主な課題である。

- ・市街地火災総合対策支援ツールの3次元によるリアルな火災状況の表現を活かし、まちづくり組織の設立に向けて防災まちづくりの必要性や考え方を説明するための住民意識啓発ツールとしての積極的な活用が期待できる。
- ・建物構造による、燃え方、燃え移り方の違いの説明
- ・道路拡幅や広場整備、建物の不燃化等による効果の具体的な説明

(2) 構想・計画段階：まちづくり構想、基本計画の作成・合意

行政と住民との協議により、まちづくり課題に対する共通理解を図り、まちづくりの目標や将来構想と事業化に向けた基本計画をまとめる段階であり、行政や住民間で異なる様々な目的・意向を円滑に調整し、ひとつの目標像にまとめ上げることが主な課題となる。

- 
- ・地区全体の構想・計画の検討・協議にあたり、道路拡幅や沿道不燃化が必要な（あるいは効果的な）路線の抽出や具体の道路幅員、建物の位置、ボリューム、構造などの検討・評価に活用することが考えられる。
 - ・住民の意向に基づく様々な整備手法、規制・誘導手法、具体の計画案の比較検討を重ねつつ、防災の観点から地区の適正な将来像と実現化手法を絞り込むような使い方が考えられる。
 - ・概略的な計画案がまとまった段階で、個別の地区施設の仕様や建替え時の基準などを検討する際に特に効果的であると考えられる。
 - ～地区計画における地区施設の仕様や各種基準の具体的な検討
 - ～密集事業等の導入に向けた整備計画・事業戦略の検討

(3) 実施段階：事業計画の作成・実施

道路整備や共同建替など個別の計画・事業を実施する段階で、権利調整など関係住民間の具体的な協議・合意の積み重ねによって事業を円滑に推進することが主な課題となる。

- 
- ・関係権利者による道路拡幅と沿道の街並み形成や、各種建替えの具体的なプランの検討時における活用がもっとも期待される。特に、道路拡幅が困難な際の基準緩和等の妥当性を防災面から評価する際に有効である。
 - ・また、本ツールの分秒刻みの延焼動態の表現機能を用いて、公園用地取得の判断を行う際に、その用地取得により延焼経路をどのように変えられるか、近隣住民の円滑な避難の時間とスペースを確保し得るかなど、用地取得の妥当性や効果を確認するなど、事業効果の検証ツールとしての活用も考えられる。
 - ・建替えられた建物のデータを逐次更新し、経年的な市街地防災性能の変化を把握し、事業の推進状況の管理ツールとして、あるいは地区住民の協力意欲を高めるための啓発ツールとして活用することも考えられる。経年データは新たな建替えを支援する際に最新かつ正確な情報の提供と評価を行うためにも有効である。
 - ～個別建替えや共同建替えにおける防災に配慮したプランの検討
 - ～狭小敷地などにおける集団規定の適用の妥当性や適用基準の評価
 - ～用地取得の妥当性や効果の確認
 - ～経年的な市街地防災性能の変化の把握

3-2 地域課題に応じた活用場面

防災まちづくりの一般的な流れとは別に、地域固有の事情に応じた防災まちづくりのアイデアの検討・評価が必要になる場面も想定される。ここでは、その地域課題に応じた防災まちづくりにおける活用場面の具体例を2つ紹介する。

(1) 斜面地の防災まちづくりにおける独自の防火規制の検討

斜面地の市街地では、火災は斜面の下から上に向けて平地とは異なる燃え広がり方をするものと考えられる。従って、建物の防火規制についても平地とは異なる考え方が必要となる可能性があるが、これまでは斜面地であることに配慮した防火性能の評価は行いにくかった。

本ツールは、地形情報や地盤高の情報を入力することで斜面地を想定したデータの作成が可能であることから、斜面地の延焼動態の特性を踏まえた独自の防火規制を検討する場面でも効果的な活用が期待できる。

(2) 建物更新が期待しにくい市街地における防耐火補強技術の活用検討

歴史的な市街地は古い木造建築が密集しており、防災面からは大きな課題があるが、それらを更新してしまえば歴史的市街地としての価値そのものが失われてしまうというジレンマを抱えている。そのような市街地の防火性能を向上させる技術として、既存建物を補強して燃えにくくする防耐火補強技術があるが、この技術は一般の密集市街地でも活用可能である。

密集市街地においても、商店街などでは商店主が営業休止を嫌がり建物更新が進みにくいという例などもあり、そのような地域を対象に防耐火補強技術を活用して市街地性能の向上を図ることも考えられる。

本ツールは、個々の建物の実情に応じた各部材の防火性能を設定可能であることから、市街地のどのエリアの集中的な補強が効果的かという検討を行うだけでなく、個々の建物に必要な補強レベルの検討までも行える。その特性を活かして防耐火補強技術の推進戦略の検討や、助成制度創設に向けた性能規定の検討などの場面での効果的な活用も考えられる。

3-3 具体の活用イメージ

前節で想定した市街地火災総合対策支援ツールの活用場面を一覧すると表 3-3-1 のようになる。ここでは、そのうち次にあげる主な5場面を抽出し、場面ごとの具体の活用イメージ（活用方法）を整理した。

- ①まちづくり初動期における防災まちづくりの必要性の説明
- ②街並み誘導型地区計画における緩和基準の妥当性の確認
- ③連担建築物設計制度の適用基準の検討
- ④斜面地の防災まちづくりにおける独自の防火規制の検討
- ⑤建物更新が進まない商店街における防耐火補強技術の活用効果の検討

表 3-3-1 想定される市街地火災総合対策支援ツールの活用場面

		活用目的	活用場面
防災まちづくりのプロセス	初動段階	住民意識の啓発	○防災まちづくりの必要性の説明 ・建物構造による燃え方燃え移り方の違い ・道路や広場整備、建物の不燃化等の効果
	構想・計画段階	目標像の実現に向けた具体的な基準等の検討	○地区計画における地区施設の仕様や各種基準の具体的な検討 ・防災街区整備地区計画 ・街並み誘導型地区計画 ・誘導容積型地区計画 ○密集事業等の導入に向けた整備計画・事業戦略の検討
	実施段階	建替えプランの検討	○個別建替えや共同建替えにおける防災に配慮したプランの検討
		基準緩和等の妥当性の評価	○狭小敷地などにおける集団規定の適用の妥当性や適用基準の評価 ・建ぺい率特例許可 ・三項道路 ・連担建築物設計制度 ・43条ただし書き許可
		事業効果の検証	○用地取得の妥当性や効果の確認
		防災まちづくりの推進管理	○経年的な市街地防災性能の変化の把握 ○防災まちづくりの推進管理
	地域課題に応じた活用	独自規制の検討	○斜面地の防災まちづくりにおける独自の防火規制の検討
		事業推進戦略・性能規定の検討	○建物更新が期待しにくい市街地における防耐火補強技術の活用検討

(1) まちづくり初動期における防災まちづくりの必要性の説明

- 【場面設定】 地域危険度測定調査により危険な地区と判定されたが、住民に危機感はなく、まちづくりの気運もない。この地区で火災が発生した場合、延焼範囲は広範囲となる可能性が高いため、何とかして防災まちづくりの必要性を住民に理解してもらいたい。
- 【活用目的】 住民意識の啓発
- 【対象区域】 防災まちづくりの検討区域及びその周辺区域
- 【説明対象】 防災まちづくりの検討区域の住民
- 【評価内容】 現況市街地における延焼動態
一般的な防災まちづくり手法を適用した場合の被害低減効果
- 【評価方法】 現況市街地の延焼動態を3次元表示で紹介し、延焼火災のイメージを持ってもらう。その後、現況市街地と一般的な防災まちづくり手法により整備した市街地における一定時間後までの延焼範囲と棟数を具体的に示し、防災まちづくりの効果を理解してもらう。



(a) 現況市街地の延焼状況



(b) 防災まちづくり実施後の延焼状況

図 3-3-1 現況と防災まちづくり実施時の延焼状況の比較

(2) 活用場面2：街並み誘導型地区計画における緩和基準の妥当性の確認

- 【場面設定】 老朽化した建物の建て替えにより地区の防火性能を向上させたい。建物は基準法上の道路に面し4mへの拡張も可能ではあるが、敷地が狭小で十分な床面積を確保出来ないで、なかなか更新が進まない。そこで街並み誘導地区計画を適用して建て替えを可能としたいが、床面積を増やしても防火性能は確保出来るのか、あるいはどのような基準なら大丈夫なのかが分からない。
- 【活用目的】 規制緩和による市街地防災性能への影響評価
- 【対象区域】 地区計画検討区域
- 【説明対象】 地区計画検討区域の住民・地権者

【評価内容】 通常更新する場合、および街並み誘導地区計画を適用した場合の防火性能の違いを比較評価する（両者とも道路拡幅が計画されている場合は、拡幅後を前提として行う）。

【評価方法】 区域を一定間隔のメッシュ、あるいは主要生活道路等で区切ったブロックごとに出火点を設定する。各出火点につき風向を4方位（例えば、東風、西風、南風、北風の4方位）についてシミュレーションを行う。出火点ごとに、計画案ごとの一定時間後の焼失率を算出して比較する。

（3）活用場面3：連担建築物設計制度の適用基準の検討

【場面設定】 アンコの建物を建て替えて地区の防火性能を向上させたいが、建物規模が小さく、さらに建物の前面道路は狭隘で2項後退は難しいために、なかなか更新が進まない。そこで連担建築物設計度を適用して建て替えを促進するとした場合に、どのような基準で適用すれば防火性能は確保出来るのかが分からない。

【対象区域】 連担建築物設計制度検討区域及びその周辺区域

【説明対象】 連担建築物設計制度検討区域の住民・地権者、建築指導部局、建築審査会

【評価内容】 通常更新の場合、および連担建築物設計制度を適用した場合の防火性能の違いを比較評価する。

【評価方法】 連担建築物設計制度適用区域に隣接する建物から出火させ、連担建築物設計制度適用区域内の通路、あるいは連担建築物設計制度適用区域外への燃え抜け時間等を比較することにより、通常更新に比べて連担建築物設計制度提供時の防火性能がどのようになっているのかを把握する。

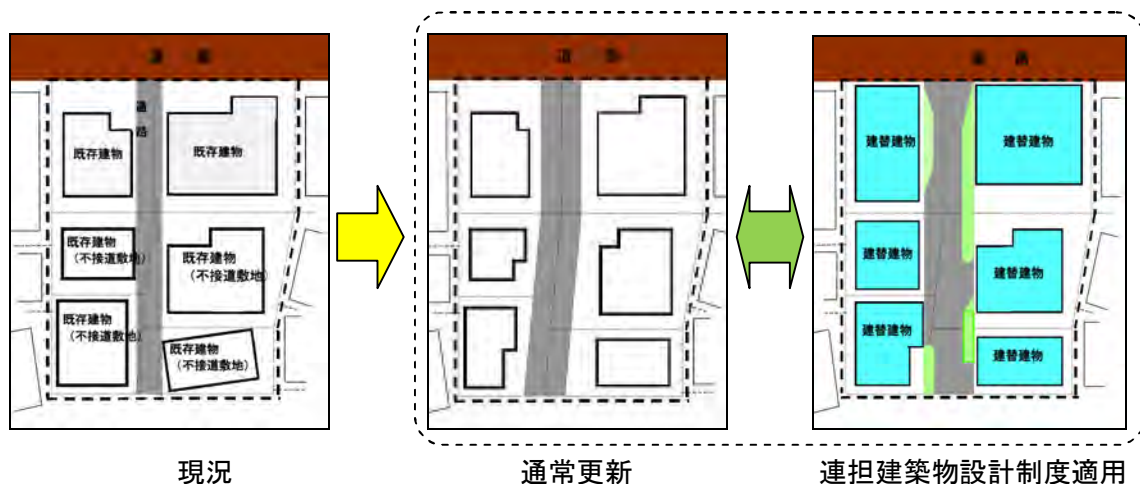


図 3-3-2 連担建築物設計制度の適用イメージ

(4) 活用場面4：斜面地の防災まちづくりにおける独自の防火規制の検討

【場面設定】 住民の防災意識が非常に高い斜面地の住宅地において、住民から、がけ・擁壁の対策と同時に斜面地であることに配慮した防火対策を求められたが、具体的にどのような規制をすべきなのか見当が付かない。

【活用目的】 斜面地の延焼動態に配慮した防火規制の検討

【対象区域】 斜面地に位置する住宅地の区域

【説明対象】 内部検討

【評価内容】 斜面地の市街地と平地の市街地の延焼動態の違いを比較評価する

【評価方法】 ①斜面下端の建物を出火点として、斜面を駆け上がる風向の場合の斜面上端の建物までの着火時間を計測する。(風速は地域の卓越風速等を設定)
②別途、地形情報を取り除いた建物情報だけの市街地データを作成し、同様に、もし平地だった場合の着火時間を計測する。
③斜面地においても平地と同様の着火時間となるよう、斜面下に面する壁面の防火性能や開口部の位置・防火性能の設定を工夫する。必要に応じて最上階の屋根や天井の防火性能の設定も工夫する。
④斜面地の着火時間が、平地だった場合の着火時間と概ね同じになった際の設定条件が、斜面地に配慮した防火規制のひとつの考え方となる。

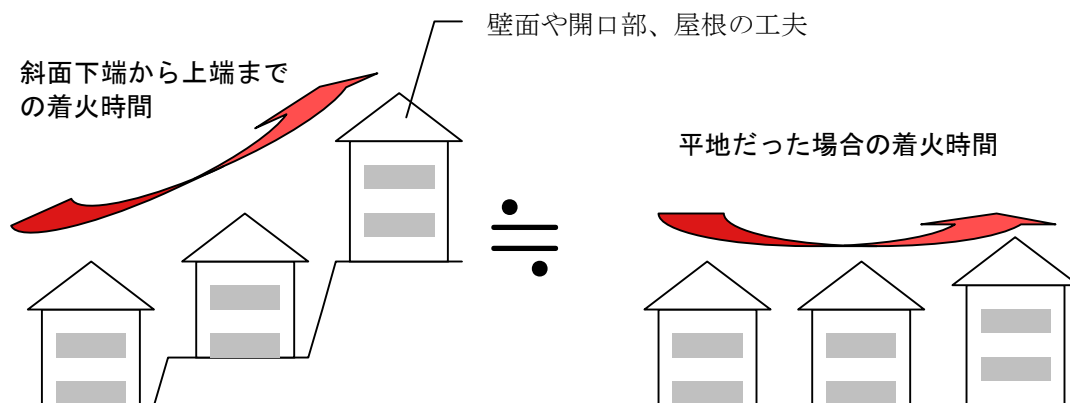


図 3-3-3 斜面市街地での評価イメージ

(5) 活用場面5：建物更新が進まない商店街における防耐火補強技術の活用効果の検討

【場面設定】 密集市街地内の主要生活道路に面した商店街があるが、店舗は老朽化が進んでいるため、当該主要生活道路で延焼被害を十分に軽減できない。一般の住宅と異なり、商店の場合は建替え時に営業を休止しなければならないことから、なかなか建物更新が進まない。そこで商店街の店舗を建て替えずに、防耐火補強技術を行うことで市街地の防火性能を向上させたい。しかしながら地区内に

はほかにも補強対象となり得る建物は多く、商店街だけを対象とするか地区全体を対象とすべきか判断できない。

【活用目的】 商店街など特定の区域を集中的に補強することの効果の検証

【対象区域】 商店街を中心に主要生活道路等の延焼遮断を期待できる道路等で囲まれた区域

【説明対象】 内部検討

【評価内容】 商店街沿道を集中的に補強した場合と地区内の建物をランダムに補強した場合の市街地防火性能への影響の違いを比較評価する

【評価方法】 ①商店街の後方に火点を設定し、風向を商店街に向かう方向に設定して、時系列で延焼棟数の推移を記録する。（風速は地域の卓越風速等を設定）

②現況と2つの計画案の延焼棟数の推移をグラフ化し、それぞれの延焼曲線（延焼速度）を比較。

③その延焼曲線（延焼速度）を評価指標とし、以下であれば商店街沿道を集中的に補強する効果が高いと判断できる。

3-4 市街地火災総合対策支援ツールを使ったケーススタディ例

前節で想定した市街地火災総合対策支援ツールの活用場面のうち、連担建築物設計制度適用時における具体的なケーススタディを行った結果を以下に示す。

(1) ケーススタディの概要

二項道路沿道建物の建替えに際して、

- ①二項後退させた上で建築基準法に基づく通常建替えをした場合
- ②二項道路（廃道したうえで通路指定）沿道建物に対して「連担建築物設計制度」の適用により緩和・規制を行った場合

を想定し、それぞれの市街地防火性能への影響の違いを比較する。

(2) 想定した地区の状況

地区内の建物を建て替えて、地区の防火性能を向上させたい。しかしながら、建物は二項道路に面しており、敷地も狭小のため、二項後退をした上での個別建て替えは建築面積や延床面積が確保出来なく、建て替えの目途はたたない。

そこで「連担建築物設計度」を適用して、市街地防火対策に配慮した一体的な建替え計画を作成することで、既存道路の拡幅をせずに現行の敷地面積・形状のままで個別の建て替えを促進したい。その際、防火性能は確保出来るのか、どのような基準で適用すれば大丈夫なのか、といった点を明らかにしたい。

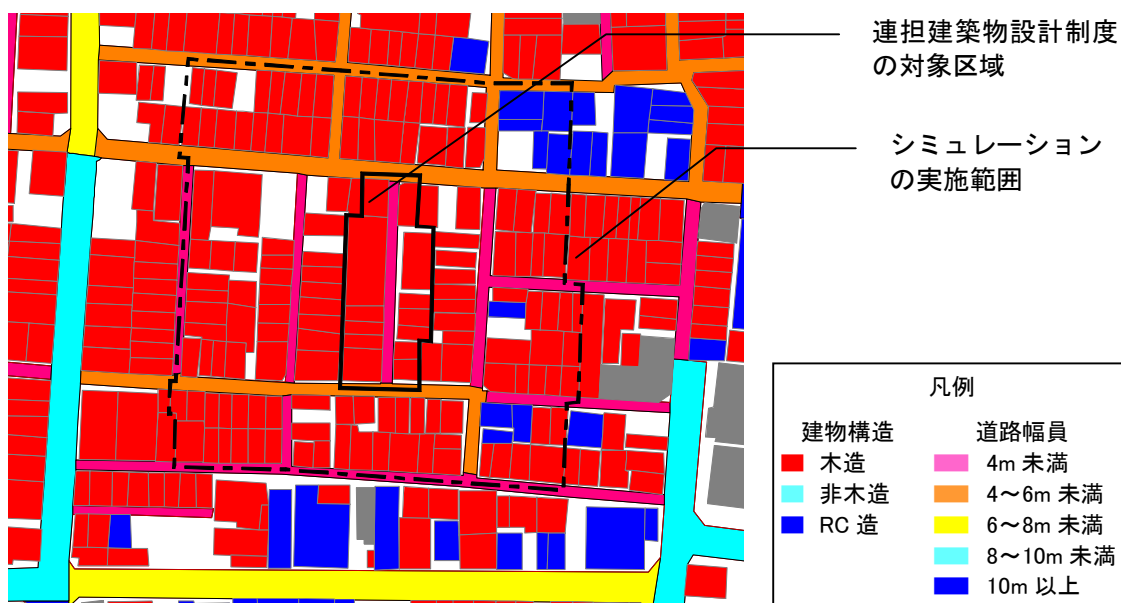


図 3-4-1 現況での建物構造と道路幅員

(3) 現況と各計画案の概要

連担建築物設計制度（以後、「連担」）は、対象区域を一団の敷地とみなして建ぺい率や容積率、道路斜線等の制限を適用する制度であり、以下のようなメリットがある。

- ・現況で無接道の敷地でも対象区域内に設けられる通路に面すれば建築の建て替えが可能
- ・狭小な敷地でも容積率や敷地内通路からの道路斜線制限が緩和されることから、通常の個別建替えに比べて規模が大きな建築が可能

そのため、連担が適用された箇所では現状より高密となる可能性があるので、対象区域における防災性能を確保するために、通路幅、建物の高さ、構造、開口部の配置等について適正な基準を設けた上で連担を適用することが望ましい。

そこで、連担適用時でも通常建替え並みの防火性能を確保できるかということをチェックするケーススタディの中で、連担適用時における通路幅や開口部の性能・配置の違いによる防火性能の違いも検討する。

具体的には以下の現況・計画案を作成してシミュレーションを行い、その結果を比較することによって進めた。

- ①現況
- ②通常建替え
- ③連担建築物設計制度の適用（通路幅 4.0m）
- ④連担建築物設計制度の適用（通路幅 3.5m）
- ⑤連担建築物設計制度の適用（通路幅 2.7m）
- ⑥連担建築物設計制度の適用（隣棟間の開口部は片側のみ、通路幅 4.0m）
- ⑦連担建築物設計制度の適用（隣棟間の開口部は無し、通路幅 4.0m）

(4) 計画案の作成とデータ作成

①現況

連担建築物設計制度の対象区域に接する道路の幅員は北側が 4.8m、南側が 4.0m であり、区域内を南北に貫く道路の幅員は 2.7m である。

対象区域周辺の建物は、概ね間口 3m×奥行 11mの敷地に、隣棟間隔をほとんど空けずに密集して建っている。ほとんどが木造住宅または長屋であり、階数は 1～3 階建てである。シミュレーションにあたっては、これを下表のように読み替えて個々の防火構造を設定した。

表 3-4-1 防火上の構造定義

構造	階数	防火上の構造
木造	1 階	木造
	2 階	防火造
	3 階	準耐火造
非木造	—	

②通常建替え

対象区域における現行の都市計画制限は以下の通りである。

- 用途地域：第1種住居地域
- 指定建ぺい率：80%（ただし、建ぺい率60%以上の建物は準耐火造）
- 指定容積率：300%（ただし、前面道路幅員による制限により $160\% = 4\text{m} \times 0.4$ ）
- 防火地域：準防火地域

上記の現行規制内容を踏まえ、連担適用区域内を南北に貫く幅員2.7mの二項道路を二項後退によって4.0mに拡幅することを前提に、下記の条件の基で建物形状や配置を設定した。

- 道路幅員：4mに拡幅（現道中心から2m後退）
- 道路側壁面後退：道路斜線を避けるために、道路境界から0.4m後退
- 隣地側壁面後退：敷地間口が狭いため隣地境界ぎりぎりまで建築する
- 建物構造：新築建物は「準耐火造」に建替えるものと想定
- 建物階数：2階建て（前面道路 $4\text{m} \times 0.4 =$ 容積率160%、建ぺい率80%として）
- 長屋の扱い：棟割の住戸単位で戸建住宅に建替え
- 開口部：市街地火災総合対策支援ツールによる自動生成

③連担建築物設計制度適用時

連担を適用時は、通常の個別建替えと比べると、下記のような相違点・特徴がある。

- ・適用区域の前面道路は北側の4.8m道路となり、前面道路幅員による容積率制限は $4.8\text{m} \times 0.4 = 192\%$ となる。
- ・現在の2.7m道路を敷地内通路とし、建物の壁面後退によって実質的な通路幅を確保する考え方を採れば、敷地面積も現状を維持できる。そのため、通常の個別建替えに比べて大きな床面積を確保できる。
- ・敷地内通路からは道路斜線制限を受けないため総3階建てを建てやすい。（ただし、適用区域の北端および南端に位置する建物はそれぞれ北側道路および南側道路からの道路斜線制限を受けるため、3階部分の壁面後退が必要になる。）
- ・現在の長屋も、相互の合意に基づきそのまま長屋建てで更新することが期待でき、区域内の建物の隣棟間隔を確保できる可能性がある。

この特徴を考慮し、連担適用時の建物形状や配置を下記のように設定した。

- 道路幅員：2.7m（現状のまま）
- 道路側壁面後退：実質的な通路幅が「2.7m」「3.5m」「4.0m」となる3種を設定
- 隣地側壁面後退：区域内建物の隣棟間隔は将来の建替えに備えて0.6m以上を確保
- 建物構造：新築建物は「準耐火造」に建替えるものと想定
- 建物階数：3階建て（前面道路 $4.8\text{m} \times 0.4 =$ 容積率192%、1階部分駐車場）
- 長屋の扱い：そのまま棟割の長屋建てで建替え
- 開口部：市街地火災総合対策支援ツールの開口部自動生成機能を用いて作成した後、

以下の加工を行う。

- ・ 1 階駐車場の開口下端は 0m、常時開放とした（部面材なし）
- ・ 隣棟間の開口は、自動生成プログラムによる「両面開口」のほか、南側壁面だけの「片面開口」、「隣棟間の開口なし」の 3 種を設定（通路幅 4.0m の場合のみ）

（5）シミュレーションの実行

このケーススタディでは、評価例として下記の条件でシミュレーションを実施した。

- 風 向：連担適用区域にほぼ直交する東風・西風・南風・北風の 4 方向とする。
- 風 速：当該地区の月別平均風速が概ね 2～3m/s であることから 3m/s とした。
- 出火点：連担対象区域の隣接建物を、東側・西側・南側・北側の建物群としてグルーピングし、この建物群列単位で出火（出火階は 1 階）させ、対象区域内の建物への着火時間と反対側の列の建物へ着火する時間を比較した。

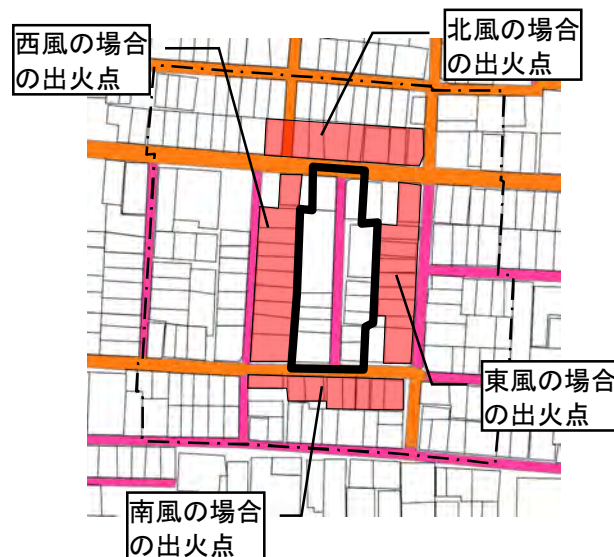


図 3-4-2 出火点の設定

（6）シミュレーション結果

各計画案におけるシミュレーション結果を、西風・東風のケースと南風・北風ごとにまとめたものが次表である。

西風の場合、いずれの計画案でも連担適用箇所への最短着火時間はほとんど変わらない。一方、通路をまたいで反対側に着火した時間は、通常建替えでは通路をまたいで直接延焼せず、周囲の建物経由で着火しているという状況ではあるが 69 分後である。それに対して通路幅には関係なく連担では 21 分後と、通常建替えより早く着火してしまっている。しかしながら通路幅 4.0m で開口部に制限を付けた場合には、通常建替え並みとなっており、これは連担適用箇所を突破した時間も同様である。

東風の場合は、連担で開口部に制限を付けた場合の計画案でも通常建替えより多少着火時間が早くなるものの、現状と比べれば数倍遅くなっている。

南風の場合は連担を適用しても通常建替えとほぼ同等の防火性能であり、北風の場合においては連担を適用した場合は通常建替え以上の防火性能を確保できることが分かった。

以上のことから、当該地区においては、通路幅 4.0m で連担を適用するだけでは通常建替えと同等の防火性能を確保できないものの、開口部に制限を付ければ、概ね通常建替えと同等以上の防火性能を確保できることが分かった。

表 3-4-2 着火時間一覧（西風、東風）

出火箇所 風向 風速	計画案	連担適用箇所への最 短着火時間	通路をまたいで反対 側に着火した時間	連担適用箇所を突破 した時間
西側列 西風 3m/s	現状	8 分後	17 分後	24 分後
	通常建替	10 分後	69 分後	76 分後
	連担(通路幅 4.0m)	8 分後	21 分後	42 分後
	連担(通路幅 3.5m)	9 分後	21 分後	28 分後
	連担(通路幅 2.7m)	10 分後	21 分後	33 分後
	連担(通路幅 4.0m)片側開口	11 分後	74 分後	124 分後
	連担(通路幅 4.0m)開口無し	11 分後	51 分後	75 分後
東側列 東風 3m/s	現状	12 分後	20 分後	29 分後
	通常建替	17 分後	150 分後	167 分後
	連担(通路幅 4.0m)	17 分後	30 分後	50 分後
	連担(通路幅 3.5m)	17 分後	27 分後	145 分後
	連担(通路幅 2.7m)	17 分後	25 分後	139 分後
	連担(通路幅 4.0m)片側開口	17 分後	130 分後	155 分後
	連担(通路幅 4.0m)開口無し	17 分後	85 分後	111 分後

※斜体は連担適用箇所外から回り込んで着火した場合

表 3-4-3 着火時間一覧（南風、北風）

出火箇所 風向 風速	計画案	連担適用箇所のうち最 も出火点側建物への最 短着火時間	連担適用箇所のうち 最も出火点側から遠 い建物への最短着火 時間	連担適用箇所を突破 した時間
南側列 南風 3m/s	現状	18 分後	49 分後	63 分後
	通常建替	44 分後	104 分後	129 分後
	連担(通路幅 4.0m)	44 分後	105 分後	129 分後
	連担(通路幅 3.5m)	45 分後	106 分後	134 分後
	連担(通路幅 2.7m)	47 分後	106 分後	134 分後
	連担(通路幅 4.0m)片側開口	44 分後	106 分後	130 分後
	連担(通路幅 4.0m)開口無し	44 分後	105 分後	130 分後
北側列 北風 3m/s	現状	15 分後	47 分後	67 分後
	通常建替	17 分後	83 分後	101 分後
	連担(通路幅 4.0m)	12 分後	96 分後	106 分後
	連担(通路幅 3.5m)	12 分後	97 分後	105 分後
	連担(通路幅 2.7m)	12 分後	99 分後	105 分後
	連担(通路幅 4.0m)片側開口	12 分後	96 分後	105 分後
	連担(通路幅 4.0m)開口無し	17 分後	95 分後	104 分後

※斜体は連担適用箇所外から回り込んで着火した場合

4. まとめと今後の課題

高度な市街地火災シミュレーション技術に関しては、上層階セットバック等、複雑な形状の建物の防火性能評価や、内装、床、外壁、内壁、屋根等の部材に応じたキメの細かな防火性能評価を実施可能な市街地火災シミュレーションプログラムの開発を行った。これによって、道路斜線制限の緩和による影響や、建物の上層階がセットバックした場合の影響が評価可能となったほか、道路に面した壁のみの防火補強や、内装のみを不燃化するなど、建物の部材ごとに防火補強をした場合などにおける市街地防災性能の向上について評価が可能となった。

市街地火災総合対策支援ツールに関しては、高度な市街地火災シミュレーションプログラムを制御し、シミュレーションプログラムに入力するデータの作成・簡易な編集、シミュレーション結果の読み込み、リアリティのある表示（3次元表示、火炎や煙を表現）・簡易な分析等の基本的な機能を実装した。これにより、シミュレーションデータの準備に要する労力を大幅に低減し、火災時の市街地の危険性、あるいは市街地整備事業等を導入した場合の効果を簡便に分かりやすく住民等に示すことが可能となった。

これらの技術開発によって、本総プロの目標の一つである災害危険情報の把握のうち、地震時における市街地火災の危険性について把握出来るようになった。

また、今後の課題としては下記の点があげられる。

- ・跳躍延焼に関する研究の進展に併せてモデル化と組み込み、及びモデルの検証

強風下において市街地の延焼性状に対して支配的な影響を及ぼす可能性のある飛び火による跳躍延焼過程に関しては、物理的なモデル化が十分にできていない。

モデルの検証に関しては、市街地火災についての基準とすべき検証データの作成自体が大きな課題であり、十分な検証ができていない。

- ・利用者として想定している地方公共団体にとって使いやすいツールとなるよう改善

一部において、本ツールに入力するデータを作成する際に、コンピュータプログラミングにより行うことが必要となる項目が残っている。誰もが簡便に利用できるよう、一層の改善が必要である。

リアリティのある市街地を再現するために、様々な材質の画像ファイルをライブラリとして用意する必要がある。

- ・ツールを活用した防災まちづくりの推進

本ツールは開発自体が目的ではなく、地方公共団体等が防災まちづくりにおいて利用して市街地の防災性能を向上させることが目的である。そのため、本ツールの効果的な使い方や具体の活用事例等について、今後も継続的に利用者や利用を検討する地方公共団体との情報交換を行っていく必要がある。

加えて、実際の防災まちづくりでの活用例の紹介をホームページ等で発信して本ツールの普及の契機とし、防災まちづくりに繋げていく必要がある。

第4章

基盤地図情報データベース更新のための技術開発

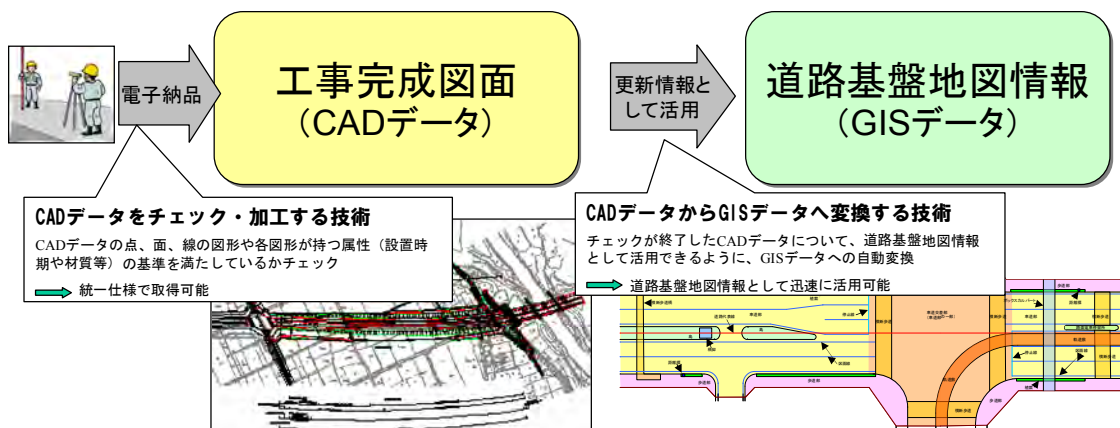
(1) 工事図面等を活用した更新の迅速化のための技術開発

1. 本テーマの位置づけ及びターゲット

近年、高分解能の人工衛星画像や航空機搭載のデジタル航空写真が実用化され、また、GPS 機能を持つカメラ付携帯端末が普及し、高度な画像処理による減災の基礎となる画像の取得を行う技術が確立されてきた。それらの多様な情報を集約するためには、基盤となる地図情報が重要な位置を占める。また、地理空間情報活用推進基本法においても、基盤地図情報整備の推進が謳われている。この様な情勢の中、道路に関しては、道路基盤地図情報の整備が率先して進められている。この道路基盤地図情報は、他の地図情報と比較して大縮尺であることから、基盤地図情報整備への貢献が大きく期待される。本テーマでは、基盤地図情報の更新を迅速化・高度化させることを目的とする。具体的には、大縮尺地図情報である道路基盤地図情報の更新を迅速化させる技術開発を行う。

2. 工事図面を用いた道路基盤地図情報の整備に対する基準・チェック技術の開発

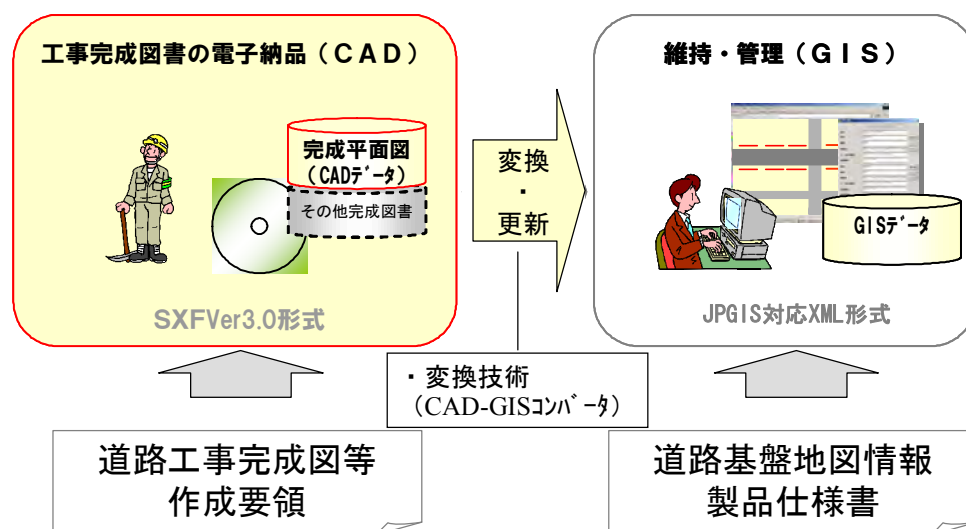
直轄工事においては平成 16 年度から全工事を対象に電子納品が進められているところである。この成果を用いることができれば、道路基盤地図情報の効率的な整備への貢献が期待される。この道路基盤地図情報から、道路縁や管理区域界が抽出可能である。道路縁および管理区域界は、共通基盤白地図・基盤地図においても共通な地物になるため、道路基盤地図情報の更新が迅速化されることにより、共通基盤白地図・基盤地図の更新へ寄与することが可能となる。そこで、電子納品成果である工事図面（CAD データ）から道路基盤地図情報（GIS データ）を整備するための流れを検討した（図－1）。



図－1 CAD データ電子納品による基盤地図情報更新の流れ

整備の流れにおいて、特に、電子納品の際には、発注者側で正しい CAD データを受け取るための「正しい CAD データの品質基準」と「品質をチェックするプログラム」の開発が必須となる。そのため、CAD データの作成方法を定めた道路工事完成図等作成要領を策定した。本要領に基づいて作成されたデータは、開発したチェックプログラムにより、品質を確保するためのチェックが行われる。

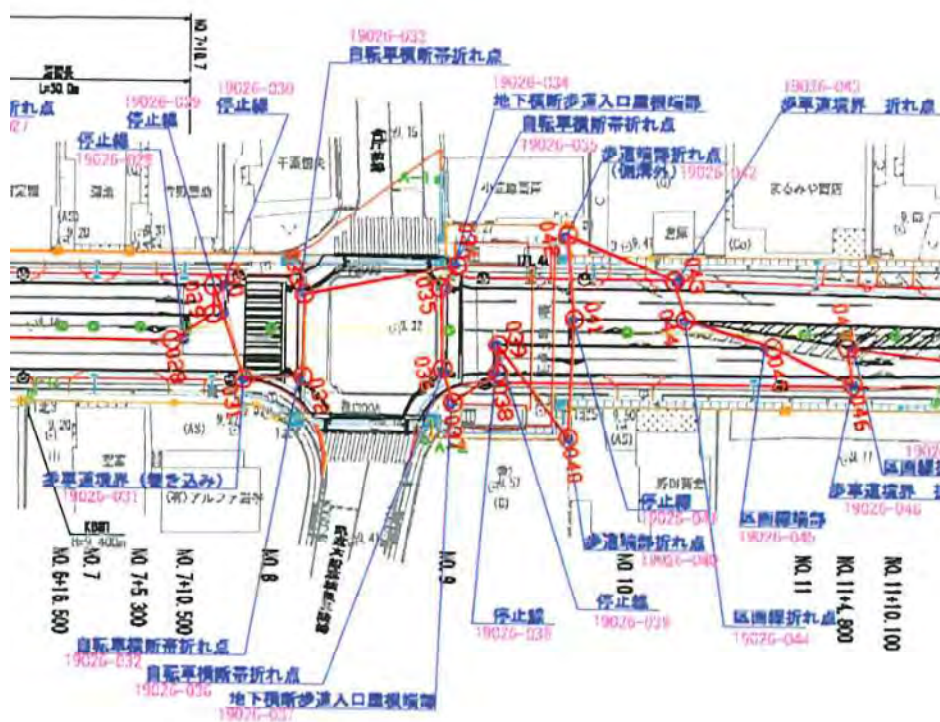
さらに、CAD データを道路基盤地図情報として活用するために、CAD データから GIS データへの変換が必要となるため、それぞれの標準仕様である SXF から JPGIS に準拠した XML への変換技術を開発した（図－2）。



図－2 基盤地図情報更新を実現するための仕組み

3. 道路基盤地図情報の接合・標定技術、更新技術の開発

前述(2)の基準を満たし、統一仕様により納品された工事図面の CAD データは、工事図面単位のものとなるため、基盤地図情報の更新に用いるためには、標定・接合処理が必要となる。標定・接合手法の開発にあたり、まず、地物毎の精度評価を行った。対象工事は、改良工事（完成平面図縮尺 1/500）、および維持修繕工事（完成平面図縮尺 1/1,000）とし、検証点として、主に車道境界（歩道部、植栽、島、車道部）、道路端（歩道部）、構造物（距離標、橋梁、ボックスカルバート、横断歩道橋、地下横断歩道、擁壁）、路面標示（区画線、停止線、横断歩道）等、284 点の計測を行った。図－3 に現地計測ポイントの例を示す。



図－３ 計測ポイント（赤字箇所）

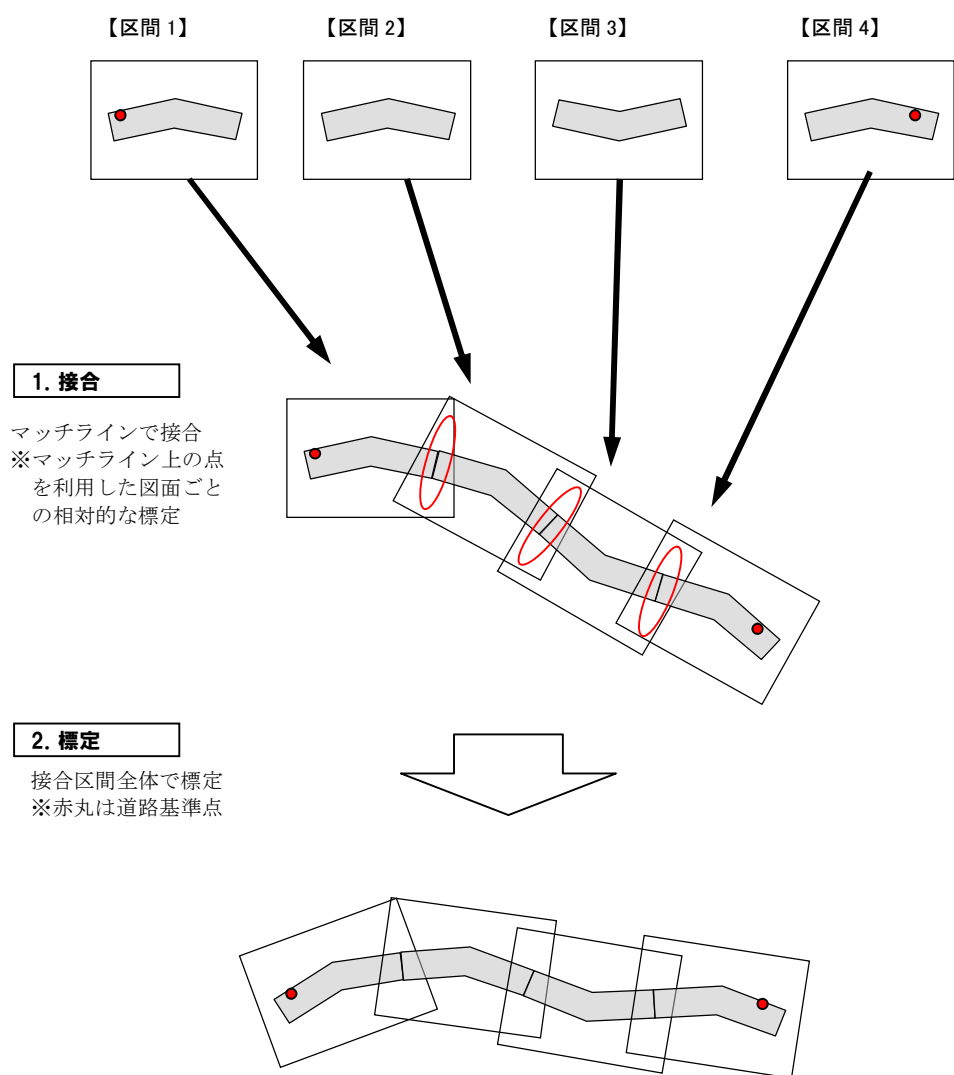
精度検証の結果、改良工事に関しては、基盤地図情報の 2500 レベル精度を担保していることを確認した。一方で、維持修繕工事に関しては、一部、精度が劣る地物がみられた。その理由としては、施工対象外の地物の経年変化や、複数の台帳附図をマッチライン等のみに基づいて繋ぎ合わせ、それを発注図として用いたこと等が考えられる。

本検討では、複数の工事で作成された完成平面図データ同士の接合や、単一工事で複数枚の図面として作成された完成平面図データの接合も想定した「接合・標定手法」の検討を行った。本検討においては、完成平面図の作成時における接合・標定手法、隣接工区で個別に作成された完成平面図（複数）間で位置ズレが大きい場合を想定した事後処理で行う接合・標定手法の両者について検討を行ったが、主に後者について示すこととする。

事後処理で行う手法は下記の 2 種である。

①図面間接合後に接合図面全体で標定する方法

図面に記載された接合・標定に利用する標定点が 2 点に満たない場合には、マッチラインで隣り合う図面同士を接合（マッチラインの点を利用し、一方の図面をもう一方の図面に相対的に標定）したあとに、図面全体で標定する（図－4）。



図－4 接合した図面全体で標定する手法

②基準となる図面に合わせて標定・接合する方法

接合する図面の中に道路基準点が 2 点以上の図面がある場合、この図面を位置合わせの基準として標定・接合する。具体的には、道路基準点が 2 点以上の図面（下図、区間 1）はそのままとし、その他の図面を道路基準点が 1 点以上となるまで接合（下図、区間 2・3）した上で、この道路基準点と区間 1 のマッチライン上の点を用いて標定する。なお、ここで区間 1 は前述の手法で接合・標定された場合も想定でき、この場合は、前述の手法と組み合わせた手法となる（図－5）。

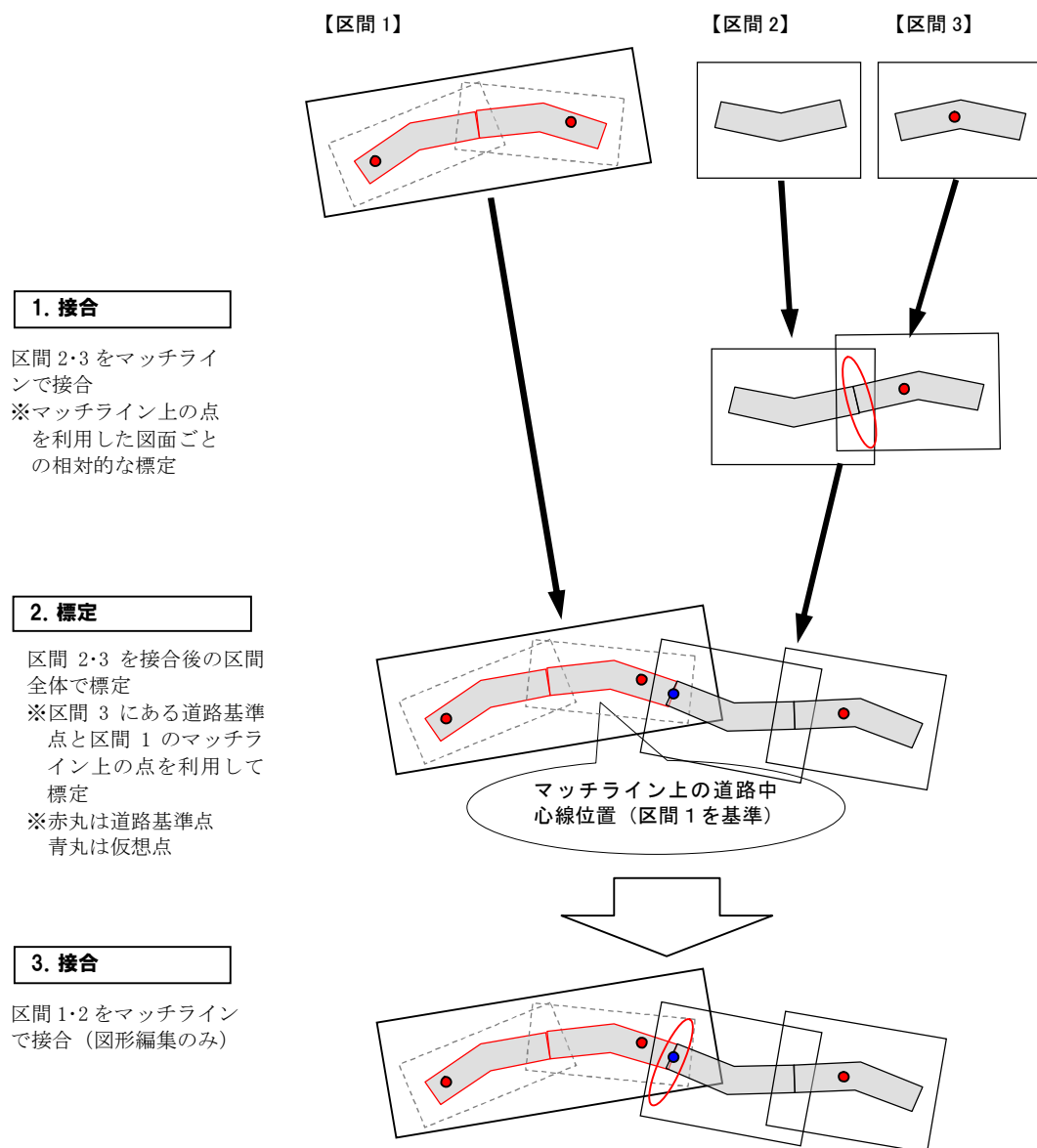


図-5 短い区間ごとでの接合・標定

上記の手法を整理すると表-1 の通りである。

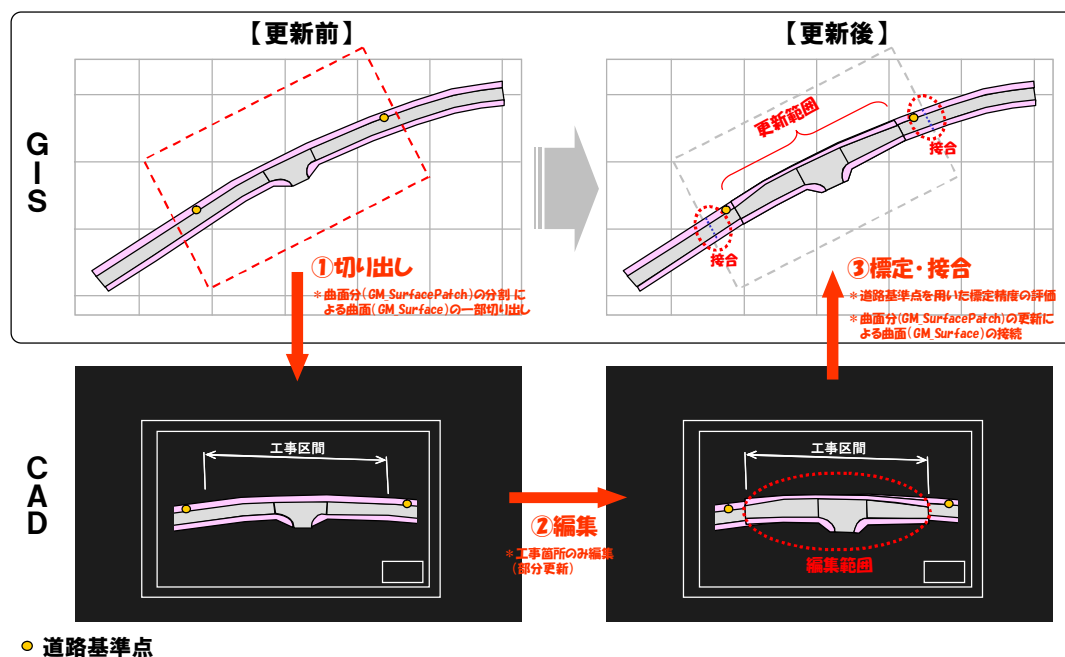
表-1 接合・標定手法

標定手法	メリット	デメリット
①図面間接合後に接合図面全体で標定する方法	現地計測にかかわるコストを抑えられる	接合時の歪みにより、精度低下を招きやすい
②基準となる図面に合わせて標定・接合する方法	接合による精度低下が抑えられ、位置正確度が向上する	接合部のずれが大きくなり、接合により歪みが生じる場合がある

検討手法を、上記の位置精度評価に用いたデータに適用した。その結果は下記のとおりである。

- ・ マッチライン箇所では接合後に道路基準点を用いて再標定することで、道路基準点間では 1/1000 レベル相当の位置精度のデータとなることが期待できる。
- ・ 道路基準点間より外側の区間では、接合時の拡大・縮小、回転による影響で、位置ズレが大きくなる傾向。これを基準に隣接区間との位置合わせを行った場合、隣接区間の位置ズレも大きくなる可能性がある。そのため、接合・標定後のデータは道路基準点間のみ採用が望ましい。
- ・ マッチラインでの接合精度が課題である（特に角度は大きく影響）。今後、道路中心線の線形データ等が利用できれば、マッチラインを線形に合わせてより正確に行える可能性がある。
- ・ 更なる精度向上に向けては、位置補正に用いる既知点の間隔を短くする必要がある。これには、敷地境界杭等の既存基準点の活用、道路基準点の補完点設置（500m ピッチ等）、一定ピッチでの点検測量の実施等が有効である。

整備された道路基盤地図情報を発注図として用いることにより、工事段階における工事図面の作成を効率化することが可能となる。その結果、工事図面を用いた道路基盤地図情報更新が容易になることが予想される。この一連の流れを確認するために、工事段階の完成時において道路基盤地図情報の部分更新の実験を行った（図－6）。



図－6 道路基盤地図情報の更新実験（全体イメージ）

主な検証項目は、下記の通りである。

①切り出し

技術的手法について検討。

- ・ 曲面の部分切り出し ⇒ 曲面分 (GM_SurfacePatch) の分割・抽出
- ・ 曲線の部分切り出し ⇒ 線分 (GM_CurveSegment) の分割・抽出

②編集

実工事におけるデータ更新実験を実施。

- ・ 部分更新作業によるデータ更新作業の評価（難易度、コスト等）

③標定・接続

技術的手法について検討・検証。

- ・ 道路基準点を用いた標定精度の評価
- ・ 一連の更新プロセス（切り出し～編集～標定）による位置ズレ量の把握
- ・ 接続部の位置ズレが生じた場合の補正方法の検討（一部）

以下に示すチェックを行った結果、元の座標情報を保持した状態で道路基盤地図情報を更新できることを確認した。

- ・ チェックプログラムによるチェック

道路工事完成図等チェックプログラムによるチェック及び目視確認を行い、エラーがないことを確認した（図－7）。

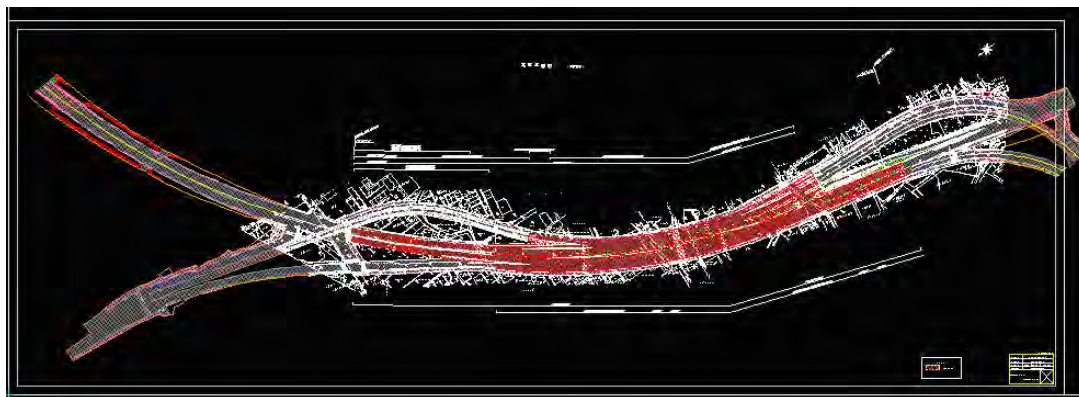
- ・ 数値地図との重ね合わせによるチェック

道路工事完成図等作成要領に示す 30 地物を数値地図と重ね合わせ、位置のズレやデータ欠落がないことを確認した（図－8）。

- ・ 更新前後の位置関係のチェック

更新前後の道路基盤地図情報を重ね合わせ、切り出しの際に分割した図形の頂点位置のズレがないことを確認した。

ただし、工事図面の作成効率化の点においては、これまで一からデータを作成することに比べて作業が効率化する一方で、部分的に作業が繁雑となる可能性があるという結果となった。



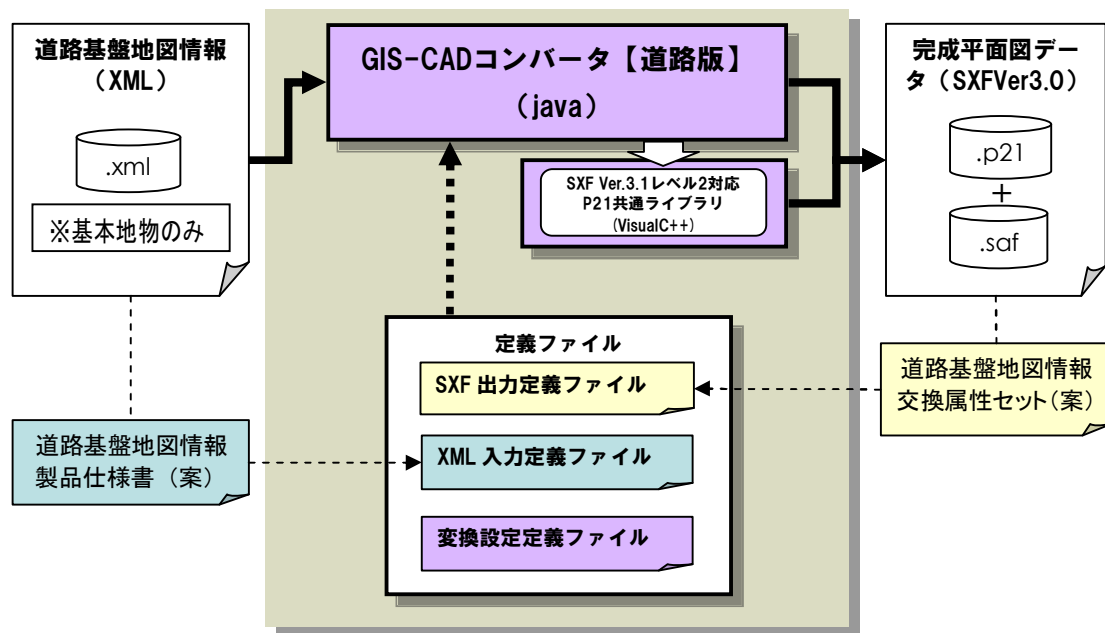
図ー７ 更新実験により作成された完成平面図データ



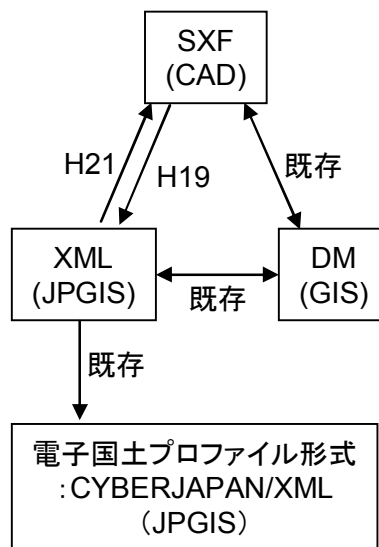
図ー８ 数値地図との重ね合わせイメージ

４．GIS-CAD コンバータの開発

基盤地図情報の更新処理を円滑化するために、GIS データの切り出し・接合処理、GIS データ (JPGIS) から CAD データ (SXF) への変換処理を自動化するための技術開発を行った (図ー９)。なお、現在流通している CAD データや GIS データの標準仕様は複数存在するが、GIS-CAD コンバータにより、全ての標準仕様間でのデータ変換が可能となり (図ー１０)、今後のデータ流通を促進 (測量～設計・施工～維持管理) することも期待される。



図－ 9 GIS-CAD コンバータの構成



図－ 1 0 各標準仕様間のコンバータ開発状況

5. 更新に係る一連のサイクルを実現するシステムの検討

道路基盤地図情報が管理される地図データベースを想定し、①データベースからの切出し、②CAD データへの変換、③完成平面図の編集、④完成平面図のチェック、⑤GIS データへの変換、⑥データベースの更新処理までの一連の作業を検証し、その課題と要件を整理した。具体的には、図－ 1 1 に示す①～⑥の対象について、課題・要件整理を行った。

- ・ サーバ側での切出し・更新処理の内容（図中①、⑥）

- ・ 関連プログラム（CAD・GIS コンバータ、GIS・CAD コンバータ、道路工事完成図等チェックプログラム）の内容（図中②、④、⑤）
- ・ 施工業者による完成平面図データ編集の内容（図中③）

検証は、データ更新ケースの種類が多い「拡幅工事」を想定し、具体的な更新手順を机上検討し、その結果を市販 GIS ソフトおよびこれまでに開発したコンバータ等を利用して実施した。データ更新の ID 変換仕様について取りまとめるとともに、この更新手順により概ね更新処理が実施できることを確認した。その他に、CAD データ編集時の留意点、座標変換による誤差に関する留意点があることを確認した。

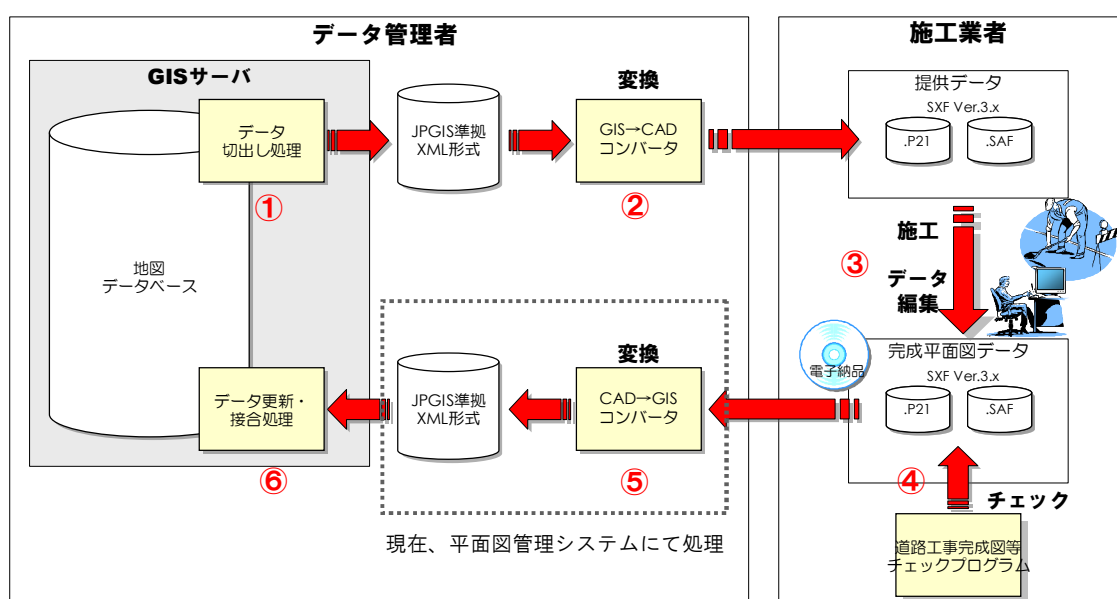


図 1-1 道路基盤地図情報の更新サイクル

6. 今後の課題

今後は、道路基盤地図情報から発注図を作成し、それを基に工事完成図を作成するための運用ルールが必要になる。また、それらを円滑に行うことを可能にするために、更新システムの整備が課題である。この際に、特に維持修繕工事における精度向上に向けて、図面標定手法の検討が必要となる。

また、整備された道路基盤地図情報を発注図として用いる場合には、面データの編集時の分割作業が煩雑となり一から作成したほうがよいと考えられるケース（元データの作成方法に依存）も散見されるため、対応策の整理を行い、データ更新作業の軽減を図る必要がある。この場合、作成済みのデータがどのような状況になっているかを把握する必要があり、この作業が比較的煩雑になる可能性がある。

(2) 仕様の異なる地図データ間の位置ズレの補正技術の開発

1. 業務概要

本業務は、平成19年度から平成21年度までの各年度において、下記の内容を実施した。

<平成19年度>異なる縮尺の地図からの対応点抽出手法開発作業

地図データ間の共通地物の座標差から位置ズレ量を計測。地図データの持つ位置誤差は、同一の仕様で作成された地図データ内でも均一ではないため、地図データ間の位置ズレ計測を半自動計測（対応点の自動抽出）する技術の開発を行った。

計測した位置ズレを平均計算的に誤差配分した補正モデルを作成した。補正モデルの作成においては地図データ項目毎の位置精度の信頼度を考慮して最適な重み付けを行う技術開発及び実証試験を行った。

<平成20年度>仕様の異なる地図情報を用いて地図情報を更新する手法の開発業務

計測した位置ズレを平均計算的に誤差配分した補正モデルの作成作業を継続して行い、さらに、地図データに補正モデルの適用ルールを策定した。補正モデルによる計算処理に加え、直線道路の形状保持や道路縁と建物がかさならないように、全図式項目に対し補正モデルの適用ルールを定め、補正ソフトウェアを開発した。

<平成21年度>

前年までに開発したソフトウェアを用いた実証実験作業を実施した。

2. 異なる縮尺の地図からの対応点抽出手法開発作業

2-1 業務目的

本業務では、異なる縮尺の地図データの重ね合わせを円滑に行うため、異なる縮尺の地図データから対応する点の組の候補（基準点候補）を抽出する手法を開発した。本業務では、実際の使用場面にに基づき、異なる縮尺の地図とは、都市計画基図と道路台帳付図に想定して開発をすすめることとした。

ただし、開発された手法は想定した図面に依存することの無いよう、仕様、作成時期等が異なる同縮尺の地図データにも対応できるよう留意してすすめた。

①計画準備



②対応点抽出アルゴリズムと検証用プログラムの開発

206

ラムは、C++言語、あるいはArcGIS 上で利用可能な言語で開発した。

(1) 要求仕様の確認

本業務で開発するアプリケーションのシステム要件を確認した。

(2) アルゴリズム設計

前項で確認したシステム要件に基づき、対応点抽出の基本アルゴリズムの設計を行った。

(3) プログラム詳細設計

前項で策定したシステム要件及び基本アルゴリズムに基づき、開発するプログラムの詳細仕様（開発言語・運用環境の構成決定や支援・管理ツール類を含む）を策定した。

(4) プログラム開発

前項で策定したプログラム詳細仕様に基づき、プログラム本体及び支援ツール類を開発した。

③対応点抽出アルゴリズムの検証

前章で開発したプログラムを、指定されるテストデータに適用し、アルゴリズムとプログラムの動作を確認した。次に、このプログラムを複数の地区の実データに適用し、抽出した基準点候補の位置精度、抽出数を算出し、これらに影響を及ぼす要因を調査した。動作が不十分な場合は、アルゴリズムあるいはプログラムの改良を行った。

(1) 検証計画の策定

開発するプログラムの動作試験及びアルゴリズム評価において実施・確認すべき試験・評価項目を洗い出し、試験・評価内容に漏れや偏りが生じないようにシステム動作試験・評価計画書を作成した。

(2) テストデータの作成

指定されるテストデータ及び実データを、必要に応じて開発するプログラムで処理できる形式に変換・調整し、また、前項で策定するシステム動作試験・評価計画に基づき必要となるテストデータの作成を行った。

(3) 動作試験の実施

前項で策定するシステム動作試験・評価計画に基づき、プログラムの総合動作試験を実施した。

(4) 動作試験結果の検証

動作試験により得られた試験結果内容の解析及び評価を行った。

2-3 システム詳細設計

2-3-1 対応点抽出アルゴリズム

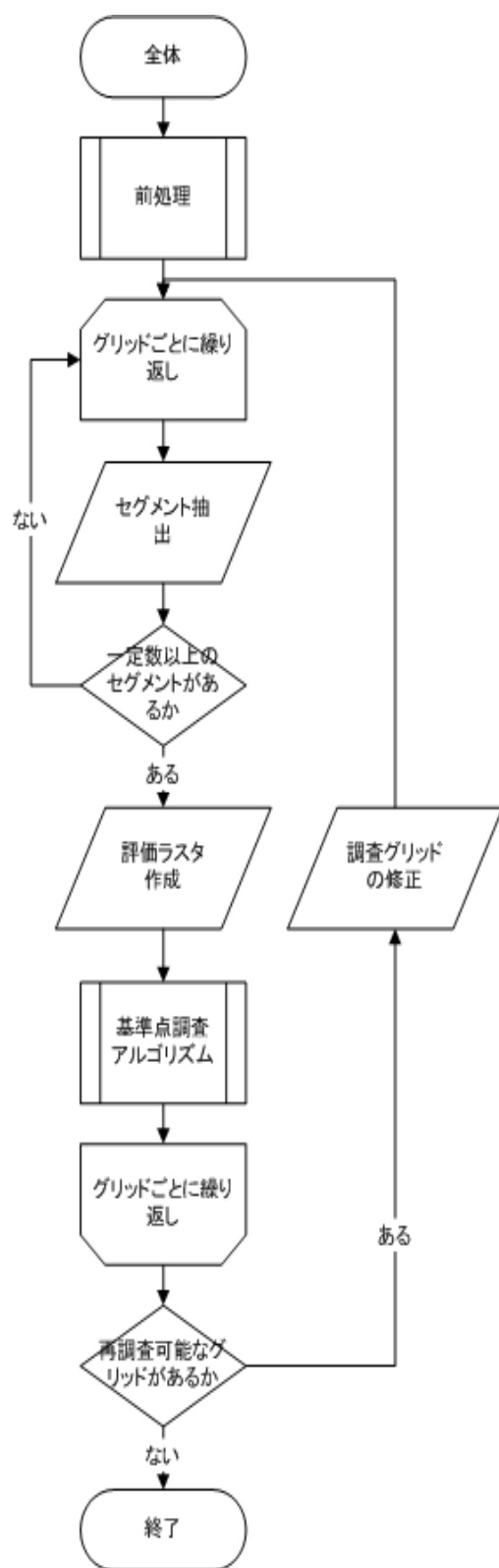


図 2-2 : 全体フロー

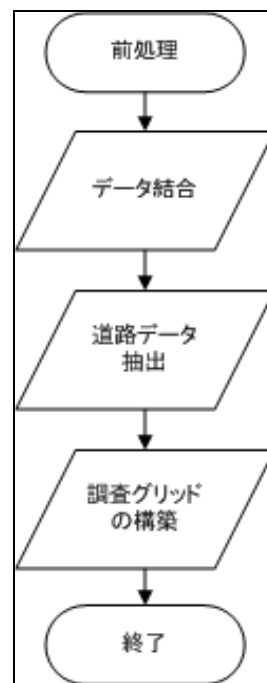


図 2-3 : 前処理フロー

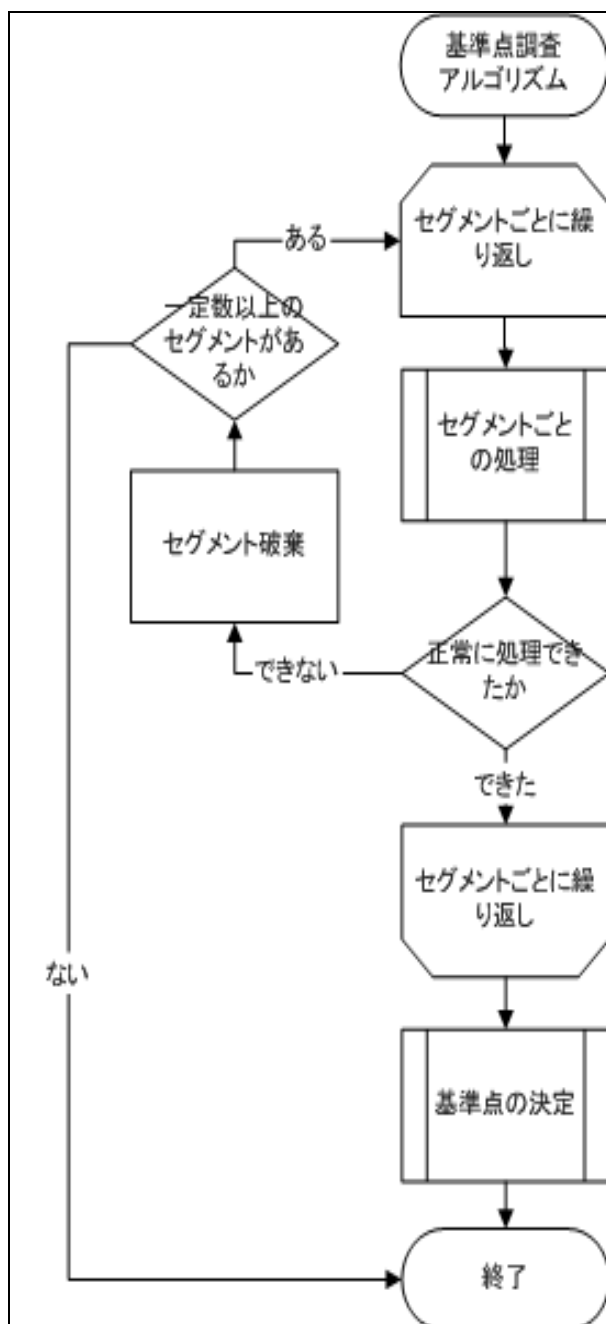


図 2-4 : 基準点調査アルゴリズムフロー

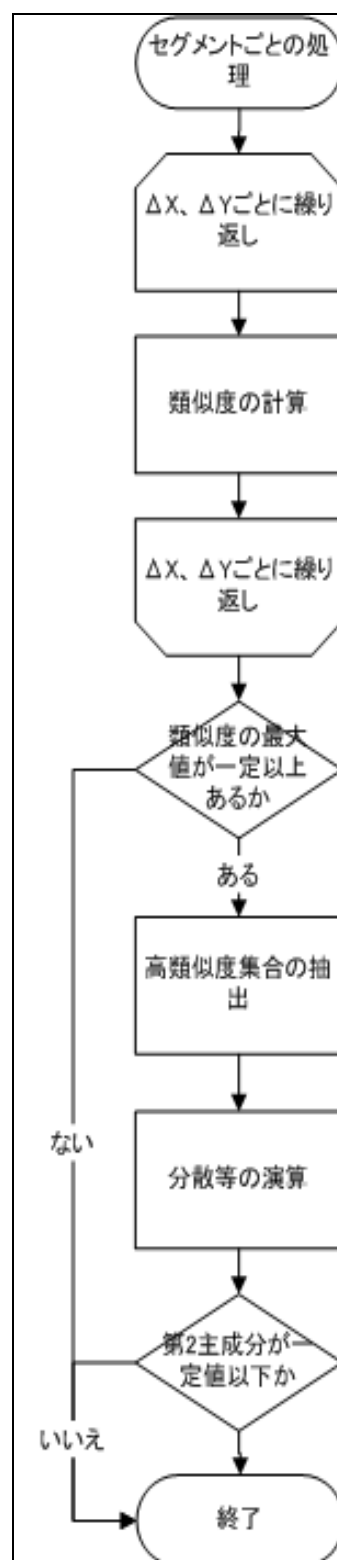


図 2-5 : セグメントごとの処理フロー

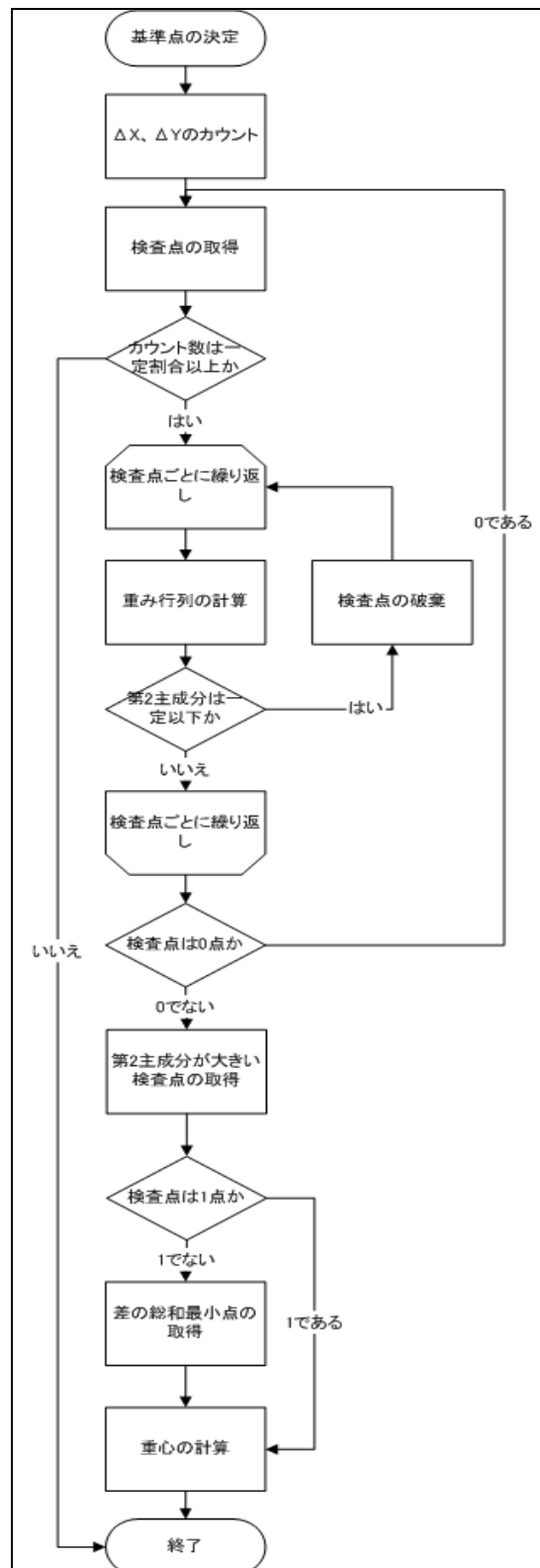


図 2-6 : 基準点の決定フロー

2-4 対応点抽出アルゴリズムの検証

本業務で開発したプログラムのアルゴリズム及びプログラムの動作について、複数の地区の実データを基に、抽出される解析結果（基準点候補の位置精度、抽出数など）の妥当性を検証・評価することで確認した。また、解析時に指定する解析パラメータが、解析結果へ及ぼす影響要因について、検証を行った。

本業務で実施したアルゴリズム検証経緯及び結果を以下に整理する。

2-4-1 検証計画

2-4-1-1 対応点抽出アルゴリズム検証方針

対応点抽出アルゴリズム検証の計画及び実施においては、以下の検証方針を定め実施することとした。

- (1) 対応点抽出アルゴリズム検証作業の実施においては、事前に検証計画を策定して、検証実施内容に漏れや偏りが生じないようにする。
- (2) 抽出された検証点の位置的精度の妥当性の判断については、検証者が評価データ（地形データ）の持つ特性等を踏まえつつ、視覚的な判断に基づいて行うこととする。
- (3) 検証対象とする評価データの選定については、通常的なものから例外的な要素を含むものまでの全般について行うこととする。
- (4) 検証結果として、評価データの特徴に左右されない解析パラメータの特定を目標とする。
- (5) 検証作業において、アルゴリズムあるいはプログラムの改良が必要と判断される事象が生じた場合は、監督員と協議に基づき改良実施の可否を決定する。

2-4-1-2 対応点抽出アルゴリズム検証実施フロー

対応点抽出アルゴリズム検証の実施フローを以下に示す。



図 2-16 : 検証実施フロー

2-4-1-3 評価データの概要

本検証作業においては、以下に示す複数の地区の実データを評価データ（地形データ）として使用した。

担当 地測	都道府 県名	使用範囲 (市町村名)	公共測量 助言番号	成果の種類	縮尺	成果の正式名称
東北	福島県	福島市	H15B0163 H15B0208	都市計画図	2500	県北都市計画図
			H18B0179(500) H16B0228(1000)	道路台帳	500 1000	道路台帳附図
近畿	和歌山県	和歌山市	H14F0250 H15F0178 H16F0191 H17F0116 H18F0535	都市計画図	2500	和歌山市都市計画図
			H15F0015	道路台帳	500	和歌山市都市計画街路図
北陸	新潟県	見附市	-	都市計画図	2500	国土基本図
			-	道路台帳	500 1000	県道、市道

2-4-1-4 検証計画の詳細

本検証作業は、以下の3つのフェーズにより段階的に進めるものとする。

- (1) プログラム総合動作試験フェーズ
- (2) アルゴリズム検証試験フェーズ
- (3) 改良プログラムによるアルゴリズム再検証試験フェーズ

各検証フェーズの詳細を以下に示す。

(1) プログラム総合動作試験フェーズ

本検証フェーズは、前章で設計されたアルゴリズムの通りプログラムが開発され、動作及び解析が行われているか確認することを目的とする。

なお、本検証フェーズの実施においては、事前に動作確認・評価すべき全ての検証項目を洗い出しテスト仕様書を作成することで、テスト内容に漏れや偏りが無いよう配慮した。

動作条件に合致する実行環境により、主に以下の観点に留意し検証計画を策定し、計画する検証項目全てについて、正常に動作するか確認する。

- ① プログラム設計機能に基づく網羅的な動作試験及び解析結果の確認を行う。
- ② 異常な例外的な評価データを処理した場合のプログラム挙動を確認する。
- ③ 評価データの規模や特徴に基づき、解析処理スピードの結果を確認・整理する。

(2) アルゴリズム検証試験フェーズ

本検証フェーズは、評価データとして準備した実データを用いて、抽出される解析結果（基準点候補の位置精度、抽出数など）の妥当性を検証・評価することを目的とする。

なお、本検証フェーズの実施においては、事前に動作確認・評価すべき全ての検証項目を洗い出しテスト仕様書を作成することで、テスト内容に漏れや偏りが無いよう配慮した。

動作条件に合致する実行環境により、主に以下の観点に留意し検証計画を策定し、計画する検証項目全てについて、正常に動作するか確認する。

- ① 解析パラメータの検証レンジ及び各パラメータの特性に応じた組合せなどを考慮し、効率的なシュミレーションパターン工夫する。
- ② 調査グリッド毎に予め基準点候補の位置精度を定め、適切な解析結果を得る為の解析パラメータの組合せを求める。
- ③ 評価データの特徴に左右されない解析パラメータの組合せを求める。

(3) 改良プログラムによるアルゴリズム再検証試験フェーズ

本検証フェーズは、アルゴリズム検証試験フェーズの結果に基づき、改良されたプログラムの妥当性を検証・評価することを目的とする。

なお、本検証フェーズの実施においては、事前に動作確認・評価すべき全ての検証項目を洗い出しテスト仕様書を作成することで、テスト内容に漏れや偏りが無いよう配慮した。

動作条件に合致する実行環境により、主に以下の観点に留意し検証計画を策定し、計画する検証項目全てについて、正常に動作するか確認する。

- ①改良により期待される成果が得られているかを検証する。
- ②前検証フェーズで得られた解析パラメータの組合せ結果などの成果に対して、改良により想定外の影響を生じさせていないことを確認する。

2-4-2 検証実施結果及び評価

検証計画に基づき実施した対応点抽出アルゴリズムの検証結果について、以下に整理する。

2-4-2-1 プログラム総合動作試験結果及び評価

プログラム総合動作試験フェーズについては、前章で示した検証計画に基づく全ての検証項目について検証作業を実施し、プログラム品質に問題ないことを確認できた。

2-4-2-2 アルゴリズム検証試験結果及び評価

アルゴリズム検証試験フェーズについては、前章で示した検証計画に基づき実施したアルゴリズム検証結果及び評価を以下に整理する。

(1) 解析パラメータの検討

本解析を実施するに当たっては、いくつかのパラメータを規定し、評価データの調整及び検証作業を実施した結果、下記パラメータにおいて目視による結果とよく一致するようになった。

表 2-1 : 規定パラメータ

規定したパラメータ	規定した値	根拠
ΔX 単位距離	0.5m	1/500 の地図データの誤差標準偏差 (σ) が 0.35m、1/2500 の地図データの σ が 1.75m である。 1/500 の σ を超える精度で解析を行っても信頼性が向上しない。
ΔY 単位距離	0.5m	同上
ΔX 最大値	10	1/2500 の地図データの 2σ の距離 3.5m を超える範囲での解析を検証する。
ΔY 最大値	10	同上
解像度	0.1m	検証のため変更

規定したパラメータ	規定した値	根拠
類似度減算率	5mで0	ΔX 単位距離× ΔX 最大値の距離に合わせた。
負になることを許可	許可しない	事前の打ち合わせによる。
調査グリッドサイズ	20m	事前の打ち合わせによる。
必要セグメント数	5	調査グリッドごとに 10 以上のセグメントがある。また、この条件により検出が不可能となったことが抽出できる。
必要類似度	7.5	最高類似度に求められる値であり、調査グリッドの選別時に結果が出ないようなものは目視により除外している。また、この条件により検出が不可能となったことが抽出できる。
重み行列の制限値	0.1	推測によりこの条件に当てはまるものは出ないと判断した。また、この条件により検出が不可能となったことが抽出できる。
第 2 主成分しきい値	9999	推測によりこの条件に当てはまるものは出ないと判断した。また、この条件により検出が不可能となったことが抽出できる。
検査点必要カウント割合	0.0001	推測によりこの条件に当てはまるものは出ないと判断した。また、この条件により検出が不可能となったことが抽出できる。
検査点第 2 主成分しきい値	0.0001	推測によりこの条件に当てはまるものは出ないと判断した。また、この条件により検出が不可能となったことが抽出できる。

2-4-2-3 プログラム改良の実施内容

アルゴリズム検証試験の実施結果及び評価に基づき、プログラムの改良が必要であると判断され、実施した改良作業を以下に整理する。

2-4-2-4 改良プログラムによるアルゴリズム再検証試験結果及び評価

改良プログラムによるアルゴリズム再検証試験フェーズについては、前章で示した検証計画に基づく全ての検証項目について検証作業を実施し、改良により期待される成果が得られたこと、並びに、改良により想定外の影響が解析結果に生じていないことを確認できた。

2-5 平成19年度作業のまとめ

平成19年度作業では、異なる縮尺の地図データの重ね合わせを円滑に行うため、異なる縮尺の地図データから対応する点の組の候補（基準点候補）を抽出するプログラムの開発を行った。

プログラムを開発する上では、実装したアルゴリズムの解析処理条件（解析パラメータ）を柔軟に変更し実行できるよう配慮を行った。また、プログラムの実用性や拡張性を考慮し、ESRI ArcGIS が提供する解析等オブジェクトの活用を図るなど、今後の柔軟なシステム改善や解析品質、性能アップに十分対応できるものであると考えている。

次に、対応点抽出アルゴリズム検証の総括と今後の課題について整理する。

2-5-1 対応点抽出アルゴリズム検証の総括

対応点抽出アルゴリズムの検証においては、複数の地区の実データを用いて、開発したプログラムのアルゴリズムの検証を行うと共に、最適な基準点候補を抽出するための解析パラメータの検討を行った。この検証作業において、解析処理に与えるパラメータの組合せにより、大きく解析結果が変動することを確認できた。

また、今回の対応点抽出アルゴリズムの検証作業において、次に示す課題事項があることが判明した。この課題事項とは、下図に示す通り解析対象とする範囲の直ぐ外側にある図形（フィーチャ）による評価点が考慮に入れられていなかったことである。

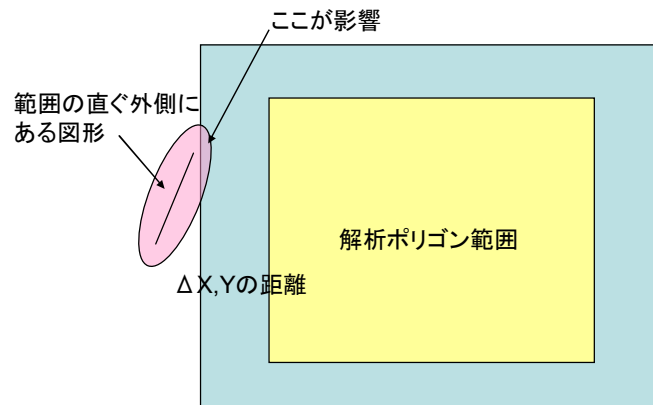


図 2-17 : 課題事項

この課題事項については、本業務の中でプログラムを改善するまで至らなかったが、今後のアルゴリズムの見直し中で対応が望まれる事項であると考える。

今後の展開としては、さらに多くの評価データによる検証（シュミレーション）の実施と、合わせて対応点抽出アルゴリズムの精度向上を継続的に実施することが必要であると考え

3. 仕様の異なる地図情報を用いて地図情報を更新する手法の開発業務

3-1 業務目的

本業務は、平成 19 年度業務の成果に基づき、精度レベルが 2500 又はそれより高い地図情報（以下「修正対象」という）を精度レベル 1000 又はそれより高い地図情報（以下「修正資料」という）を用いて更新するための手法を開発することを目的とする。

3-2 業務の内容

3-2-1 処理フロー

- (1) 修正資料の道路縁ラインを結合して道路面領域を作成する。
- (2) 修正対象の道路縁ラインの座標登録方向を変更する。座標登録方向は、道路縁ラインを結合して作成した右回りの街区面領域の座標登録方向と同じにする。
- (3) 修正対象の道路縁ラインの点座標と道路面領域の点座標の距離が、指定距離以内の場合、道路縁ラインの点座標を道路面領域の点座標に自動変更する。
- (4) 修正対象の道路縁ラインの辺と、道路面領域の辺が完全に一致している場合、道路縁ラインの辺を削除する。
- (5) 修正対象の道路縁ラインと道路面領域とが交差している座標に点を挿入する。そのとき、道路縁ラインを交点で分割する。
- (6) 道路面領域が内包している修正対象の道路縁ラインを消去する。
- (7) 修正対象の道路縁ラインの辺と、道路面領域の辺が対応していると判断できる場合、修正対象の道路縁ラインの辺を削除する。
- (8) 修正対象の道路縁ラインの端点から道路面領域までのラインを延長する。そのとき、道路面領域にも点を挿入する。
- (9) 不要な修正資料の道路縁ラインを削除する。
- (10) 処理（2）で座標登録方向を変更した道路縁ラインの方向を元に戻す。

3-3 平成20年度作業のまとめ

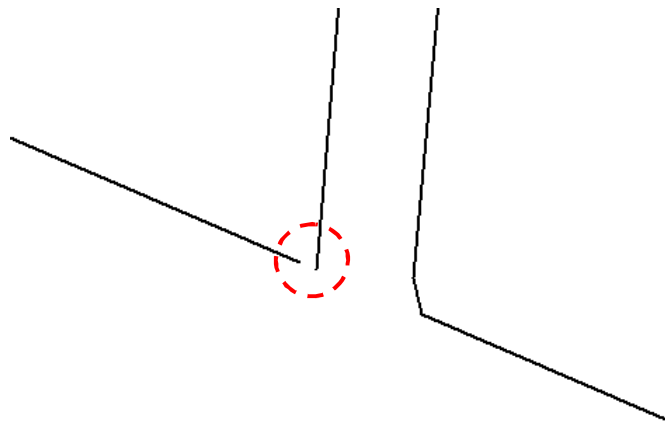
①自動結合した道路縁ラインで街区面を作成できない場合、処理(9)が正常に動作しない。

処理(9)を正常に動作させるのに重要なことは、街区面を右回りで登録することである。修正対象の道路縁ラインを結合して、面になった場合は登録方向を右回りに変更することが出来る。また、結合した道路縁ラインの始点座標と終点座標の距離が近い場合も、始点座標と終点座標に仮のラインを追加登録して右回りの街区面を作成することができる。始点座標と終点座標の距離が遠い場合でも仮のラインを追加登録し、街区面として認識し、登録方向を右回りにすることが出来るが、その面が実際の街区面を表す確率が低くなる。【図 3-22】

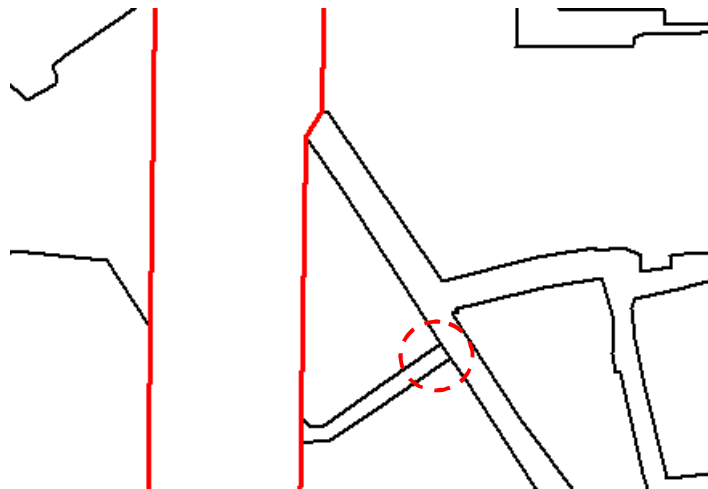
また、道路縁ラインの始点が、同じ座標に3点以上存在するケースがあり、この場合はラインを結合することが出来なかった。【図 3-23】

また、道路が交差している場所でも、自動で正確な街区面を作成することができなかった。【図 3-24】

手動での作業も含めて街区面を作成しておくか、高架および地下の道路縁ラインが認識できれば、処理(9)での処理結果が向上する可能性が高くなる。



【図 3-22】道路縁ラインの点が2点で一致していないためラインを結合できない例



【図 3－23】道路縁ラインの点が3点同座標に存在するためラインを結合できない例



【図 3－24】道路の交差が多いため、正確な街区面を自動で作成できない場所の例

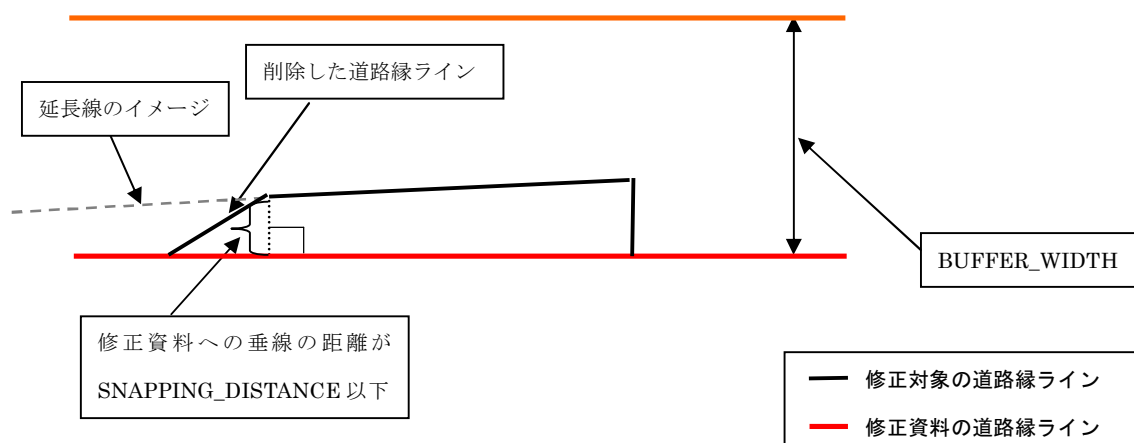
②道路縁ライン延長処理が、正常に動作しない場合がある。

修正対象の道路縁ラインの辺が、修正資料の道路縁ラインの近くにあり、2本の道路縁ラインのなす角度が小さい場合、修正対象の道路縁ラインの延長線が、修正資料の道路縁ラインと交差しない場合がある。または、延長する距離が長くなる場合がある。【図 3-25】

よって、このような箇所では、修正対象の道路縁ラインと修正資料の道路縁ラインの交点を作成されず、処理（9）が正常に動作しない。

このような道路縁ライン延長処理における失敗を少なくする方法としては、削除した道路縁ラインを元に戻す方法が考えられる。延長処理が失敗した箇所において、削除した道路縁ラインの始点または終点座標が修正資料の道路縁ライン上に存在していた場合は、削除した道路縁ラインを元に戻して、修正対象の道路縁ラインと修正資料の道路縁ラインの交点を作成すればよい。

削除した道路縁ラインの始点および終点座標が修正資料の道路縁ライン上に存在していなかった場合は、延長に失敗した道路縁ラインの端点座標をファイルに出力し、その箇所を目視確認し、手動で修正する方法が考えられる。



【図 3-25】 修正対象の道路縁ライン全体が接続領域内側にあつて、一部線分を削除した道路縁ラインの延長が、道路面領域と交点をもたない例

4. 実証実験

4-1 業務目的

本業務は、平成 20 年度の業務成果を用いて、実際のデータへの適用実験を行い、その手法の適用範囲を明確にし、その手法の改善に必要な情報を調査することを目的とする。

そのため下記の作業を実施した。

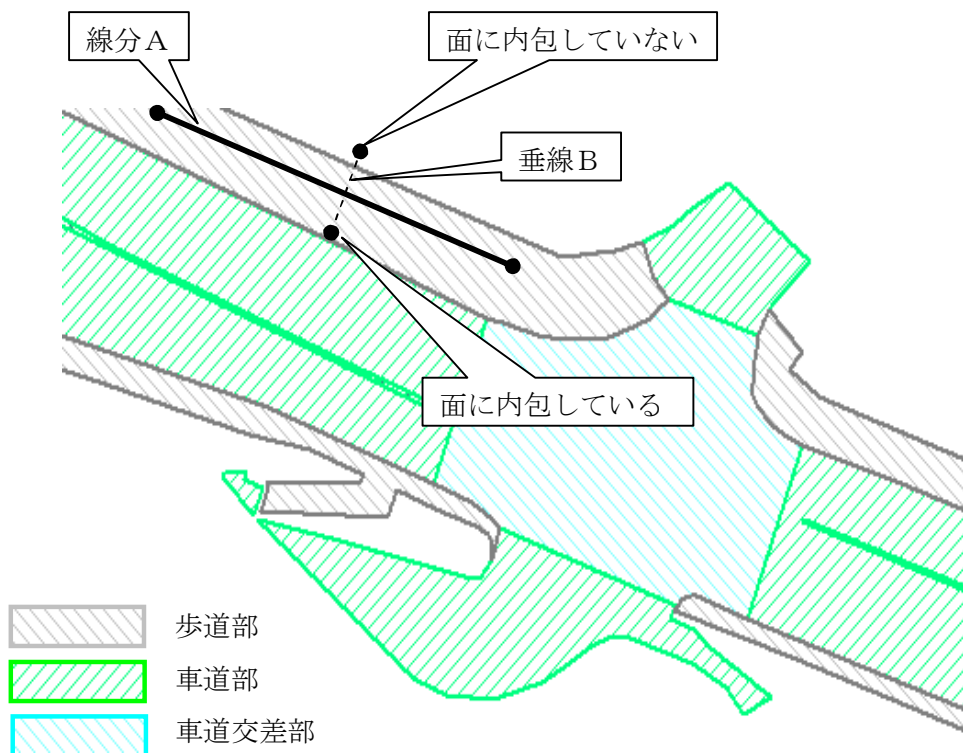
- ・道路縁相当データの抽出方法の検討
- ・更新プログラムによる更新実証実験
- ・更新実証実験の結果の整理および評価
- ・更新困難箇所の類型化および手法改善

4-2 道路基盤地図情報の道路縁データの抽出

道路基盤地図情報は車道部、歩道部など様々な面データを持つのに対し、基盤地図情報は道路縁を線データとして持つ。そのため更新プログラムを適用するにあたり、道路基盤地図情報から道路縁に相当するデータを抽出する必要がある。昨年度の試行作業においては道路基盤地図情報の道路縁を手動で抽出していたが、更新の効率化のため、抽出の自動化を試みた。

4-2-1 道路縁ライン自動抽出の検討

面を構成する線分 A の中間点を通る短い垂線 B を自動で発生し、その両端の座標の 1 つが面データに内包していない場合、線分 A を道路縁と判断する。



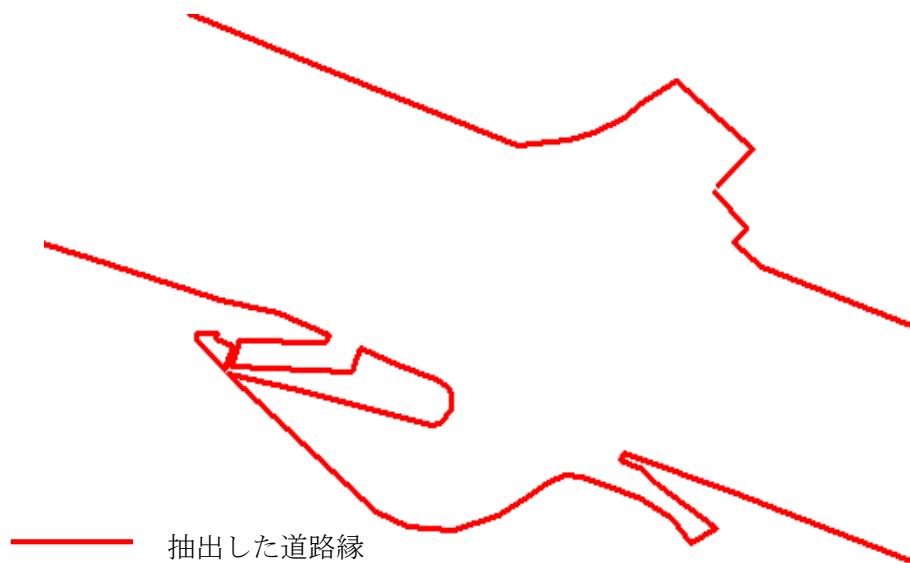


図 4 - 1 道路縁を自動で抽出する方法

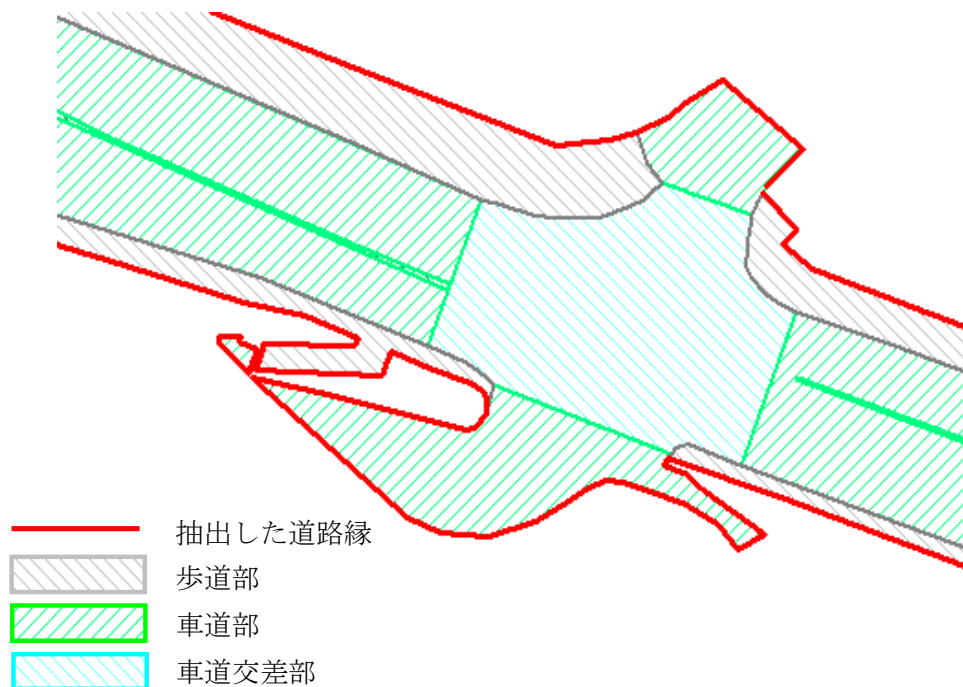


図 4 - 2 基盤地図情報データと抽出した道路縁の重ね合わせ

道路縁ライン自動抽出手法を用いて実験を行った結果、自動処理に加えて手動による修正を加えなければならない例が見られた。

手動操作により修正が必要な場合を以下に示す。

- ・交差部分に形状点がなく、線分同士が交差する場合
- ・交差点部分でポリゴンが分割されていない場合

なお、道路基盤地図情報データの問題により不適切な道路縁の形状となる場合があった。また、今回の実証実験では、道路の上下関係を考慮せずに道路縁抽出をしたため道路が交差している箇所は道路幅が広くなることがあった。以上の道路縁ライン自動抽出の検討の結果、自動処理は、ある程度可能で効率化できたが手動による抽出もある程度必要であることがわかった。

4-2-2 更新実証実験及び更新モデルの構築

直轄国道の数路線の道路基盤地図情報と、同地域の基盤地図情報の道路縁データについて、更新プログラムによる更新実証実験を行った。適切に更新が行われた箇所と行われていない箇所の道路延長の割合により更新プログラムを評価し、更新困難箇所の類型化により適用範囲について検証を行った。

(1) 使用するデータ

- ・修正資料

道路基盤地図情報データの道路縁から作成した面データ（以下、「道路面領域」という）。

ファイルの形式は、Shapefile 形式。

- ・修正対象

基盤地図情報データの道路縁を結合して右回りにした面データ（以下、「街区面領域」という）、面データにならなかったデータ（以下、「道路縁」という）。

ファイルの形式は、Shapefile 形式。

(2) 使用するプログラムおよびアプリケーション

- ・「地図更新プログラム」 mapupdate.exe

地図の自動更新に使用する。

- ・地理情報編集システム NIGMASX Ver.7.00

道路面領域、街区面領域、道路縁の作成に使用する。

4-2-2-1 実験方法

- ①「地図更新プログラム」を用いて、街区面領域と道路縁を自動更新する。
- ②適切に更新が行われている箇所と行われていない箇所の道路延長を計測し、それぞれ

れの道路縁の長さを計測する。また、それぞれの道路縁の数を集計する。
基盤地図情報データと道路面領域の一致は、手動操作での更新結果と同じようになっているかを目視で確認し判定する。その判定結果で色を分け、色毎の延長距離と道路縁数を集計する。

(1) 道路延長の計測について

道路面領域の道路縁を自動更新の状態によって、以下の4つに分類し、それぞれの延長を計測する。

<道路縁の分類>

- ①適切に更新された道路縁
- ②適切に更新されない道路縁
- ③左右の道路縁を結ぶライン
- ④基盤地図情報データが存在しない道路縁

分類の色と線種は図 4-10 のとおり。

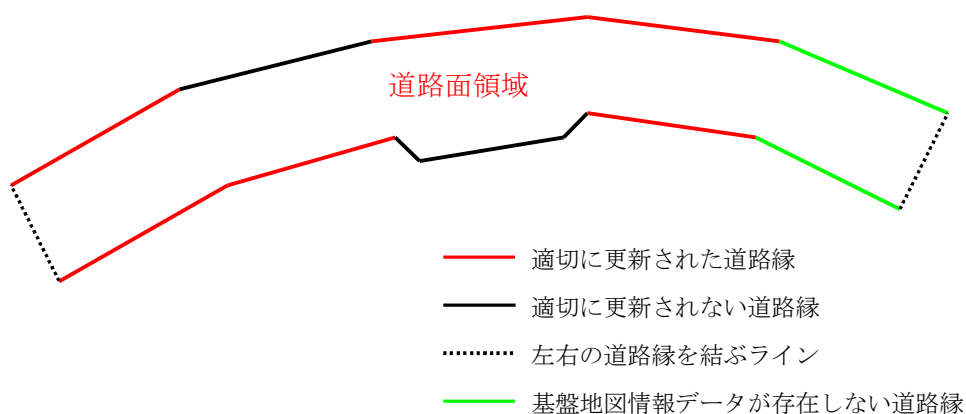


図 4-10 道路縁を分類したイメージ

4-2-2-2 更新実証実験の結果の整理及び評価

(1) 道路延長の計測結果

適切に更新が行われている道路延長と、適切に更新が行われていない道路延長を計測し、表 4-1 にまとめた。

表 4－1 更新結果による道路延長の計測結果

フォルダ名		適切に更新されている道路延長 (m)	適切に更新されていない道路延長(m)	適切に更新されている道路の割合(%)	基盤地図情報データが存在しない道路延長 (m)
北海道開発局(札幌開建)	R005	24285.0	14565.5	62.5	0.0
	R012	20454.1	8415.2	70.9	0.0
	R036	17797.1	11023.3	61.8	477.8
	R230	27151.6	11350.3	70.5	0.0
	R231	11605.2	3401.6	77.3	0.0
	R274	25467.9	12924.9	66.3	0.0
北陸地整(富山河川国道)		14476.7	7863.5	64.8	224367.7
道路基盤地図(紀勢)		40803.9	15649.0	72.3	81668.4
080725		84080.2	21103.7	79.9	265424.4

適切に更新されている道路の割合(%)は以下の計算式で算出した。

【計算式】

適切に更新されている道路の割合(%)

= 適切に更新されている道路延長

÷ (適切に更新されている道路延長 + 適切に更新されていない道路延長)

× 100

(2) 道路縁数の集計結果

適切に更新が行われている道路縁の数と、適切に更新が行われていない道路縁の数を集計し、表 4 - 2 にまとめた。

この表から、修正する道路縁の数がわかる。適切に更新されている道路縁と適切に更新されていない道路縁の数は、交互に発生するのでほぼ同じ数になっている。

表 4－2 更新結果による道路縁数の集計結果

フォルダ名		適切に更新されている道路縁の数	適切に更新されていない道路縁の数	左右の道路縁を結ぶ線の数	基盤地図情報データが存在しない道路縁の数
北海道開発局(札幌開建)	R005	115	115	2	0
	R012	106	105	4	0
	R036	88	86	1	1
	R230	139	139	2	0
	R231	45	47	2	0
	R274	143	143	8	0
北陸地整(富山河川国道)		121	125	4	23
道路基盤地図(紀勢)		263	267	4	2
080725		389	380	1	16

4－3 得られた成果

4－3－1 道路縁データの抽出結果

道路基盤地図情報の道路面に相当するデータを合成し、その外周を自動で抽出することで道路縁データを抽出した。図 4－1 1 に抽出した道路縁データと、道路基盤地図情報を重ねた図を示す。概ね適切に抽出されたが、一部については手動による作業も必要となった。道路基盤地図情報の仕様の問題でもあるが、面データは互いに接合がとれていない箇所があり、それが原因で抽出した道路縁が途切れる、交差する等の箇所が見受けられた。

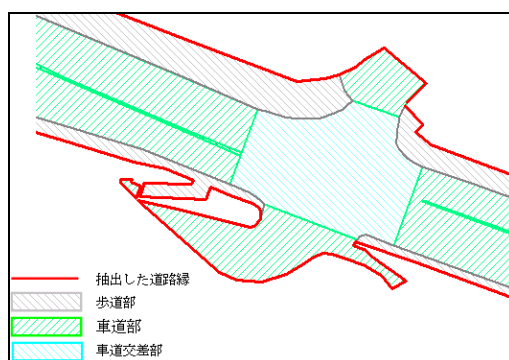


図 4－1 1 道路基盤地図情報と抽出した道路縁

4－3－2 実証実験の結果

更新プログラムの処理結果の例を図 4－1 2 に示す。適切に更新が行われた箇所と行われ

ていない箇所の道路延長の割合を算出した結果、およそ70%の箇所について適切に処理が行われた。

図4-13に更新困難箇所の例を示す。更新プログラムは、同一平面における形状の変化を対象の処理としていることから、立体交差部については、道路基盤地図情報の道路面領域内の道路縁データを削除されてしまい適用不可となった。

その他、以下のようなものが課題として挙げられた。

- ・ 基盤地図情報の道路縁データの重複、分岐等起因する更新プログラム処理のミス
- ・ 地図情報の道路領域面内に分離帯、島を含む場合
- ・ 地図情報の精度の違いによる交差点の隅切りの位置ズレ及び形状の違い

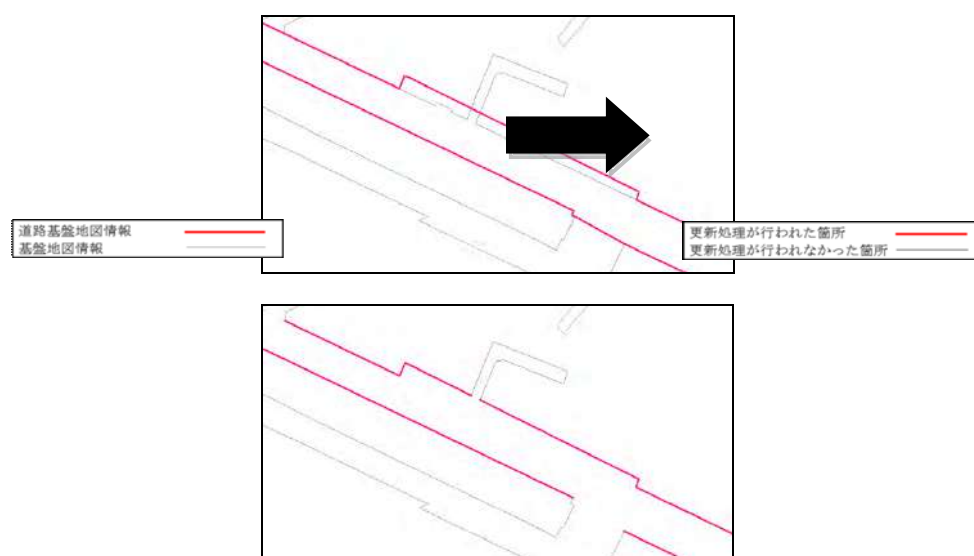


図4-12 更新プログラムの処理結果

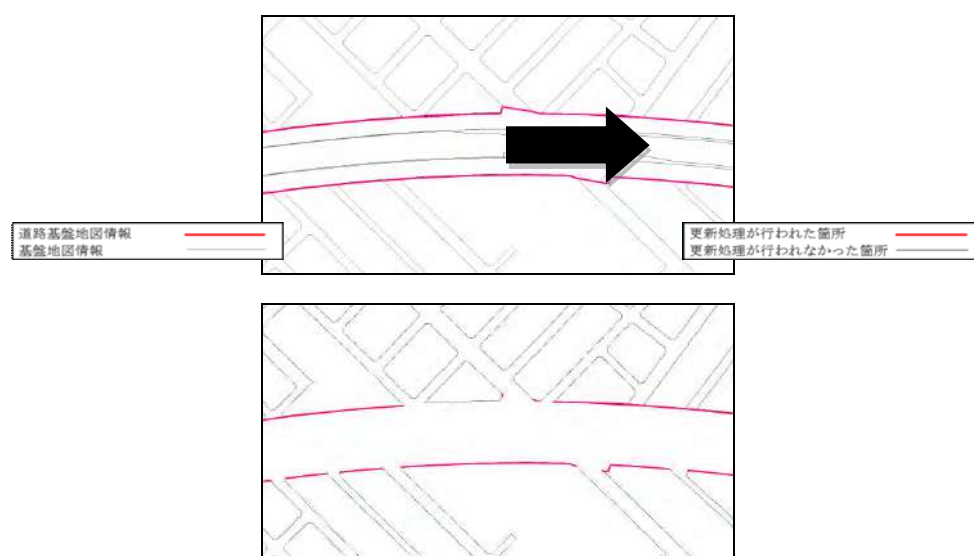


図4-13 立体交差部における更新プログラムの処理結果

4－4 平成21年度作業のまとめ

本業務では更新プログラムの実証実験及び更新モデルの構築を行った。処理対象の70%の箇所で適切な処理が行われ、更新作業の効率化が図られ更新モデルの構築が行われたことを確認した。また、道路基盤地図情報から道路縁データを半自動で抽出した。立体交差部等、更新プログラムが適用されない箇所については、アルゴリズムの改善を含めて検討していく必要がある。

本業務では直轄国道の道路基盤地図情報を処理対象としたが、将来的には電子納品された道路工事平面図（CAD データ）等から、道路縁の自動抽出及び更新プログラムを適用させる事により、効率的な地図情報の更新が可能となることが確認されたが今後の IT 技術発展の動向に気配りさらなる効率化を図ることが必要である。

第 5 章

災害情報の収集・伝達の技術開発

(1) GPS 携帯端末を用いた双方向通信の技術開発

1. 概要

大規模災害発生直後、国・地方公共団体等の防災担当部署は、迅速な対応が求められている。そこで本研究では、災害地及び国・地方公共団体等の災害対策本部において、迅速な情報収集・提供と迅速な災害対応策の立案を可能とすることを目的とし、一連のシステムの開発を行った。

本研究ではまず、写真等の災害情報を GPS 機能付き携帯電話端末（以下、「携帯端末」という。）のメール機能を利用して情報集約サーバに送ることで、自動的に電子国土 Web システムの地図上にその災害情報を重ね合わせて表示する機能と、その地図上に重ね合わせた情報を PC 端末だけではなく、携帯端末からも閲覧することのできる機能の開発を行った。また、その携帯端末から登録された情報を PC から管理する機能を開発した。

更に、災害発生時のインターネット回線の寸断や携帯電話用アンテナ設備の倒壊等により通信状況が悪化した環境を想定し、そのような環境においても、行政関係者からの信頼性の高い災害情報のみの登録を可能とし、また、行政関係者以外の閲覧集中によるサーバ障害を回避することを目的として、開発した一連のシステムへのアクセス制限の手法を検討の上、実装した。

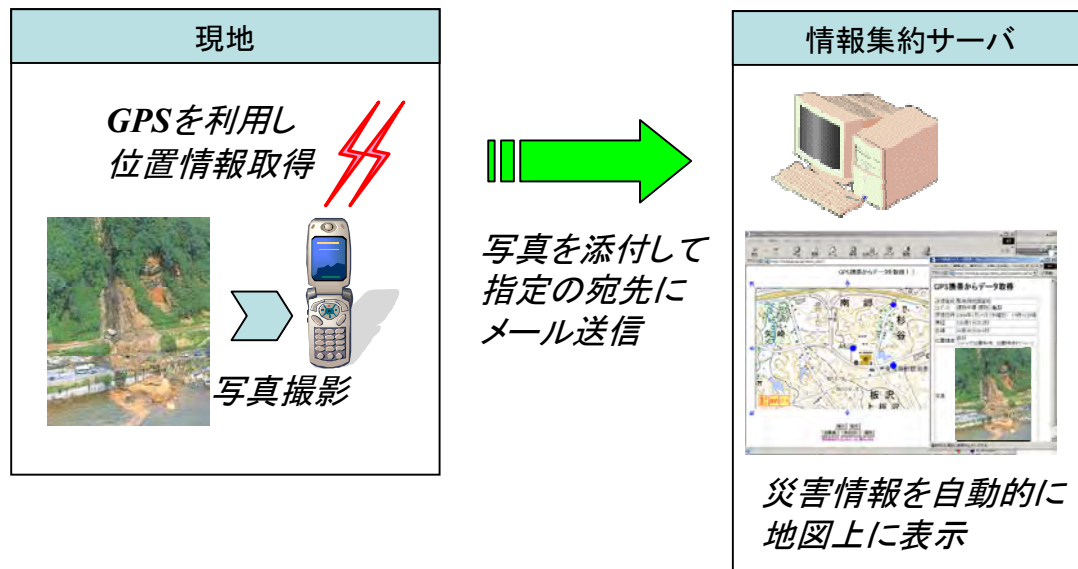
2. 携帯端末からの災害情報登録機能

迅速な災害対応策の立案のためには、災害地からの鮮度の高い情報の提供が不可欠である。携帯端末のメール機能は災害発生時においても音声通話機能に比べて比較的通信障害が発生しにくく、災害情報を集めるツールとして有用なものである。これまでも、携帯端末のメール機能を用いて、GPS 機能で取得した位置情報とともに写真を情報集約サーバに送信することで、写真撮影位置を示すアイコンを国土地理院が開発した電子国土 Web システムの背景地図上に自動的に表示し、そのアイコンをマウスでクリックすることで撮影された写真を Web ブラウザ上に表示することは、過去に国土地理院が開発した電子国土情報集約システム（以下、「旧システム」という。）を使用することで可能であった。しかし、旧システムを用いたメール送信の際には、情報集約サーバの URL にアクセスし、表示される入力フォームに従って携帯端末を操作する必要があり、多くの人が経験したことのある一般的な携帯端末のメール送信操作とは一線を画すものであった。そのため、この旧システムをある程度使用した経験のある者でなければ、災害発生時等の緊急時に迅速にメール送信を行うことが困難であると共に、インターネット環境が制限される大規模災害時には利用が制限される可能性がある。その結果として、情報集約サーバに情報が集約されるまでに時間を要することになってしまい、災害対策本部が適切な災害対応策を迅速に立案することの障害となっていた。

そこで本研究では、旧システムを改良し、一般的なメール送信操作で災害地の写真等の情報を情報集約サーバに送ることで、その情報が自動的に電子国土 Web システムの背景地図の上に表示されるシステムの構築を行った（図-1）。

災害地における災害情報登録者は、まず、携帯端末のカメラを使用して災害地の写真を撮影する。次に、携帯端末の一般的なメール機能を用いて撮影した写真を添付ファイルとして災害情報集約サーバに送るのであるが、その際にメールの本文に携帯端末の GPS 機能で取得した位置情報を記述することで、サーバ側で自動的に電子国土 Web システム用 XML ファイルを作成し、撮影位置を示すアイコンを地図上に表示する。なお、位置情報は携帯端末の基本的な操作で簡便に挿入することが可能となっている。メール送信の際、メールの件名にシステムサーバ側にあらかじめ登録されているプロジェクト名を記載することで、自動的にそのプロジェクトの地図上に写真撮影位置を示すアイコンが表示される。あらかじめ登録されていないプロジェクト名がメールの件名に記載されてメールが情報集約サーバに送られた場合は、写真撮影位置を示すアイコンを表示する電子国土用 XML ファイルと写真は未整理情報として扱われ、一括して別のグループに収められる。未整理情報は、4で述べる PC 端末からの管理機能を用いて災害情報管理者が後ほど各プロジェクトに振り分けることが可能となっている。更に、メールを情報集約サーバへ送る際にはメール本文にコメントを記述することも可能となっており、記載されたコメントは登録写真とともに Web ブラウザ上に表示される。

このシステムを利用することで、GPS 機能とカメラを搭載している携帯端末を有していれば、測量作業や電子国土 Web システムに熟知していなくとも、誰でも携帯端末で撮影した写真を簡単に電子国土 Web システムの背景地図上に集約、表示することが可能となった。これにより、国・地方公共団体等の防災担当部署は、集約された新鮮な情報を災害対応策の立案に役立てることが可能となった。

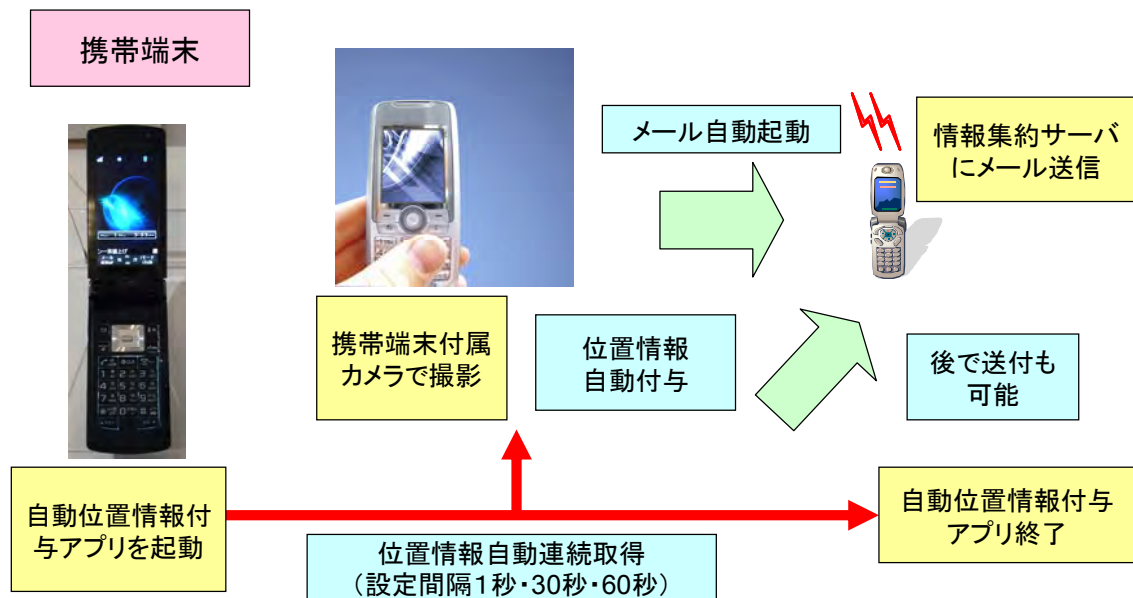


図－1 携帯端末からの災害情報登録機能

3. 自動位置情報付与アプリケーション

2で述べたように、撮影した写真を携帯端末のメール機能を用いて情報集約サーバに送信し、写真撮影位置を示すアイコンを電子国土 Web システムの背景地図上に自動的に表示するには、カメラで撮影した災害情報とともに、携帯端末の GPS 機能で取得した位置情報をメール本文に記載した上でメールを情報集約サーバに送信する必要がある。しかし、写真撮影からメール送信までを、特別な技能を有せずとも携帯端末の基本的な操作のみで行うことが可能とはいえ、災害地からの情報登録者が移動のたびに携帯端末の GPS 計測機能を用いての位置情報取得、メール本文への位置情報挿入、及びメール送信の操作を意識的に行うことは時間を要し、短時間に多くの災害情報を情報集約サーバに送ることは困難である。そこでこの問題を解決するために、国土地理院災害用携帯端末機種を対象として、携帯端末付属のカメラによる災害情報の撮影から撮影場所の位置情報記録、及び情報のメール送信までの一連の操作を自動的に行うアプリケーションの開発を行った。本アプリケーションでは、あらかじめユーザが設定した時間間隔（1 秒、30 秒又は 60 秒間隔）で自動的に携帯端末の GPS 機能を使用して測位を行っており、災害情報を携帯端末で撮影したときの位置情報を記録し、位置情報を付与したメールを自動的に情報集約サーバへ送信することが可能である（図－2）。

また、撮影場所周辺での携帯端末通信が不可能である場合等に備え、災害情報のメール送信を後ほど一括して行うことも可能となっている。本アプリケーションを利用することにより、災害地からの効率的な情報発信が可能となり、より多くの情報を短時間に情報集約サーバに集めることが可能となっている。



図－2 自動位置情報付与アプリケーション

4. PC を用いた災害情報の管理機能、登録機能

2 及び 3 の機能を用いて携帯端末からサーバに登録された災害情報を管理者 PC から管理する機能を実装した。この管理機能では、携帯端末より登録された情報を管理者 PC から編集又は削除することが可能となっている。

また、PC から情報集約サーバに情報を直接登録する機能を実装した。PC から登録した情報についても、管理機能を用いて編集・削除することが可能となっている。

5. 携帯端末上での災害情報閲覧機能

これまで、携帯端末からは電子国土 Web システムを利用することができず、利用環境は PC からに限られていたが、本研究では、2～4の方法で登録された災害情報、及びその背景となる地図を携帯端末から閲覧する機能を開発した（図－3）。また、災害情報はその情報の鮮度も重要であることから、情報の登録が新しい順にソートすることも可能とした。本機能により、災害地での登録情報及び災害対策本部での登録情報を、PC 環境のない災害地においても携帯端末から閲覧することができるようになり、これらの情報を災害地での避難指示等に役立てることが可能になった。現在、災害情報の閲覧が可能となっている携帯端末の機種は国土地理院の災害用携帯電話端末を中心とし、NTT ドコモ 4 機種、au3 機種、ソフトバンク 1 機種である。

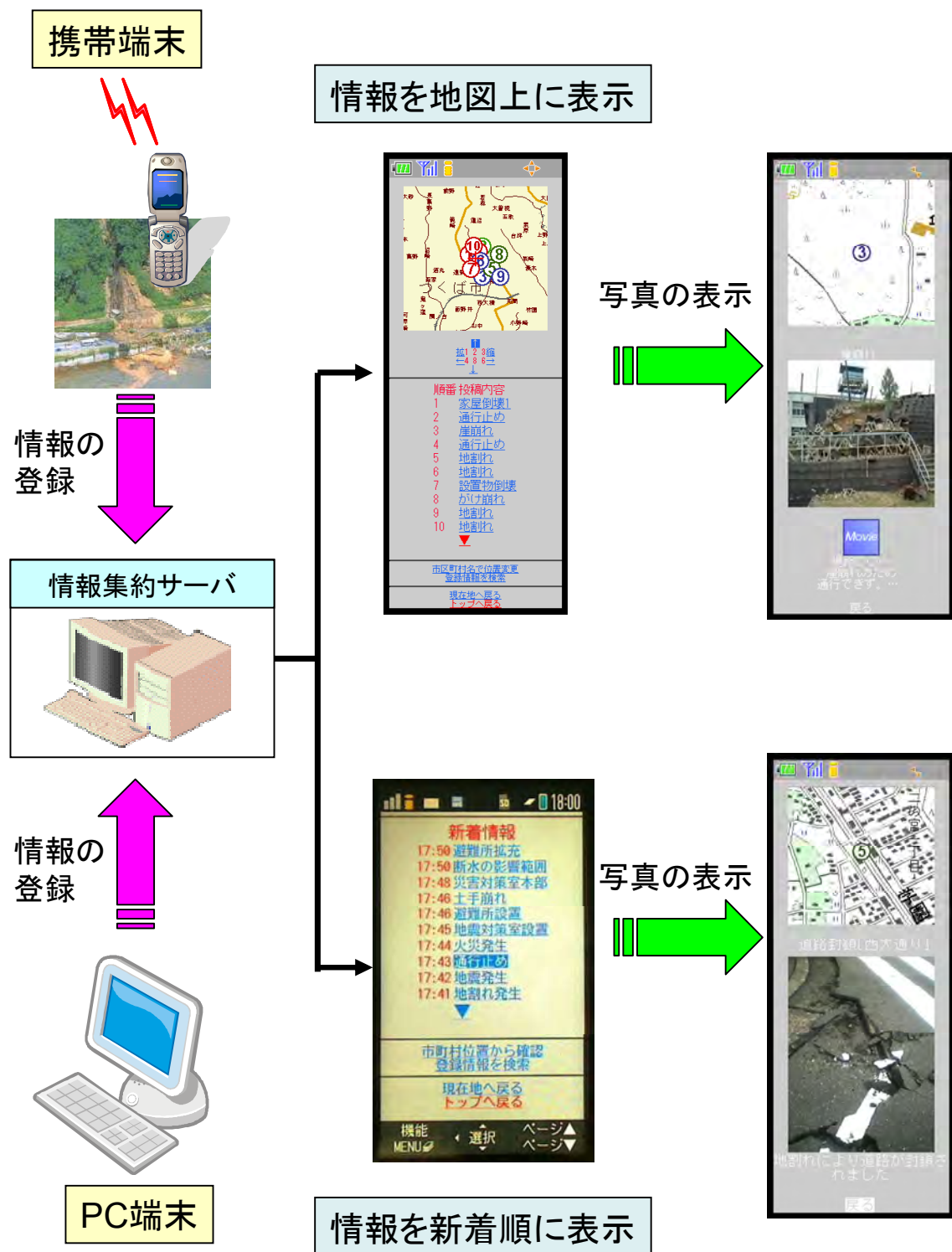
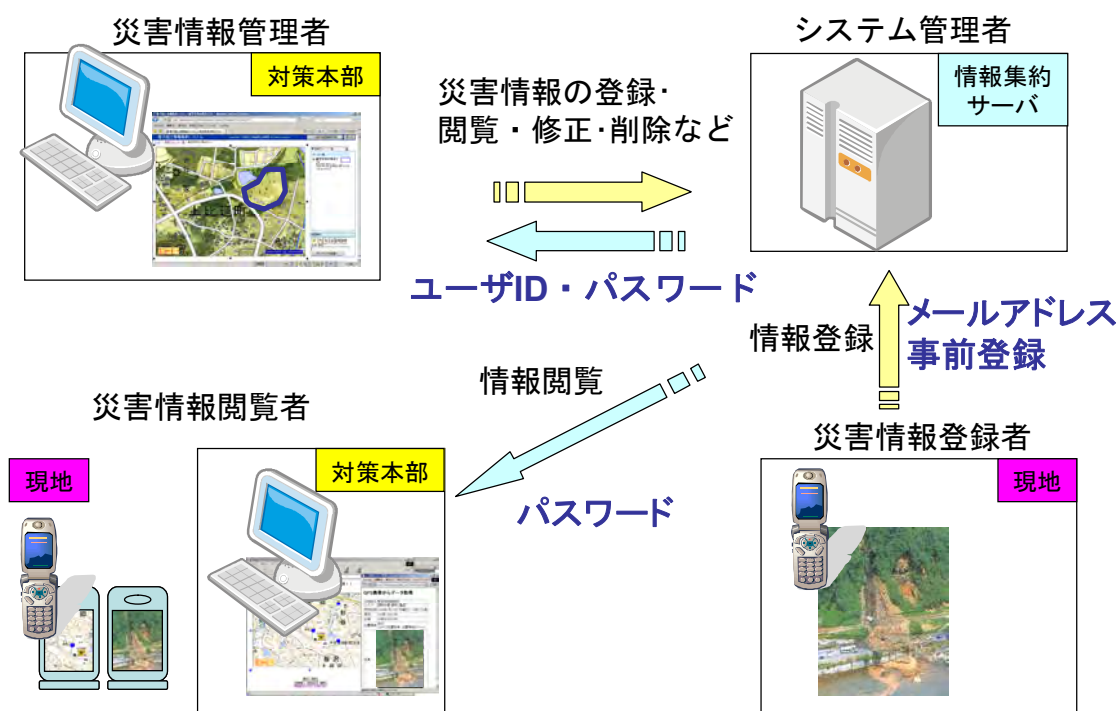


図-3 携帯端末上での災害情報閲覧機能

6. アクセス制限手法

大規模災害発生時は、インターネット回線の寸断や携帯電話用アンテナ設備の倒壊等により通信状況が悪化することも考えられる。そのような環境下において、行政関係者等からの信頼性の高い情報のみを情報集約サーバに登録し、また、行政関係者以外の閲覧集中によるサーバ障害・回線混雑を回避することを目的として、2～5で述べたそれぞれの機能を使用することの可否を制限するアクセス制限の手法を検討し、実装を行った（図－4）。

具体的には、利用者を災害情報管理者、災害情報登録者、災害情報閲覧者、システム管理者に分類した上で、災害情報管理者モードではPCからの災害情報の登録・管理を可能とし、ユーザ名及びパスワードの入力を求めることによりアクセスを制限する。災害情報登録者モードではあらかじめ登録されたメールアドレスに限り災害情報の登録を受け付ける。災害情報閲覧者モードではPC又は携帯端末を用いて災害情報を閲覧することのみを可能とするが、セキュリティ管理の必要性が比較的低いことから、PCについてはパスワードのみの入力によるアクセス制限を行い、携帯端末についてはアクセス制限を行わないこととした。また、システム管理者モードではPCから各ユーザの登録・管理を行う。



図－4 アクセス制限

7. まとめ

本研究では、災害発生時の災害情報の登録と閲覧を携帯端末から行える機能を開発するとともに、情報集約サーバに登録した情報を PC から管理する機能を開発した。また、災害情報を情報集約サーバに登録する際の効率化のため、自動位置付与アプリケーションの開発を行った。更に、災害発生時の限られたインターネット回線下でも信頼性の高い情報のみを得られるようにするため、アクセス制限手法の検討を行い、実装を行った。本研究において開発を行った一連のシステムは、国、地方公共団体その他の災害対策担当機関での利用が想定され、実際の災害時に役立てられることが期待される。

(2) 電子国土の簡単な GIS 機能の付与

1. 概要

本研究では、災害地での迅速な避難指示等に役立てることを目的とし、「GPS 携帯端末を用いた双方向通信の技術開発」で開発した機能を用いて情報集約サーバに集約された災害情報の中から、現在位置又は市区役所・町村役場を中心とし、そこから 500m、1km、5km、10km と指定した範囲に含まれる災害情報を抽出し、携帯端末上に表示する機能の開発を行った。

また、PC 端末側においては、空中写真の標定を簡便かつ迅速に行い、空中写真を短い時間で地図上に重ね合わせる機能の開発を行った。これにより、オルソ画像などのより精度の高い画像が得られる前に簡易な写真を迅速に地図上で重ね合わせて閲覧することが可能となった。

更に、地図上での作図機能を実装するとともに、その作図したオブジェクトの距離又は面積を簡易的に計測することを可能とした。これにより、地図に重ね合わせた空中写真上で作図を行うことで被災箇所を線や面で抽出するとともに、その被災面積等の計測が可能となった。

ここでは、これらの研究開発事項について述べる。

2. 範囲を指定した災害情報の抽出機能

「GPS 携帯端末を用いた双方向通信の技術開発」において、携帯端末のメール機能や PC 端末からの災害情報登録機能を使用して、災害情報を情報集約サーバに登録する機能の開発を行った。また、携帯端末からその災害情報及び電子国土 Web システムの背景地図を閲覧可能とする機能の開発を行った。これらの機能の開発により、取得された災害情報を災害地での避難指示等に役立てることが可能となった。しかし、より適切な災害対応策を迅速に立案するためには、サーバに集約した災害情報の中から、より重要なものを速やかに抽出し、それを活用することが必要である。また、災害地において携帯端末を使用して地図上に重ねられた災害情報を閲覧する際はインターネットの回線速度が一般に PC 端末に比べて低速な携帯端末を使用すること、及び災害発生時の限られたインターネット回線しか利用できないということを考えると、より重要な情報のみを抽出して情報量を削減した上で、その抽出した情報のみを携帯端末上に表示させ、その情報を基に災害地での避難指示等に役立てることが必要である。そこで本研究では、現在位置又は市区役所・町村役場を中心とし、そこから 500m、1km、5km、10km と指定した距離の範囲に含まれる災害情報のみを情報集約サーバに登録された情報の中から抽出し、それを携帯端末上に表示する機能の開発を行い、実装を行った（図-1）。

この機能により、限られた空間範囲の災害情報のみを抽出することが可能となった。また、

「GPS 携帯端末を用いた双方向通信の技術開発」にて開発を行った「携帯端末上での災害情報閲覧機能」での災害情報を新着順にソートする機能では、時間的に重要な災害情報を抽出することが可能となっている。この 2 つの機能を用いることで空間的、時間的に重要な情報を迅速に抽出することが可能となり、情報集約サーバに集められた災害情報を災害地での迅速な避難指示等により有効に活用することが可能となった。

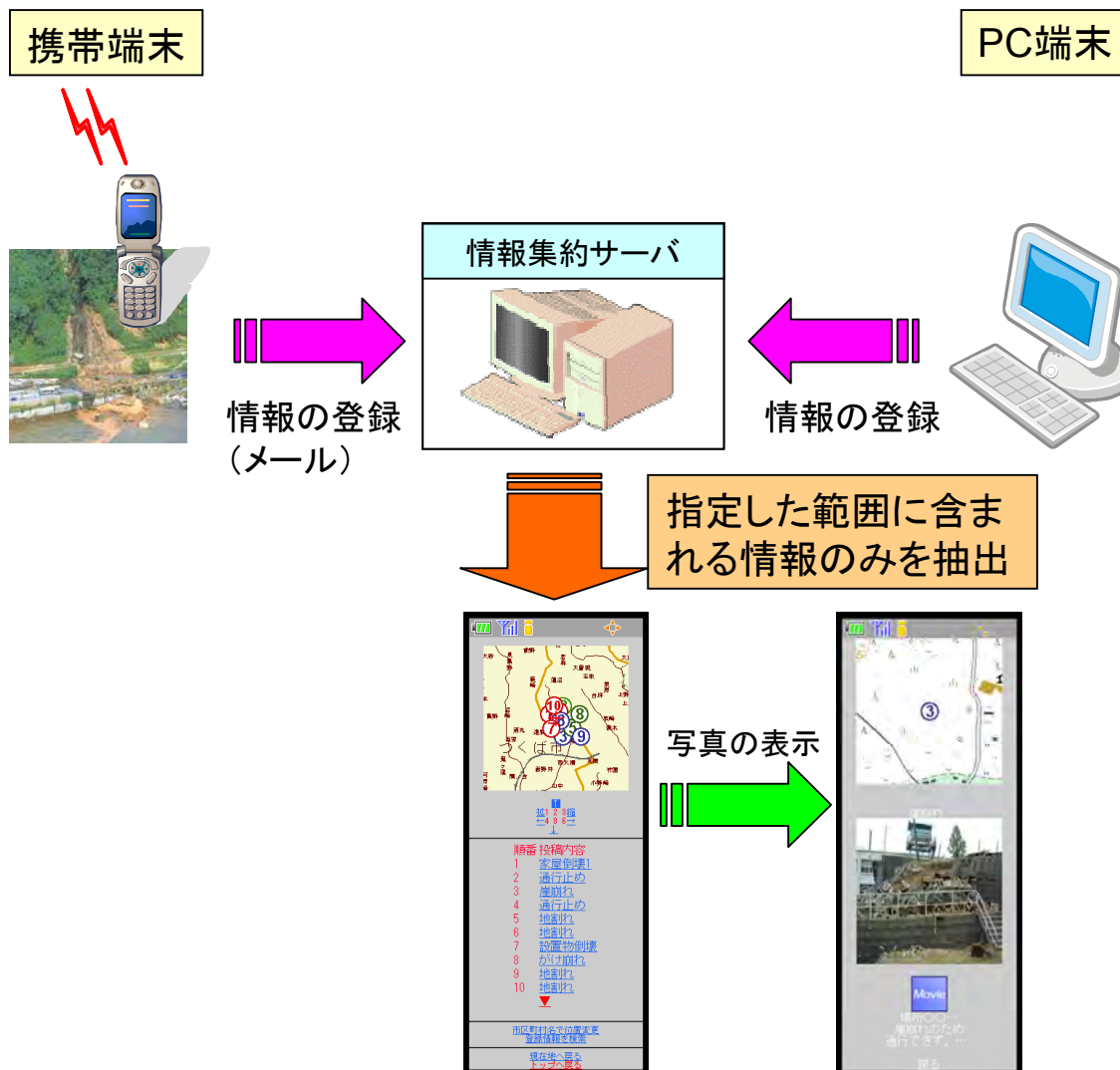


図-1 範囲を指定した災害情報の抽出

3. 画像重ね合わせツールの開発

① 空中写真の簡易・迅速な重ね合わせツールの開発

国土地理院では、大規模な災害の発生時には、迅速に被災地の空中写真を緊急撮影するとともに衛星画像の入手に努めている。空中写真及び衛星画像は、陸上からの接近が困難な地域等に関しても面的に情報を取得することが可能であるため、緊急撮影を行った災害地域の

空中写真や衛星画像を地図上に重ね合わせることは、被災状況を迅速に把握する上で有効な手段である。本研究では、災害時に撮影された空中写真を迅速に提供するため、撮影時に取得した GPS/IMU データ等を利用し、空中写真を簡易・迅速に情報収集サーバに登録し、電子国土 Web システムの背景地図と重ね合わせて表示するツールを開発した（図-2）。これまでも電子国土 Web システムの背景地図上に空中写真を重ね合わせることは可能であったが、画像の四隅座標を別途計測した上で、重ね合わせ用の XML ファイルを作成する必要があったため、この作業を災害時等の緊急時に測量作業及び電子国土 Web システムを熟知していない作業者が迅速に行うことは困難であった。本ツールでは、GPS/IMU データ及び画像データを格納したフォルダを選択し、カメラ諸元情報及び撮影基準面標高を入力することにより、自動的に重ね合わせ用の電子国土 Web システム用 XML ファイルを作成し、空中写真を簡便かつ迅速に情報集約サーバに登録することが可能である。その際、大量のデータを表示することによる電子国土 Web システムへの負荷、及び画像同士のオーバーラップによる視認性の低下を軽減するため、登録画像の間引き間隔の設定及び登録画像の任意選択を可能とした。

本機能により、航空デジタルカメラによる空中写真のサムネイル画像を、撮影後すぐに Web ページに掲載することが可能となり、オルソ画像等のより高度な利用が可能な画像を Web ページに掲載する前に速報的に情報提供を行うことができるようになった。

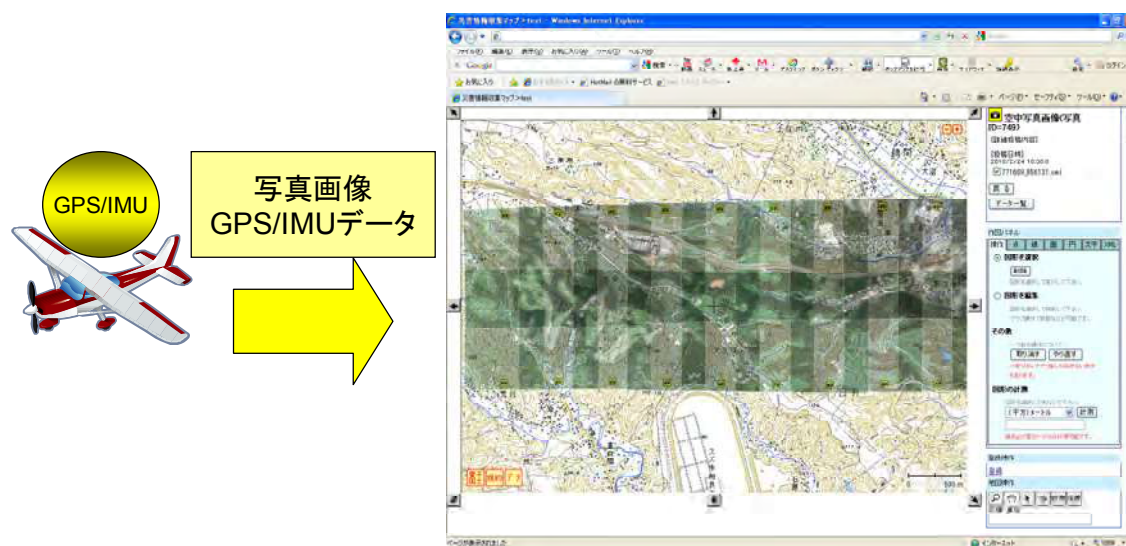


図-2 GPS/IMU データを用いた空中写真の簡易・迅速な重ね合わせツール

② 重ね合わせ画像データ作成ツールの開発

①で述べた空中写真の簡易・迅速な重ね合わせツールを利用することにより、GPS/IMU で記録された情報のみを使用して電子国土 Web システム背景地図に画像を重ね合わせることが可能である。しかし、このような重ね合わせ手法では、写真測量で通常行われる画像変

換を伴う標定に比べ、一般に位置精度が劣る。また、災害時に取得する重ね合わせ用画像には、測量用航空機から撮影された空中写真のみならず、防災ヘリ等から撮影された斜め写真、高所から携帯端末で撮影した画像等、通常の地図とは投影法が大きく異なり、正確な投影変換が不能な画像が多く含まれることが予想される。

そこで本研究では、①で述べた空中写真の簡易・迅速な重ね合わせツールに加え、電子国土 Web システム用背景地図と空中写真等の画像データを並べて表示し、作業者が双方の対応点を対話的に指定することにより、自動的に画像変換処理を行い、生成した重ね合わせ用の電子国土 Web システム用 XML ファイルを情報集約サーバに登録するツールを開発した（図-3）。このツールを用いることにより、特段の専門的な予備知識を必要とすることなく、撮影された写真と電子国土 Web システム背景地図を重ね合わせることが可能となった。また、先に述べたような正確な投影が不能な画像を使用する場合においても、簡易法として最低 1 点の対応点を取得し、平行移動のみを行って重ね合わせ用データを作成することにより、災害時の制限された状況において得られた情報を最大限活用することを可能とした。



図-3 重ね合わせ画像データ作成ツール

4. 作図・計測機能

災害発生時に被災箇所を背景地図上に重ね合わせて表示することに加え、被災箇所の距離や面積を数値として情報提供することも重要である。そこで、背景地図及び重ね合わせデータを表示した状態で、更にその上に線型及び面型の図形を作成し、それぞれの距離又は面積を計測する機能を開発・実装した（図-4）。これにより、緊急撮影による被災地域の空中写真等を 3 で開発した機能を用いて背景地図上に重ね合わせた後に、本機能を用いて、システム上で道路寸断部分の距離や地すべり面の面積等を簡易的に計測することが可能となった。



図－4 作図・計測機能

5. まとめ

本研究では、指定した距離の範囲内に含まれる災害情報のみを抽出して携帯端末上に表示する機能を開発し、より効果的な災害情報を限られた環境の中で表示することが可能となった。また、PC 端末から空中写真を簡便に地図上に重ね合わせ、情報集約サーバに登録する機能を開発するとともに、それらの情報の上で作図を行って被災箇所の抽出を行い、更に、抽出部の距離及び面積を計測する機能を開発した。これらの機能により、災害時等の緊急時に測量作業及び電子国土 Web システムを熟知していない作業員でも迅速に空中写真等を地図上に重ね合わせたり、被災箇所の抽出・計測を行ったりすることが可能となった。これらの作業を迅速に行うことができるようになり、多くの災害情報を地図上に集約できるようになることで、災害対策本部において迅速な災害対応策を立案することが可能となった。