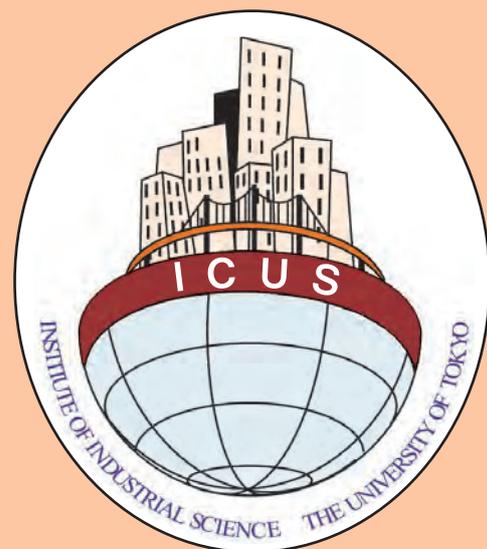


**ICUS REPORT 2008-07**



東京大学生産技術研究所

都市基盤安全工学国際研究センター

大規模災害におけるリモートセンシング技術  
活用事例に関する調査  
報告書

東京大学生産研究所 都市基盤安全工学国際研究センター  
日本リモートセンシング学会

大規模災害におけるリモートセンシング技術  
活用事例に関する調査  
報告書

ICUS Report No.35

2009年3月

東京大学生産研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

日本リモートセンシング学会

**Investigation report on the use of remote sensing  
technology in large-scale disaster assessment**

**ICUS Report No.35**

**March, 2009**

**International Center for Urban Safety Engineering,  
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo**

**and**

**The Remote Sensing Society of Japan**

# 大規模災害におけるリモートセンシング技術活用事例に関する調査報告書

## 目 次

1.	はじめに	1
2.	地震災害時のリモートセンシング技術の活用	3
2.1	調査概要	3
2.2	活用事例	4
2.2.1	兵庫県南部地震の事例	4
2.2.2	新潟中越地震の事例	12
2.2.3	岩手・宮城内陸地震の事例	18
2.2.4	中国汶川地震の事例	25
2.3	事例調査のまとめと技術課題	35
2.4	今後の技術開発	39
3.	津波災害時のリモートセンシング技術の活用	44
3.1	調査概要	44
3.2	事前予測の事例	45
3.2.1	津波防災への高精度地形モデルの利用	45
3.2.2	津波数値シミュレーションとリモートセンシングの融合	48
3.3	被害実態の迅速な把握の事例	53
3.3.1	航空画像による被害把握	53
3.3.2	衛星画像による被害把握	54
3.4	事後の詳細調査・復興モニタリングの事例	59
3.4.1	衛星画像等を用いた事後の詳細調査	59
3.4.2	衛星画像による復興状況モニタリング	62
3.5	事例をもとにした技術課題	64
3.6	今後の技術課題	65
4.	豪雨災害時のリモートセンシング技術の活用	68
4.1	調査概要	68
4.2	活用事例	69
4.2.1	小貝川の洪水の事例	69
4.2.2	余笹川の洪水の事例	71
4.2.3	長江中流域の洪水の事例	74
4.2.4	中国東北部・松花江の洪水の事例	79
4.2.5	淮河の洪水の事例	81
4.2.6	ミシシッピデルタの洪水の事例	82
4.2.7	ミャンマーの洪水の事例	84
4.3	事例をもとにした技術課題	87

4.4	今後の技術課題	88
5.	火山・土砂災害時のリモートセンシング技術の活用	89
5.1	調査概要	89
5.2	火山災害での事例	90
5.2.1	事前予測での事例	90
5.2.2	被災直後の緊急対応事例	94
5.2.3	事後の詳細調査・復興に向けての情報提供の事例	100
5.3	土砂災害での事例	102
5.3.1	事前予測での事例	102
5.3.2	被災直後の緊急対応事例 —国際災害チャーターへのALOS適用事例—	104
5.3.3	事後の詳細調査・復興に向けての情報提供の事例	106
5.4	事例をもとにした技術課題	112
5.4.1	火山災害についての技術課題	112
5.4.2	土砂災害についての技術課題	112
5.5	今後の技術開発	113
5.5.1	火山災害についての技術開発	113
5.5.2	土砂災害についての技術開発	114
6.	まとめ	117
6.1	活用事例および技術課題のまとめ	117
6.2	今後のリモートセンシング技術の展望	120

---

## 1. はじめに

近年、地球を取り巻く環境変化とともに、グローバル・ローカルを問わず自然災害の発生が増加している傾向にある。災害をもたらす原動力は、そもそも地球の営みであり、地球が誕生して以来の繰り返し現象であるが、人間が地球の至る所に住み着き、そこが被害を受けることにより災害という現象になる。

地球の営みであるがゆえに、自然力を失くしたり減じたりすることはできないが、被害を減じるとは可能である。そのために、人間は科学や技術を駆使し、災害の現象を把握するとともに、被害を減じるための対策を講じてきた。その手段は、現地調査からデータ収集・解析、シミュレーション等、日進月歩で発展してきている。

リモートセンシングという広域データ収集性や迅速性、データ周期性を生かした技術が、このような自然災害に役立つ技術であるといわれているが、実際にどのように役立っているか検証することは重要である。

今回、最近発生した災害を対象に、どのような災害にどのような手法が利用されてきたかを調査することにより、その実態を明確にする必要性が求められた。災害として、地震災害、津波災害、豪雨災害、火山・土砂災害を対象とし、人工衛星、航空機、地上計測等によるデータ収集解析技術が利用された事例をまとめることとなった。それによって、自然災害におけるリモートセンシング技術の活用実態、およびそれらに関する課題や展望をまとめることにより、今後のリモートセンシング技術の実利用性へ向けた基礎資料に資することを目指すものである。

## 2. 地震災害時のリモートセンシング技術の活用

### 2.1 調査概要

地震災害は、最も頻繁的に発生する自然災害の一つである。大規模地震災害が発生した場合、広域に渡って建物の倒壊、道路の寸断、数多くの地すべりや斜面崩壊が起り、大きな被害をこうむる。地震直後に被災地での人命救助や救援活動を迅速に行うためには、広域に渡る被災状況を早期に把握することが望まれている。

近年、リモートセンシング技術は、大規模地震における被災地域の情報収集手段として、幅広く活用されている。地震発生直後の初期体制の情報源として、リモートセンシングによる情報取得の迅速性、広域性等の特徴を活かして有効に利用されている。また、二次災害が発生する場所のモニタリングや、災害後の復旧経過状況の把握等、時間的な変化を把握するのにも適しており、多岐に渡って利用されている。衛星の高分解能化技術が熟成しており、数多くの高分解能光学衛星やSAR衛星の利用が活発化している。また、航空機センサ技術も目覚ましい発展を遂げており、より高精度のマッピングが可能であるデジタルマルチラインセンサ、エリアセンサ、直接的かつ高精度に地形をとらえるレーザスキャナ、および、高分解能多偏波SARセンサが広く利用されている。観測プラットフォーム技術も進化しており、従来の衛星や航空リモートセンシングでは困難であった低高度からの撮影を安全に行え、かつ高機動性を持つ無人機観測手段や、マルチセンサが装備される地上計測車も利用するようになってきている。また、多機の衛星からなる衛星コンステレーションによる高頻度対地観測システムも利用されている。各国の衛星観測データの相互利用に関わる国際的な枠組みが整備され、国際災害チャーターによる大規模災害時の早期観測および無償データ提供が利用できるようになる。このように、多彩多様な観測手段、即時対応体制、高頻度な観測能力を備えるリモートセンシング技術は、災害状況の早期把握に重要な役割を發揮している。

本調査は、日本で発生した兵庫県南部地震、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震および昨年中国四川省で発生した内陸地震として最大級の汶川地震を事例とし、大規模地震災害におけるリモートセンシング技術の利活用に関する観測手段、解析手法、解析結果、および、課題を明らかにする。これまでに、画像を用いた目視判読による方法が被災情報の収集に数多く使われているが、目視判読は、比較的精度は高いものの、広域の画像を解析するには膨大な労力と時間を要するという問題がある。そこで、本調査では、実用可能な観点から、建物、道路、斜面災害、および、地殻変動など典型的な被災情報を効率的に収集できる画像解析手法の適用事例を重点に調査する。

## 2.2 活用事例

### 2.2.1 兵庫県南部地震の事例

#### (1) 概要

1995年1月17日午前5時46分に発生したマグニチュード7.3の兵庫県南部地震は、阪神・淡路地域の広域にわたり、人的被害は、死者6434人、負傷者43792人、建物被害は全壊104906棟、半壊144274棟と甚大な被害をもたらした<sup>1)</sup>。この地震は神戸地域の都市直下で発生したため、建物、道路などの構造物にも多大な被害を与えた。当時、中分解能光学およびSAR衛星によって広域な被害情報の収集が行われたが、高分解能衛星はまだ利用できず、詳細な被害状況の把握は、主に航空撮影によって行われた。表2.2-1に、調査した兵庫県南部地震におけるリモートセンシング技術の活用事例を示す。

表2.2-1 兵庫県南部地震におけるリモートセンシング技術活用事例

データ取得手段	解析手法	他データ利用	解析結果	課題	備考
ヘリ空撮映像 (Hi-vision)	単時期画像目視判読	なし	建物被害	個人差 判読時間を要する	研究 <sup>2)</sup>
ヘリ空撮映像 (Hi-vision)	単時期画像解析 (テクスチャおよび 色彩情報利用)	なし	建物被害	正確さ	研究 <sup>3)</sup>
航空機光学画像 (RC：航空写真カメラ)	単時期画像目視判読 (単画像、ステレオ画像)	なし	災害状況	判読時間を要する	研究 <sup>4)</sup>
	単時期画像解析 (エッジおよび 色彩情報利用)	デジタル地図	道路被害	道路亀裂、 渋滞情報の抽出	研究 <sup>5)</sup>
	二時期画像解析 (色彩情報利用)	デジタル地図	建物被害	影領域の影響	研究 <sup>6)</sup>
航空機光学画像 (MSS)	単時期画像解析 (最尤法分類および テクスチャ解析)	なし	建物被害 焼失地域	正確さ	研究 <sup>7)</sup>
中分解能光学 衛星画像 (Landsat/TM)	二時期画像解析 (比演算および 最尤法分類)	なし	液状化地域	判読時間を要する	研究 <sup>8)</sup>
中分解能光学 衛星画像 (SPOT-2)	二時期画像目視判読 (フォールスカラー合成)	なし	液状化地域	判読時間を要する	実利用 <sup>9)</sup>
中分解能 SAR 衛星画像 (JERS-1)	二時期画像解析 (差分干渉)	DEM 水蒸気遅延 補正データ	地殻変動	地殻変動と 被害の関係	研究 <sup>10)</sup>
中分解能 SAR 衛星画像 (ERS-1)	二時期画像解析 (強度差分と相関)	なし	建物被害	正確さ	研究 <sup>11)</sup>

(2)活用事例

航空リモートセンシングデータを用いて自動かつ詳細に建物や道路の被害判読を行った活用事例を3点示す。

① 空撮画像による建物被害地域の自動抽出

この事例は、三富ら<sup>3)</sup>が、兵庫県南部地震の10日後に撮影された空撮画像を用いて建物被害地域の抽出を行った研究である。使用した空撮画像は、地震の発生直後から、NHKがヘリコプター搭載ハイビジョンシステムを用いて高度300m、撮影角度30～45度(鉛直方向を基準)を保持しつつ、被災地全域を撮影した膨大な記録の一部である。空撮画像の解析では、地震前撮影した被災前の映像があるとは限らないため、地震後のみの映像を利用して解析している点に特徴がある。

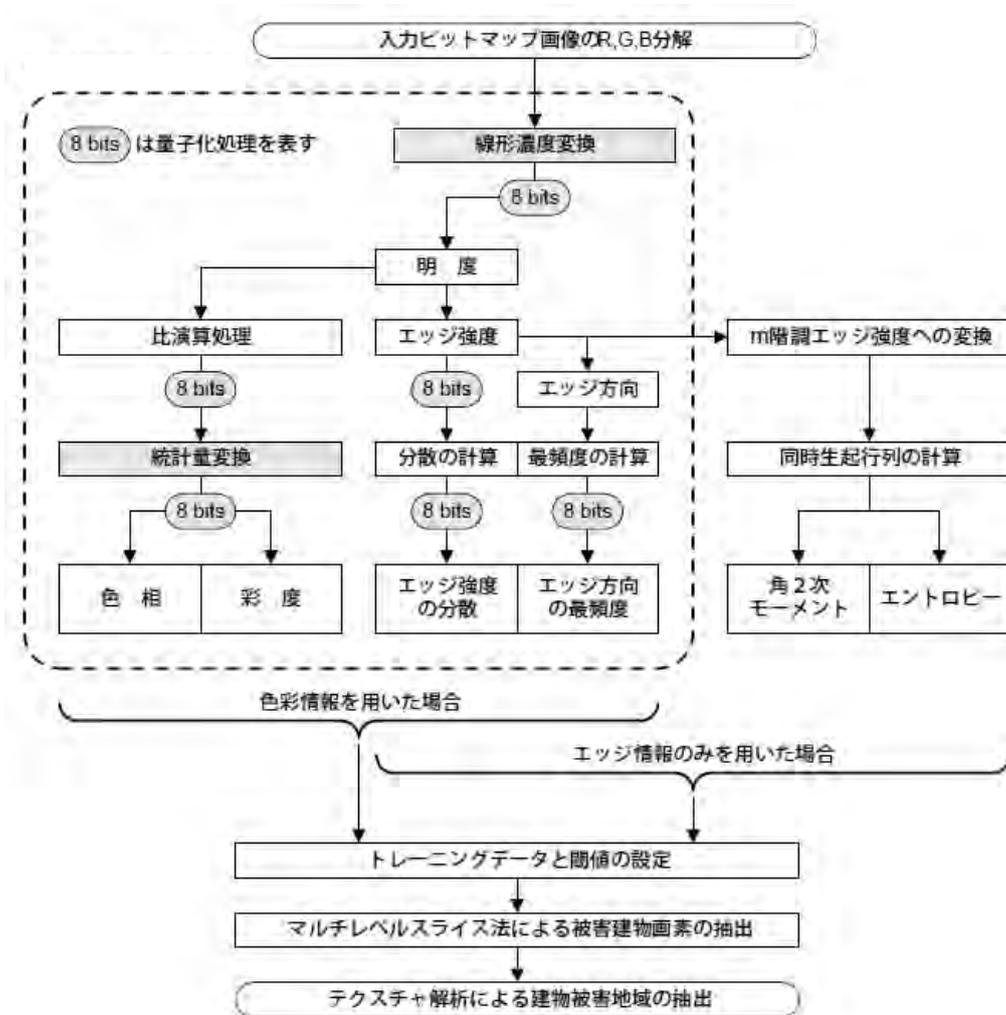


図2.2-1 建物被害地域の抽出の流れ

(出典：三富創・松岡昌志・山崎文雄, 空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出方法に関する考察, 土木学会論文集, 2002)

図2.2-1は、建物被害地域の抽出の流れである。この解析では、倒壊建物を特徴づける指標として、色彩情報とエッジ情報のほか、エッジ強度の同時生起行列から求まるエッジのテクスチャを導入している。建物被害を色彩情報とエッジ情報から解析する場合は、色相、彩度、エッジ強度の分散、および、エッジ方向の最頻度の4つの指標である。また、エッジ情報から解析する場合は、エッジ強度の分散、エッジ方向の最頻度、角2次モーメント、および、エントロピーの4つの指標である。4指標をもとにマルチレベルスライス法で建物被害地域を抽出した結果は、比較的良好な精度が示されている。エッジ情報の解析では、他地域の画像を同一閾値で判別できる可能性があり、色彩情報は、画像の色調が異なると、同じ閾値では難しいことが報告されている。図2.2-2に目視判読および地上調査の結果、図2.2-3、図2.2-4に色彩情報とエッジ情報を用いた場合、エッジ情報のみを用いた場合の解析結果をそれぞれ示す。

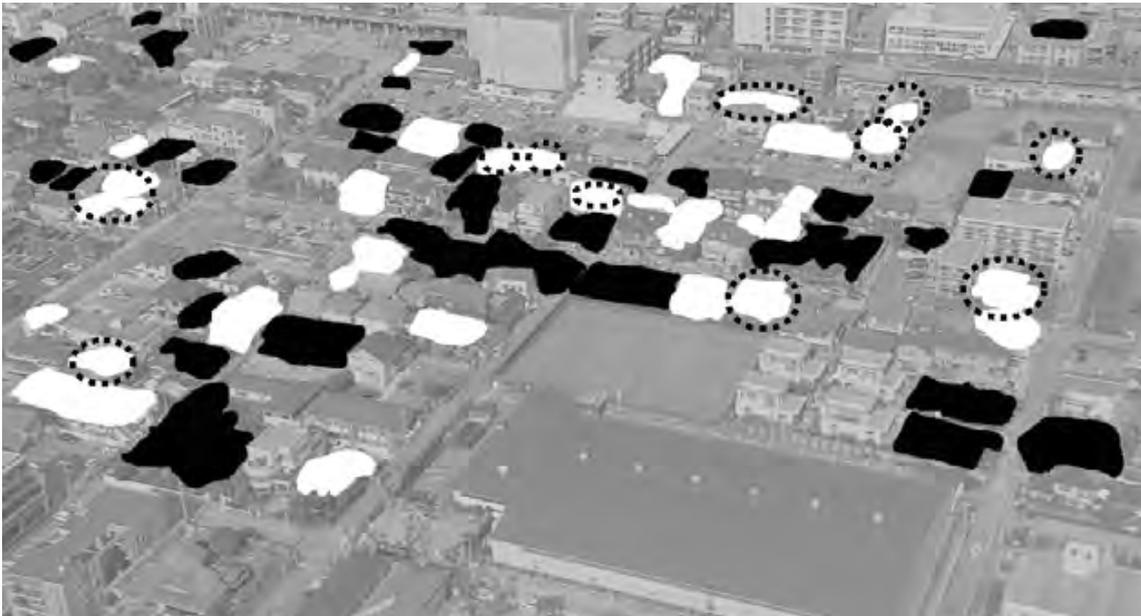


図2.2-2 目視判読および地上調査の結果

(黒：倒壊建物、白：全壊建物、点線：ブルーシート被覆)

(出典：三富創・松岡昌志・山崎文雄，空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出方法に関する考察，土木学会論文集，2002)



**図2.2-3 色彩情報とエッジ情報を用いた場合の解析結果**

(出典：三富創・松岡昌志・山崎文雄，空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出方法に関する考察，土木学会論文集，2002)



**図2.2-4 エッジ情報のみを用いた場合の解析結果**

(出典：三富創・松岡昌志・山崎文雄，空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出方法に関する考察，土木学会論文集，2002)

以上より、本解析手法の中で、エッジ情報を用いた建物被害域の推定方法は、高分解能画像への汎用的な方法となる可能性を示唆している。

② 航空写真による道路閉塞状況の解析

大規模な地震災害直後に被災地において救助活動を行うためには、車両の移動経路を確立することが重要となる。そのためには、広い地域の道路情報を迅速に把握することが必要である。河合と佐治<sup>5)</sup>は、震災後に撮影された航空画像とデジタル地図を用いて、建物倒壊による道路閉塞領域を抽出する手法を提案した。航空画像のエッジ情報や色情報をもとに道路被害や建物倒壊の発生した場所を抽出し、それらの隣接関係から道路閉塞状況を解析している。

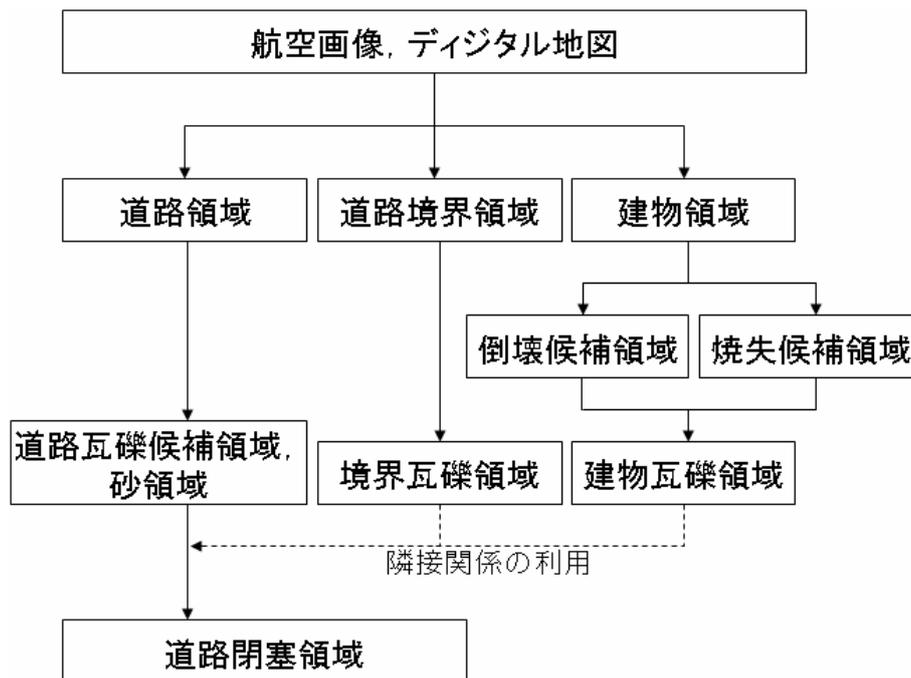


図2.2-5 処理の流れ

(出典：河合荘景・佐治齊，航空画像を用いた都市部における地震災害後の道路閉塞状況解析，日本地震工学会論文集，2008)

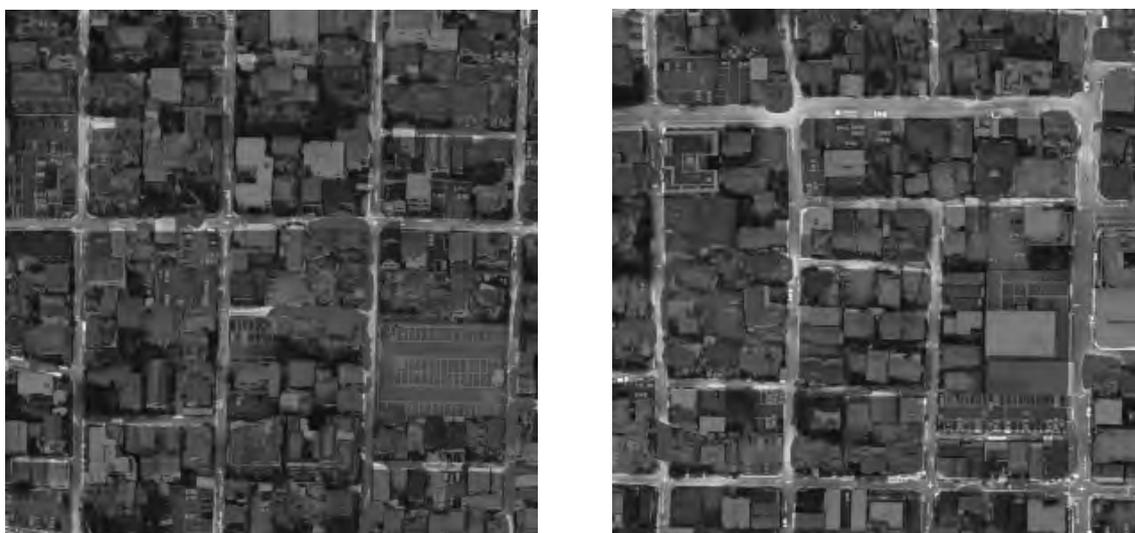
図2.2-5は、提案手法の処理の流れである。航空画像とデジタル地図の位置を合わせることで、航空画像を道路領域、建物領域、道路領域と建物領域の間を道路境界領域として分割する。それぞれの領域に対して、エッジの分散と比演算を用いて倒壊候補領域を抽出し、色情報を用いて焼失候補領域の抽出を行う。建物領域内の瓦礫領域は、倒壊候補領域と焼失候補領域を用いて抽出を行う。道路境界領域内の瓦礫領域は、建物の倒壊によって瓦礫が流出した場合に、道路境界上のエッジが不連続になるという特徴から、デジタル地図の道路データを利用して不連続な領域を抽出する。また、道路領域内の瓦礫候補領域の抽出は、道路領域に存在するエッジ角度のばらつき分散、局所領域内におけるエッジ密度をもとに抽出し、道路領域内の砂領域は、色情報を用いている。道路閉塞領域は、道路瓦礫候補領域、砂領域、建物瓦礫領域、および、境界瓦礫領域の位置関係を用いて解

析している。図2.2-6、図2.2-7、図2.2-8に、航空機画像、正解画像、および、道路閉塞領域抽出結果を示す。



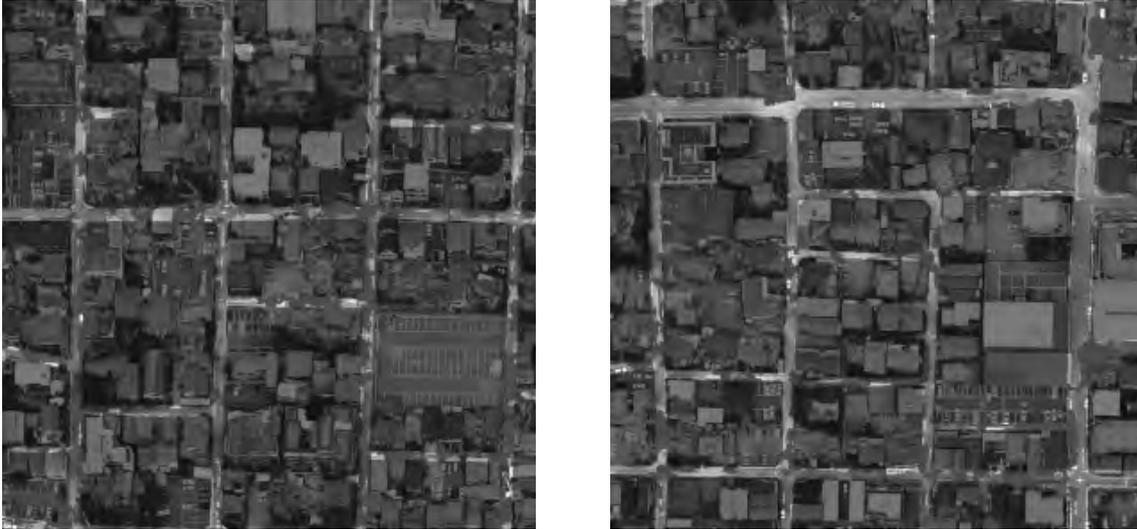
**図2.2-6 航空機画像**

(出典：河合荘景・佐治齊，航空画像を用いた都市部における地震災害後の道路閉塞状況解析，  
日本地震工学会論文集，2008)



**図2.2-7 正解画像**

(出典：河合荘景・佐治齊，航空画像を用いた都市部における地震災害後の道路閉塞状況解析，  
日本地震工学会論文集，2008)



**図2.2-8 道路閉塞領域抽出結果**

(出典：河合荘景・佐治齊，航空画像を用いた都市部における地震災害後の道路閉塞状況解析，  
日本地震工学会論文集，2008)

この解析手法では、1200×1200画素(約300×300m)の対象地区を11秒程度の時間で、約85%以上の道路閉塞領域の抽出が可能であることが確認されている。また、自動車の存在や斜投影された高層建築物の影響により、誤抽出箇所が示されていた。

### ③ 航空機マルチスペクトル画像による建物被害地域の自動抽出

兵庫県南部地震の後、地震災害把握のためのリモートセンシングデータの利用方法を検討するため、宇宙開発事業団(現:JAXA)を中心にリモートセンシング観測が実施された。その中で、可視光から赤外領域までのバンドを有するマルチスペクトルスキャナ(MSS)を航空機に搭載し、神戸・阪神地域の被災地を観測した。三富ら<sup>7)</sup>は、地震の1週間後に取得された航空機MSSの画像を用いて、建物の被害が甚大な地域の推定を行っている。航空機MSSの観測バンド数は可視光7、近赤外2、中間赤外2、熱赤外1の計12バンドで、画像の地上解像度は約8mである。

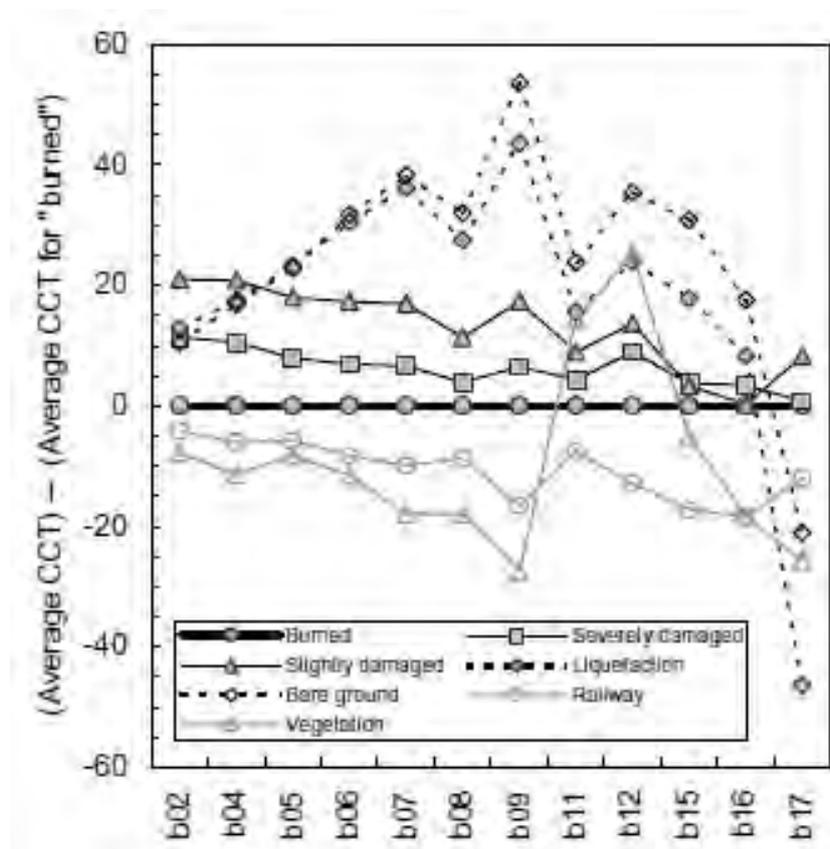


図2.2-9 抽出したトレーニングデータのスペクトル特徴

(出典：三富創・松岡昌志・山崎文雄・谷口仁士・小川雄二郎，航空機MSSの多バンド画像を用いた1995年兵庫県南部地震の建物被害地域の抽出，第11回日本地震工学シンポジウム論文集，2002)

航空機MSS画像における被害地域等のスペクトル特性を調べるため、神戸市灘区の画像からトレーニングデータを抽出した。抽出カテゴリーは、建物被害(焼失地、建物大被害、建物小被害)、液状化箇所、裸地、鉄道の軌道、植生の7種類である。図2.2-9は、観測輝度値の平均値から焼失地の観測輝度値の平均値を差し引いた値をもとにしたカテゴリー別の相対的なスペクトル特性である。建物被害のスペクトル特性は似ているが、建物の被害レベルが大きいほど可視光領域の観測輝度値が小さくなる。液状化箇所は、可視光の長波長領域から近赤外・中間赤外の範囲で観測輝度値が大きい。この検討結果を踏まえ、最尤法を用いた建物被害は、神戸市域の海側が建物大被害、山側が建物小被害に分類されている。また、焼失に分類された結果をもとに21×21画素ウィンドウによるテクスチャ解析を行っている。それによると、建物大被害地域と焼失地域は、焼失として抽出された画素が21×21画素ウィンドウ内にそれぞれ10%以上、30%以上含まれる地域で概ね説明できる可能性があることを示している。図2.2-10は、神戸市東灘区、灘区、中央区、兵庫区の現地調査による建物被害状況であり、図2.2-11は本手法の解析結果である。



図2.2-10 現地調査の建物被害状況

(赤：焼失、黄：建物大被害、赤枠：気象庁が観測した震度7の地域)

(出典：三富創・松岡昌志・山崎文雄・谷口仁士・小川雄二郎，航空機MSSの多バンド画像を用いた1995年兵庫県南部地震の建物被害地域の抽出，第11回日本地震工学シンポジウム論文集，2002)

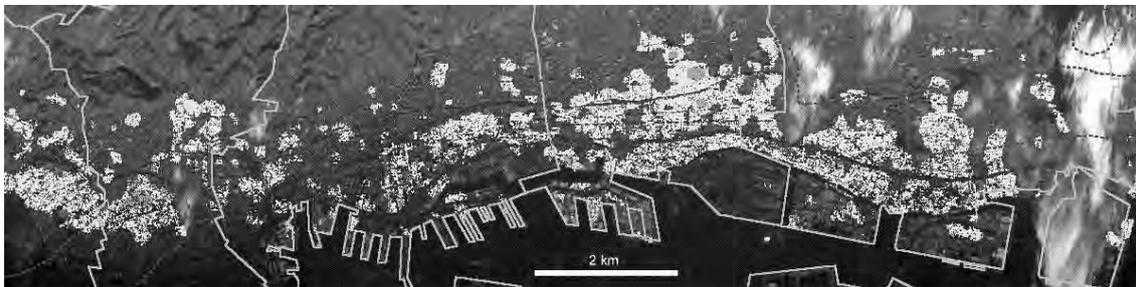


図2.2-11 建物被害の解析結果

(オレンジ：建物大被害、黄：焼失)

(出典：三富創・松岡昌志・山崎文雄・谷口仁士・小川雄二郎，航空機MSSの多バンド画像を用いた1995年兵庫県南部地震の建物被害地域の抽出，第11回日本地震工学シンポジウム論文集，2002)

## 2.2.2 新潟中越地震の事例

### (1) 概要

2004年10月23日17時56分に新潟県中越を震源とするマグニチュードM6.8の地震が発生した。この地震により多数の住民が被災し、人的被害は、死者68人、負傷者4805人、建物被害は、全壊3175棟、半壊13808棟の大災害となった<sup>1)</sup>。新潟県中越地震は、全国有数の地すべり地域の直近で発生した強い直下型地震であったため、広域に渡って極めて多数の斜面崩壊、および、地すべりが発生し、河道閉塞、道路寸断、また、多量の不安定土砂に起因したさまざまな二次災害等、甚大な被害をもたらした。この地震は、平地での地盤災害に加えて、中山間地における斜面災害の多発が大きな特徴である<sup>2)</sup>。この地震の発生した当時、航空写真撮影のほか、航空機デジタルカメラ、レーザ測量、航空機SAR、および、各種の衛星による被害情報の収集が行われた。特に、高分解能光学衛星による詳細な被害状況の把握が行われた。表2.2-2に、調査した新潟県中越地震におけるリモートセンシング技術の活用事例を示す。

表2.2-2 新潟中越地震におけるリモートセンシング技術活用の事例

データ取得手段	解析手法	他データ利用	解析結果	課題	備考
航空機光学画像 (RC: 航空写真 カメラ)	単時期画像解析 (エッジ情報利用)	道路データ	道路被害	正確さ	研究 <sup>13)</sup>
航空機光学画像 (DMC: 航空 デジタルカメラ)	単時期画像解析 (テクスチャおよび 色彩情報利用)	なし	災害状況	正確さ	研究 <sup>14)</sup>
航空機 SAR 画像 (Pi-SAR)	単時期、二時期画像 目視判読	なし	土砂崩れ 水害エリア	判読時間を要する	研究 <sup>15)</sup>
無人ヘリ 光学画像および レーザデータ (EOS、LMS)	単時期画像写真測量 (ステレオマッチング、 レーザデータ参照)	なし	農地 地すべり	処理時間を要する	研究 <sup>16)</sup>
高分解能光学衛星 画像 (IKONOS)	単時期画像目視判読	航空写真	災害状況	判読時間を要する	実利用 <sup>17)</sup>
	単時期画像目視判読 (エッジ、テクスチャ、 教師なし分類利用)	なし	道路、河川 施設	判読時間を要する	研究 <sup>18)</sup>
	二時期画像解析 (植生指数および傾斜度)	DEM	斜面崩壊	影に隠れた崩壊地 および植生変化小 の崩壊地	研究 <sup>19)</sup>
高分解能光学衛星 画像 (SPOT-5)	二時期画像解析 (ステレオペアによる DEM作成および差分)	なし	斜面崩壊	中小規模の斜面災害	研究 <sup>20)</sup> 研究 <sup>21)</sup>
中分解能 SAR 衛星 画像 (RADARSAT-1)	二時期画像解析 (差分干渉)	DEM 水蒸気遅延 補正データ	地殻変動	地殻変動と被害の関係	研究 <sup>22)</sup>
	二時期画像解析 (強度差分と相関)	なし	建物被害	正確さ	研究 <sup>23)</sup>

## (2) 活用事例

高分解能光学衛星画像を用いて自動かつ詳細に斜面崩壊の被害判読を行った活用事例を2点示す。

### ① 高分解能衛星光学画像による斜面崩壊地の検出

この事例は、三浦と翠川<sup>19)</sup>による高分解能衛星IKONOS画像と数値標高モデル(DEM)を用いて斜面崩壊地を検出する研究である。使用したDEMは、航空機搭載レーザスキャナで取得された数値表層モデル(DSM)から、フィルタリング処理によって建物や樹木などの地表物を除去したものである。本研究では、地震前に存在した樹木などの植生が地震の影響により斜面下方へ移動することから、植生の活性度を表す指標NDVIが顕著に減少した地域を着目している。図2.2-12に、斜面崩壊地における地震前後のIKONOS画像、および、NDVI画像を示す。

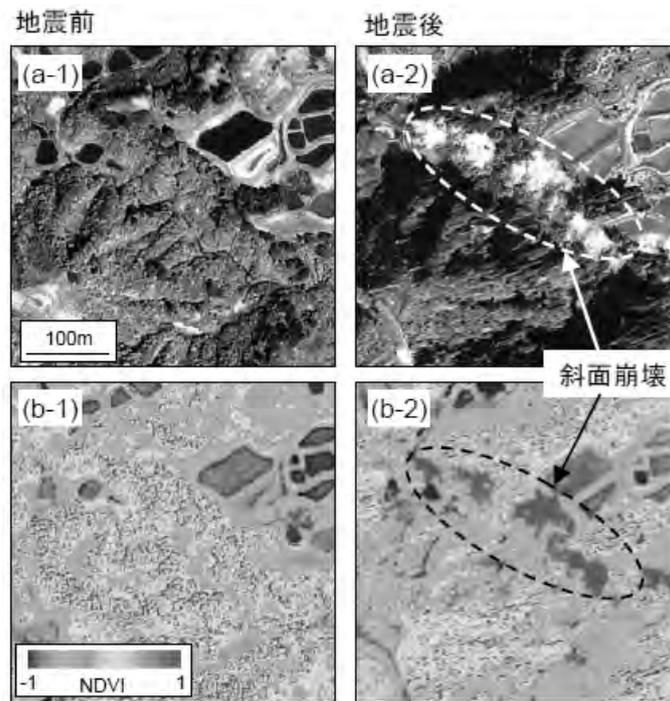


図2.2-12 斜面崩壊地における地震前後のIKONOS画像およびNDVI画像

(a-1、a-2：地震前後のIKONOS画像、b-1、b-2：地震前後のNDVI画像)

(出典：三浦弘之・翠川三郎，高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた2004年新潟県中越地震での斜面崩壊地の検出，日本地震工学会論文集，2007)



図2.2-13 NDVI による斜面崩壊地の検出の流れ

(出典：三浦弘之・翠川三郎，高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた2004年新潟県中越地震での斜面崩壊地の検出，日本地震工学会論文集，2007)

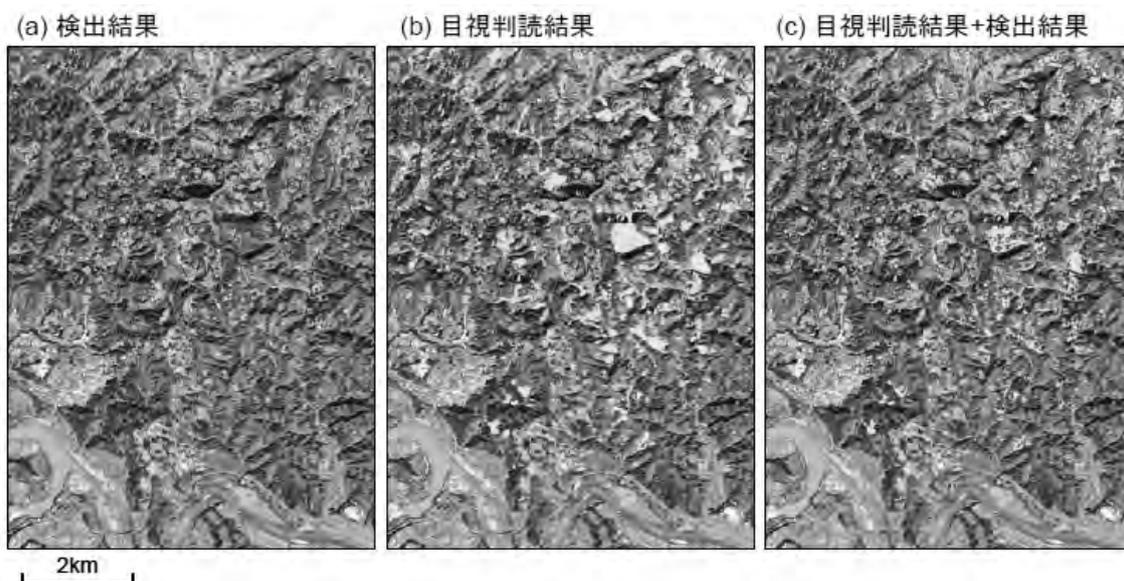


図2.2-14 斜面崩壊地の検出結果

(a: 検出結果(赤色)、b: 航空写真による目視判読結果(黄色)、c: 目視判読結果と検出結果の重ね合わせ)

(出典：三浦弘之・翠川三郎，高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた2004年新潟県中越地震での斜面崩壊地の検出，日本地震工学会論文集，2007)

図2.2-13は、解析の流れである。撮影時期の季節変化を補正するために、DEMを用いてオルソ幾何補正後に、非変化地域で地震前後のNDVIを正規化している。実際の斜面崩壊地における分布を参照して、地震前後のNDVIの差分値の閾値を検討している。また、誤検出軽減のために、DEMから算出される傾斜度が10度未満の平地を解析対象から除去している。解析結果は、抽出したピクセルを20mメッシュで再評価し、斜面崩壊地の分布としている。

図2.2-14に、斜面崩壊地の検出結果および目視判読結果を示す。推定された崩壊地分布は、航空写真の目視判読結果と比較し、85%程度の斜面崩壊地が検出できることが明らかになっている。影に隠れた崩壊地や植生変化の小さい崩壊地は検出が困難であることが示されている。以上より、表層崩壊などの斜面崩壊では植生が剥落する場合が多くみられることから、本手法は他地域での斜面崩壊事例に対しても適用可能と考えられる。

## ② 高分解能衛星ステレオ画像による広域斜面災害の評価

この事例は、宮崎、筒井ら<sup>20)21)</sup>が、高分解能衛星SPOT-5ステレオ画像から得た高精度数値標高モデル(DEM)を用いて、地形特徴により斜面災害の検出と災害規模を推定した研究である。

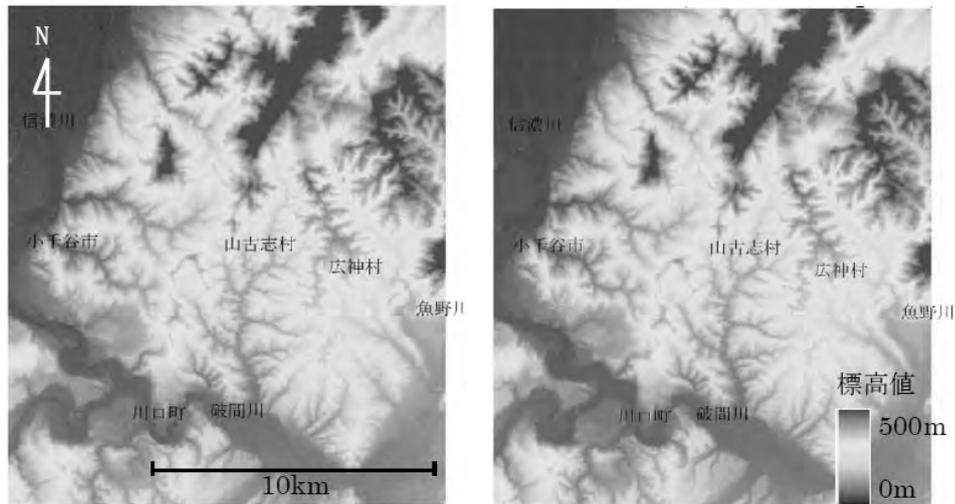


図2.2-15 SPOT-5衛星ステレオ画像より抽出した震災前後のDEMデータ  
(左：震災2か月前の2004年8月、右：震災直後の2004年10月、11月)

(出典：宮崎早苗，高解像度衛星リモートセンシング技術と広域斜面災害評価への応用，一新潟県中越地震における3D地形解析を例として，ユビキタスPF，センサネットワークG，2005)

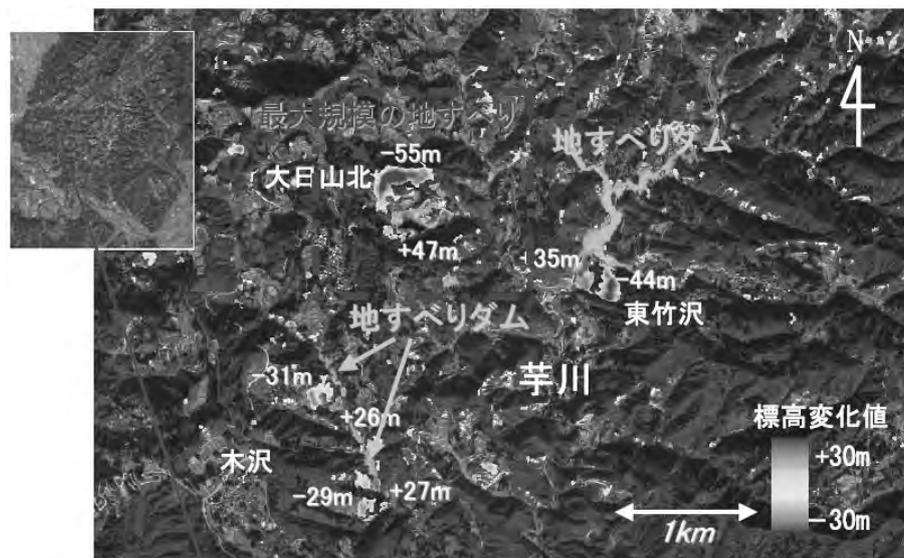


図 2.2-16 芋川流域の中越地震前後の標高変化

(出典：宮崎早苗，高解像度衛星リモートセンシング技術と広域斜面災害評価への応用，一新潟県中越地震における3D地形解析を例として，ユビキタスPF，センサネットワークG，2005)

使用した画像は、震災2か月前の2004年8月2日、13日と、震災直後の2004年10月29日、11月9日に、新潟県小千谷市・山古志村周辺域を撮影した2組のSPOT-5衛星ステレオペア画像である。デジタル写真測量解析を行い、震災前後の5mメッシュ数値標高モデル(DSM)データを作成している。次に、DEMデータは、DSMデータから樹木の高さを

減算補正している。航空レーザ計測によるDEM、DSMデータとの精度検証を行った結果は、DEMデータで約4～5m (RMSE)、DSMデータで約6m (RMSE)の高さ精度であった。図2.2-15は、SPOT-5衛星ステレオ画像より抽出した震災前後のDEMデータを示す。

本研究では、震災前後のDSMとDEMデータを用いて標高変化を自動的に解析し、地すべり・崩壊箇所を検出している。航空写真判読図に基づき評価した結果、約70%が斜面災害発生箇所であることが示されている。大規模な地すべり、または、崩壊である箇所は、全箇所が検出されている。大日山、東竹沢、一峰沢左岸の3つの地すべりは、大規模な崩壊発生箇所であり、その中で、最大の標高の変化が検出されたのは、大日山北方の地すべりである。地すべりダムの近傍では、大きな標高変化が検出された。東竹沢、南平・池谷、榎木、寺野(芋川沿い)、および、木沢東方、峠東方(塩谷川沿い)の斜面上でマイナス方向20m以上の標高変化が検出され、河道の閉塞位置でプラス方向20m以上(榎木のみ+12m)の標高変化が検出されている。図2.2-16、図2.2-17に、芋川流域の中越地震前後の標高変化解析結果と、大日山北方地すべり規模の推定結果をそれぞれ示す。

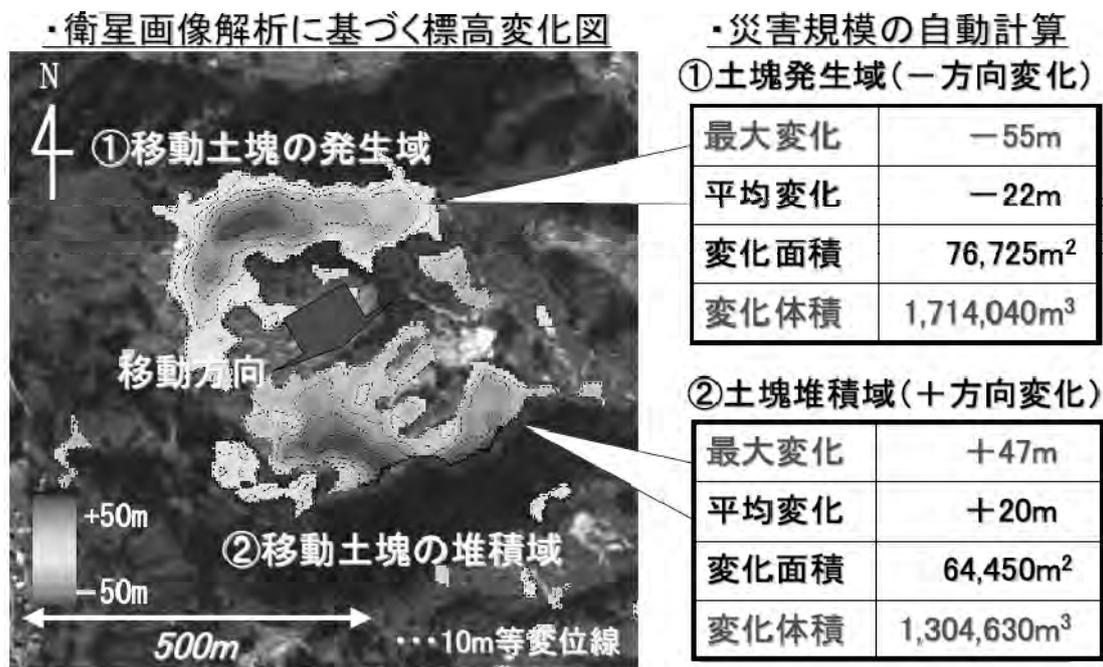


図 2.2-17 大日山北方地すべりの規模推定

(出典：宮崎早苗，高解像度衛星リモートセンシング技術と広域斜面災害評価への応用，一新潟県中越地震における3D地形解析を例として－，ユビキタスPF，センサネットワークG，2005)

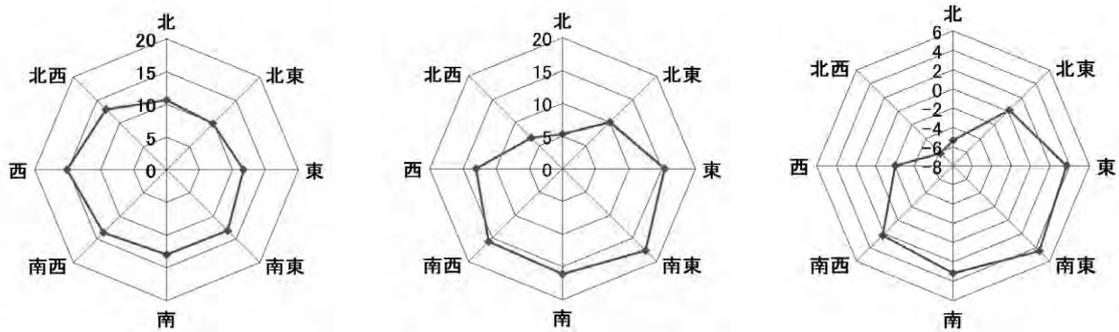


図2.2-18 東山丘陵全体の斜面方位分布と斜面災害発生箇所の崩壊方位分布の比較

(左：全体の斜面方位分布、中：斜面災害の崩壊方位分布、右：崩壊方位と全体方位の面積割合差分)

(出典：宮崎早苗, 高解像度衛星リモートセンシング技術と広域斜面災害評価への応用, 一新潟県中越地域における3D地形解析を例として, ユビキタスPF, センサネットワークG, 2005)

また、DEMデータを用いて斜面災害発生箇所の傾斜角を分析している。その結果、10～50°の幅広い傾斜角で斜面災害が発生し、20～30°の傾斜角での発生面積が最も大きい。崩壊方位の分析では、南東を中心とする東～南西方位の発生面積が大きい。図2.2-18に、東山丘陵全体の斜面方位分布と斜面災害発生箇所の崩壊方位分布の比較を示す。

### 2.2.3 岩手・宮城内陸地震の事例

#### (1) 概要

2008年6月14日8時43分に岩手県内陸南部の深さ8kmを震源とするM7.2の地震が発生した。この地震は、人的被害は、死者13人(不明10人)、負傷者449人、建物被害は全壊23棟、半壊69棟と大きな被害をもたらした<sup>1)</sup>。被害の特徴は、同じ規模の地震と比較して建物被害が少なく土砂災害が多かったことである。地すべりや土砂崩れが数多く発生し、河道閉塞、多量の不安定土砂に起因したさまざまな二次災害等が危惧された。一方、この地震が発生した当時には、航空や衛星リモートセンシングによる被害情報収集の手段が以前より進んでおり、高分解能SAR衛星による被害のモニタリング等も可能になった。表2.2-3に、調査した岩手・宮城内陸地震におけるリモートセンシング技術の活用事例を示す。

表2.2-3 岩手・宮城内陸地震におけるリモートセンシング技術活用の事例

データ取得手段	解析手法	他データ利用	解析結果	課題	備考
航空機光学画像 (DMC：航空デジタルカメラ)	二時期画像解析 (DSM作成、差分解析)	数値地図 50mメッシュ	斜面崩壊	処理時間を要する	実利用 <sup>24)</sup>
航空機レーザーデータ (ALS)	二時期データ目視判読 (陰影起伏図)	なし	地形・地盤 詳細変化	判読時間を要する	実利用 <sup>25)</sup>
	二時期データ解析 (差分解析)	なし	地形変化	広域の斜面災害	
高分解能光学衛星画像 (IKONOS)	二時期データ目視判読	なし	斜面崩壊	判読時間を要する	研究 <sup>26)</sup>
高分解能 SAR 衛星画像 (TerraSAR)	多時期データ目視判読 (フォールスカラー合成)	なし	斜面崩壊	判読時間を要する	研究 <sup>27)</sup>
					研究 <sup>28)</sup>
高分解能 SAR 衛星画像 (RADARSAT-2)	単時期画像目視判読	なし	斜面崩壊	判読時間を要する	研究 <sup>29)</sup>
中分解能光学衛星画像 (AVNIR)	単時期画像目視判読 (パンシャープン 画像作成)	なし	災害状況	判読時間を要する	研究 <sup>30)</sup>
中分解能 SAR 衛星画像 (PALSAR)	二時期画像解析 (差分干渉)	不明	地殻変動	地殻変動と 被害の関係	研究 <sup>31)</sup>

## (2) 活用事例

航空レーザーデータを用いた被害解析や、SARデータによる被災地域モニタリング、および、地殻変動抽出の活用事例を3点示す。

### ① 航空レーザーデータによる地形変化の抽出

この事例は、地震発生前後の2時期の航空レーザー計測データから作成したDEM(2mメッシュ)を用いて差分解析を行い、荒砥沢ダム上流地すべりの地形変化を自動的に抽出したものである<sup>25)</sup>。使用したデータは、2006年度、および、2008年6月15～16日に計測したレーザーデータである。図 2.2-19 は、荒砥沢ダム上流地すべり場所の航空写真と地形変化解析結果である。図 2.2-20 は、地震前後のレーザー計測地形データから作成した陰影起伏図である。荒砥沢ダム湖に流入した土砂や、三迫川右岸の大規模な崩壊による地形変化は明瞭であり、山腹斜面から尾根を跨ぐように生じた断裂が見える(丸印部分)。この断裂を境にして、北側の範囲が東に移動し、南側の範囲はわずかに西または南方に移動しているように見える。断裂の北側の移動範囲は、図の西端よりもさらに西側まで広がっているようであり、また、三迫川左岸の斜面は南東側に移動しているように見える。

以上により、本解析では、地震前後の地形・地盤の変化が細部まで再現されていることが明らかになった。航空レーザーデータを地震発生前に計測することは、地すべりや土砂崩れが発生する可能性が高い地域では必要不可欠であると思われる。

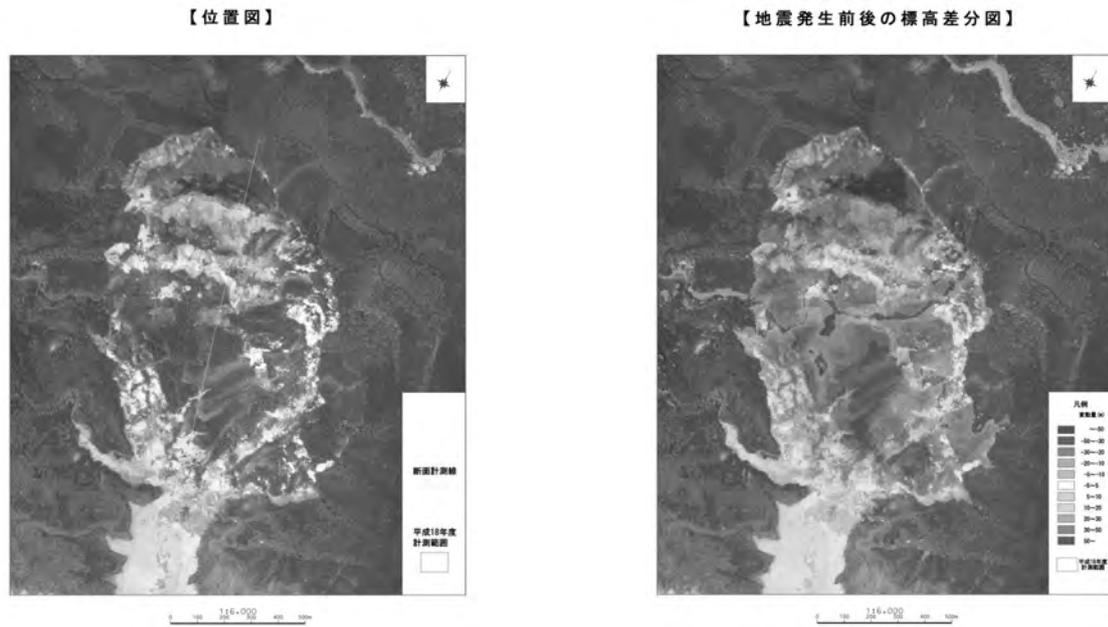


図 2.2-19 荒砥沢ダム上流地すべり場所および地形変化解析の結果

(出典 : [http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200806\\_iwatemiyagi/index.html](http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200806_iwatemiyagi/index.html),

【速報】平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震, 国際航業株式会社)

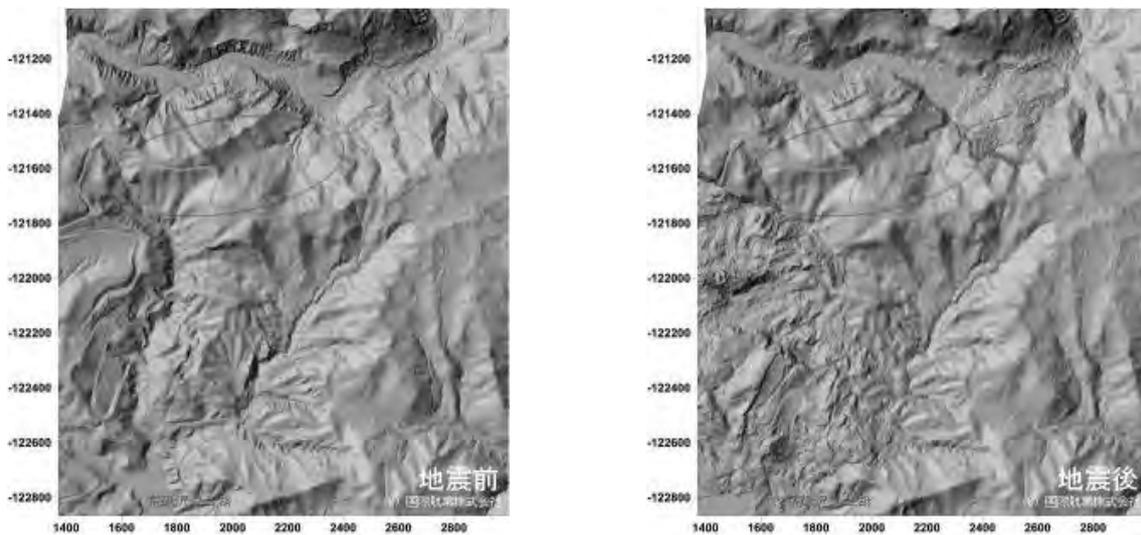


図 2.2-20 地震前後のレーザ計測地形データから作成した陰影起伏図

(出典 : [http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200806\\_iwatemiyagi/index.html](http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200806_iwatemiyagi/index.html),

【速報】平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震, 国際航業株式会社)

## ② 高分解能衛星 SAR 画像による地すべり変化のモニタリング

この事例は、鈴木ら<sup>27)28)</sup>が、2008年6月16日、7月8日および7月30日の3回にわたり、ドイツの高分解能Xバンド合成開口レーダ衛星TerraSARによって撮影した画像を用い、荒砥沢地すべり変化のモニタリングを行ったものである。図 2.2-21 に、撮影した荒砥沢地すべり地域の3回のTerraSAR画像を示す。この3回の撮影画像に対して、色割り当て処理を行って合成した画像が図 2.2-22 である。図 2.2-22 の左側の画像は、1回目の撮影画像を赤バンド、2回目の画像を緑と青バンドに割り当てて合成した画像である。黒い影が生じると赤くなり、逆の場合には青くなる。右側の画像は、2回目の画像を赤バンド、3回目の画像を緑と青バンドに割り当てている。

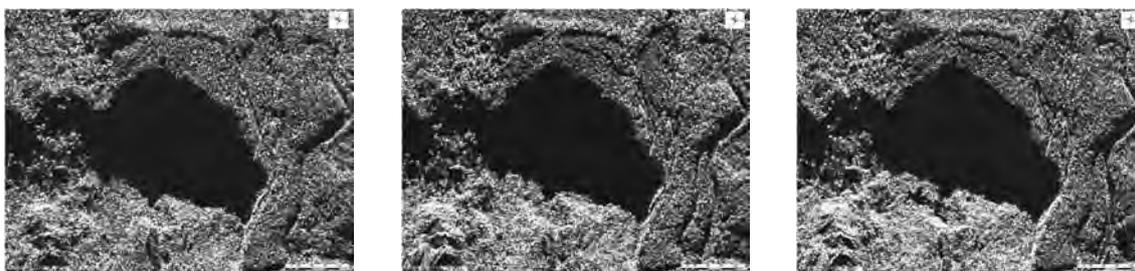


図 2.2-21 荒砥沢地すべり地域の TerraSAR 画像

(左:6月16日、中:7月8日、右:7月30日)

(出典:鈴木崇・鵜殿俊昭・柴山卓史, 高解像度 SAR 画像でみた中国四川省と岩手宮城内陸地震の被災状況, 第一回斜面防災世界フォーラム, 2008)

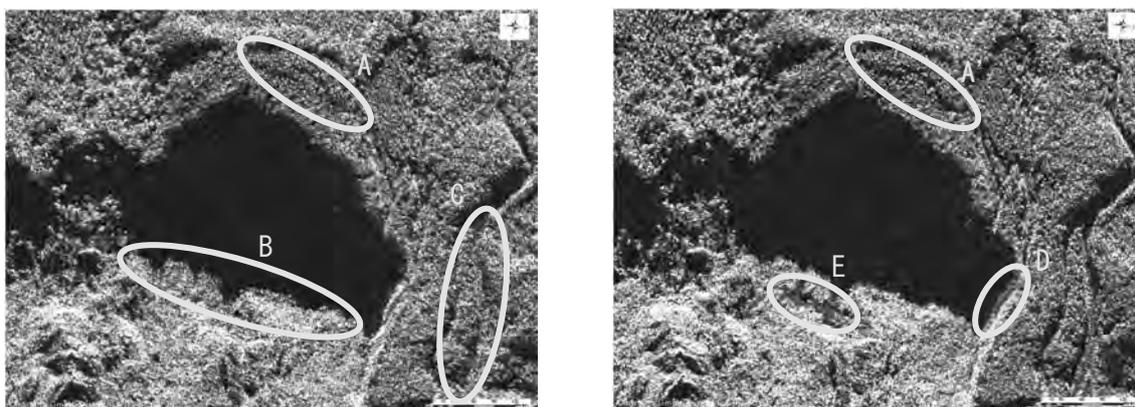


図 2.2-22 色割り当て処理後の TerraSAR 合成画像

(出典:鈴木崇・鵜殿俊昭・柴山卓史, 高解像度 SAR 画像でみた中国四川省と岩手宮城内陸地震の被災状況, 第一回斜面防災世界フォーラム, 2008)

図 2.2-22 に示す TerraSAR 合成画像を用いて荒砥沢地すべりによる地形変化の判読した結果、左側の画像より、場所Aに新たな亀裂が発生し、大きな落差を生じている。影の長さが約10mであったことから落差は8.5mと計算している。場所Bでは、滑落崖の影が後退している。Aに伴い滑落崖の肩が沈下したためであろうと考えている。場所Cの影は、道路の付け替え工事に伴い、伐採、掘削されたため生じたと考えている。右側の画像では、場所A'において、2回目の撮影画像で生じていた亀裂がさらに拡大している。影の長さも約13mと広がっており、落差は11mと計算している。場所Dでは、細長い小さなブロック（長さ70m幅5m）が消失している。場所Eでは、湛水面と思われる影（長さ80m幅15m）が拡大している。2回目撮影の時点で小さなもの（直径13m）が生じていたと考えている。また、TerraSARの撮影画像を用いて荒砥沢地すべりの変化部の計測も試みている。図 2.2-23 と図 2.2-24 に、荒砥沢地すべりの変化部の拡大図を示す。図 2.2-23 では、線状の影が左上方へ次第に伸びている。この形状は滑落崖の上端の形状と調和的であり、新たに生じた亀裂であると推定している。滑落崖の影が後退していることから開口ではなく沈下したと考えている。左側画像における影の長さは10mであるため、沈下量は約9mと推定している。また、右側画像における影の長さは13mであるため、沈下量は約11mと推定している。図 2.2-24 の左側の画像では、影が崖の方へ移動していることから、滑落崖の上端は崩落してなくなったか、沈下したと考えている。場所Fの影の移動量は16m、高さの変化は14mと推定する。また、場所Gの影の移動量は14m、高さの変化は12mと推定する。

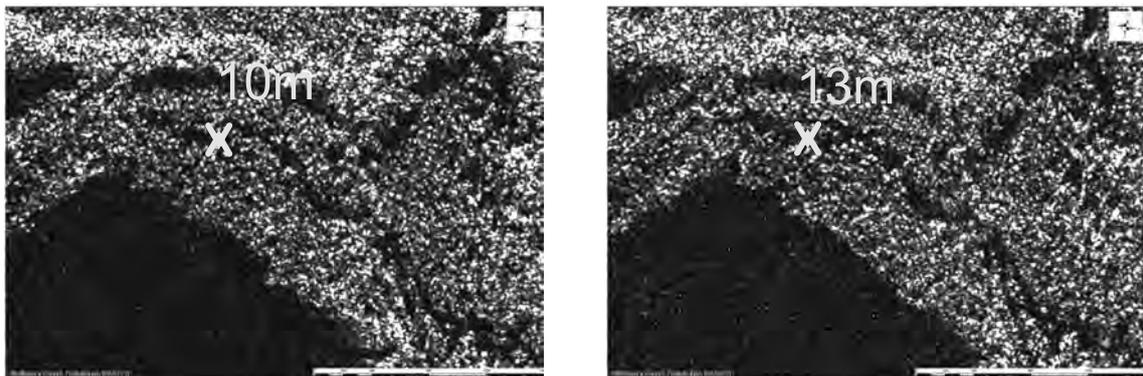


図 2.2-23 荒砥沢地すべりの変化部の拡大図（A場所）

（左：2回目撮影画像、右：3回目撮影画像）

（出典：鈴木崇・鶴殿俊昭・柴山卓史，高解像度 SAR 画像でみた中国四川省と岩手宮城内陸地震の被災状況，第一回斜面防災世界フォーラム，2008）

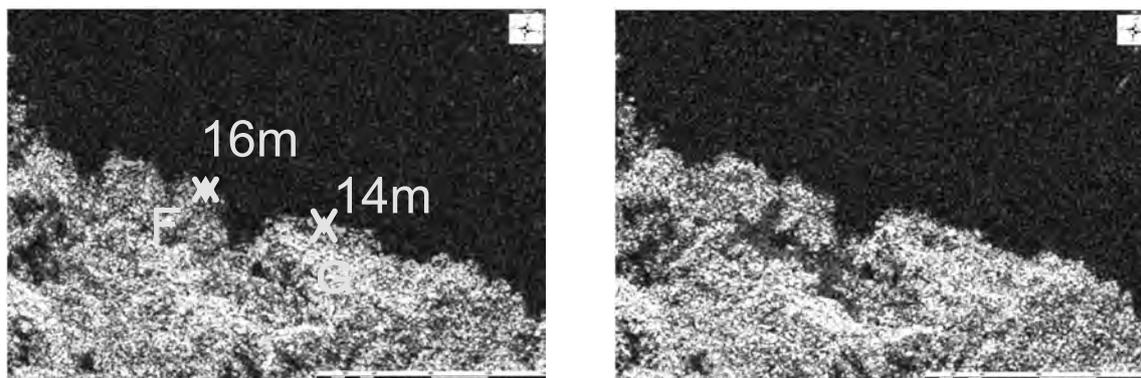


図 2.2-24 に、荒砥沢地すべりの変化部の拡大図(B場所)

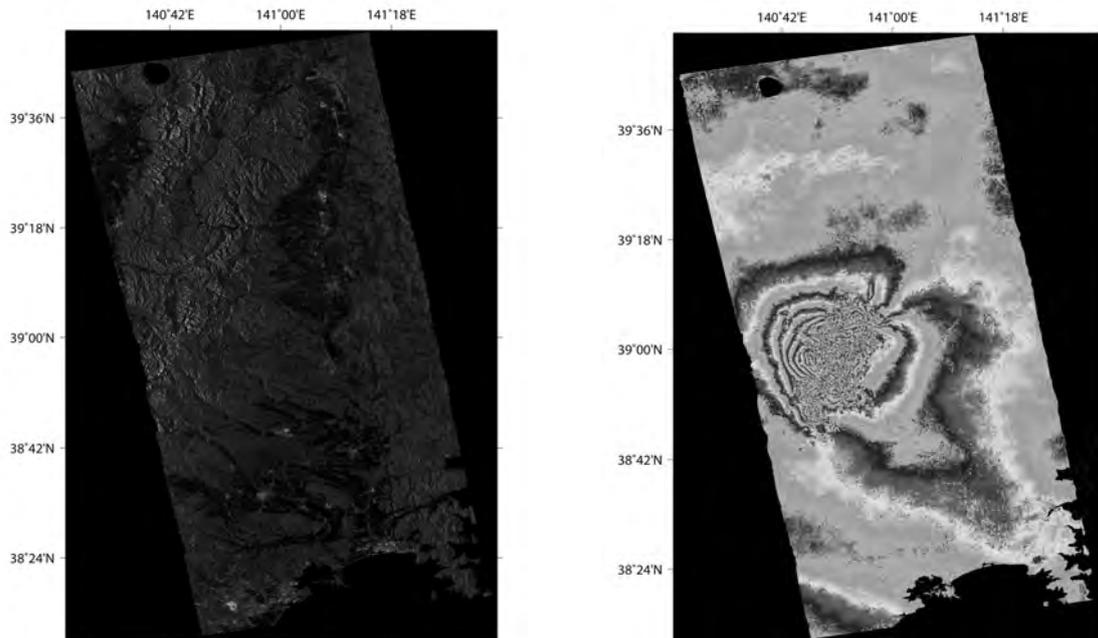
(左：1回目－2回目撮影画像、右：2回目－3回目撮影画像)

(出典：鈴木崇・鶴殿俊昭・柴山卓史，高解像度 SAR 画像でみた中国四川省と岩手宮城内陸地震の被災状況，第一回斜面防災世界フォーラム，2008)

この事例では、高解像度衛星SAR画像を用いて、大規模な亀裂の発生とその変化をとらえることができ、影の長さから亀裂の落差や滑落崖頭部の沈降量を計測できることが報告されている。以上より、高解像度衛星SAR画像を定期的に同一諸元で撮影することで、比較的簡単に変化を抽出できることを示した。

### ③ 中分解能衛星 SAR 画像による地殻変動状況を把握

この事例は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が、平成20年6月23日21時に陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)搭載のLバンド合成開口レーダ(PALSAR)により緊急撮影された画像、および、平成19年6月21日に同じ軌道から取得した画像を使用して、差分干渉処理によって地殻変動状況を解析したものである<sup>31)</sup>。「だいち」は南から北へ飛行しながら、震央を含む領域を観測した。図 2.2-25 に、地震後のPALSAR画像、および、地震前後の画像を比較した差分干渉画像を示す。



**図 2.2-25 地震後の PALSAR 画像および地震前後の差分干渉画像**

(左:南北約 200km に渡る地震後の PALSAR 画像、右:地震前後の差分干渉画像)

(出典:[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img\\_up/jdis\\_iwatemiyagi\\_eq\\_080623.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_iwatemiyagi_eq_080623.htm), 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)による平成 20 年岩手・宮城内陸地震の緊急観測結果について(3), 宇宙航空研究開発機構)

図 2.2-26 は、差分干渉画像の中で、変動の大きかった領域約 70km×70kmを拡大したものであり、断層運動による地殻変動の様子をより細かく把握する事ができる。推定される断層直上およびその近傍(震央の周辺)では、狭い範囲での変動が大きすぎて、差分干渉処理では変動量の検出が困難であることが示されている。しかし、その領域の東西では明瞭な干渉縞が確認できる。震央の東側では、緑→黄→赤→紫→青→緑が2周期分(1周期=11.8cm)確認できるため、23.6cmの衛星に近づく向きの地殻変動と推定されている。また、西側では緑→青→紫→赤→黄→緑が8周期分確認されるため、衛星から遠ざかる向きに94.4cmの変動があったと推定されている。今回の「だいち」による観測から、岩手・宮城内陸地震に伴って広い範囲に渡り大きな地殻変動が生じたことを確認できたことが報告されている。

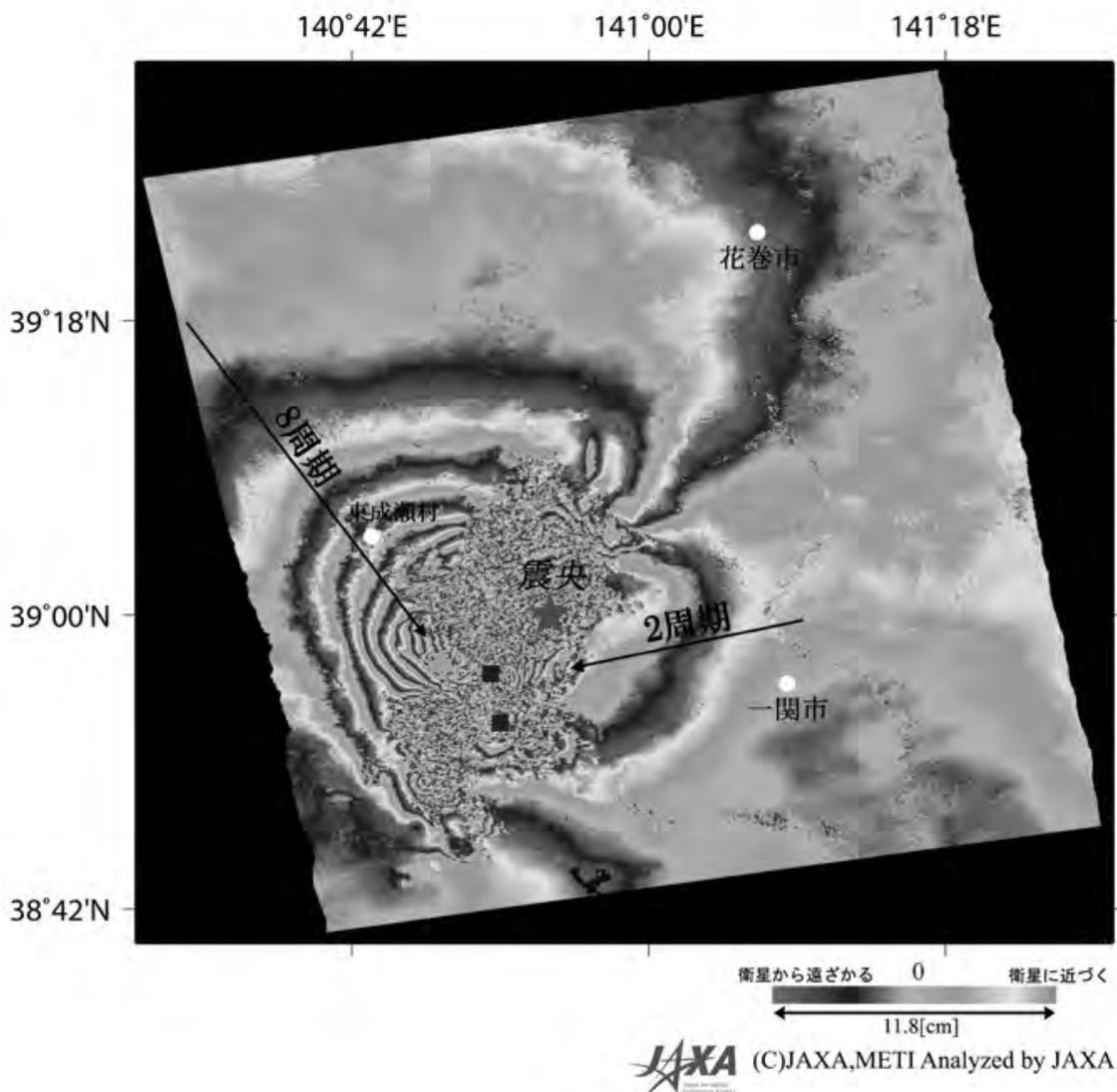


図 2.2-26 南北 70km×東西 70km の PALSAR 差分干渉画像

(出典：[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img\\_up/jdis\\_iwatemiyagi\\_eq\\_080623.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_iwatemiyagi_eq_080623.htm), 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)による平成 20 年岩手・宮城内陸地震の緊急観測結果について(3), 宇宙航空研究開発機構)

## 2.2.4 中国汶川地震の事例

### (1) 概要

2008年5月12日14時28分に中国四川省汶川県を震源とする特大地震が発生した。汶川地震のマグニチュードは8.0で、内陸地震としては最大級のものである。この地震は、中国民政部の発表によると、7月24日12時までには、人的被害は、死者69197人、行方不明18209人、負傷者374176人、また、物的被害は、通信光ファイバ被害合計36198km、道路被害合計53295km、上水道被害合計48275.5kmと巨大被害をもたらした。汶川地震の特徴として、直下型の地震であり、震度が高く、震源が浅く、波及範囲が広い。また、震源位置は

都市部に近く、被災地の地質環境が複雑なため、都市部における建物、道路の被害、および山間部における斜面被害がともに甚大であり、地すべりや土砂崩れ、土石流等の土砂災害が数多く発生し、河道閉塞等のさまざまな二次災害が危惧された。統計によると、汶川地震で土砂災害が発生した箇所は12000箇所に達し、危険箇所は約8700、危険な堰止湖は30以上となった。一方、地震後の被災情報収集や災害状況のモニタリング、救援活動におけるリモートセンシング技術の利用は、前例のない規模で行われた。使用したリモートセンシングデータの種類、データ量、観測範囲、および、観測期間は、今まで中国国内、および、国際の災害観測を遥かに超えた。地震発生直後、中国は国際災害チャーターを緊急発動し、また、衛星、航空機、無人機、地上計測車から被害状況の把握を図っていた。国際災害チャーターの利用について、12カ国の衛星24機合計1277シーンの画像を取得した(震災前アーカイブ画像622シーン、震災後新規撮影635シーン)<sup>32)</sup>。また、震災後の高分解能衛星画像の利用は77万km<sup>2</sup>、航空撮影総面積は11万km<sup>2</sup>に達した。被害情報収集および救援期間中、航空機SARの利用が一番多く、5月14日～20日の間に、毎日平均撮影時間は11時間となり、撮影総面積は65千km<sup>2</sup>に達し、多偏波技術も広く利用された<sup>33)</sup>。そのほかに、マルチソースリモートセンシングデータの利用や、高分解能SAR衛星による被害のモニタリング等も多岐に渡って利用された。表 2.2-4 に、調査した汶川地震におけるリモートセンシング技術の活用事例を示す。

表2.2-4 中国汶川地震におけるリモートセンシング技術活用の事例

データ取得手段	解析手法	他データ利用	解析結果	課題	備考
航空機光学画像 (DMC)	デジタル写真測量	なし	DSM 正射画像	処理時間を要する	実利用 <sup>34)</sup>
無人機 (FlyingImager-1)	画像取得および 3次元可視化	なし	災害状況	広域利用	実利用 <sup>35)</sup>
高分解能衛星光学画像 (SPOT-5)	単時期画像自動解析 (3次元水域境界)	DEM	堰止湖 容量	DEM精度	研究 <sup>36)</sup>
高分解能衛星 SAR 画像 (TerraSAR)	単時期画像目視判読	なし	建物被害 地すべり 堰止湖	判読時間を要する	実利用 <sup>37)</sup>
高分解能衛星 SAR 画像 (COSMO-SkyMed)					
中分解能衛星光学画像 (SPOT-5)	二時期画像解析 (変化検出)	土地利用 データ	農地被害	ほかの被害情報	実利用 <sup>38)</sup>
中分解能衛星光学画像 (ALOS/AVNIR)					
中分解能衛星光学画像 (ALOS/AVNIR)	二時期画像自動判読 (植生指数および分類)	SRTM DEM	斜面災害 水域変化	正確さ	研究 <sup>39)</sup>
中分解能衛星 SAR 画像 (PALSAR)	二時期画像自動判読 (強度差分と相関)	なし	建物被害	正確さ	研究 <sup>40)</sup>
	二時期画像自動判読 (植生指数および分類)	不明	地殻変動	地殻変動と被害の関係	研究 <sup>41)</sup>

## (2)活用事例

無人機や高度なデジタル写真測量システムを利用した被災状況把握の活用事例を2点示す。

### ① 航空撮影画像の自動処理

航空写真測量による正確なDEMデータと高分解能正射画像は、救援計画の策定に有効な情報である。従来の航空写真撮影では、航空機が撮影計画通りに安定な姿勢を保ち、一定の画像間オーバーラップで規定通りの撮影を行い、空中三角測量と図化の要求を満たすことが必要である。しかし、震災直後の緊急撮影は、航空機が主要道路、河流、橋梁等の重要交通幹線に沿って撮影し、また、都市部上空で旋回し、地上の情報を収集する等の臨機応変な撮影が不可欠である。撮影した大量の“非通常”画像の迅速、かつ、効率的な処理は、震災救援時のキー技術である。張ら<sup>34)</sup>は、研究開発された最先端のデジタル写真測量の並行処理システムDPGrid(Digital Photogrammetry Grid)を用いて、汶川地震の直後に撮影したデジタル航空機カメラDMCの画像処理を行った。図 2.2-27には、2008年5月15日に行った航空撮影の航跡図を示す。

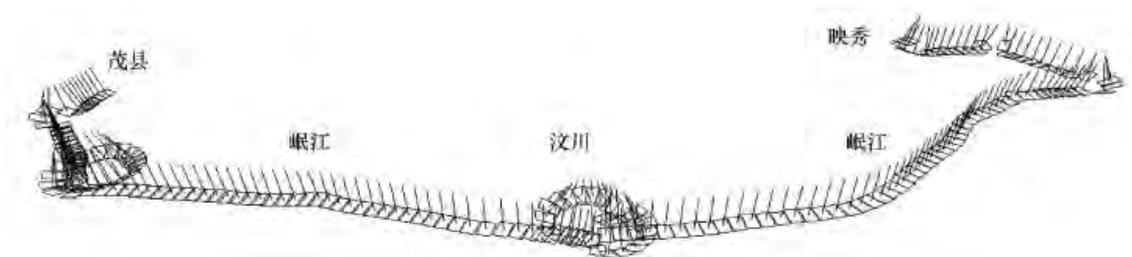


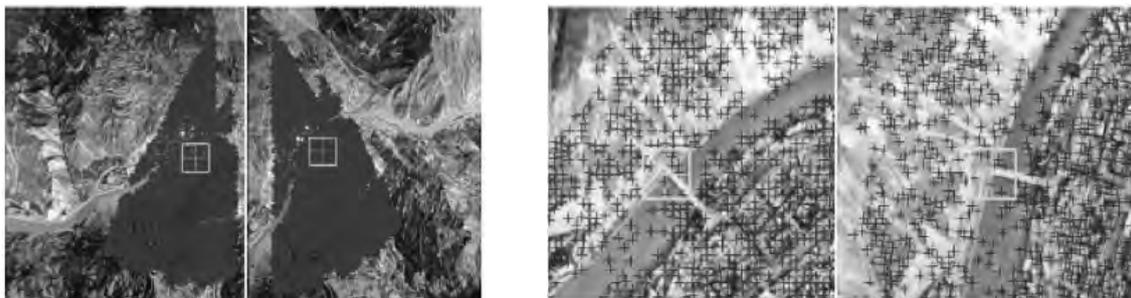
図 2.2-27 2008年5月15日の航空撮影の航跡図

(出典：Zhang zuxun, Guo dahai, Ke tao, Wang jianchao, The use of aerial photogrammetry in the fast response for China earthquake rescue, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol. 12, No. 6, 2008)

撮影した画像の特徴は以下である。1)バンク角は大きい(最大ロール角 $30^{\circ}$ )。2)山間部の地形起伏が激しいため、画像間のオーバーラップ率の変動は大きい。3)緊急撮影のため、GPS基準点の設置がない。4)GPS/IMUシステムの補正を行わず、POSデータの精度が悪い(オリジナルPOSデータを直接利用した場合、平均縦視差6.8ピクセル、最大16.8ピクセル)。

このようなバンク角が大きく、またオーバーラップも大きく変動する“非通常”撮影画像に対して、DPGridシステムは、POSデータがなくても、画像間の正確なバンク角とオーバーラップ率を自動的に算出し、画像マッチングの速度、および、信頼度を向上させている。また、DPGridシステムは、GCPがない場合でも、POSデータのバンドル調整を行い、POSデータ間の相対誤差を削除することができている。図 2.2-28には、バンク角が $30^{\circ}$ のステ

レオ画像マッチング結果を示す。図 2.2-29 には、オリジナルPOSデータの誤差による正射画像モザイクの誤差、および、バンドル調整後の正射画像を示す。



**図 2.2-28 バンク角が30° のステレオ画像マッチング結果**

**(左側：全体マッチング結果、右側：局部拡大図)**

(出典：Zhang zuxun, Guo dahai, Ke tao, Wang jianchao, The use of aerial photogrammetry in the fast response for China earthquake rescue, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol. 12, No. 6, 2008)

汶川地震直後の5月15日～19日の111時間の中に、武漢大学および中国国土資源航空物理探索リモートセンシングセンターは、DPGridシステムを用い、3台のPCを計算ノードとして、4393シーンの航空機デジタルカメラDMC画像の処理を行い、正射画像を生成して、救援活動に正確なデータ地形データを提供している。図 2.2-30 には、生成したDEMおよび正射画像を示す。図 2.2-31 に、正射画像上での破壊された道路・橋梁の計測、DEMと正射画像の重ねによる地すべりの面積と体積の計測、正射画像と等高線の重ねによる地形判読、および、正射画像とDEMによる唐家山堰止湖の3次元景観図作成等の震災救援活動における航空写真測量データの応用を示す。

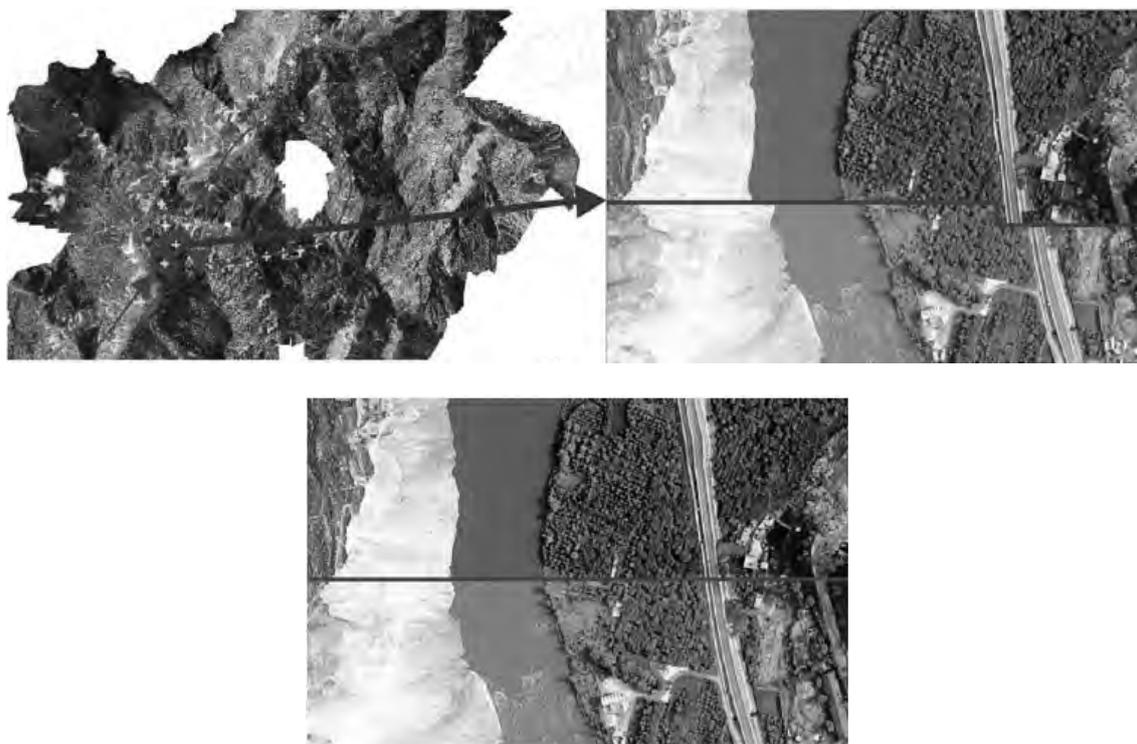


図 2.2-29 POSデータ補正前後の正射画像モザイク

(左上：飛行機航跡図、右上：オリジナルPOSデータの誤差による正射画像モザイク、  
下：POSデータのバンドル調整後の正射画像モザイク)

(出典：Zhang zuxun, Guo dahai, Ke tao, Wang jianchao, The use of aerial photogrammetry in the fast response for China earthquake rescue, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol. 12, No. 6, 2008)

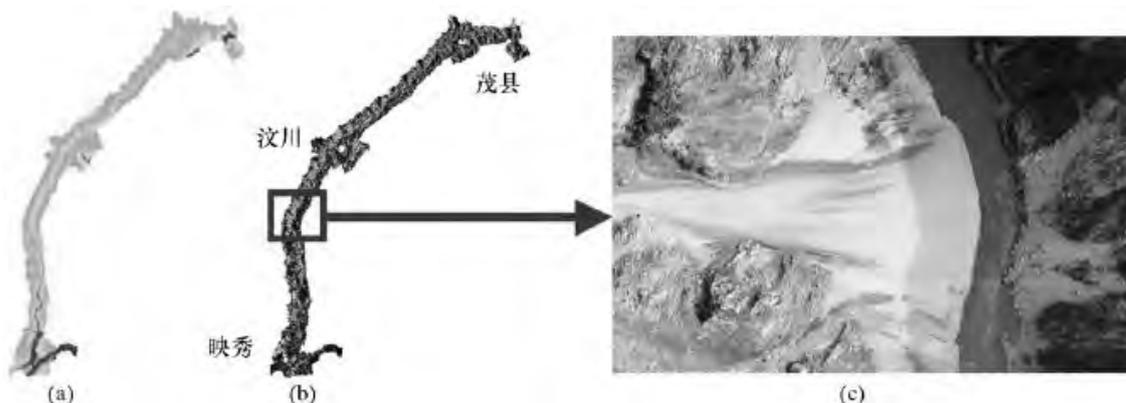


図 2.2-30 映秀－汶川－茂県地域のDEMおよび正射画像

(a：DEM、b：正射画像、c：地すべり)

(出典：Zhang zuxun, Guo dahai, Ke tao, Wang jianchao, The use of aerial photogrammetry in the fast response for China earthquake rescue, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol. 12, No. 6, 2008)



図 2.2-31 震災救援活動における航空写真測量データの応用

(左上：正射画像上に破壊した道路・橋梁の計測、右上：DEM と正射画像の重ねによる地すべり計測、左下：正射画像と等高線の重ね、右下：唐家山堰止湖の 3 次元景観図)

(出典：Zhang zuxun, Guo dahai, Ke tao, Wang jianchao, The use of aerial photogrammetry in the fast response for China earthquake rescue, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol. 12, No. 6, 2008)

## ② 無人機による被害状況の把握

無人機は、従来の衛星や航空リモートセンシングでは困難であった、雲の影響を受けない低高度からの画像取得を容易に行える。また、パイロットの人身安全のことを考慮する必要がなく、災害現場の撮影を安全に行い、かつ、高機動性を持つため、2次災害を引き起こす危険な地域で、効率よく情報を収集する手段として期待される。汶川地震が発生した後、周ら<sup>35)</sup>は、無人リモートセンシングにより、雲や雨が多かった山間地の数多くの画像を取得して3次元で可視化し、震災後の地すべり、土石流、および、堰止湖等の2次災害のモニタリングにおいて、非常に重要な役割を果たした。使用した無人機は、北京安翔動力科技有限公司の小型低空無人機飛象1号であり、飛行高度は最大4000m、通常の撮

影高度は400m～2000m位、飛行速度は90km/時、飛行時間は3時間、山間部での一回撮影作業時間は2時間、地上分解能は20cmで撮影画像を取得できる。

中国リモートセンシング応用研究所が開発した無人機の画像取得、および、3次元可視化システムは、撮影計画システム、画像取得システム、画像前処理システム、および、可視化管理システムの4つのサブシステムから構成されている。撮影計画システムには、3次元環境下における撮影計画モジュールと無人機航跡制御モジュールが含まれる。画像取得システムは、無人機撮影制御モジュールとリモートセンシング画像収集伝送モジュールから構成している。画像前処理システムは、カメラレンズ歪み補正モジュールと画像投影変換モジュールから構成されている。3次元可視化管理システムには、無人機画像空間アクセスモジュールと3次元可視化モジュールが含まれる。図 2.2-32 に、無人機の画像取得、および、3次元可視化システムの構成を示す。

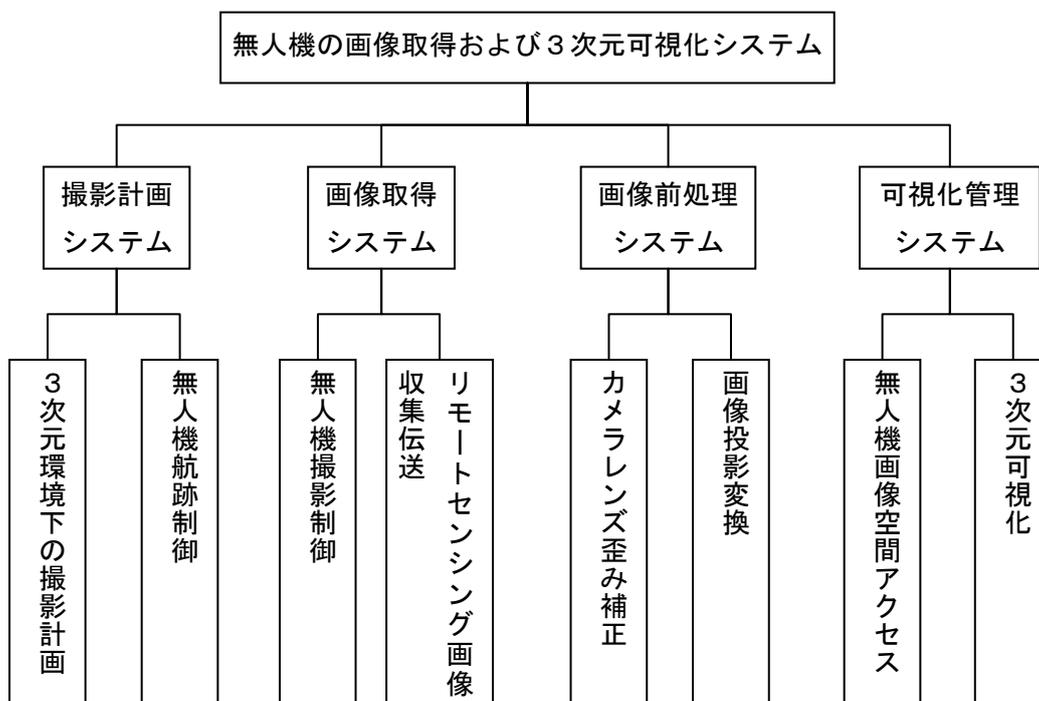


図 2.2-32 無人機の画像取得および3次元可視化システム構成

(出典 : Zhou jieping, Gong jianhua, Wang tao, wang dongchuan, Yang liyang, Zhao xiangjun, Hong yu, Zhao Zhongming, Study on UAV remote sensing image acquiring and visualization management system for the area affected by 5.12 Wenchuan earthquake, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol.12, No. 6, 2008)



図 2.2-33 FORMASAT 画像を用いてレジストレーションされた無人機画像

(出典 : Zhou jieping, Gong jianhua, Wang tao, wang dongchuan, Yang liyang, Zhao xiangjun, Hong yu, Zhao Zhongming, Study on UAV remote sensing image acquiring and visualization management system for the area affected by 5.12 Wenchuan earthquake, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol.12, No. 6, 2008)

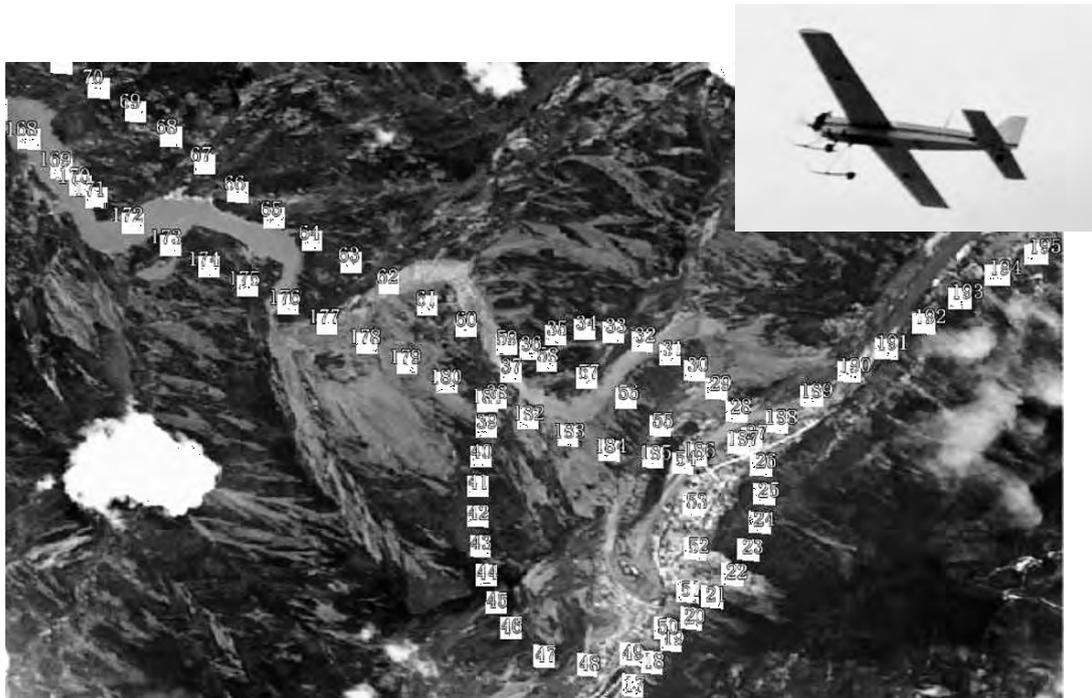


図 2.2-34 無人機画像の空間アクセス管理の画面

(出典 : Zhou jieping, Gong jianhua, Wang tao, wang dongchuan, Yang liyang, Zhao xiangjun, Hong yu, Zhao Zhongming, Study on UAV remote sensing image acquiring and visualization management system for the area affected by 5.12 Wenchuan earthquake, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol.12, No. 6, 2008)

このシステムのキー技術は、高分解能リモートセンシング画像に基づく無人機画像レジストレーション技術、無人機画像の空間アクセス管理技術、画像ピラミッドと詳細レベルモデリングLOD(Level of Detail)技術が挙げられる。高分解能リモートセンシング画像に基づく無人機画像レジストレーション技術は、山間部地震災害で地上コントロールポイント(GCP:Ground control point)が取得できない場合に、同じ地域の高分解能リモートセンシング画像もしくは地形図を用いてレジストレーションを行い、無人機画像に位置情報を持たせることである。図 2.2-33 には、FORMASAT画像を用いてレジストレーションされた分解能20cmの無人機画像を示す。

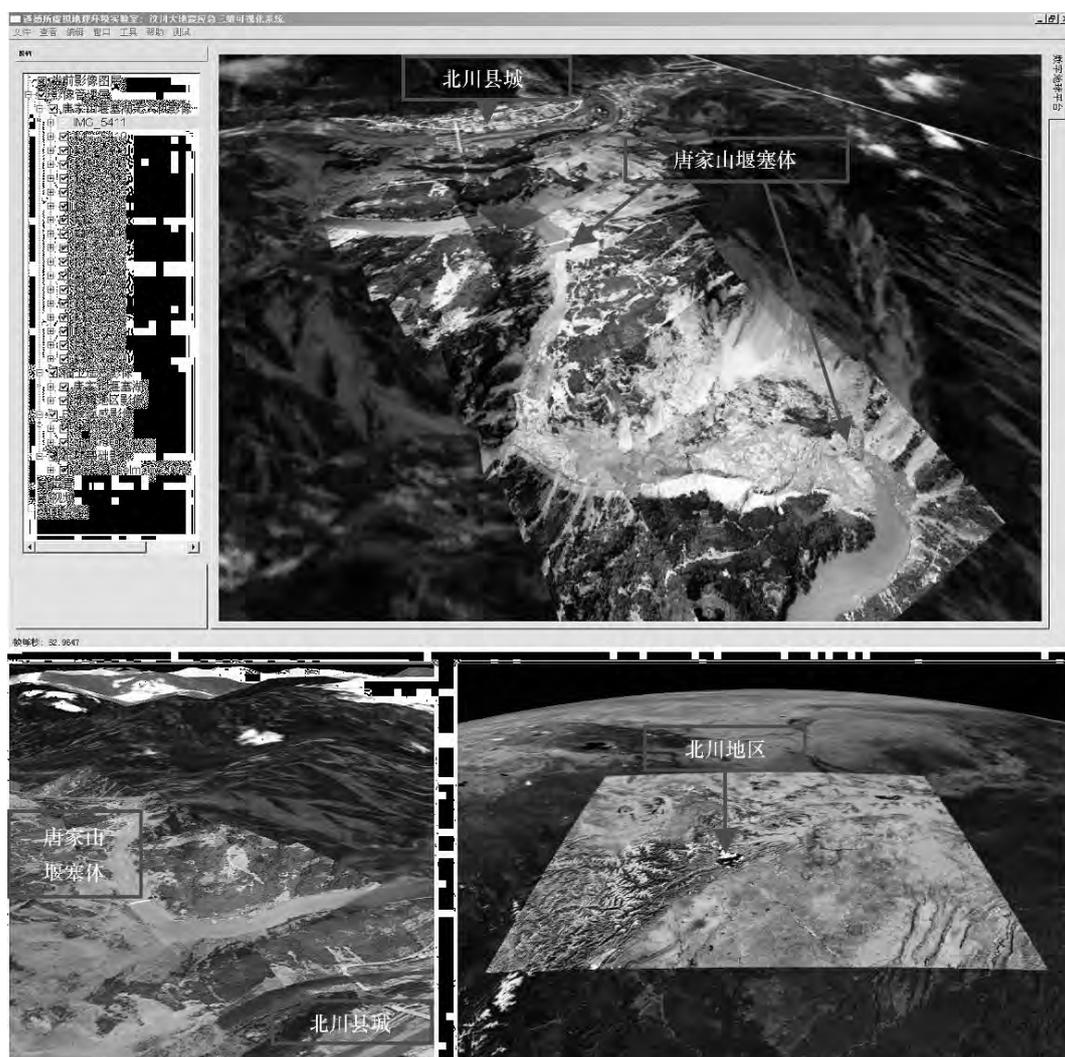


図 2.2-35 無人機画像の空間アクセス管理の画面

(出典 : Zhou jieping, Gong jianhua, Wang tao, wang dongchuan, Yang liyang, Zhao xiangjun, Hong yu, Zhao Zhongming, Study on UAV remote sensing image acquiring and visualization management system for the area affected by 5.12 Wenchuan earthquake, Chinese Journal of Remote Sensing, Vol.12, No. 6, 2008)

無人機画像の空間アクセス管理技術は、広範囲で取得される大量の無人機画像の管理と高速閲覧を実現するために、データベース技術に基づき、空間アクセス手法(SAM: Spatial assess method)を用いて無人機画像の管理およびアクセスをする必要がある。無人機画像のメタデータおよびオリエンテーションデータにより画像データベースを作成し、効率的なデータ検索、空間分析を実現している。また、空間アクセス手法を用い、無人機画像とほかのリモートセンシング画像に対してインデックスを作成し、画像を一定のレベルで整理して、インデックスに基づき画像の高速検索、および、可視化を実現している。図 2.2-34 には、無人機画像の空間アクセス管理の画面を示す。

画像ピラミッドと詳細レベルモデリングLOD技術は、大量の高分解能無人機画像、同じ地域の衛星画像、および、地形データを3次元可視化するために、画像を多分解能化の処理を行い、数レベルの階層を作る。同じ階層の中は、画像を格子状の小さいタイルに分割している。これらのピラミッド状の階層、そして各階層内のタイル状の画像を、詳細レベルで分割管理し、表示する領域に応じて自動的に抽出・結合してシームレスに表示する。図 2.2-35 は、開発したバーチャル地理環境デジタルアースプラットフォーム(VGE-3DGIobeEarth)に基づき、北川地域澗江流域の低空無人機画像、FORMASAT画像、ETM画像、および、90m地形データを総合管理・可視化表示する画面である。

### 2.3 事例調査のまとめと技術課題

本調査で示した各事例により、リモートセンシング技術は、建物被害、道路被害、斜面災害、および、地殻変動等の情報取得に幅広く利用されていることが示されている。また、本調査で詳しく説明していない事例でも、リモートセンシング技術が多岐に渡って利用されている。表 2.3-1 に、本調査で示した各事例、および、それ以外の事例におけるリモートセンシング技術の利用を、センサ、プラットフォーム、分解能、利用目的等で整理してまとめている。

表 2.3-1 大規模地震災害時におけるリモートセンシング技術の利用のまとめ

センサ	光学センサ			SARセンサ		
	プラットフォーム	無人機	ヘリ	航空機	高分解能衛星	中分解能衛星
利用	プラットフォーム	無人機	ヘリ	航空機	高分解能衛星	中分解能衛星
		高分解能衛星	中分解能衛星			
	航空機 (カメラ、MSS レーザ)					
建物被害	○	△	△	△	△	△
道路被害	○	△		△		
斜面崩壊	○	○	△	△	○	
地殻変動	△			△		○
その他 (農地等)	△		△			

注：○：本調査で示した事例の利用、△：本調査で示した事例以外利用

表 2.3-2 は、本調査で示した各事例におけるリモートセンシング技術利用の成果と課題を整理してまとめている。今後、これらの技術を実際の地震災害時に有効に活用し、被害情報迅速かつ的確に取得するために、リモートセンシングアーカイブデータと基盤地図データの整備、画像解析アルゴリズムの高度化と他地域と画像への適用、高分解能衛星や航空機 SAR 解析技術や無人機画像取得・管理・表示技術等の新技術の研究、災害時航空写真測量技術と処理システムの開発、および、さまざまな情報を総合的に管理するプラットフォーム核心技術の開発が重要となる。

表 2.3-2 各事例におけるリモートセンシング技術利用の成果と課題

使用データ	利用目的	成果	課題
ヘリ空撮画像	建物被害	<ul style="list-style-type: none"> <li>色情報とエッジ情報によるマルチレベルスライス解析と、エッジ情報のみによる解析は、目視判読との比較で概ね一致</li> <li>地震後の画像のみの解析であり、地震前のアーカイブ画像不要</li> <li>エッジ情報のみの解析は汎用的であり、他地域の画像を同一閾値で判別可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>色情報の解析は、画像の色調が異なると、同じ閾値で対応困難</li> <li>閾値は対話型で設定</li> <li>他の地震災害画像への適用</li> </ul>
航空写真	道路被害	<ul style="list-style-type: none"> <li>エッジ情報や色情報、道路データによる解析で、建物倒壊による道路閉塞領域を 85%抽出</li> <li>地震後の画像のみの解析であり、地震前のアーカイブ画像不要</li> <li>他の高分解能画像（解像度 25cm 以上）への適用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動車や高層建物の影響で誤抽出存在</li> <li>閾値は対話型で設定</li> <li>道路自体の亀裂等の抽出は困難</li> </ul>
航空機 MSS データ	建物被害	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物被害レベル、および、液化化箇所のスペクトル特性が判明</li> <li>マルチスペクトル情報を用いた最尤法分類、および、テクスチャ解析により、建物被害甚大地域と焼失地域を概ね抽出</li> <li>地震後の画像のみの解析であり、地震前のアーカイブ画像不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視判読によるトレニングデータの取得は必要</li> <li>建物レベルでの被害判読は困難</li> <li>他の地震災害画像への適用</li> </ul>
IKONOS 画像	斜面崩壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震前後の NDVI 情報による解析で、斜面崩壊地を 85%検出</li> <li>航空機レーザが取得した DEM を用い、画像間の重ね合わせ誤差を小さくし、傾斜度算出による平地除去で誤検出を軽減</li> <li>閾値の設定は簡便であり、他地域の斜面崩壊解析への適用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>影に隠れた崩壊地や植生変化が小さい崩壊地の検出は困難</li> <li>地震前のアーカイブ画像、および、DEM の整備が必要</li> </ul>
SPOT-5 ステレオ画像	斜面崩壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震前後のステレオ画像により DEM を抽出し、標高値の変化を自動的に解析することで、地すべり・崩壊箇所を 70%検出</li> <li>DEM データからの分析結果により、斜面災害発生箇所の傾斜角、崩壊方位の傾向が明らかになった</li> <li>汎用的手法であり、他地域での斜面崩壊解析への適用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中小規模の斜面災害発生箇所、および、土塊堆積箇所の検出精度の改善</li> <li>衛星ステレオ画像から作成する DEM データの精度向上</li> <li>異なる衛星のマルチソースデータへの適用</li> </ul>
航空レーザデータ	斜面崩壊 地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震前後のレーザ計測データから作成した DEM を用いる差分解析により、地すべりの地形変化を自動的に抽出</li> <li>レーザ計測データから作成した陰影起伏図により、地震前後の地形・地盤の変化が細部まで再現できる</li> <li>汎用的手法であり、他地域の解析への適用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震前のアーカイブデータの整備が必要</li> </ul>

TerraSAR 画像	斜面崩壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>多時期画像の色割り当て処理により、簡単に地形変化を抽出</li> <li>SAR 画像の撮影角度を用いて定量的に亀裂の落差や滑落崖の沈降量を計測</li> <li>天候や昼夜の影響を受けにくく、災害地域の継続的なモニタリングに非常に有効</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>広域的な地域では判読時間を要する</li> <li>高分解能衛星や航空機 SAR の自動解析技術の研究が必要</li> </ul>
ALOS/PALSAR 画像	地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> <li>差分干渉により地震前後のデータから、広域的な地殻変動状況を解析</li> <li>汎用的手法であり、他地域の解析への適用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地殻変動と地殻被害の関係を研究することが必要</li> </ul>
航空デジタルカメラ画像	地形データ・正射画像作成	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震後の非通常撮影により、迅速的に被害地域の画像を取得</li> <li>非通常撮影画像、および、GPS 基準点がない場合の処理アルゴリズム対応技術により、比較的高精度な地形データと正射画像を作成</li> <li>並行処理システムを用いた比較的高速な画像処理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スーパーコンピュータの利用を含める処理能力の更なる向上</li> </ul>
無人機画像	情報取得・管理・表示システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>無人機撮影により、地すべり、土石流、および、堰止湖等の危険な場所の画像を効率よく取得</li> <li>無人機撮影計画システム、画像取得システム、画像前処理システム、および、可視化管理システムの開発と利用により、情報の取得、管理、表示をスムーズに統合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>さまざまなプラットフォームやセンサーにより広範囲に渡り、異なる時間に異なるスケールで取得したデータ、および、解析した情報を統合管理するプラットフォーム技術の開発</li> </ul>

大規模地震災害の場合、リモートセンシング技術は、使用するプラットフォーム、センサ、そして、利用目的により、どの段階で実施し、どのような被害情報を取得するか検討する必要がある。竹内ら<sup>42)</sup>は、大規模地震災害の場合における応急対策の実施時期は災害状況の時間的推移から発震期、避難期、救援期、応急復旧期、復旧期に分類している。これに対して、大規模地震災害時のリモートセンシングの利用は、平常時、初動体制、救援体制、応急復旧体制、および、復旧体制に分類し、利用目的により、実施すると考える。表 2.3-3 は、リモートセンシングプラットフォーム・センサ、利用実施時期、利用目的等を整理してまとめている。

表 2.3-3 大規模地震災害時におけるリモートセンシング技術の利用想定

リモセン技術	<時間軸>						利用目的	
	平常時	初動体制	救援体制	応急復旧体制	復旧体制			
		0	6時間	1日	3日	1週間	3ヶ月	
ヘリ空撮		←→						建物被害
航空写真撮影		←→	→					建物被害 道路被害
航空デジタル センサ撮影		←→	→					建物被害 道路被害 斜面崩壊
航空機 MSS 撮影		←→	→					建物被害
航空レーザ測量	レーザデータ 計測	←→	→					斜面崩壊 地殻変動
航空機 SAR 撮影		←→	→					建物被害 道路被害 斜面崩壊 地殻変動
無人機撮影		←-----→						危険な場所
高分解能光学衛星	定期画像撮影	←→				→	←→	建物被害 道路被害 斜面崩壊
高分解能 SAR 衛星	定期画像撮影	←→				→		建物被害 斜面崩壊
中分解能光学衛星	定期画像撮影	←→				→		建物被害 斜面崩壊
中分解能 SAR 衛星	定期画像撮影	←→				→		建物被害 地殻変動

## 2.4 今後の技術開発

これまで、リモートセンシングデータを用いた地震被害情報を取得する研究が長年に渡って数多く行われている。しかし、これらの研究成果は、実際に大規模災害が発生した場合に適用されたものは少ないと思われる。本調査に示した事例も、地震の際に適用されたものが少なく、地震後に研究として行ったものが多いのが事実である。今後、実用可能性のある研究成果を成熟させ、実際の地震災害時に有効な活用がなされるために、また、情報取得の迅速性、解析結果の的確性をさらに向上するためには、更なる技術開発が必要と考える。以下に、災害時の情報収集に重要な技術開発項目を6つ挙げており、(1)～(4)は更なる研究を行う必要のある項目、(5)～(7)は開発を実施すれば、実利用が可能である項目である。

### (1) 建物被害解析技術(単時期画像利用)について

地震直後の空撮画像や航空機MSS画像のような単時期画像による被害検出技術は、地震前のデータが必要としないため、情報取得の即時性や処理方法の簡便さを考えると、非常にメリットのある技術である。しかし、情報取得の的確性の改善や、異なる撮影地域や撮影条件および気候条件への適用など、実際に地震災害時に有効に活用するために、処理アルゴリズムの高度化を進める必要がある。

### (2) 道路閉塞状況解析技術について

被災地において救助・復旧支援活動を行うためには、道路閉塞状況等の広域な道路情報を早期に把握することが非常に重要である。しかし、道路情報は、本調査の示した都市部における建物倒壊からの瓦礫の流出による道路閉塞だけではなく、道路自体の亀裂や段差、橋梁の落下等がある。また、都市部に限らず、山間部の斜面災害による道路被害もある。今後、道路の亀裂や橋梁の安全性の検知手法の研究を進める必要がある。

### (3) 斜面被害解析技術について

高分解能衛星画像による斜面災害の検出と災害規模の推定は、広域に渡って災害情報を効率的に収集する手法として有効である。地震前後の画像から作成したDEMを用い、大きな斜面崩壊箇所を比較的正確に検出できる。しかし、中小規模の斜面災害発生箇所、および、土塊堆積箇所の検出精度には、改善が必要である。そのキーとなる技術は、高分解能衛星を用いて作成するDEMの精度向上である。また、光学衛星画像の取得は、雲等天候の影響を大きく受け、撮影時間間隔の問題もあるため、災害情報を一刻も早く取得するために、マルチソースデータの利用による災害解析技術の研究開発が急務である。例えば、地震前後の画像が異なる衛星で撮影された場合や、地震後のステレオペアが異なる衛星で撮影された単画像の場合でも、解析処理できる技術の研究を進めることが必要である。

### (4) 高分解能SARデータの有効利用技術

SAR画像の取得は、天候や昼夜の影響を受けにくいと、災害地域の情報を継続的に取得することや、二次災害発生する恐れのある危険な場所のモニタリング等に非常に有効である。最近では、高分解能衛星SAR画像が地すべり崩壊箇所の判読や、地すべり地域、堰止湖等

の水域のモニタリングに利用され始めたが、まだノウハウが蓄積されているわけではない。そこで、高分解能衛星や航空機SARの多偏波解析技術、より正確かつ自動的に建物等被害を検出する技術等、更なる研究が必要である。

(5) 災害撮影のためのデジタル写真測量システムの開発

地震発生後に、航空写真測量によって正確なDEMデータおよび高分解能正射画像を取得すれば、被害情報の解析や収集、および、救援計画の策定に役立つことは明らかである。今までの大規模地震災害の場合、日本での緊急撮影は“非通常”ではなく、GPS基準点の利用が難しく、または、現在使用しているデジタル写真測量システムの処理能力が不足するため、震災直後撮影した画像から迅速にDEMデータおよび正射画像を作成することは、なかなか実現できない。今後、震災救援時の航空写真測量技術の開発を目標とし、災害時の撮影は、“非通常”撮影とすべきである。デジタル写真測量システムは、“非通常”撮影画像や、GPS基準点がない場合の処理アルゴリズムの開発が必要であり、平行処理やスーパーコンピュータの利用を含める処理能力の向上も必要である。また、複数の高分解能衛星センサおよび航空機センサ画像の対応技術等、より高度なデジタル写真測量システムの開発を進めることが必要である。

(6) 情報取得・管理・表示統合システムの開発

震災後、さまざまなプラットフォームやセンサによって、広範囲に渡り異なる時間に異なるスケールで取得したリモートセンシングデータや、震災前のアーカイブデータ、および解析処理により抽出した被害情報等、大量なデータが山積みとなる。これらのデータを管理して可視化し、より効率的に利用して災害状況を把握することが重要である。そのため、災害時の情報取得・管理・表示統合システム、いわゆる災害時のGooleEarthシステムが必要であり、その核心となるプラットフォーム技術の開発が急務となる。

(7) 無人機情報収集システムの開発

無人機は、雲の影響を受けず、低高度から災害現場の撮影を安全に行い、かつ、高機動性を持つため、災害時の危険な地域で、効率よく情報を収集する新しいリモートセンシングプラットフォームである。これから、災害時における無人機の利用がますます多くなると予想され、その関連技術の開発を早急に行う必要がある。今後、実際の地震災害時に有効に活用することを想定し、無人機の撮影計画技術、航跡制御技術、撮影制御技術、データ伝送技術、データ管理技術、および、データ解析技術等に重点を置いて研究開発を進める必要がある。

**参考文献**

1. 平成 20 年(2008 年)岩手県沿岸北部の地震 地震災害レポート, 東京海上日動リスクコンサルティング株式会社, 2008 年7月.
2. 長谷川弘忠, 山崎文雄, 松岡昌志, 空撮ハイビジョン映像を用いた兵庫県南部地震による建物被害の目視判読, 土木学会論文集, No.682/I-56, pp.257-265, 2001.7.
3. 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄, 空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出方法に関する考察, 土木学会論文集, No.710/I-60, pp.413-425, 2002.7.
4. N. Ogawa, F. Yamazaki, Image Interpretation of Building Damage due to the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake using Aerial Photographs, Proceedings of Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and Its Applications, 270-279, 1999.2.
5. 河合荘景, 佐治斉, 航空画像を用いた都市部における地震災害後の道路閉塞状況解析, 日本地震工学会論文集, 第8巻, 第4号, 2008.
6. Yasuharu Yanamura, Hitoshi Saji, Automatic Registration of Aerial Image and Digital Map for Detection of Earthquake Damaged Areas, Proc. VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications, 10-12 Dec. 2003, Sydney.
7. 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄, 谷口仁士, 小川雄二郎, 航空機 MSS の多バンド画像を用いた 1995 年兵庫県南部地震の建物被害地域の抽出, 第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2323-2328, 2002.11.
8. 松岡 昌志, 山崎 文雄, 翠川 三郎, 1995 年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星光学センサ画像の特徴, 土木学会論文集, No.668/I-54, pp.177-185, 2001.1.
9. 竹内章司, 見富恭, 「兵庫県南部地震被害状況解析作業報告」, 阪神・淡路大震災関連調査 兵庫県南部地震災害調査報告」, pp.39-53, 平成 7 年 7 月.
10. [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/dis050509/analysis-case/analysis-case\\_1995-01-hanshinawaji\\_j.html](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/dis050509/analysis-case/analysis-case_1995-01-hanshinawaji_j.html), 宇宙航空研究開発機構.
11. 松岡昌志, 山崎文雄, 1995 年兵庫県南部地震での建物被害地域における人工衛星 SAR 強度画像の特徴, 日本建築学会構造系論文集, No.546, pp.55-61, 2001.8.
12. 新潟県中越地震土砂災害調査研究委員会第一回委員会資料, 社団法人砂防学会, 2005 年 1 月.
13. 丸山喜久, 山崎文雄, 用害比呂之, 土屋良之, 航空写真の画像解析による高速道路被害把握に向けた基礎的検討, 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, No.289, 1262-1265, 2006.11.
14. 小野田敏, 高山陶子, 三富創, 鈴木雄介, 高精度デジタル航空カメラ(DMC)による地震被害検出技術, 先端測量技術, No.91, 2006 年 4 月.
15. 浦塚清峰, 梅原俊彦, 灘井章嗣, 松岡建志, 森山敏文, 中村和樹, 増子治信, 航空機 SAR による新潟県中越地震の緊急観測(速報), 第 490 回電波研連 F 分科会, 2004 年 12 月.
16. 長井正彦, 柴崎亮介, 黒田清一郎, 結城洋一, 無人ヘリコプターを用いた新潟県中越地震

- による農地地すべり調査, <http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/research/>.
17. 向山栄, 地震災害発生直後に期待する災害情報の特性とIKONOS衛星画像の利用, 先端測量技術, No.89・90(合併号), 2006年1月.
  18. 日下部毅明, 真田晃宏, 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資料, 第362号, 平成18年12月.
  19. 三浦弘之, 翠川三郎, 高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた2004年新潟県中越地震での斜面崩壊地の検出, 日本地震工学会論文集, 第7巻, 第5号, 2007.
  20. 宮崎早苗, 高解像度衛星リモートセンシング技術と広域斜面災害評価への応用, 一新潟県中越地震における3D地形解析を例として-, ユビキタスPF, センサネットワークG, 2005.12.
  21. 筒井健, 宮崎早苗, 六川修一, 中川英朗, 高分解能衛星画像からの高精度自動標高変化抽出による2004年新潟県中越地震に伴う斜面災害規模の推定, 応用地質, Vol.46, No.3, pp.125-137, 2005.
  22. [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/gallery/description/j5\\_niigata.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/gallery/description/j5_niigata.htm), 宇宙航空研究開発機構.
  23. 松岡昌志, 堀江啓, 大倉博, 人工衛星SAR画像による被害地域検出手法の2004年新潟県中越地震への適用と高度化, 日本建築学会構造系論文集, No.617, pp.193-200, 2007.7.
  24. [http://www.ajiko.co.jp/bousai/miyagi2008/miyagi\\_iwate.htm#genkyou](http://www.ajiko.co.jp/bousai/miyagi2008/miyagi_iwate.htm#genkyou), 平成20(2008)年岩手・宮城内陸地震, アジア航測株式会社.
  25. [http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200806\\_iwatemiyagi/index.html](http://www.kkc.co.jp/social/disaster/200806_iwatemiyagi/index.html), 【速報】平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震, 国際航業株式会社.
  26. <http://www.spaceimaging.co.jp/case/disaster/tabid/87/Default.aspx>, 日本スペースイメージング株式会社.
  27. 鈴木崇, 鶴殿俊昭, 柴山卓史, 高解像度SAR画像でみた中国四川省と岩手宮城内陸地震の被災状況, 第一回斜面防災世界フォーラム, 2008年11月18-21日, 東京.
  28. [http://www.pasco.co.jp/disaster\\_info/080614/index.html](http://www.pasco.co.jp/disaster_info/080614/index.html), 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震, 株式会社パスコ.
  29. [http://www.imageone.co.jp/interview/geo/images/iwate\\_miyagi/index.html](http://www.imageone.co.jp/interview/geo/images/iwate_miyagi/index.html), 株式会社イメージワン.
  30. [http://www.sapc.jaxa.jp/use/case-study/case/iwate\\_miyagi.html](http://www.sapc.jaxa.jp/use/case-study/case/iwate_miyagi.html), 宇宙航空研究開発機構.
  31. [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img\\_up/jdis\\_iwatemiyagi\\_eq\\_080623.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_iwatemiyagi_eq_080623.htm), 宇宙航空研究開発機構.
  32. Fan yida, Yang siquan, Wang Lei, Wang wei, Nie juan, Zhang baojun, Study on urgent monitoring and assessment in Wenchuan earthquake, Chinese Journal of Remote Sensing, pp.858-864, Vol.12, No.6, 2008.

33. Li deren, Chen xiaoling, Cai xiaobin, Spatial information techniques in rapid response to Wenchuan earthquake, Chinese Journal of Remote Sensing, pp.841-851, Vol.12, No.6, 2008.
34. Zhang zuxun, Guo dahai, Ke tao, Wang jianchao, The use of aerial photogrammetry in the fast response for China earthquake rescue, Chinese Journal of Remote Sensing, pp.852-857, Vol.12, No.6, 2008.
35. Zhou jiepings, Gong jianhua, Wang tao, wang dongchuan, Yang liyang, Zhao xiangjun, Hong yu, Zhao Zhongming, Study on UAV remote sensing image acquiring and visualization management system for the area affected by 5.12 Wenchuan earthquake, Chinese Journal of Remote Sensing, pp.875-884, Vol.12, No.6, 2008.
36. CHEN Xiaoling, LU Jianzhong, CAI Xiaobin, LI Hui, YIN Shoujing, Geomatics based Method Research on Capacity Calculation of Quake Lake, Chinese Journal of Remote Sensing, pp.885-892, Vol.12, No.6, 2008.
37. SHAO Yun, GONG Huaze, WANG Shiang, ZHANG Fengli, TIAN Wei, Multisource SAR Remote Sensing Data for Rapid Response to Wenchuan Earthquake Damage Assessment, Chinese Journal of Remote Sensing, pp.865-870, Vol.12, No.6, 2008.
38. FAN Jianrong, ZHANG Jianqiang, TIAN Bingwei, YAN Dong, TAO Heping, Investigation to the Damaged Farmland as a Result of Disasters Induced by Wenchuan Earthquake Based on Remote Sensing: a Case Study of Tangjiashan area, Beichuan County, Sichuan Province, Chinese Journal of Remote Sensing, pp.917-923, Vol.12, No.6, 2008.
39. Wen Liu, Fumio Yamazaki, DAMAGE DETECTION OF THE 2008 SICHUAN, CHINA EARTHQUAKE FROM ALOS OPTICAL IMAGES, Proc. 28th Asian Conference on Remote Sensing, Paper No.119, 2008.11.
40. 松岡昌志, PALSAR 画像による 2008 年中国・四川大地震の建物被害域の推定, 第 6 回リモートセンシング技術を用いた災害軽減に関する研究委員会, 2008 年 6 月.
41. [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img\\_up/jdis\\_china\\_eq\\_080618.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_china_eq_080618.htm), 宇宙航空研究開発機構.
42. 竹内治男, 島村秀樹, 岡嶋雅夫, 宮田兼吉, 小川明芳, 佐治篤, 東京都防災情報システムの開発について, 日本写真測量学会年次学術講演会論文集, pp.57-61, 1991 年 5 月.

### 3. 津波災害時のリモートセンシング技術の活用

#### 3.1 調査概要

津波災害は、その発生頻度が低い上に、現象自体は瞬時に終了し現在のリモートセンシング技術でそれを直接とらえられるケースはまれであるため、リモートセンシング技術が活用された例は極めて少ない。しかし、2004年に発生したスマトラ沖の巨大地震では、インド洋全域にわたり甚大な津波被害が発生し、その甚大さから後に述べる災害チャータによる衛星の集中観測も行われたことから、比較的多くの活用事例が残されている。

そこで、本章ではこのスマトラ沖地震を主な事例として、衛星リモートセンシングを中心に活用した事例を調査し整理した。また、津波災害へのリモートセンシングの対応は、他の災害がそうであるように、①事前予測、②被災直後の被害実態の迅速な把握、③事後の詳細調査・復興モニタリングの段階を追って活用されるため、本章でもそのような視点で事例を整理した。

そして、最後に、これらの事例や、対応が難しい津波災害の特性を踏まえ、リモートセンシングの今後の活用に向けての技術課題、それを解決する技術開発テーマについてまとめた。

## 3.2 事前予測の事例

### 3.2.1 津波防災への高精度地形モデルの利用

#### (1) 航空機レーザスキャナによる高精度地形データの取得

近年、航空機搭載型のレーザスキャナを用いたリモートセンシングにより、高精度な地形データが取得できるようになっている。レーザスキャナによる地形データ取得のイメージを図 3.2-1 に示す。航空機からパルスレーザを地表に向けて発射し返ってくるまでの時間から距離を算出する。レーザを発射した時の位置と方向を、航空機に搭載した GPS と IMU(ジャイロ)により把握することで、地上の絶対座標を直接求めることが出来る。このレーザをスキャンしながら多数発射し航空機の移動と組み合わせることで面的な地形計測が可能となる。

これにより、水平誤差 30cm、垂直誤差 15cm の高精度で、なおかつ 1-2 m<sup>2</sup>に 1 点程度の高密度で地形データが取得できる。図 3.2-2 に航空機レーザスキャナにより取得された高密度地形データの例を示す。

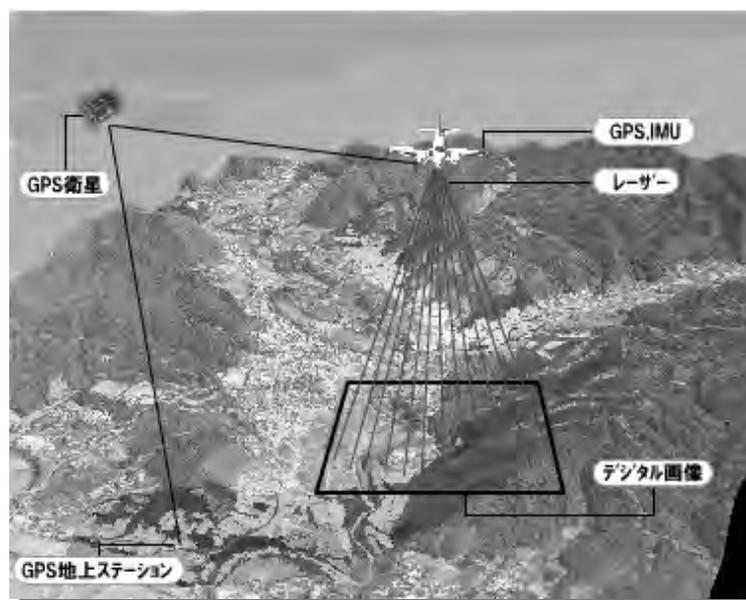


図 3.2-1 航空機搭載型レーザスキャナの計測イメージ(国際航業㈱提供)



図 3.2-2 航空機搭載型レーザスキャナによる取得データ(国際航業㈱提供)

なお、レーザスキャナで取得できるのは地表面データ(DSM)であるため、浸水シミュレーションに必要な地盤高データ(DEM)を得るために、建物や樹木などの表層面の地物を除去する処理を行う。その処理イメージを図 3.2-3 に示す。

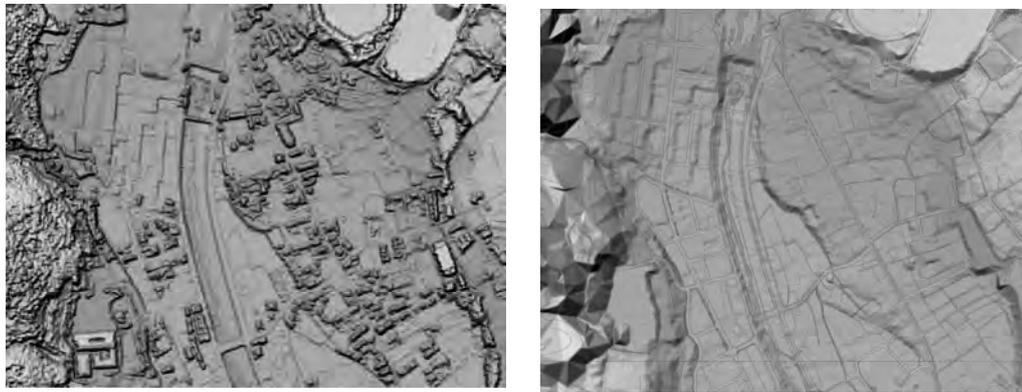


図 3.2-3 DSM(左)から DEM(右)を作成する処理イメージ(国際航業㈱提供)

## (2) 津波浸水シミュレーションへの活用

こうして得られた高精度な地形データに、津波の伝播シミュレーション結果を組み合わせることで、津波による浸水シミュレーション結果が得られる。図 3.2-4 に津波の伝播シミュレーション例を、図 3.2-5 にその結果を用いた浸水予測の例を示す。

また、この予測結果は詳細かつ時系列で得られるため、図 3.2-6 に示すような避難状況の動的シミュレーションや、図 3.2-7 に示すように動的ビジュアライゼーション、ハザードマップに活用できる。これにより、津波の浸水実態を住民によりリアルに伝えて避難の意識を促すことも可能である。さらに、条件を変えたシミュレーションにより海岸堤防等の施設計画検討に活用することも可能である(村嶋ほか 2007)。

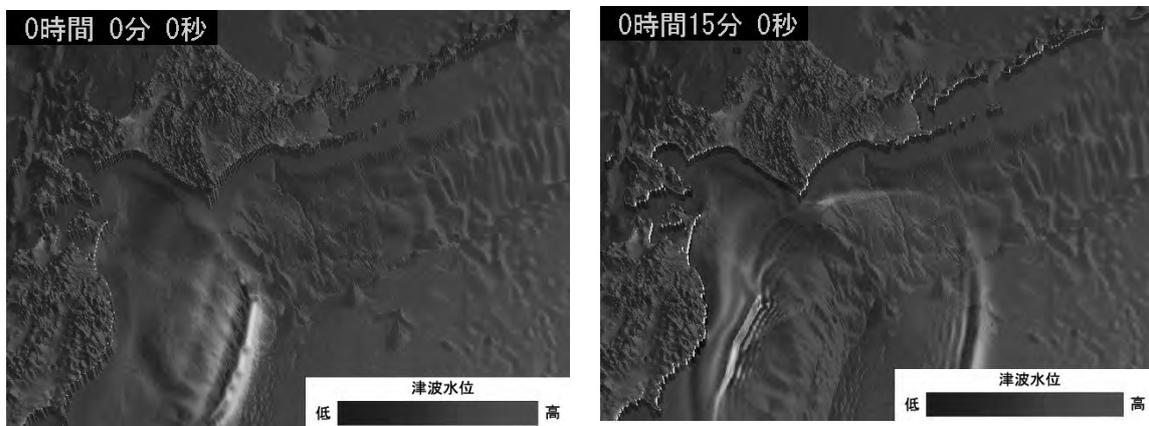


図 3.2-5 津波伝播のシミュレーション事例(国際航業㈱提供)

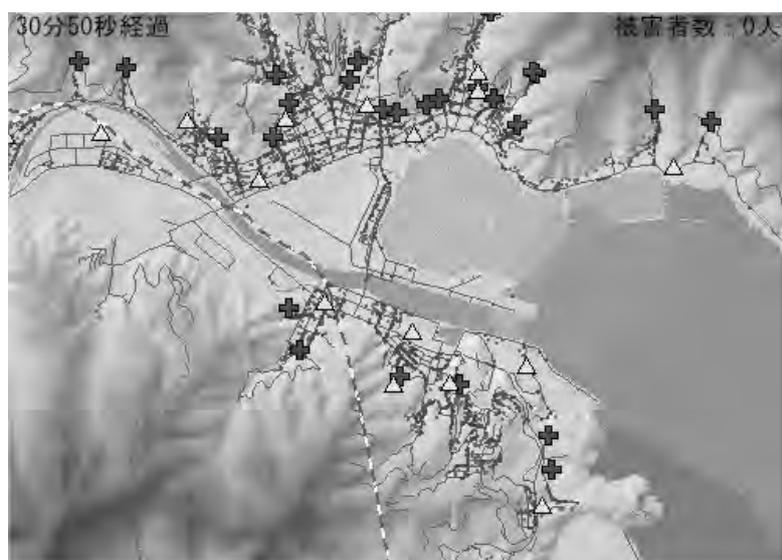


図 3.2-6 避難状況の動的シミュレーション事例(国際航業㈱提供)

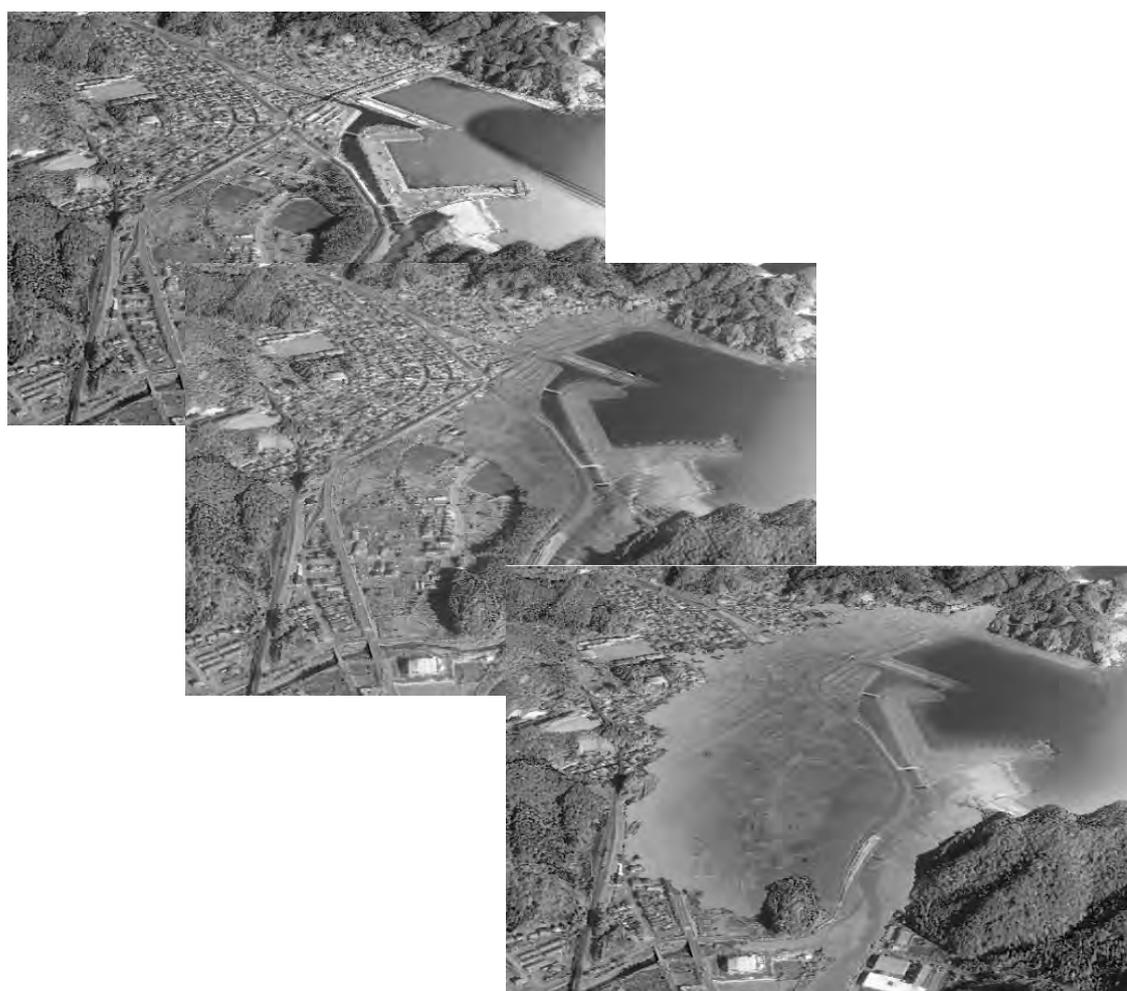


図 3.2-7 浸水状況のビジュアライゼーション事例(国際航業㈱提供)

### 3.2.2 津波数値シミュレーションとリモートセンシングの融合

#### (1) 衛星アルチメトリデータと津波シミュレーションモデルの同化

3.2.1 で津波伝播シミュレーションの事例を紹介したが、海域の現象なので検証や精度向上に向けたモデルチューニングを行うことが難しい。しかし、NASA/CNES で運用している Jason-1 はアルチメータを搭載しているため、その計測値から海表面の形状が把握でき、津波伝播モデルのチューニング等に活用できる。

図 3.2-8 は 2004 年のスマトラ沖地震の発生 2 時間後に、Jason-1 により計測されたアルチメトリデータを、津波伝播シミュレーション結果に重ねた例である。黒線が Jason-1 のトラックであり、Jason-1 による右端のアルチメトリデータは津波による海表面形状をよくとらえていることがわかる。

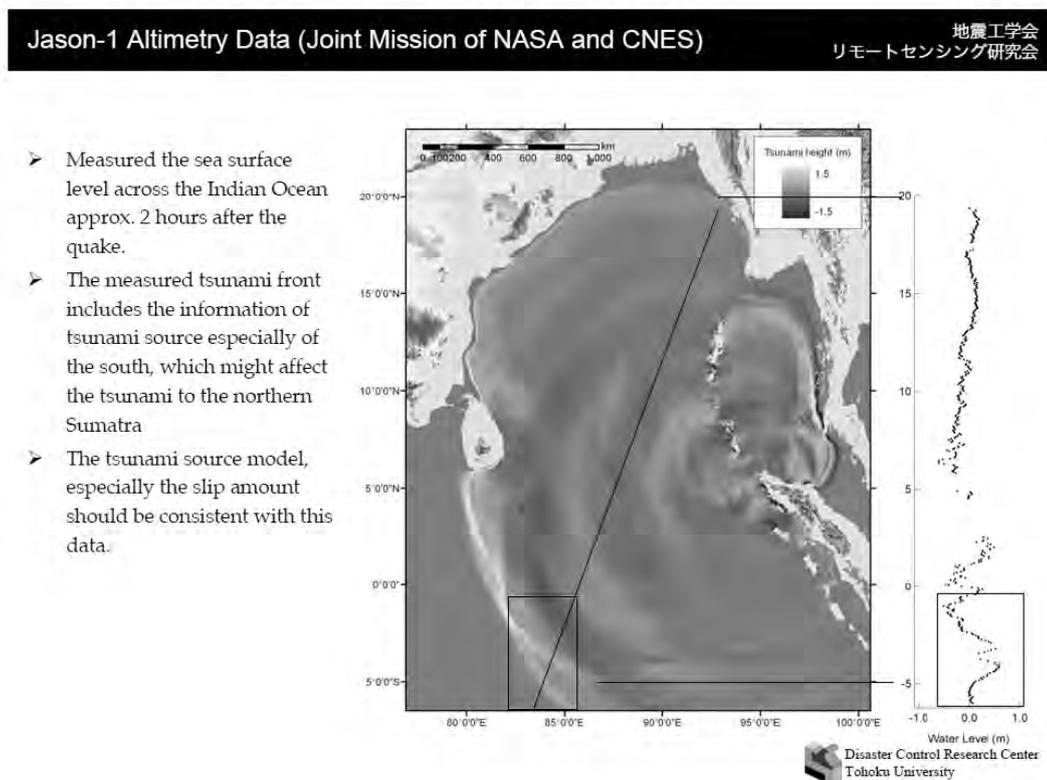


図 3.2-8 津波伝播シミュレーション結果に重ねた Jason-1 データ(越村 2007)

このアルチメトリデータと、シミュレーション結果を同化させることで、津波伝播シミュレーションモデルを現象に合うようチューニングすることができる。図 3.2-9 に示すように、断層ユニット単位のシミュレーション結果と Jason-1 の計測データを比較することで、それぞれの断層ユニットのモデルパラメータを現実に近づけていくことも可能である。そして、全ての断層モデルを合わせて伝播シミュレーションを行い、その結果と Jason-1 の計測データを比較することで、シミュレーションモデルの整合性を検証できる。図 3.2-10 にその例を示すが、シミュ

シミュレーション結果と Jason-1 の実測値はよく整合しており、モデルチューニングが妥当であることがわかる。

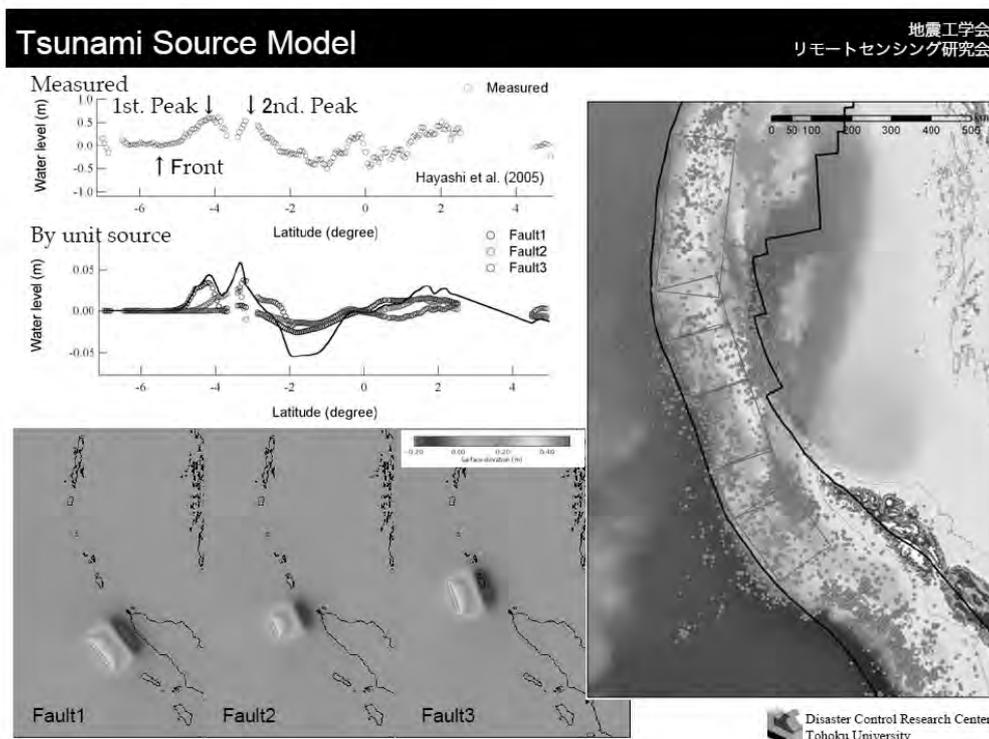


図 3.2-9 Jason-1 データと津波伝播シミュレーションの比較(越村 2007)

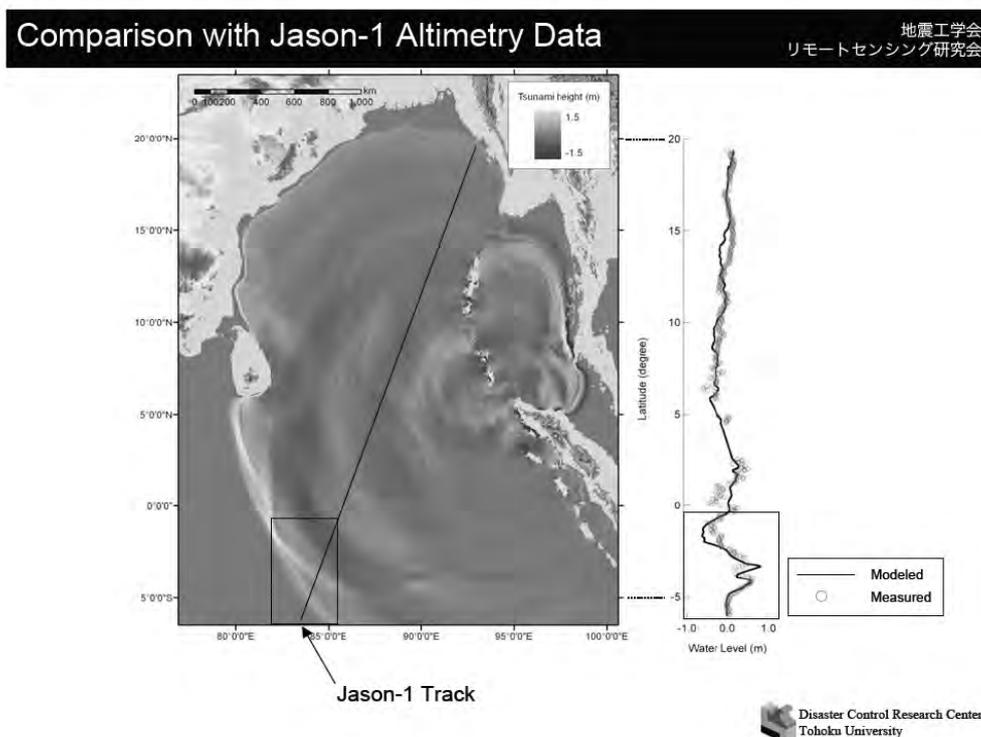


図 3.2-10 Jason-1 データと津波伝播シミュレーションの比較(越村 2007)

## (2) 浸水シミュレーションと衛星画像の併用による建物被害モデル構築

(1)でチューニングされた津波伝播モデルを用いて、3.2.1と同様に被害想定を行うことが可能である。その際、衛星画像による被害実態の把握結果をあわせることで、より定量的な被害想定や、地震発生の条件が変わった際の被害予測を行うことが可能となる。

図 3.2-11 は津波伝播モデルのシミュレーション結果を用いて、Banda Aceh 地域の浸水深を推定した結果である。また、図 3.2-12 は被災前後の IKONOS 画像の比較判読により、建物被害の有無を判定した画像である。

浸水深の推定結果と建物被害の画像を重ね合わせて集計することで、図 3.2-13 に示すように浸水深と建物被害の関係を表すグラフが作成できる。それをさらに関数で近似することにより、その関係を一般化して建物被害に対する脆弱性を表した脆弱性関数を得ることができる。図 3.2-14 に、最終的に得られた脆弱性関数の例を示す。これにより、前述のとおり異なる震災条件での被害予測を行えるようになる。

なお、ここでは建物被害の例を取り上げたが、マングローブなど植生被害に同様の方法を適用した事例もある。

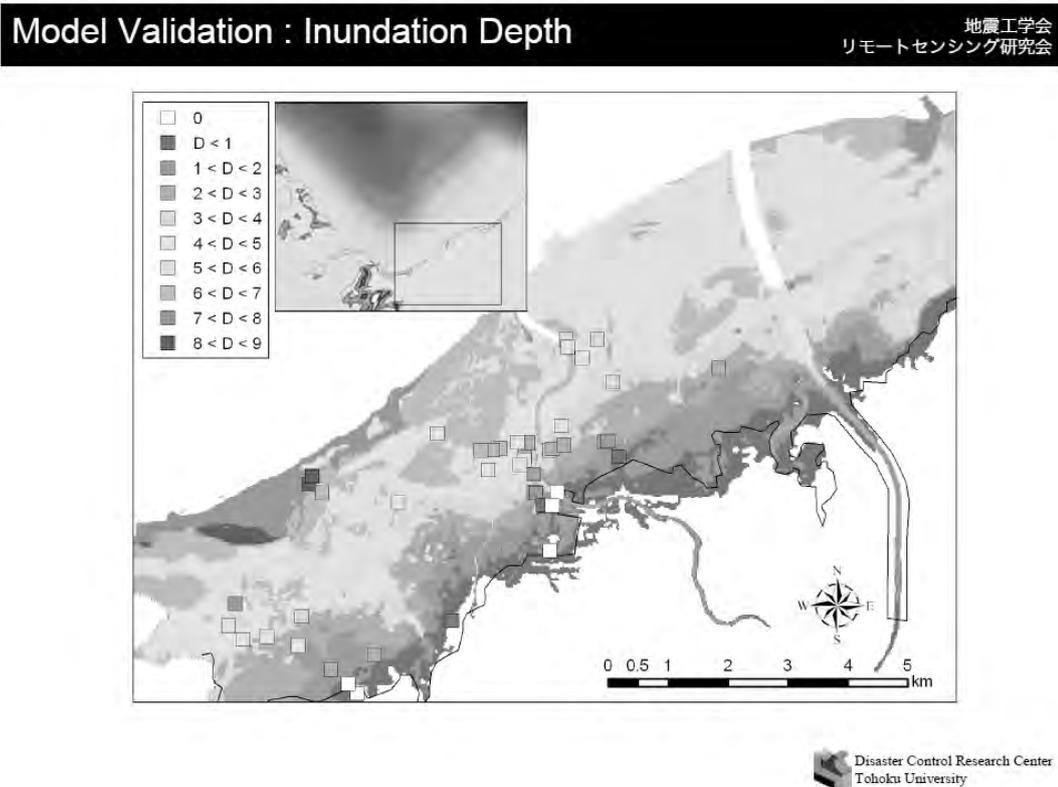


図 3.2-11 シミュレーションによる Banda Aceh 地域の浸水深推定結果(越村 2007)



図 3.2-12 IKONOS 画像の比較判読による建物被害の判定結果(越村 2007)

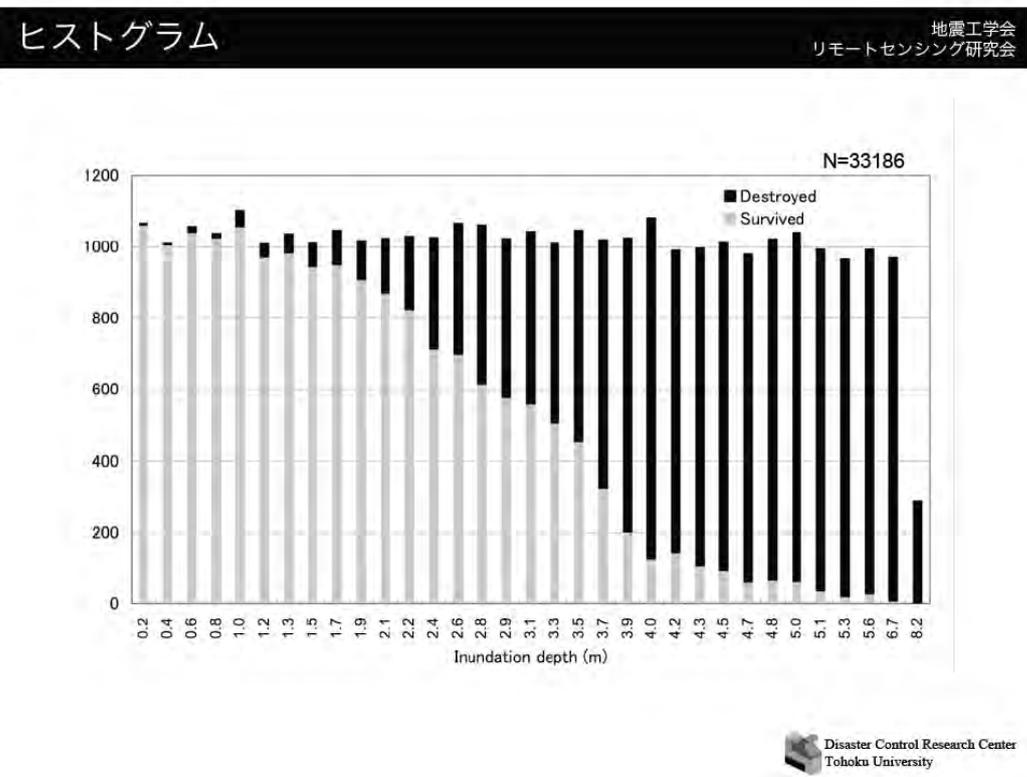
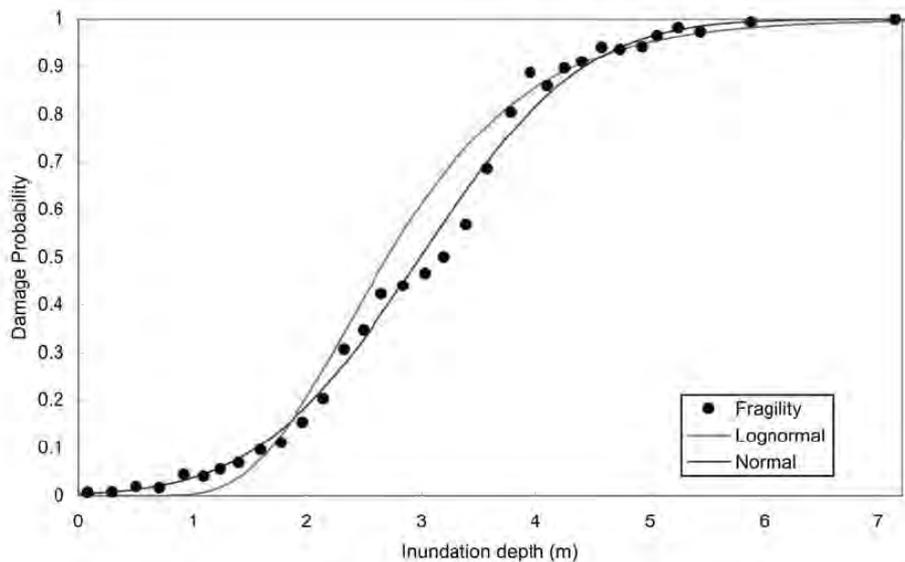


図 3.2-13 浸水深と建物被害の関係を表すヒストグラム(越村 2007)

### フラジリティ関数（浸水深・被害率）

地震工学会  
リモートセンシング研究会



Disaster Control Research Center  
Tohoku University

図 3.2-14 最終的に得られたフラジリティ(脆弱性)関数(越村 2007)

### 3.3 被害実態の迅速な把握の事例

#### 3.3.1 航空画像による被害把握

実際に大規模な津波被害が発生した場合、早期に被災状況の概要を把握し、迅速かつ適切な初動の応急対応を実施することが重要である。しかし、大規模な津波被害の場合現地との通信、地上交通網が遮断されることも多く、また、島嶼が被災地となりやすく被害実態等の把握が当面困難となる場合も多い。そこで衛星や航空機など、上空からのリモートセンシングが非常に有効となる。とくに航空機のリモートセンシングは、天候や回帰周期など衛星のもつ限界に左右されにくく、タイムリーに画像が取得できる点で被害実態の迅速な把握に適している。

1993年の北海道南西沖地震の際に、奥尻島青苗地区は2mを越える高さの津波に13回襲われ、揺れによる倒壊、火災による焼失もあわせて甚大な家屋被害が生じた。そこで、被災直後に被災地域の航空写真を撮影しその被災状況を迅速に把握した。さらに、その画像のテクスチャおよび色情報を用いて、画像処理により被災域と思われる領域を自動抽出した。図3.3-1にその結果の画像を示す。このような解析では、通常は被災前後の画像を用いるが、この例では被災後の画像のみで被災域が抽出できていることが特徴である。



図 3.3-1 航空写真の画像処理による津波被災域の自動抽出(アジア航測(株)提供)

### 3.3.2 衛星画像による被害把握

#### (1) 国際災害チャータによる緊急観測と被害概況把握

国際災害チャータは、大規模な災害が発生した際に、各国のメンバー機関が保有している地球観測衛星のリソースをその緊急観測に割り当て、被災者や関係機関に得られたデータを提供する国際的枠組みである。1999年の第3回国連宇宙会議を受けて、ESA および CNES の発表により創設された。その後メンバーが増加し、現在では CSA、NOAA、ISRO、CONAE、JAXA、USGS、BNSC、DMC、CNSA など、各国の多くの宇宙機関が所属し、災害時の迅速な被災状況把握に寄与している。

現在利用可能な衛星は、RADARSAT、ERS、ENVISAT、SPOT、IRS、SAC-C、NOAA 衛星群、LANDSAT、「だいち」(ALOS)、DMC 衛星群、その他である。これらの衛星のセンサは中～低分解能であるため、建物1軒単位の被害など、詳細な被災状況把握には向かない。しかし、中～低分解能であるため、1シーンのカバーできる範囲が広く、また、同時に多数の衛星が対象地域を観測するため、比較的早い段階で被災地域の全容を見られるというメリットがある。

この国際災害チャータが、2004年のスマトラ沖地震の際にも発動された。この地震では、インド洋沿岸全域という例を見ない広域にわたる甚大な被害で、なおかつ孤立した半島部や島嶼部に津波被害が多く発生したため、陸路での被害把握は先ず不可能で、航空機でもその全容把握はほとんど不可能であった。国際災害チャータが提供する広域観測画像は、その被害の甚大さを早い段階に認識し、国際的な救難体制を早期に立ち上げる上で大変役立ったと思われる。

図3.3-2に震源に近かったNicobar諸島の状況を、震災直後(当日:被災数時間後)にとらえたIRS-P6の画像を示す。島の中央部が完全に水没しており、尋常ではない被害であることが一目で認識できる。この震災が前例のないものであることを、震災直後に世界中が認識する上で、この画像は役立ったと思われる。また、図3.3-3には同じく震源に近いスマトラ半島先端のBanda Acehを震災4日後にSPOT5がとらえた画像を示す。個々の建物被害の詳細は把握できないが、海岸より数キロ先まで津波が遡上し、かなりの範囲が4日後でも水没しているなど、町全体が数十平方キロにわたり壊滅的な被害を受けたことが把握できる。これにより、人的、物的被害の規模をある程度推察でき、被災直後の緊急対応計画の立案等に役立ったと思われる。

さらにこの震災時は、国機関ではないが、高分解能の商用衛星を運用する民間プロバイダも協力した。これらの高分解能衛星は撮影できる範囲が限られるため、被害の全容を把握するには向かないが、建物被害など具体的な被災状況が判読できるため、被害程度などをより具体的かつ正確に把握できる。図3.3-4は高分解能衛星IKONOSの画像で、震災3日後と震災前に観測された画像を比較している。建物など個別の人工物の被害が識別できるため、被害が激甚であることがより具体的に把握できる。また、図3.3-5は海岸部の市街地の一部が流亡し地形が変わっていること、道路の一部が水没していることなど、甚大な被害で

あることが現地実態として識別できる。

このように中～低分解能衛星による全域のマクロな情報と、高分解能衛星による部分ではあるが詳細な情報を組み合わせることで、広域かつ甚大な被害状況を的確に把握することが可能となる。

## Tsunami - 2004

### A Close View of Trinkat Island

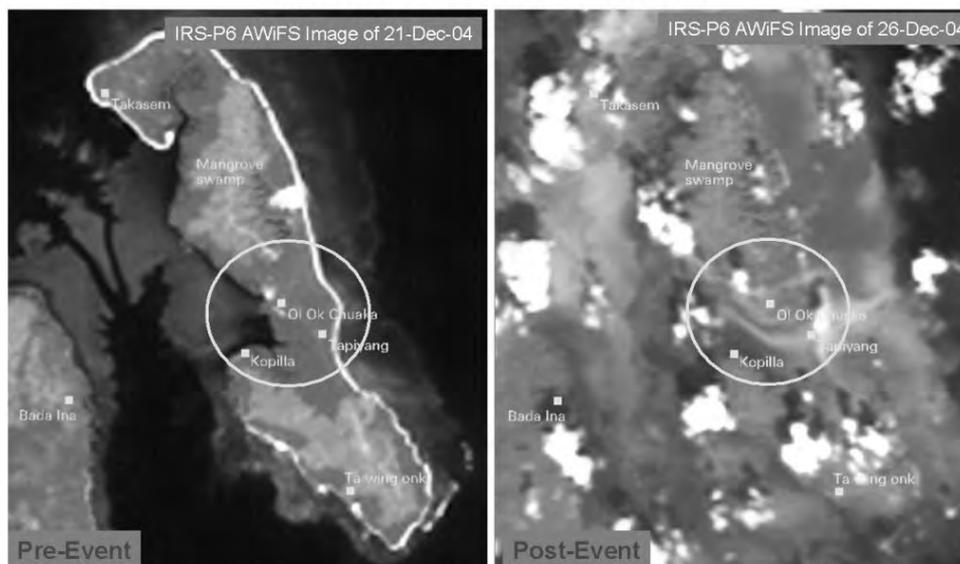


図 3.3-2 IRS-P6 による震災直後の Nicobar 諸島の画像(国際災害チャータ HP)

[http://www.disasterscharter.org/graphics/dis/CALLID\\_077/bp\\_nrsa\\_02.jpg](http://www.disasterscharter.org/graphics/dis/CALLID_077/bp_nrsa_02.jpg)



図 3.3-3 SPOT5 による震災 4 日後の Banda Aceh の画像(UNOSAT HP)

[http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/KeyObs/Banda\\_Aceh\\_A0\\_MSF\\_100dpi.jpg](http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/KeyObs/Banda_Aceh_A0_MSF_100dpi.jpg)



図 3.3-4 IKONOS による震災直後の Banda Aceh の画像(UNOSAT HP)

[http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/DLR/DLR\\_maps\\_Sumatra/DLR\\_indonesia\\_aceh3\\_1-5000\\_medium.jpg](http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/DLR/DLR_maps_Sumatra/DLR_indonesia_aceh3_1-5000_medium.jpg)

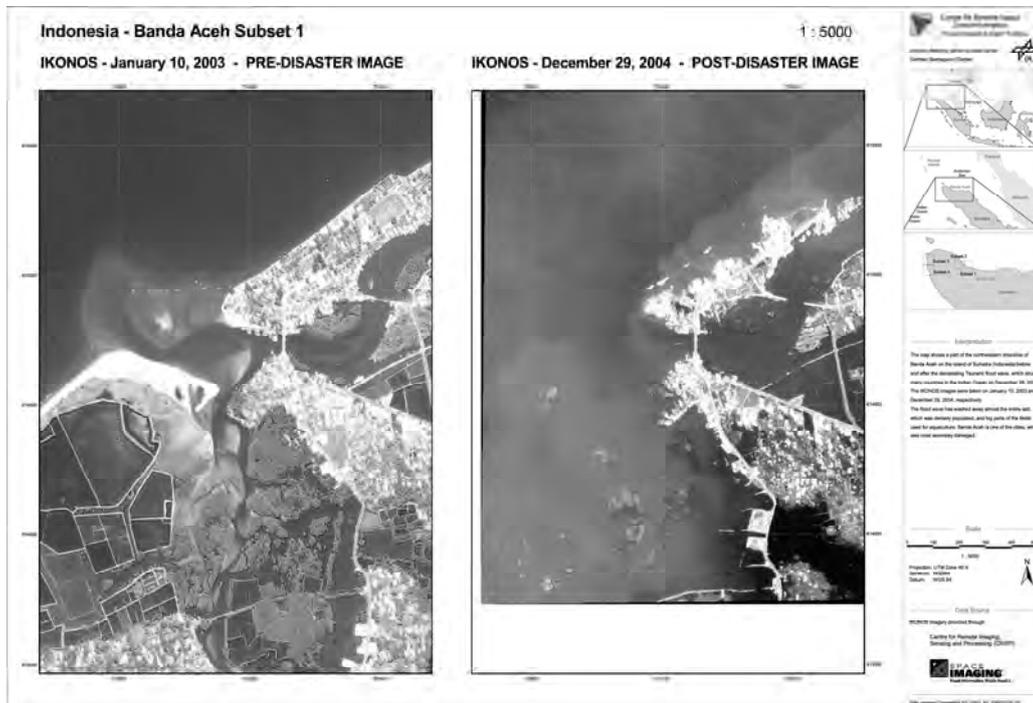


図 3.3-5 IKONOS による震災直後の Banda Aceh の画像(UNOSAT HP)

[http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/DLR/DLR\\_maps\\_Sumatra/DLR\\_indonesia\\_aceh1\\_1-5000\\_medium.jpg](http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/DLR/DLR_maps_Sumatra/DLR_indonesia_aceh1_1-5000_medium.jpg)

## (2) 情報解析による被害把握・推計

被災数日後には、(1)での国際チャータにより取得された衛星画像や、既存の衛星画像、地理情報等を活用して、被害状況の迅速な把握や被害推定などの情報解析が行われている。これらの解析は、被災直後に行われるため高度な解析技術を活用して詳細に被災状況を把握するものではないが、概略であっても全体の被災状況を定量化できるため、具体的な緊急対応計画を立案する上で有用であったと思われる。

図 3.3-6 に SPOT-5 による Banda Aceh の被災状況図を示す。都市域と農村部別に、被災程度を3-4ランクに区分している。画像判読を中心に作成されたと思われるが、被災後わずか10日足らずでこれだけ広範囲の被災状況を定量化できるのは、衛星画像ならではの。

図 3.3-7 には LANDSAT と地図情報(道路ネットワークおよび等高線)による、災害4日後に提供された Medan の画像地図を示す。被災地域がこのような僻地の場合、地図自体がまともに整備されていないことも多く、被災直後に現地の基本的な状況を把握する上で衛星画像地図は有用と思われる。また、ここで示されている等高線は標高10m(赤)および20m(黄)に相当するが、被災前の衛星画像や道路ネットワークデータとあわせることで、被災後の衛星画像等が得られない時点でも、津波被災範囲や道路被害を大まかに推計する上で役に立つと考えられる。また、図 3.3-8 には、被災のわずか2日後に提供された、SRTM DEM(標高30m以下の地域)と統計情報(人口分布)の重ね合わせ図を示す。SRTM DEMなどの既存のリモートセンシングデータと地理情報を組み合わせることで、ある程度の定量的な被害

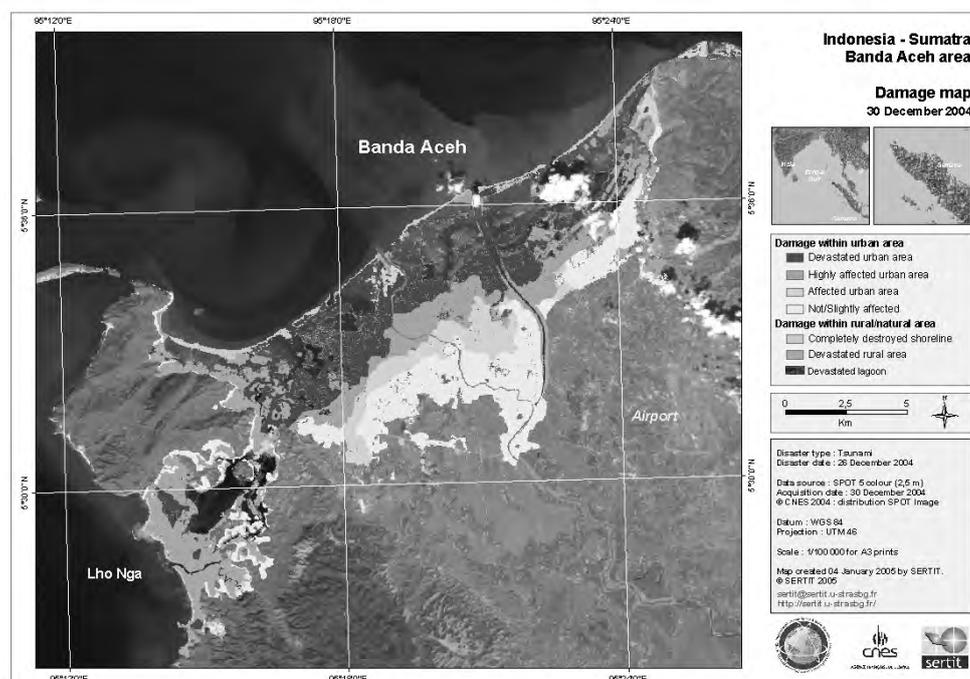


図 3.3-6 SPOT-5 による Banda Aceh の被災状況図 (UNOSAT HP)

[http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/banda\\_aceh/P50\\_BandaAceh\\_impact\\_lowres.jpg](http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/banda_aceh/P50_BandaAceh_impact_lowres.jpg)

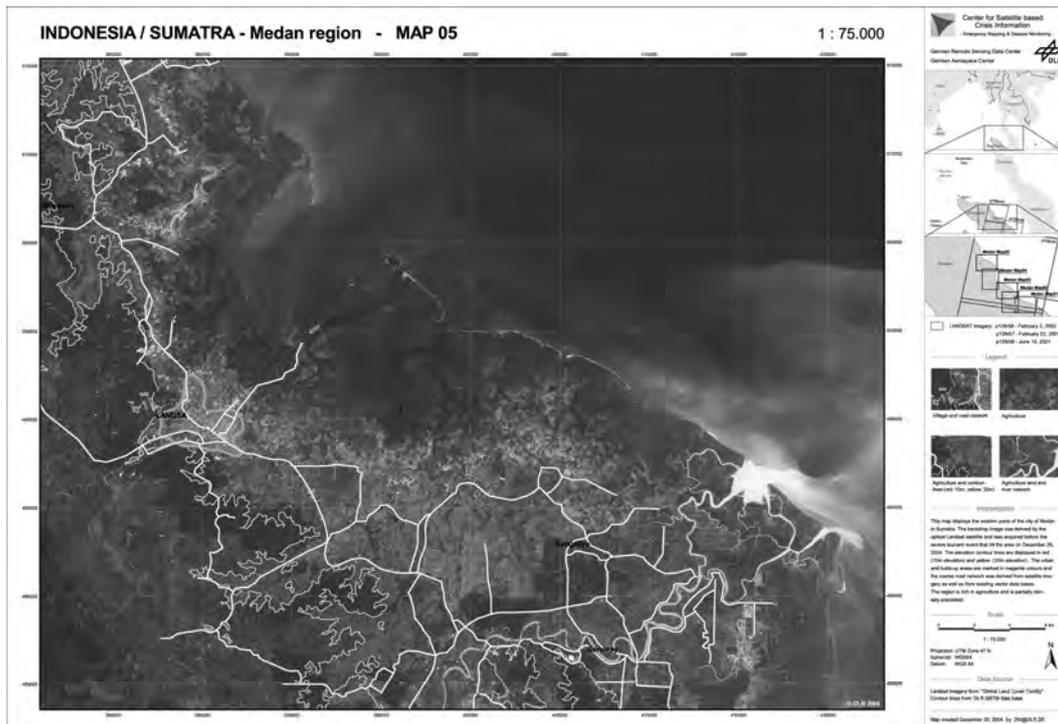


図 3.3-7 LANDSAT と地図情報による Medan の画像地図 (UNOSAT HP)

[http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/DLR/DLR\\_maps\\_Sumatra/DLR\\_medan-map05\\_1-75k\\_medium.jpg](http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/DLR/DLR_maps_Sumatra/DLR_medan-map05_1-75k_medium.jpg)

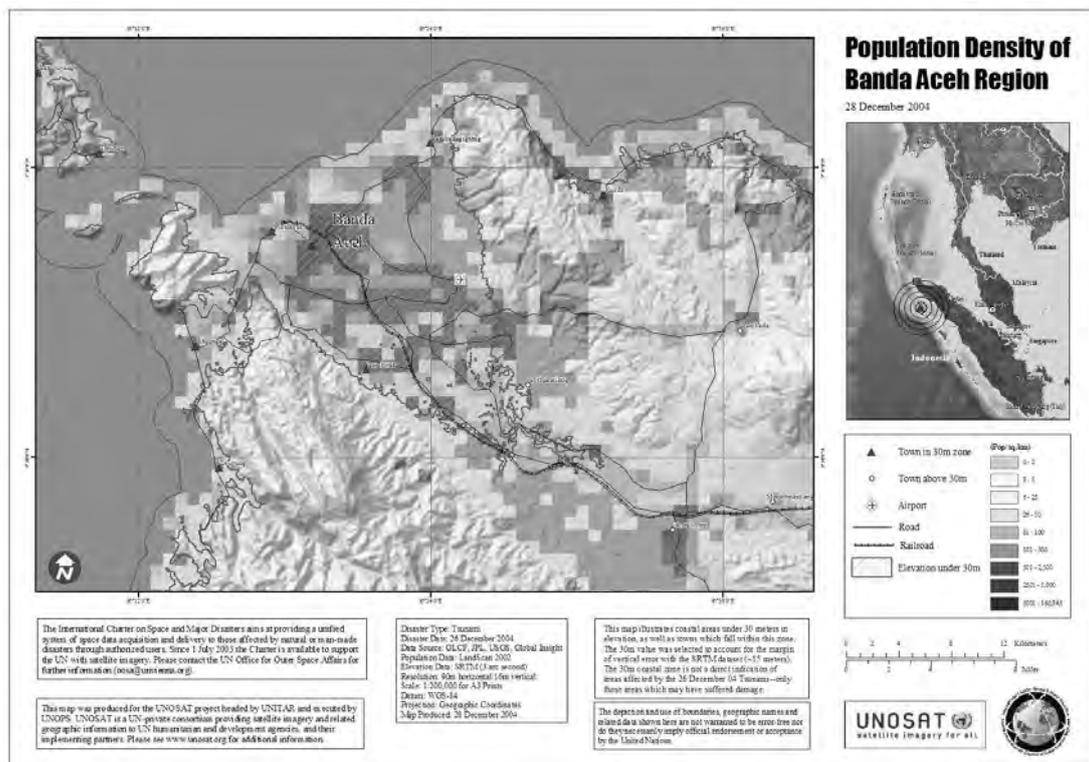


図 3.3-8 Banda Aceh での SRTM DEM と統計情報の重ね合わせ図 (UNOSAT)

[http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/aceh\\_landscan100dpi.jpg](http://unosat.web.cern.ch/unosat/freeproducts/Tsunami/aceh_landscan100dpi.jpg)

### 3.4 事後の詳細調査・復興モニタリングの事例

#### 3.4.1 衛星画像等を用いた事後の詳細調査

##### (1) 衛星画像と GPS 連動ビデオを活用した津波被害調査

被災直後の緊急状況把握の段階が終わり、復興段階に入ってからでも、その面的カバー能力や直後の状況記録という特長を生かして、衛星画像等のリモートセンシングデータは活用される。とくに現地に到達可能となり詳細な調査を行う際に、津波被災前後の衛星画像は、現地のガイドマップとして有用となる。

図 3.4-1 に IKONOS 画像と GPS 連動ビデオを活用した現地の被害調査の事例を示す。図右上に示すように、GPS ビデオで周辺の画像を撮影し、衛星画像と位置をリンクした現地画像データベースが得られる。使用したのは VIEWS (Visualizing the Impacts of Earthquakes With Satellites) と名付けられた災害把握システムであり、図に示すように被災後の衛星画像上で調査ポイントを特定、参照しながら、効率的に調査が進められるようになっている。津波被害は面的かつ広域的に発生し、建物以外にも被害が発生するため、調査ポイントが絞り込みにくい。このような衛星画像をベースとした現地調査・記録ツールを活用することで、広域にわたる被害実態の記録や衛星画像解析のためのグラントゥールースを、限られた時間内で的確に行うことが可能となる。



図 3.4-1 IKONOS 画像と GPS 連動ビデオを活用した現地の被害調査例

(山崎他 2005、Ghosh et al. 2005)

(2) 高分解能衛星画像による建物被害判読

3.3.2 で述べたとおり、国際災害チャータで得られる中～低分解能衛星は、被害の全容をマクロに把握するには有効であるが、復興段階に入ってから個別の建物被害など具体的な被害評価や復興計画につながる詳細な被害把握には限界がある。

分解能が 1m 以下の高分解能衛星を用いると、個々の建物被害など詳細な被害状況が把握でき、具体的な被害量の算定や復興計画の立案に寄与することができる。また、国際災害チャータではないが、これらの商用衛星を運用する民間プロバイダも、大規模災害の際には被災地を集中的に観測するので、通常はなかなか観測されない地域でもデータを入手できる可能性が高い。ここではソロモン諸島で 2007 年 4 月 1 日に発生した津波による建物被害を、高分解能衛星 QuickBird の画像判読により詳細に把握した例を示す。

図 3.4-2 に QuickBird による被災地域の震災 4 日後の画像を示す。スマトラ沖地震の時ほど甚大ではないが、大きな被害であることが見て取れる。図 3.4-3 に震災前(2003 年 9 月 3 日)に観測された画像と震災後の比較例を示す。このように、建物被害の程度まで識別可能であることが分かる。これらの判読例に基づき、地域全体の判読を行った例を図 3.4-4 に示す。地域における建物被害の面的な分布状況や地形との関係がよく把握できている。

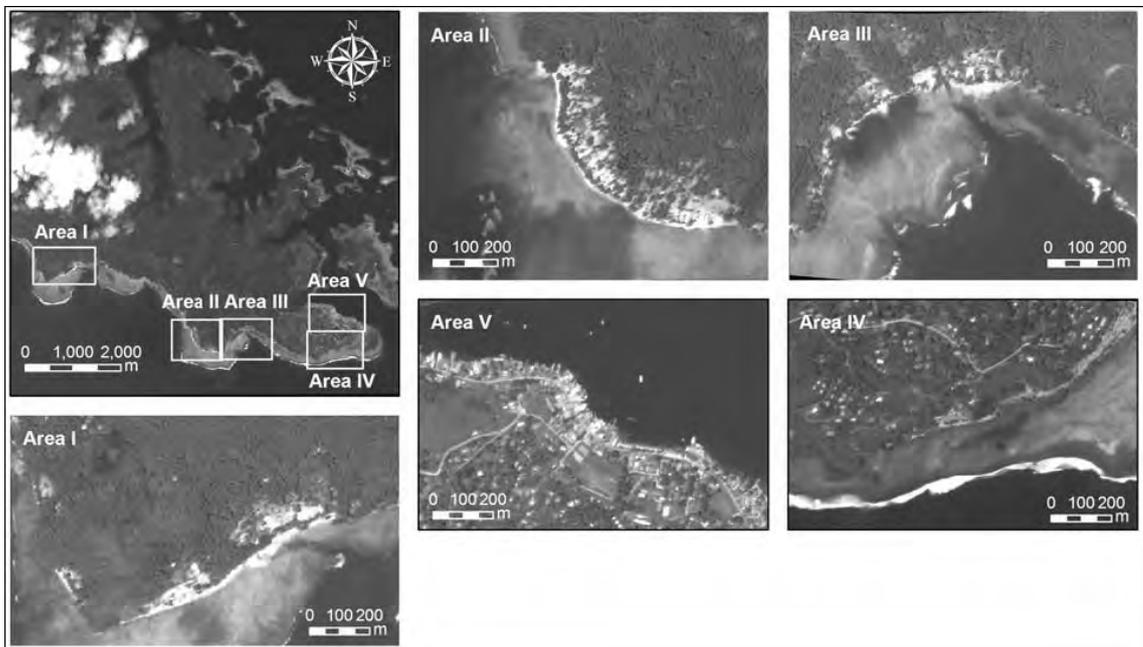


図 3.4-2 QuickBird による被災地域の画像(越村 2008)

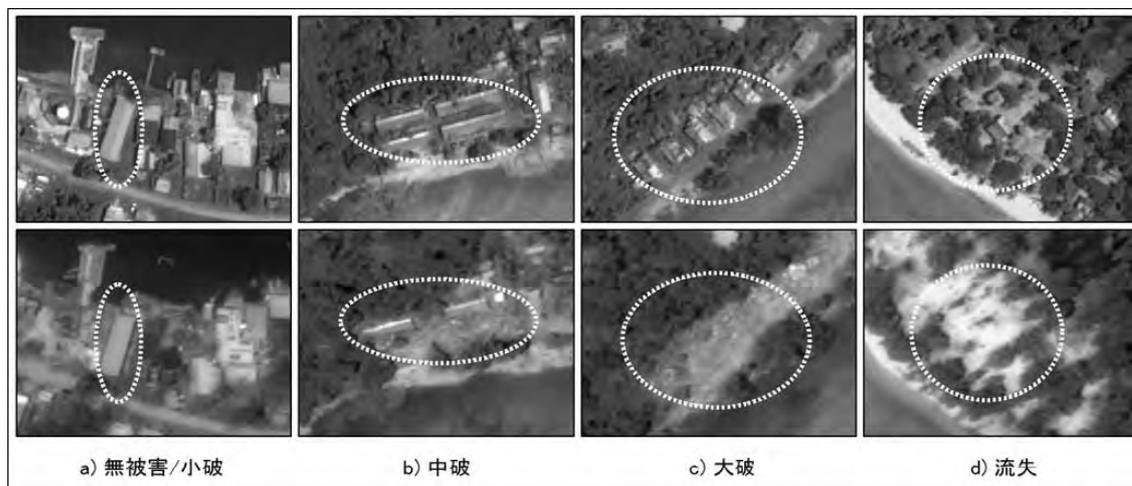


図 3.4-3 QuickBird による震災前後の画像比較(越村 2008)



図 3.4-4 QuickBird により地域全体の建物被害判読を行った例(越村 2008)

### 3.4.2 衛星画像による復興状況モニタリング

#### (1) 土地被覆からみた広域の復興状況モニタリング

復興計画が立案され、実際の復興作業が進む段階になると、今度は復興の進捗状況などのモニタリングが必要となってくる。この段階でも、広域を面的かつ定期的にカバーしている、衛星画像を始めとしたリモートセンシングデータは、有効なツールとなる。

図 3.4-5 に QuickBird 画像を用いて、Banda Aceh において津波災害を挟んだ 4 時期の土地被覆変化を追跡した例を示す。震災により広範囲が泥やデブリで覆われ、半年後ではまだ湿った土や植生が広範囲を覆っていたのが、1 年半後には植生や水産養殖地がほぼ回復している状況が把握できる。このような広域にわたる復興状況は、地上で各点を見ていても分からない。面的で広域的な被害を生じる津波災害に対して、地域全体のバランスをとりながら復興を着実に進める上でも、衛星画像等による面的かつ広域的なモニタリングは有効な手段になると考えられる。

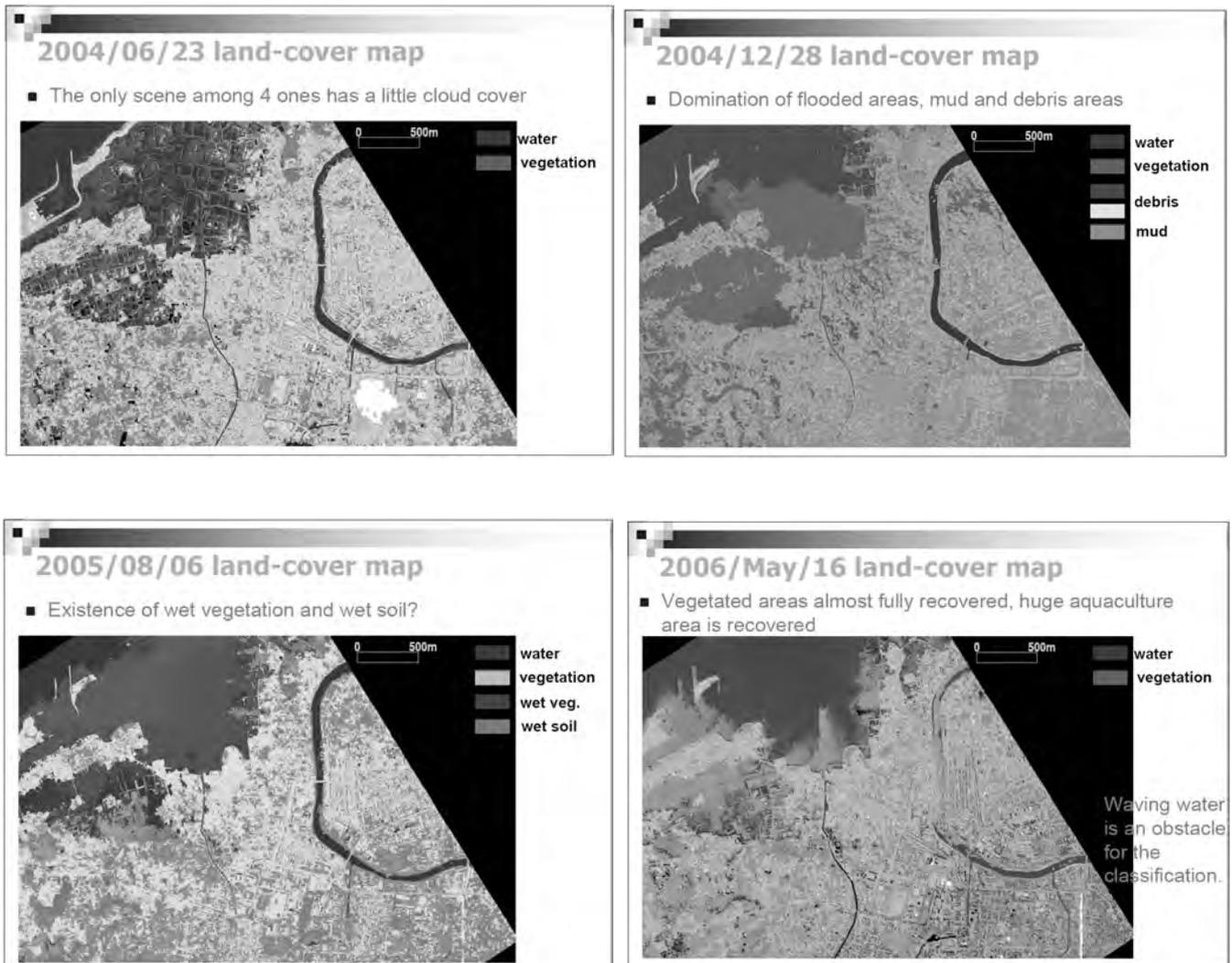


図 3.4-5 QuickBird による震災前後の土地被覆変化の追跡 (Tuong Thuy Vu 2007)

## (2) 建物等施設の復興状況の詳細モニタリング

(1)で示した広域的かつ面的な復興状況のモニタリングに加え、分解能が1m以下の高分解能衛星を用いると、個々の建物レベルなど詳細な復興状況を把握することが可能となる。したがって、衛星リモートセンシングにより、都市全体や、特定街区など、都市域における建物、土木施設等の復興状況をモニタリングし、具体的な建設、建築工程のコントロール、復興後の都市計画策定などに活用することも可能と考えられる。

図3.4-6にQuickBird画像を用いて、Banda Acehにおいて津波災害を挟んだ4時期の建物および道路の変化を追跡した例を示す。震災で建物の多くが破壊された後、半年間はあまり復興が進まなかったが、1年半後にはとくに右側の地域で建物・道路の復興が進んでいること、以前より小規模な建物が多いことなどが把握できる。

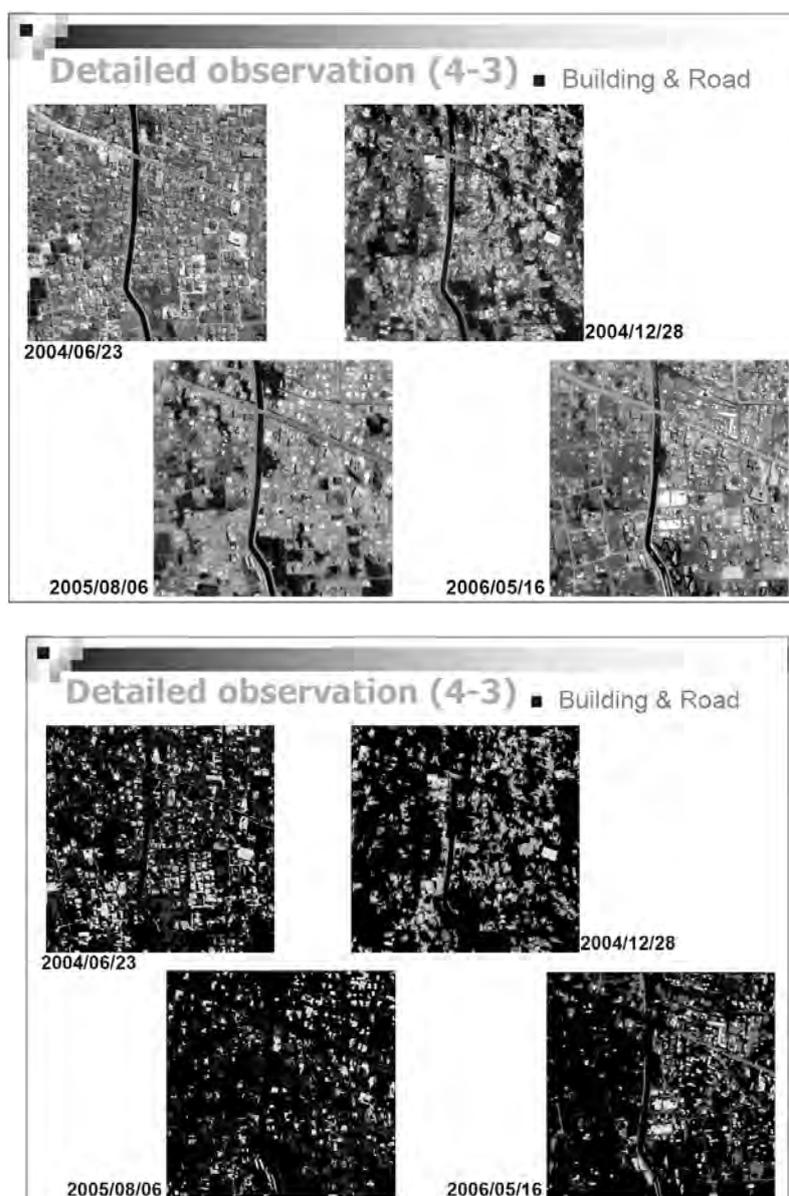


図 3.4-6 QuickBird による震災前後の建物・道路変化の追跡 (Tuong Thuy Vu 2007)

### 3.5 事例をもとにした技術課題

3.1 で述べたとおり、津波災害はその特異性から、リモートセンシングを適用した例が少ない。したがって、技術課題を論じるほど事例が蓄積されていないことが一番の課題とも言えるが、ここではリモートセンシングを適用した数少ない事例や、利用を阻んでいる原因から、技術課題を抽出してみる。

#### ・リアルタイム性の向上

津波現象は非常に即時性が高く、警報や避難誘導にリモートセンシングを活用するには、観測(+解析)のリアルタイム性を極度に向上させる必要がある。外洋での地震に対する津波検知でも1-2時間、沿岸での地震では数分で津波を検知できないと、上記の目的には対応できないが、現在の衛星リモートセンシング等はそのようなシステムとなっていない。また、警報に使えないとしても、広域にわたる被災域の情報取得を極力短期間に行うことは必須となる。このような観測(+解析)のリアルタイム性の向上達成が第一の課題になるとと思われる。

#### ・シミュレーションとの融合(同化)推進

いかに観測のリアルタイム性を向上させても、実際に起こる津波現象をリモートセンシングで常時監視するのは難しいと思われる。そこで、どうしても空いてしまう時間方向の隙間を埋めるため、シミュレーションによる予測・推定をさらに取り入れていく必要がある。その際、リモートセンシングデータは実態をとらえた検証データとして有効であり、そうした活用方法の推進も課題と思われる。

#### ・処理の自動化

津波被害の把握にリモートセンシングデータを使う例は比較的多いが、多くの例が画像判読というアナログ手法を用いている。これについては、様々な地域特性や観測条件の違いによるデータ上のノイズを排除し、限られた時間の中で確実な結果を提供する上ではやむを得ぬ面もある。しかし、津波災害はスマトラ沖震災のように世界規模で被害をもたらすケースも多く、広域の膨大なデータを極力短時間で処理して被災状況を早期に把握する、あるいは復興状況のモニタリングを効率よく行うことも必要であり、そのための自動化推進が望まれる。

#### ・事前画像のアーカイブ化

東南アジアなどの途上国の場合、地図情報が十分整備されていない地域も多い。とくに、津波災害は沿岸部を広域に襲うため、辺境地が被災することも多く、その場所がどのような地域なのか基本的な状況も把握できないことがある。また、津波の被災地域を正確に把握するうえで、事前情報と事後情報の比較が必要となる。このような目的に対応するため、事前の衛星画像等のアーカイブ化が必要と思われる。

### 3.6 今後の技術開発

3.5 で述べた課題と対比する形で、考えられる今後の技術開発テーマを展望し、整理する。

#### ・リアルタイム性の向上

警報に対応する観測システムとしてのリアルタイム性の向上については、プラットフォーム、センサについての、抜本的な技術革新が必要となるであろう。周回軌道を回る衛星では先ず対応できず、当然航空機でも対応不可能である。考えられる方策は次の2つであろう。

- ① 広域については静止衛星にアルチメータなどのセンサを搭載し、地上の地震観測網と連携してタスキングし、リアルタイムで関心地域の津波高さを観測する
- ② 特定地域に関しては成層圏プラットフォームに上記同様のシステムを整備する  
ただし、これらのシステムは整備・運用に膨大なコストを要すると思われるので、他手法（GPS ブイなど）との比較検討も必要となる。

また、被害実態把握のリアルタイム性向上については、次の方策が考えられる。

- ① 小型衛星を活用しより多くの地球観測衛星群（光学センサ）を整備し観測頻度を向上させる
- ② レーダ衛星を増加させ、全天候・短時間で広域がカバーできるキャパシティを確保する
- ③ 各国、各機関が保有している衛星の運用を一括して管理し、全域のデータ取得が効率的、効果的かつ重複無く行えるシステムを整備する（ただし、実際に運用できる体制作りも必要）

#### ・シミュレーションとの融合（同化）推進

津波被害のシミュレーションでは、いつ、どこに、どれだけの津波（高さ、遡上距離）が到達し、どれだけの被害（建物、人など）が生じるかを予測する。しかし、津波被害は事例が少ないため、シミュレーションモデルが的確にチューニングされているか不確実な面もある。幸い、津波災害時の衛星リモートセンシングデータは蓄積されているので、そこからシミュレーションモデルのチューニングに使える情報を引き出し、よりの確なモデル構築に寄与できる。考えられる項目として、本章でも紹介したように、土地被覆、浸水範囲、詳細な地形情報、建物被害の実態（程度、数）などがあげられる。

#### ・処理の自動化

100%の自動化は難しいと思われるが、精度よりも時間や省力化を優先し、条件に寄らず均一な被害把握結果が得られる方法を指向すべきであろう。当面のテーマとして、次の項目があげられる。

- ① 浸水範囲（土地被覆変化）の判定（広域的）
- ② 建物・道路被害の判定（都市域に限定して詳細に）
- ③ 上記の裏返しとしての復興状況モニタリング

④ とくにレーダ画像による①②の解析技術

・事前画像のアーカイブ化

まず、基盤地図の代わりとなる光学画像の整備が必要となる。1m やそれ以上の高分解能で全域が整備されることが望まれるが、現実的ではないので、地域を分けて高分解能(都市域)、中分解能(郊外、農村部)を組み合わせで整備する。なお、津波被害が生じるのは沿岸低地部に限られるので、標高で閾値を設定し範囲を限定して整備を進める。技術開発テーマとしては、このような観測、基本処理(幾何補正等)、データ更新を(半)自動的にを行い、常に最新の基盤画像地図が整備されているシステムの整備となろう。

また、事前、事後の比較による被害把握に対応するため、上記の考えに沿って事前の最新レーダ衛星画像を整備するシステム開発もテーマとなる。

## 参考文献

越村俊一 2007(日本地震工学会 リモートセンシング技術を用いた災害軽減に関する研究委員会・第2回委員会 話題提供資料「津波数値シミュレーションとリモートセンシングとの融合」)

<http://www.jaee.gr.jp/research/res08/agenda20070626.html> (PDF 資料を参照)

国際災害チャータ HP

[http://www.disasterscharter.org/disasters/CALLID\\_077\\_j.html](http://www.disasterscharter.org/disasters/CALLID_077_j.html)

UNOSAT HP

<http://unosat.web.cern.ch/unosat/asp/default.asp> (Maps etc.を参照)

越村俊一 2008(日本地震工学会 リモートセンシング技術を用いた災害軽減に関する研究委員会・第7回委員会 話題提供資料「Multi-Scale Approach Assess the Impact of Major Tsunami Disaster」)

<http://www.jaee.gr.jp/research/res08/agenda20080908.html> (PDF 資料を参照)

山崎文雄、松岡昌志 2005(山崎研究室災害調査資料 「リモートセンシング画像と GPS を活用したタイ南部の津波被害調査」)

<http://ares.tu.chiba-u.jp/~research/~FieldSurvey/index.htm> (「スマトラ沖地震津波」報告(論文等)を参照)

Ghosh, S., Huyck, C.K., Adams, B.J., Eguchi, R.T., Yamazaki, F., Matsuoka, M. 2005 (Preliminary Field Report: Post-Tsunami Urban Damage Survey in Thailand, Using the VIEWS Reconnaissance System)

<http://mceer.buffalo.edu/>

Tuong Thuy Vu 2007(日本地震工学会 リモートセンシング技術を用いた災害軽減に関する研究委員会・第2回委員会 話題提供資料「Remotely sensed monitoring tsunami-affected areas:Banda Aceh case」)

<http://www.jaee.gr.jp/research/res08/agenda20070626.html> (PDF 資料を参照)

## 4. 豪雨災害時のリモートセンシング技術の活用

### 4.1 調査概要

豪雨時の災害としては、洪水、土石流、斜面崩壊などがあげられる。ここでは、主に豪雨に伴う洪水による災害へのリモートセンシング技術の活用を中心にして述べる。

豪雨に伴う洪水に関するリモートセンシング技術の適用事例を大別すると、洪水・氾濫状況の抽出把握、洪水による土地利用への被害、洪水の発生メカニズム分析、洪水発生および被害分布の予測・推定などである。また、勾配の急な河川の多い日本と、緩やかな勾配の河川が多い海外においては、状況がやや異なっている。日本では豪雨と共に洪水が発生し長くても洪水の浸水期間は数日間から1,2週間程度であるが、海外では数週間から1ヵ月以上に及ぶケースも見られる。ここでは、表4.1に示すように、日本の洪水発生と被害へのリモートセンシング技術適用例として小貝川、余笹川の洪水を、海外の適用例として、中国の長江中流域、松花江、淮河、ミシシッピデルタ、ミャンマーの洪水の事例を取上げる。

表 4.1 事例とした洪水の概要

No	洪水発生地域	洪水発生時期	洪水と影響	調査に使われた衛星/センサデータ
1	小貝川(日本)	1986年 8月4日	河川沿い農地への氾濫	時系列 LANDSAT/TM データ
2	余笹川(日本)	1986年 8月27日	氾濫流による谷底平野侵食や新流路形成	洪水前後の航空写真
3	長江中流域(中国)	1998年 夏数ヶ月	広範囲の氾濫	NOAA/AVHRR、LANDSAT/TM,ETM+、JERS-1/SAR、MOS-1/MESSR データなど(いずれも時系列)
4	松花江(中国)	1998年 8月	河川沿い広範囲の氾濫	NOAA/AVHRR(時系列)、SAR データ
5	淮河(中国)	1991年夏	河川沿い広範囲の氾濫	時系列 LANDSAT/TM、MOS-1/MESSR データ
6	ミシシッピデルタ(米国)	2005年 8月29日	広範囲の氾濫。特にニューオーリンズ市街とデルタ	Terra/Aqua/MODIS、LANDSAT/TM,ETM+、Terra/ASTER、高分解能衛星データなど
7	エヤワディ川デルタ(ミャンマー)	2008年 5月4日	デルタの広範囲氾濫	Terra/Aqua/MODIS、ALOS/PALSAR,AVNIR-2、Terra/ASTER、高分解能衛星データなど

## 4.2 活用事例

### 4.2.1 小貝川の洪水の事例

台風 10 号の豪雨で発生した小貝川流域の洪水氾濫域の調査への適用事例である。

#### (1) 適用概要

1986 年 8 月 4 日に台風 10 号が日本列島を通過し、その豪雨により茨城県の桜川と小貝川中流域で発生した洪水氾濫状況を、8 月 6 日に観測された LANDSAT/TM 画像 (図 4.2.1-1) に洪水前の LANDSAT 画像を統合して解析し洪水氾濫域を抽出、マッピングを行った。TM の 6 バンド分 (バンド 1-5, 7) のデータに対し最尤法によるマルチスペクトル分類を行い、氾濫状況は 5 万分の 1 地形図上にマッピングされ、洪水氾濫状況図として利用された。さらに洪水発生前などの TM データやその土地被覆分類結果と比較解析し、洪水氾濫域とその被害を受けた土地利用について分析した (図 4.2.1-2)。

#### (2) 結果

- ①洪水前後の LANDSAT データを用いて、その間の洪水による分光反射情報の違いをマルチスペクトル分類で区分・抽出するという基本的な解析手法による。
- ②洪水氾濫状況図は地形情報すなわち湛水深情報を表現しており、水稻被害の見積り、水防対策資料としての浸水実績図として利用可能である。
- ③洪水直後の光学センサデータの有無が重要である。

#### (3) 関連文献

竹内章司 (1986)、ランドサット TM データに見る小貝川水害の状況、日本リモートセンシング学会誌、Vol.6 No.3、pp.27-33

幾志新吉 (1986)、ランドサット TM データから分類した洪水氾濫状況のマッピング、日本リモートセンシング学会誌、Vol.6 No.4、pp.21-25

幾志新吉 (1986)、小特集:防災分野でのリモートセンシング②氾濫状況の検出、日本リモートセンシング学会誌、Vol.9 No.4、pp.52-54

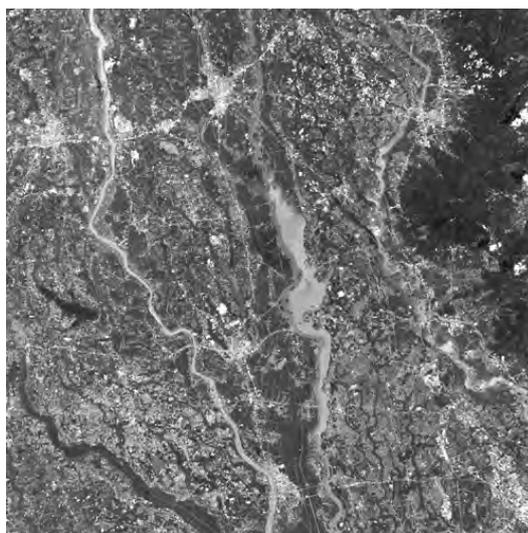


図 4.2.1-1 小貝川流域における洪水後の 1986 年 8 月 6 日の LANDSAT/TM 画像

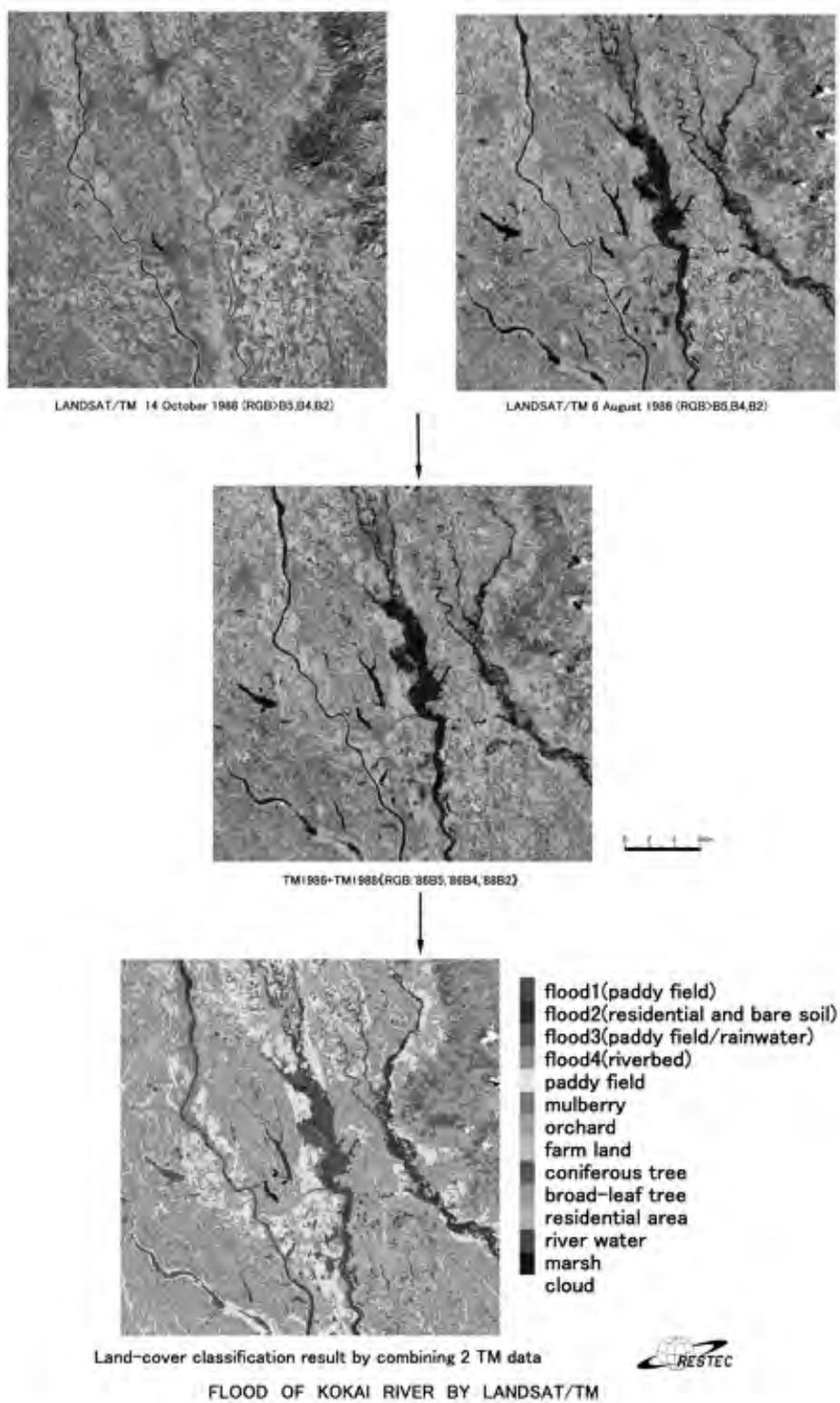


図 4.2.1-2 洪水前後の LANDSAT 画像を用いた洪水氾濫域抽出と土地被覆分類

#### 4.2.2 余笹川の洪水の事例

1998年8月の記録的豪雨により発生した那珂川の支流の余笹川流域(栃木県)の洪水による氾濫被害の調査への適用事例である。

##### (1) 適用概要

1986年8月27日の豪雨により栃木県的那珂川支流の余笹川流域で発生した洪水に伴う氾濫による谷底平野の侵食などの被害状況、特に河道の側方侵食や新流路形成を、洪水前後の航空写真により把握を行った。

現地調査に基づき、洪水前後の航空写真(図4.2.2-1、4.2.2-2)を立体視して、堤地内の微細な標高を把握し、農地分布などから旧河道の位置も求めて、新流路形成場所と旧河道との関係などを調べた。最終的に調査結果を治水対策に結びつけることを目指した。

使用航空写真は、洪水前が1996年3月、洪水後が1998年9月10日に撮影されたものである。

##### (2) 結果

- ①河道の側方侵食や新流路形成が旧河道の存在と深く関係していることが分かり、多くの場合、旧河道のあった場所が侵食された。
- ②湾曲部河道の河道幅の違いによって新流路の形成状況が変わることがわかった。
- ③屋敷林が上流側にある場合は家屋流出などの被害を回避でき、その存在が防災効果を発揮したことが分かった。
- ④本調査の結果、堤防あるいは護岸の強化箇所、河道改変、土地利用、住宅立地などに関して提案を行った。

##### (3) 関連文献

上野鉄夫(2003)、余笹川の1998年8月水害と治水対策について、京都大学防災研究所年報、第46号B、pp.545-564

上野鉄夫(2005)、余笹川流域の1998年水害の派生構造について、自然災害科学、24-3、pp.303-321



図 4.2.2-1 JR 鉄橋付近の洪水前(左)と洪水後(右)の航空写真

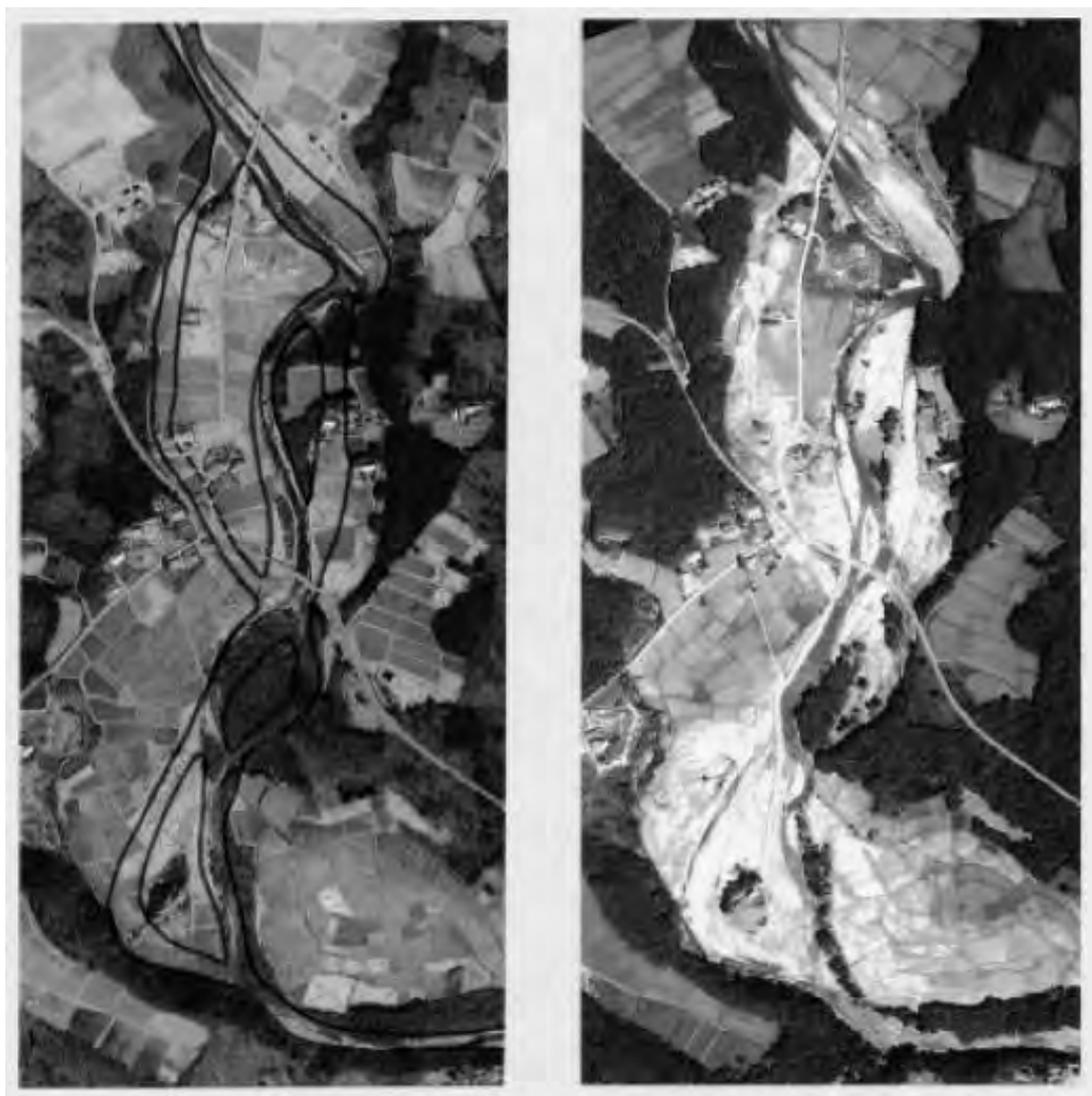


図 4.2.2-2 下川橋付近の洪水前(左)と洪水後(右)の航空写真

### 4.2.3 長江中流域の洪水の事例

1998年夏の豪雨により発生した長江中流域(三峡ダム～武漢～九江付近)の大洪水の氾濫域とその被害分布の調査および洪水予測への適用事例である。

#### (1) 適用概要

チベットに源を發し東シナ海へ流入する長江の流域のうち、三峡ダムの下流側からの中流域では古来より多くの洪水が発生してきたが、1998年夏季には、史上稀に見る中流域の広範囲で多くの犠牲者の出た大洪水が発生した。この洪水は、7月より始まり、8月上旬から長期にわたって冠水地域が分布した。その拡大状況、氾濫地域、被害状態の把握などを複数種類の人工衛星/センサや航空機搭載 SARなどで調査が行われた。また今後の洪水の氾濫地域の予測の試みなども行われた。

広域の冠水状況の推移については、NOAA/AVHRR データによる抽出とマッピングと洪水氾濫による被災面積の推定(図 4.2.3-1)が行われた。この場合では、正規化植生指標(NDVI)を用いて洪水の氾濫域を特定し、標高、土地利用データ上に氾濫域を重ね合わせて被災面積の推定が行われた。

詳細な氾濫域の抽出・推定では全天候型の SAR データが用いられた(図 4.3.3-2)。さらに、氾濫浸水域の影響や被害に関しては、JERS-1などの SAR データによる洪水抽出結果と、その前後の LANDSAT/TM、MOS-1/MESSR などによる土地被覆分類結果を比較解析して、被害を受けた土地利用の推定が行われた。また、洪水域が広域に及んでいたため、広域での氾濫。浸水域の詳細推定について、RADARSAT/SAR や JERS-1/SAR の洪水前後のデータより広域モザイク画像データを作成して、両者の差より抽出・推定・マッピングが行われた。ここでも乾季(冬季)と雨季(夏季)の LANDSAT/TM マザイクデータによる洞庭湖や鄱陽湖の水域変動を考慮して、実際の浸水被害域が求められた(図 4.2.3-3、図 4.2.3-4)。

今後の洪水氾濫影響域の推定では、現在の堤防分布を LANDSAT/TM/ETM+データなどからデジタル入力し、既存の SRTM などの DEM を参照して、上記 1998 年の洪水発生箇所を参照した破堤危険箇所推定に基づき、破堤による洪水氾濫、浸水域分布の推定解析が行われた(図 4.2.3-5)。

#### (2) 結果

- ① NOAA/AVHRR の衛星画像データに対し、正規化植生指標(NDVI)を用いて洪水の氾濫域を特定し、標高、土地利用の各データ上に氾濫域を重ね合わせることで、被災面積を推定した。その結果、洪水ピーク時(8月 22 日)における洞庭湖・鄱陽湖周辺の氾濫による被災面積として、農耕地の被害面積は 2076km<sup>2</sup>(水田 1120 km<sup>2</sup>、畑 956 km<sup>2</sup>)、全洪水被害面積 3589 km<sup>2</sup>であり、中国が公表している被害面積 1970 km<sup>2</sup>、3210 km<sup>2</sup>に近く、実用レベルにあるもの判断された。

- ② 洪水前後の JERS-1/SAR 複数シーンモザイク画像データ作成と洪水前後の比較分析から洪水氾濫分布を詳細に把握することができた。
- ③ 洪水氾濫分布に乾季と雨季の LANDSAT/TM モザイクデータに基づく土地被覆分類結果の比較解析により、実際の洪水氾濫に伴う被害域と、作付けや市街地への影響を推定することが可能であることが示された。
- ④ 堤防分布データ、標高データ、LANDSAT/TM・ETM+モザイクデータによる土地被覆分類画像などの比較から、洪水氾濫・浸水域は地形分布と堤防の規模別分布に大きく影響を受けることが推定画像として示せた。
- ⑤ 洪水直後の SAR データによる洪水抽出の有効性が明確に示せたが、土地利用の調査などに関しては天候の影響を受ける光学センサデータばかりでなく、ポラリメトリック SAR データ、多季節 SAR データの利用検討の必要性が指摘される。

### (3) 関連文献

国土地理院、防災のための地球観測衛星等の利用に関する検討会 防災のための地球観測衛星、第3回防災利用衛星システム検討会資料中山裕則、村山宜広、池田紘二、長谷川達、秦清隆、遠藤邦彦、鄭祥民、杜耘、稲永麻子(2003)、複数衛星データによる長江中流域の広域洪水特性の解析、(社)日本リモートセンシング学会第34回(平成15年度春季)学術講演会論文集、pp.247-248

中山裕則、中村純、杜耘(2005)、衛星データとDEMデータによる長江中流域の洪水影響域の解析、(社)日本リモートセンシング学会第39回(平成17年度秋季)学術講演会論文集、pp.231-232

中山裕則、中村純、阿部秀彦、杜耘(2009)、衛星データとDEMデータによる長江中流域の洪水影響域の分析、日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要、第44号、(印刷中)

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/kaihatu/004/toushin/06103014/003.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/004/toushin/06103014/003.pdf)

Jiren Li, Akihiko Kondoh, Daichi Nakayama(1999), Analyses on Floods of 1998 in China, J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour., Vol.12, No.4, pp.307-318

Guo Huadong(2001)、Flood disaster Middle reaches of the Yangtze River、Radar Remote Sensing Application in China、pp.202-207

Yasunori Nakayama, Norihiro Murayama, Kunihiro Endo, Kiyotaka Hata, Xiangmin Zheng, Du Yun and Asako Inanaga(2002), Analysis of plural satellite mosaic data sets for investigation of flood in the middle reaches of Yangtze river, Proceedings of the Twenty-third International Symposium on Space Technology and Science, pp.2145-2149

Y .Suga, S. Takeuchi, S .Kishi(1999)、Flood Monitoring in China using JERS-1/SAR and LANDSAT/TM Data、Proc. of 50th IAF-99-C.2.06

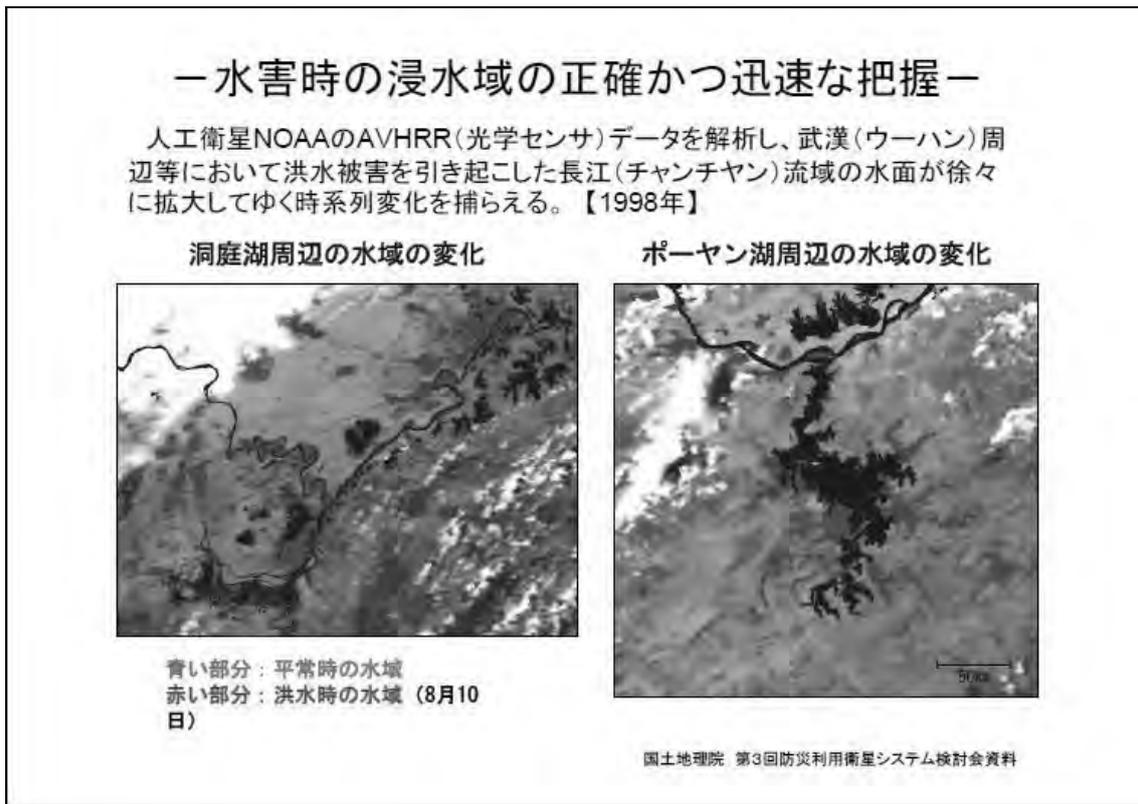


図 4.2.3-1 NOAA/AVHRR データによる長江中流域の洪水氾濫域の抽出事例(国土地理院)

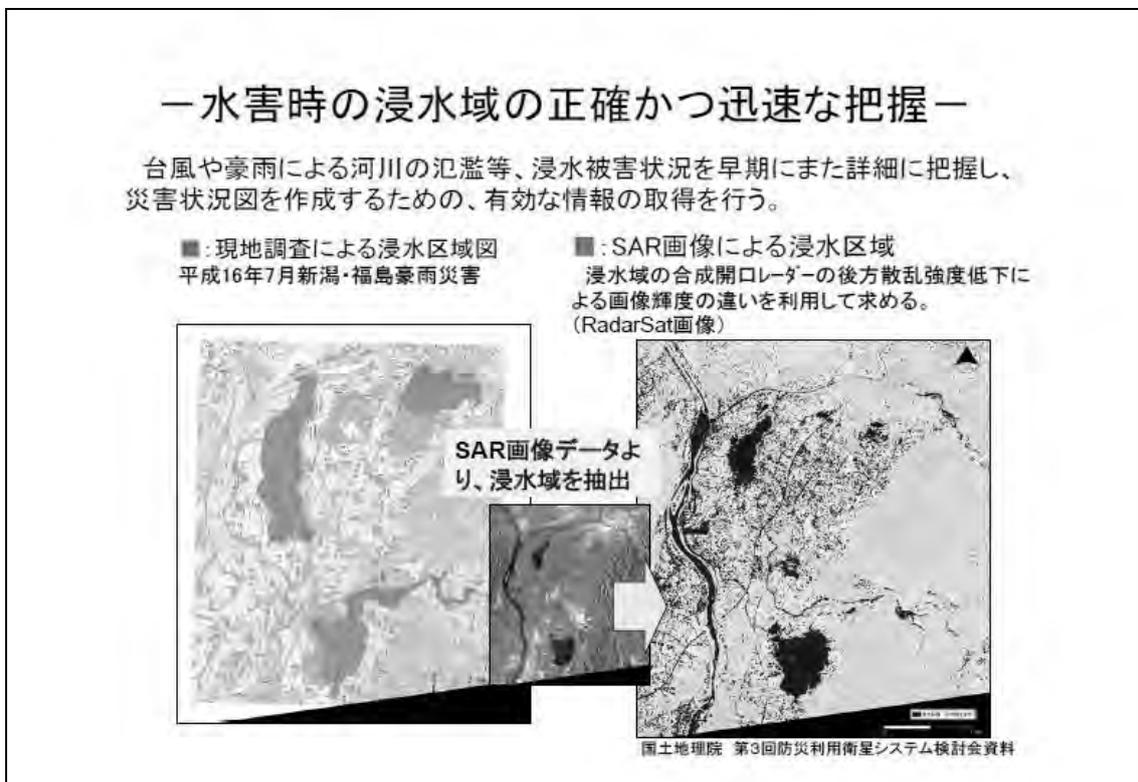


図 4.2.3-2 SAR データによる長江中流域の洪水氾濫域の詳細抽出事例(国土地理院)

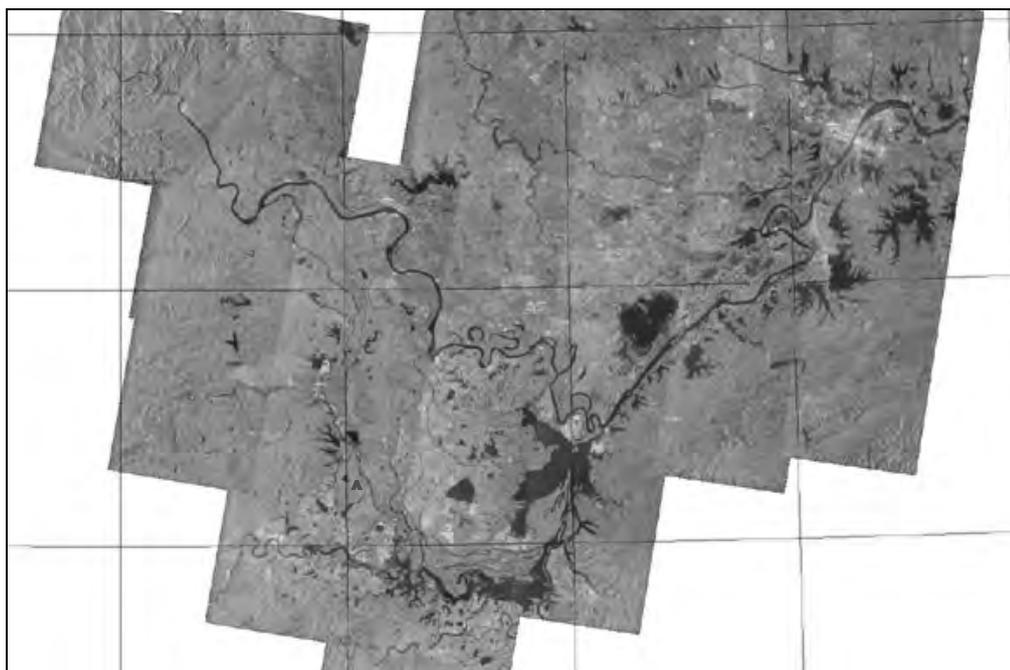


図 4.2.3-3 JERS-1/SAR モザイクデータによる長江中流域(洞庭湖周辺地域)の洪水氾濫域分布の詳細解析の事例(Yasunori Nakayama, 2002)

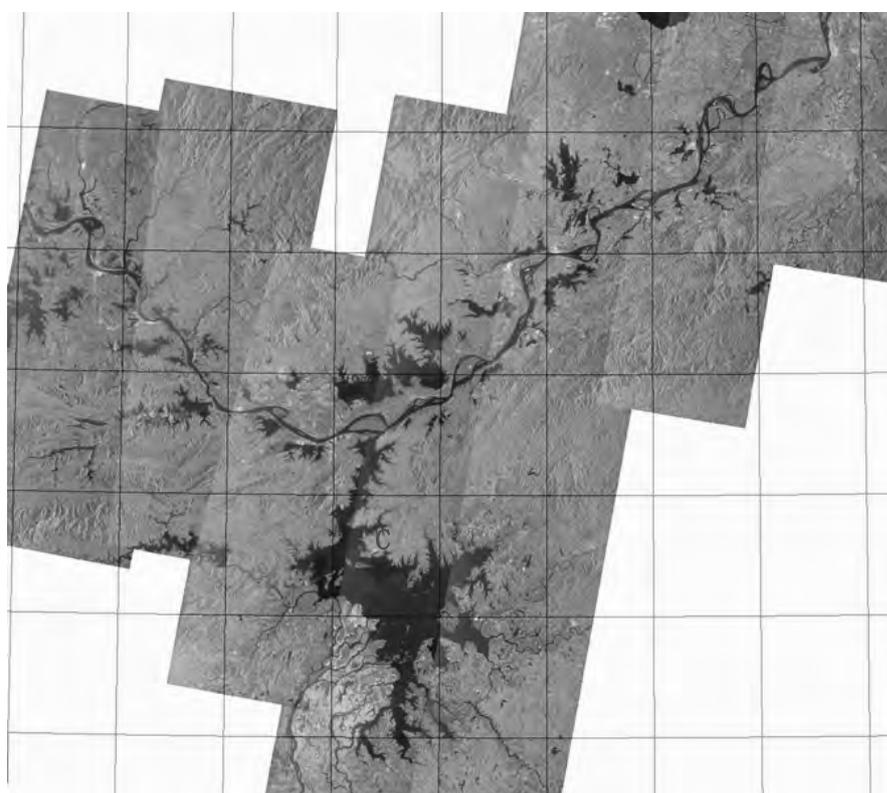


図 4.2.3-4 JERS-1/SAR モザイクデータによる長江中流域(鄱陽湖周辺地域)の

洪水氾濫域分布の詳細解析の事例(中山裕則、2009)

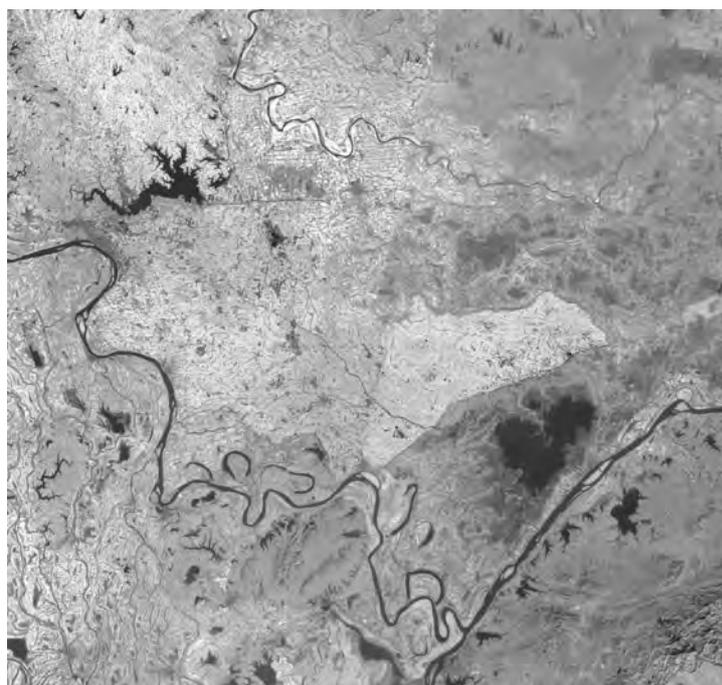
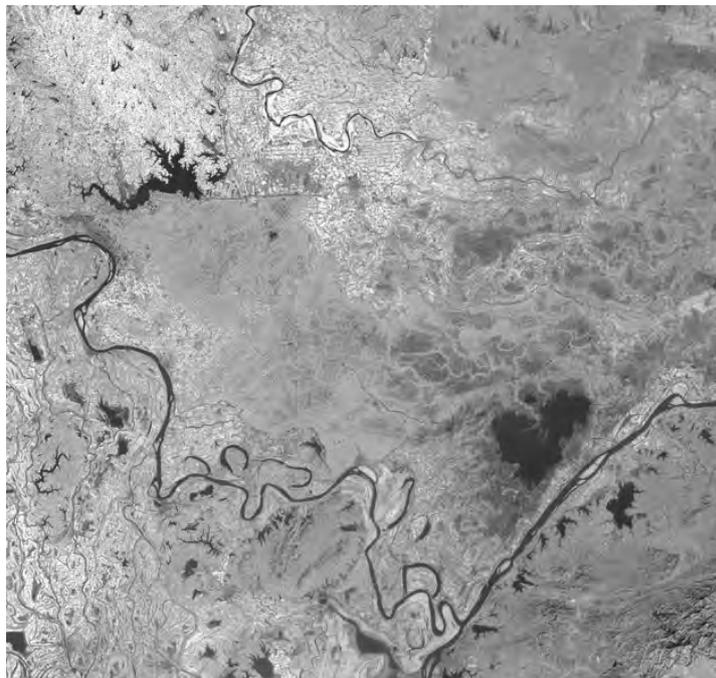


図 4.2.3-5 LANDSAT/ETM+土地被覆データ、堤防分布データ、標高データによる  
長江中流域・洞庭湖周辺地域の長江左岸の洪水氾濫域水深分布(上画像)  
および土地利用影響域(下画像)の予測分析の事例(中山裕則、2009)

#### 4.2.4 中国東北部・松花江の洪水の事例

1998年夏の豪雨により発生した中国東北部・松花江の大洪水の氾濫域分布の調査の適用事例である。

##### (1) 適用概要

アムール川の支流である松花江のうちハルビンの西方において1957年以来という大洪水が発生した。この洪水は、8月に最高水位を記録したが、その氾濫地域分布の把握などを複数の人工衛星/センサなどで調査が行われた。

広域の洪水氾濫分布については、NOAA/AVHRR データあるいはDMSP/SSM/Iによる抽出とマッピング(図4.2.4-1)が行われた。詳細な氾濫域の抽出・推定では全天候型のSARデータが用いられた(図4.3.4-2)。

##### (2) 結果

- ① NOAA/AVHRRの衛星画像データの洪水前後の比較により、広域に及ぶ洪水の氾濫域を把握し、現地流量データとの比較を行った。
- ② 洪水前後のSARデータの比較分析から洪水氾濫分布を詳細に把握することができた。
- ③ 時系列SARデータによる解析、土地利用の調査へのポラリメトリックSARデータ、多季節SARデータの利用検討の必要性が指摘される。

##### (3) 関連文献

国土地理院、国土環境モニタリング、

<http://www1.gsi.go.jp/geowww/EODAS/noaa-kouzui.html>、最終更新2009年2月1日

Jiren Li, Akihiko Kondoh, Daichi Nakayama(1999), Analyses on Floods of 1998 in China, J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour., Vol.12, No.4, pp.307-318

Guo Huadong(2001)、Flood disaster Middle reaches of the Yangtze River、Tadar Remote Sensing Application in China、pp.202-207

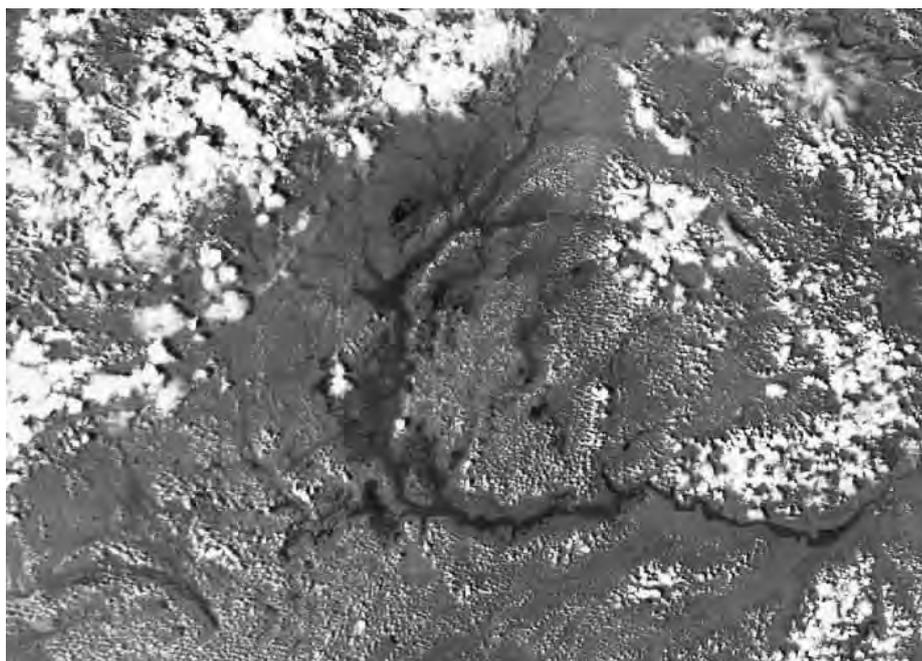


図 4.2.4-1 NOAA/AVHRR による 1998 年 8 月 31 日の  
松花江沿い洪水氾濫域(国土地理院、2009)

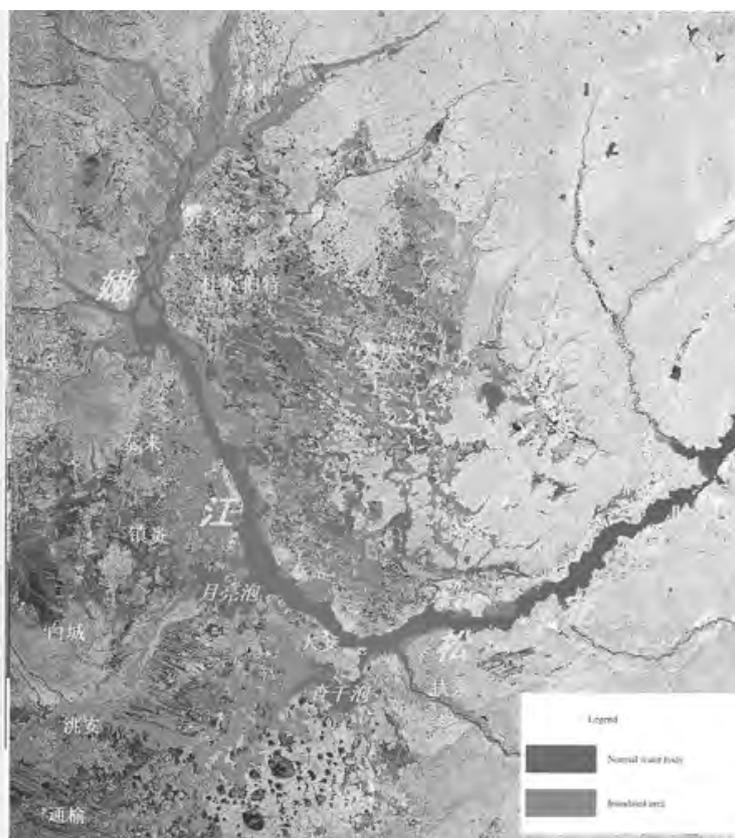


図 4.2.4-2 SAR 画像による 1998 年の松花江沿い洪水氾濫域(Guo Huadong、2001)

#### 4.2.5 淮河の洪水の事例

1991年夏の豪雨により発生した中国淮河の洪水の氾濫域分布の調査の適用事例である。

##### (1) 適用概要

中国河南省および安徽省にまたがって流れる淮河沿いに発生した洪水の氾濫域分布と土地利用への影響を、洪水発生前後の LANDSAT/TM データおよび MOS-1/MESSR データを統合して解析し調査が行われた(図 4.2.5)。

##### (2) 結果

- ① 複数衛星データの統合解析により洪水氾濫による被害域が水田などの農地で著しかったことがわかった。
- ② 土地利用調査への時系列 SAR データ、ポラリメトリック SAR データ、多季節 SAR データの利用検討の必要性が指摘される。

##### (3) 関連文献

Kiyoshi Tsuchiya, Tasuku Tanaka, Shinichi Sofue, Toshiro Saino, Masami Tokuno, Hideo, Harasawa and Yasunori Nakayama(1995), Monitoring of Environmental Change, An Interim Report of IGBP Activities in Japan 1990-1994, pp.180-199  
RESTEC (1995)、創立 20 周年記念号 RESTEC-解析画像に見る 20 年の歩みー、pp.34

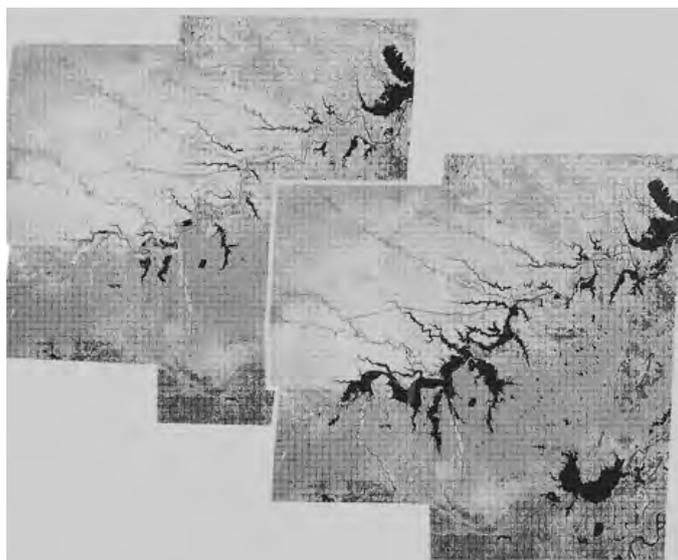


図 4.2.5 LANDSAT/TM データと MOS-1/MESSR データの統合解析による淮河の洪水影響

#### 4.2.6 ミシSSIPデルタの洪水の事例

2005年8月29日のハリケーン・カトリーナのミシSSIPデルタ付近通過による洪水他の被害地域に関する調査の適用事例である。

##### (1) 適用概要

2005年8月29日にハリケーン・カトリーナがミシSSIPデルタ付近を通過し、甚大な洪水他の被害をもたらした。その前後の Terra・Aqua/MODIS、LANDSAT/ETM+などの洪水発生前後の複数衛星データにより、ミシSSIPデルタやニューオリンズの洪水氾濫・浸水地域の分布の調査が行われた(図 4.2.6-1、4.2.6-2)。

##### (2) 結果

- ① 時系列 MODIS データによりミシSSIPデルタ先端部を中心とした広域洪水氾濫域の明瞭な抽出が行われた。
- ② 時系列 LANDSAT/ETM+データおよび高空間分解能データによりニューオリンズ市街地内の浸水状況とその推移が詳しく把握された。

##### (3) 関連文献

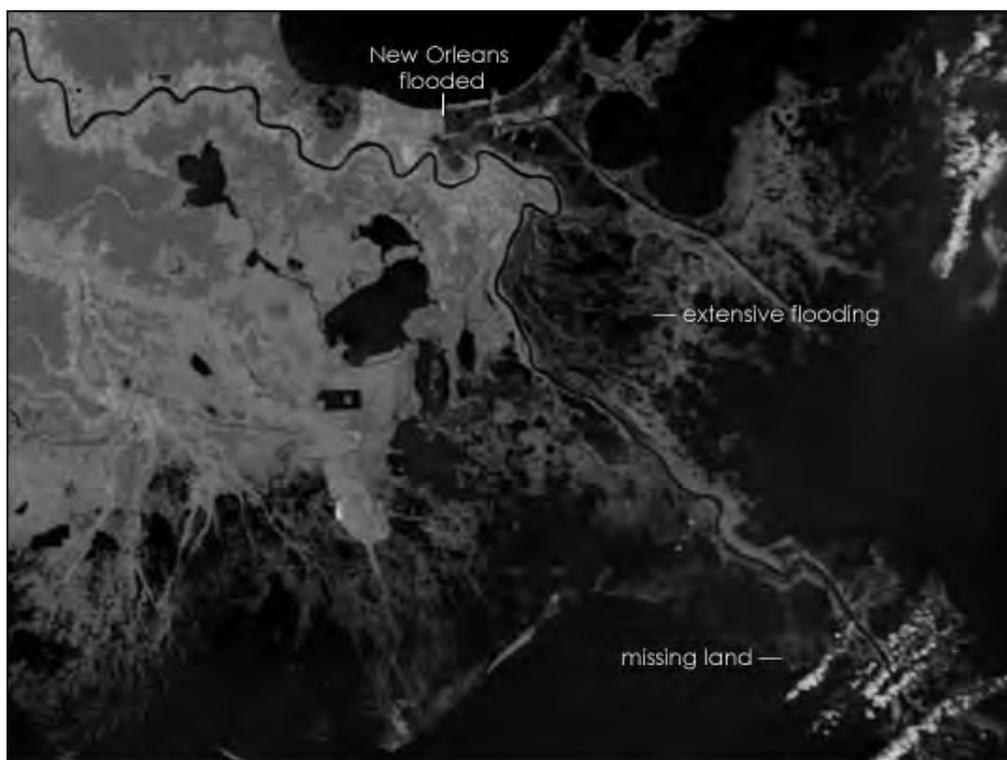
徳永亘、持留隆司、田中總太郎(2006)、ハリケーン・カトリーナによる被害状況のリモートセンシング、RESTEC、56号、pp.21-30

NASA, Earth Observatory Natural Hazards,

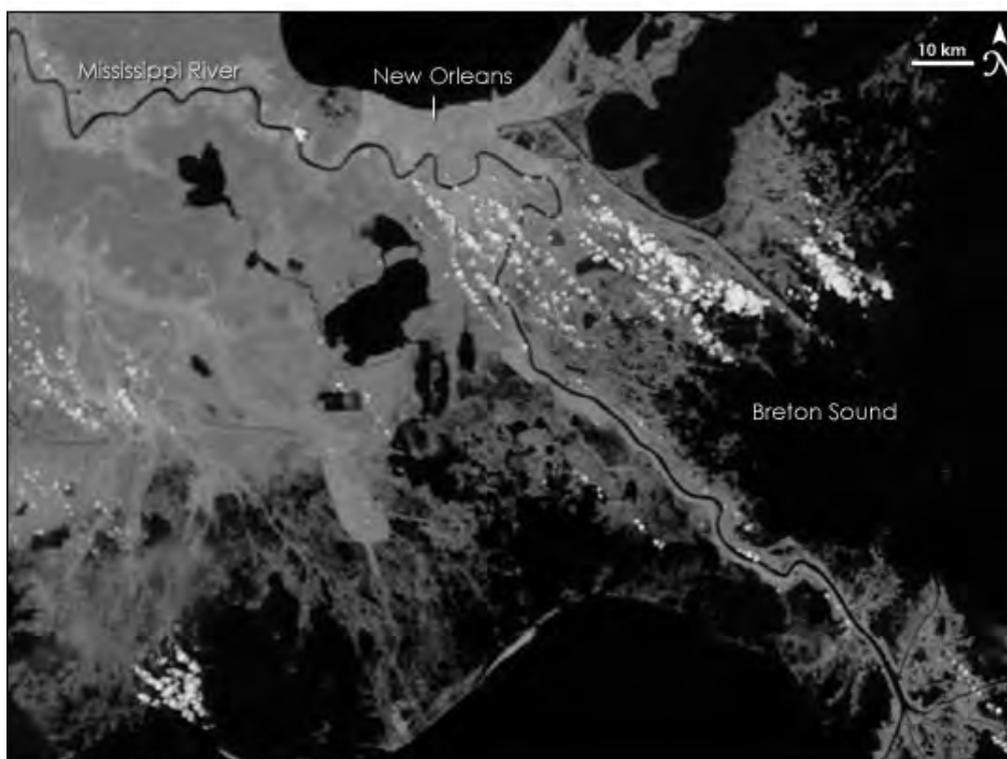
<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/>, last updated Mar. 3, 2009



図 4.2.6-1 LANDSAT-5/TM データによる 2005 年 9 月 7 日のニューオリンズの洪水浸水域 (NASA, 2009)



September 4, 2005



August 9, 2005

図 4.2.6-2 MODIS 画像によるハリケーン・カトリーナ通過前(下)後(上)の  
ミシシッピデルタの洪水冠水による変化(NASA, 2009)

#### 4.2.7 ミャンマーの洪水の事例

2008年にサイクロンのミャンマー上陸時に発生した大規模洪水冠水域の把握への適用事例である。

##### (1) 適用概要

2008年5月4日にサイクロンがミャンマーのエヤワディ川河口付近を襲い大規模な洪水災害が発生したが、その洪水冠水域を、サイクロン通過前後の Terra/MODIS 画像の比較により広域的に分布状態を把握し(図 4.2.7-1)、洪水前後の ALOS/PALSAR データを重ねた画像により、さらに詳細にその把握が行われた(図 4.2.7-2)。また高空間解像度の ALOS/AVNIR2 および PRISM あるいは Terra/ASTER による観測画像を用いて、災害分布の詳しい調査が行われた。

##### (2) 結果

- ① サイクロン通過前後の時系列 MODIS データによりエヤワディ川河口デルタを中心とした広域洪水氾濫域が明瞭に示された。
- ② PALSAR の ScanSAR モードで観測した災害前 2008 年 4 月 24 日の画像と同じく PALSAR の高分解能モードで観測した災害後 2008 年 5 月 6 日の画像を重ねてカラー表示することで、やや広域の浸水地域を明瞭に把握することができた。
- ③ 高空間解像度衛星画像により市街地、村落、交通網などの被害を受けた地域を詳細に調査することができた。
- ④ 広域の洪水浸水域把握などには、MODIS 画像や ScanSAR モードの SAR 画像が威力を発揮するが、市街地内あるいは交通網の被災部分調査には高解像度光学センサの適用が欠かせない。

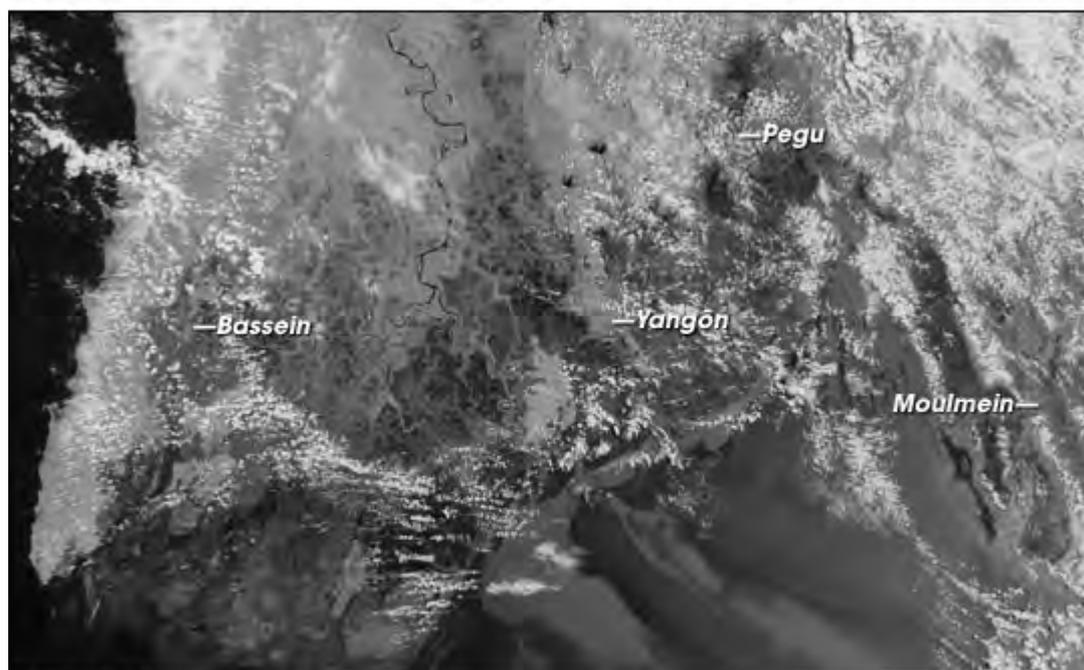
##### (3) 関連文献

JAXA/EORC、だいち画像ギャラリー、[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/gallery/jnew\\_arr.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/gallery/jnew_arr.htm)、  
最新更新日 2009 年 3 月 5 日

NASA, Earth Observatory Natural Hazards, <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/>,  
last updated Mar. 3, 2009



April 15, 2008



May 5, 2008

図 4.2.7-1 MODIS 画像によるサイクロン・ナルギス通過前(上)と通過後(下)の  
エヤワディ川河口デルタの洪水冠水による変化(NASA, 2009)



図 4.2.7-2 ALOS/PALSAR によるサイクロン通過前の 2008 年 4 月 24 日の ScanSAR モード画像と通過後の 2008 年 5 月 6 日の高分解能モード画像を合わせたカラー表示画像による洪水冠水域の分布 (JAXA/EORC, 2009)

## 4.3 事例をもとにした技術課題

活用事例の解析と指摘される課題を表 4.3 にまとめた。

表 4.3 洪水事例ごとの解析内容と指摘された課題

No	地域	解析手法	出力	指摘された課題
1	小貝川 (日本)	洪水前後の TM データを統合したマルチスペクトル分類	・洪水氾濫分布画像 ・洪水被害域区分画像	・マルチスペクトルデータの観測頻度の向上(観測期間の短縮)
2	余笹川 (日本)	洪水前後の航空写真判読と変化域の描画	被害域が描画された航空写真	・時系列航空写真撮影
3	長江中流域 (中国)	・洪水前後のマルチスペクトルデータ解析による氾濫域抽出と被害域分類 ・時系列 SAR データによる詳細氾濫域抽出	・洪水氾濫分布画像 ・洪水被害域区分画像 ・洪水予測域推定画像	・マルチスペクトルデータの観測頻度の向上 ・土地利用の調査などに関して天候の影響を受けないポラリメトリック SAR データ、多季節 SAR データの利用検討 ・詳細な DEM の利用
4	松花江 (中国)	・洪水前後のマルチスペクトルデータ解析による氾濫域抽出 ・時系列 SAR データによる詳細氾濫域抽出	・洪水氾濫分布画像	・土地利用の調査などに関して天候の影響を受けないポラリメトリック SAR データ、多季節 SAR データの利用検討
5	淮河 (中国)	・洪水前後のマルチスペクトルデータ解析による氾濫域抽出	・洪水氾濫分布画像 ・洪水被害域区分画像	・マルチスペクトルデータの観測頻度の向上 ・土地利用の調査などに関して天候の影響を受けないポラリメトリック SAR データ、多季節 SAR データの利用検討
6	ミシシッピデルタ (米国)	・洪水前後のマルチスペクトルデータ解析による氾濫域抽出 ・高分解能光学センサデータによると市内被害分析	・洪水氾濫分布画像	・高分解能光学センサデータの観測頻度の向上と、分析技術の改善
7	エヤワディ川デルタ (ミャンマー)	・洪水前後のマルチスペクトルデータ解析による氾濫域抽出 ・時系列 SAR データによる詳細氾濫域抽出	・洪水氾濫分布画像	・マルチスペクトルデータの観測頻度の向上 ・土地利用の調査などに関して天候の影響を受けないポラリメトリック SAR データ、多季節 SAR データの利用検討

#### 4.4 今後の技術開発

4.3 で指摘された課題をまとめると以下の通りである。

(a) マルチスペクトル光学センサデータに関して

- ・マルチスペクトルデータの観測頻度の向上(観測期間の短縮)
- ・高分解能光学センサデータの観測頻度の向上と、分析技術の改善

(b) マイクロ波センサデータに関して

- ・土地利用の被害調査などに関してポラリメトリック SAR データの利用検討
- ・洪水氾濫域抽出や土地利用被害調査などに関し、さらなる多季節 SAR データ利用の検討

(c) 解析手法・技術と統合データ

- ・高分解能光学センサデータの解析技術の改善
- ・グローバルな詳細 DEM の利用
- ・グローバルな地図・統計(GIS)データの整備と利用技術の検討

以上の指摘された課題に基づき、今後の技術課題についてまとめると以下の通りである。

(1) 衛星/センサ開発について

- ・SAR データの高分解能化、多偏波の開発
- ・複数 SAR 搭載衛星開発とその連続運用の検討
- ・高分解能光学センサ継続利用の検討

(2) 衛星/センサ運用について

- ・データ観測のさらなる頻度向上(観測時間の短縮)
- ・地上観測網と連動した衛星による洪水(災害)自動モニタリングシステムの開発
- ・観測データの自動処理・配信(配布)システムの開発と時間短縮
- ・衛星データ利用の低コスト利用の検討

(3) データ解析利用について

- ・衛星データを利用した洪水(災害)自動検出手法の開発
- ・グローバルな詳細 DEM や地図データ(GIS データ)の整備と低コスト(無償)利用の検討
- ・衛星データと GIS データの統合処理・解析手法または技術の開発
- ・地上(気象データ、水文データなど)の自動観測網の整備と衛星データとの統合解析・分析技術の開発

## 5. 火山・土砂災害時のリモートセンシング技術の活用

### 5.1 調査概要

火山災害は、発生源となる山体は予め特定できている上に発生前の兆候が観測できる可能性もあるため、予知に向けての定常的なモニタリングは比較的取り組みやすいことが特徴である。一方、被害をもたらす溶岩流や火砕流、降灰など噴出物による被害範囲は、火口位置や噴火にともなう地形の変化、気象条件などにより異なるため予測が困難である。また、実際に災害が発生した場合には、平面的な被害分布の把握とともに、地形の変動や噴出物の堆積深といった高さ情報が必要となることも特徴である。

一方、地すべりや崩壊といった土砂災害は、発生のきっかけが地震や豪雨など多様であること、また特に森林域などでは地すべり地形を正確に把握することが困難であるため、発生位置や規模を予測することが困難であることが特徴である。また、実際に災害が発生した場合には、平面的な被害分布の把握とともに、崩壊深や堆積深といった高さ情報が必要となることも特徴である。

本章では、火山については断続的に活動を継続している浅間山の 2004 年の噴火を中心として、土砂災害については甚大な人的被害をもたらした 2006 年のフィリピン・レイテ島の地すべりを中心として、事前予測から被災直後の緊急対応、そして事後の詳細調査や復興に向けての情報提供といった流れに沿って事例を整理した。そして、最後にそれら事例に基づく技術的課題をとりまとめた。

## 5.2 火山災害での事例

浦井<sup>1)</sup>は、火山活動評価に関するリモートセンシングの適用性についてまとめた。これによると、リモートセンシングで観測可能な項目としては①火山地形と地質構造②火山噴出物(降灰、火砕流、溶岩など)の分布範囲③噴煙の高度・分布・噴煙中の火山灰・火山ガスの量④変色海域・火口湖の色・温度⑤標高・地殻変動⑥火山の地表面温度、が挙げられる。これらのうち、①④⑤⑥は噴火予知にむけての事前予測や、噴火活動収束後のモニタリング場面で有効である。一方、②③は噴火活動中の状況把握や災害防止に有効であると考えられる。以下、いくつかの事例を通して火山災害でのリモートセンシングの事例を整理する。

### 5.2.1 事前予測での事例

#### (1) 衛星画像による熱異常モニタリング

火山噴火の事前予測には、GPS や地震計、傾斜計などによる地殻変動の観測を通じた地下マグマ移動の観測や、定常的な地震観測が有効である。さらに山体の熱異常の観測を併用することで、火口位置の特定も含めた予測精度向上が期待される。

山体の熱異常を広域的に観測するには、衛星リモートセンシングが有効である。特に、MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) は地球観測衛星 Terra および Aqua の 2 機に搭載され、ほぼ毎日の夜間データが得られる上、航空機と異なり運用コストも低いので、高頻度な常時観測が必要な火山監視には適している。金子ら<sup>2)</sup>は 2004 年 9 月 1 日から始まり 3 ヶ月に及んだ一連の浅間山噴火を対象として、Terra および Aqua MODIS の夜間赤外画像を解析し、噴火活動と熱異常の関連性を検討した。

図 5.2-1 に浅間山における MODIS の画像例を示す。また、図 5.2-2 に 2004 年から 2005 年にかけての MODIS による火口付近の輝度温度およびその他の観測データを示す。

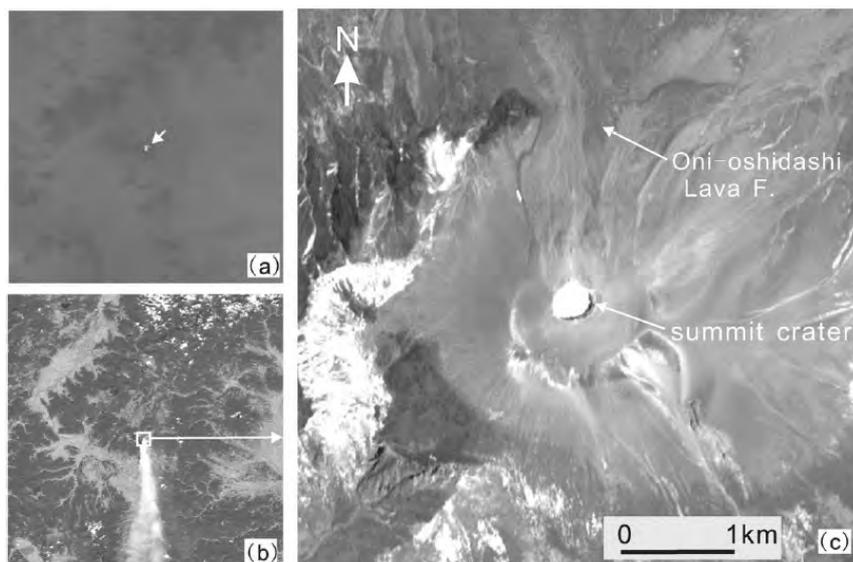


図 5.2-1 (a)夜間の MODIS バンド 20 画像、(b)日中の MODIS 可視近赤外画像、  
(c)浅間山頂上周辺の SPOT 画像

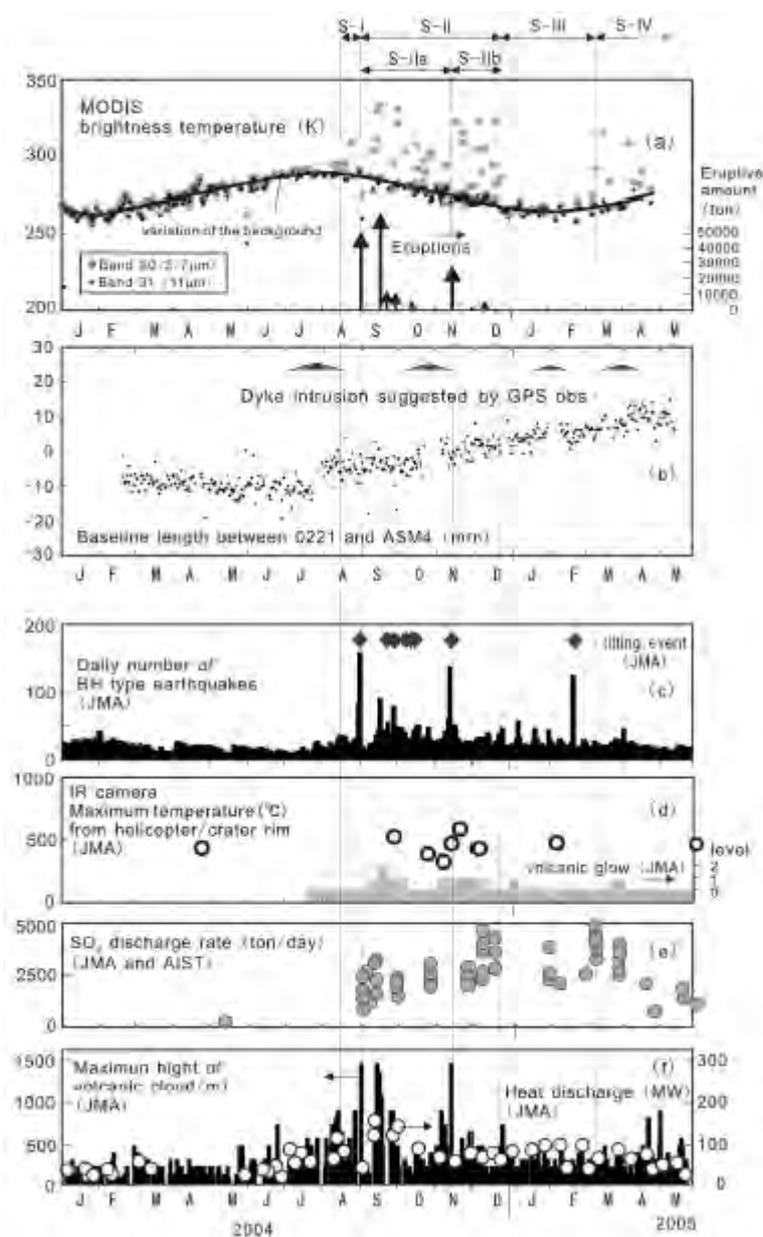


図 5.2-2 (a)MODIS バンド 20,31 の時系列データ,(b)0221 と ASM4 の基線長,(c)高周波地震,(d) 頂上火口の最高温度,(e)SO<sub>2</sub> 放出率,(f)噴煙の最高高度

これらの比較検討から、火山活動の各ステージにおける熱異常と噴火、地震活動、SO<sub>2</sub> 放射率、傾斜変動の発生状況、山頂火口底の噴気孔からの高温噴気の放出率などの間に対応関係があることが示唆され、火口と火道域内が通じているタイプの火山では、衛星熱赤外線画像による熱異常の高頻度観測をおこなうことにより、噴火の予兆を捉えることができる可能性があることがわかった。今後、事例を蓄積して詳細に検討を加えることにより、特に観測機器の設置が困難な遠隔地や噴火で危険な火山の活動監視では有効な手段となることが期待される。

## (2) 地上設置型熱センサによる熱異常モニタリング

前出の MODIS のような衛星画像は、低コストかつ高頻度で広域の熱異常が監視できるという点ですぐれているが、一方で分解能が粗いために概略の観測にとどまる上、天候の制約を受けるため、たとえば噴火直前の重要な時期に悪天のため観測ができない、というリスクもある。それに対して、地上観測は、観測可能な範囲は限定されるものの、天候の影響を受けづらく、山体の中の熱異常の場所やその変化も把握可能なので、噴火位置の予測まで踏み込んだ火山活動監視にも適用できる可能性がある。

横尾ら<sup>3)</sup>は、桜島昭和火口付近では 58 年ぶりとなった 2006 年 6 月の噴火活動を対象として、同 3 月から 11 月にかけて計 5 回の熱赤外映像カメラを用いた地上観測を実施した(図 5.2-3)。GPS 連続観測では一部カルデラ周辺へのマグマ蓄積が継続していることは判明していたが、地震観測では対象である 2006 年噴火の予兆現象は捉えられていなかった。それに対して、一部熱異常域では 3 月から熱活動が活発化していたことがわかった。これは、熱活動の活発化と噴火の間に関連性があることを示唆するものであり、今後の事例を蓄積して詳細に検討することにより、地上からの熱赤外映像観測が噴火の予知に貢献することができる可能性が示されたものと考えられる。

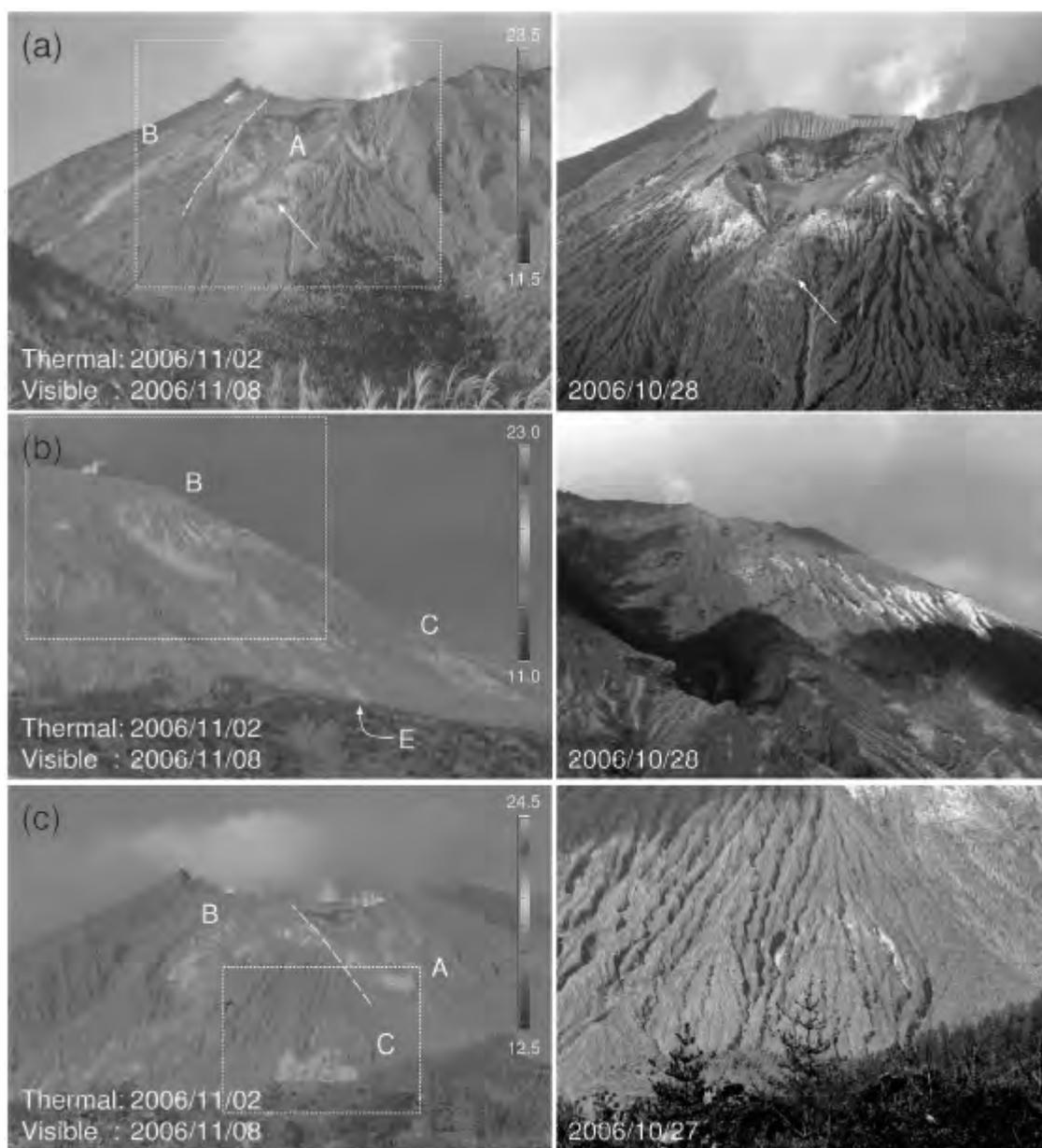


図 5.2-3 (a)黒神(b)有村(c)瀬戸の各地区での熱赤外映像(左)と、白枠内の可視画像(右)  
 A~E は熱異常域 (a)図の矢印は 1992 年には明瞭でなかった熱異常域

## 5.2.2 被災直後の緊急対応事例

### (1) 中分解能衛星 ASTER による事例

(独)産業技術総合研究所では、Terra 衛星搭載 ASTER を使用して、世界の活火山を観測・解析しており、取得した衛星画像をデータベース化して公開している<sup>4)</sup>。図 5.2-4 に浅間山の例を示す。

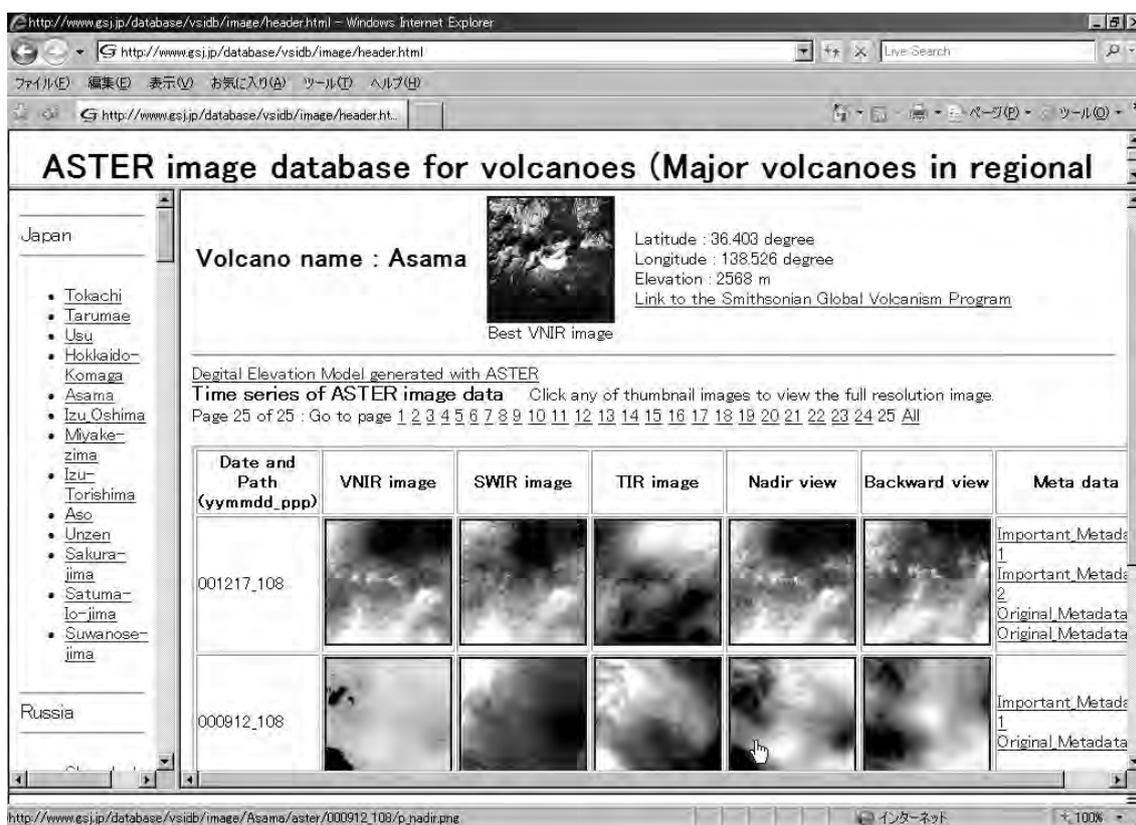


図 5.2-4 火山衛星画像データベース((独)産業技術総合研究所)

同研究所では、ASTER により世界の 900 以上の活火山を観測しているが、その中でもインド洋に位置するフランス領レユニオン島フルネーズ火山は、世界で最も活発な火山であることから、年間昼間 8 回、夜間 10 回の観測要求を ASTER の運用機関である(財)資源・環境観測解析センターに提出し、2000 年以降数回にわたる同火山の噴火を ASTER により観測してきた<sup>5)</sup>。2007 年4月、同火山は噴火を開始して大量の溶岩が噴出し、海岸まで到達し海面を埋め立てた。また山頂火口が長さ 1,000m 幅 700m にわたって最大 340m 陥没したことが報告されたが、遠隔地であることから噴火の詳細についての情報は十分ではなかった。そこで同研究所では同センターと協力し、4 月 25 日から 5 月 6 日まで昼間 6 回、夜間 2 回の ASTER による緊急観測を実施した。そして、データベースを活用して噴火前後の ASTER による DEM を作成・比較して地形変化を計測した(図 5.2-5)。これにより、火口付近の陥没が正確に把握できた。また、熱赤外線による観測も実施し、熱異常の状況も把握することで(図 5.2-6)、新

たな溶岩で埋め立てられた海岸の状況も把握することができた。そして、これらの情報を現地関係機関へ提供し減災に貢献した。

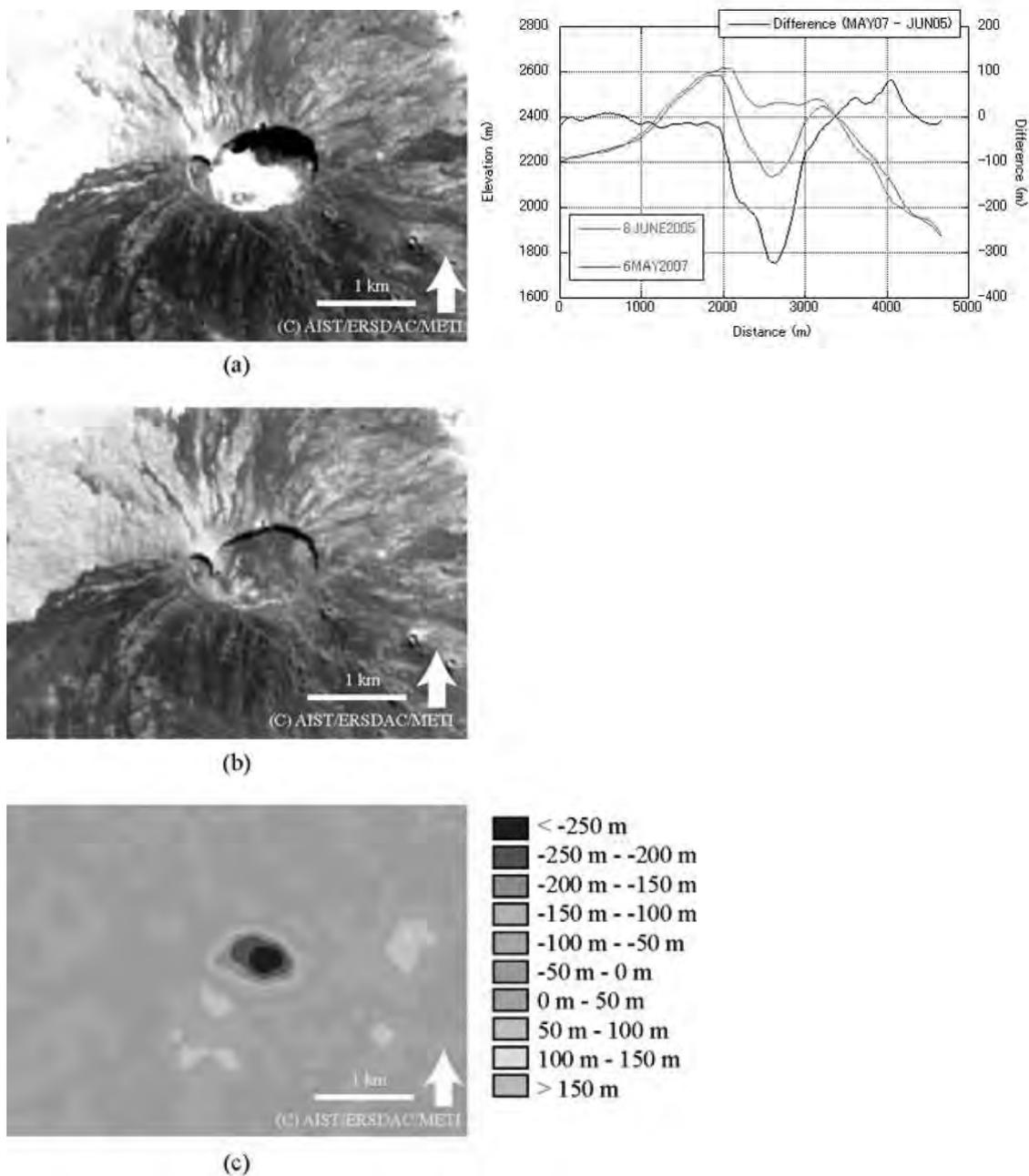


図 5.2-5 左:(a)フルネーズ火山の噴火後の火口周辺 VNIR 画像, (b)同噴火前, (c)両者から作成した DEM の差分画像, 右:噴火前後の東西方向の DEM 断面図

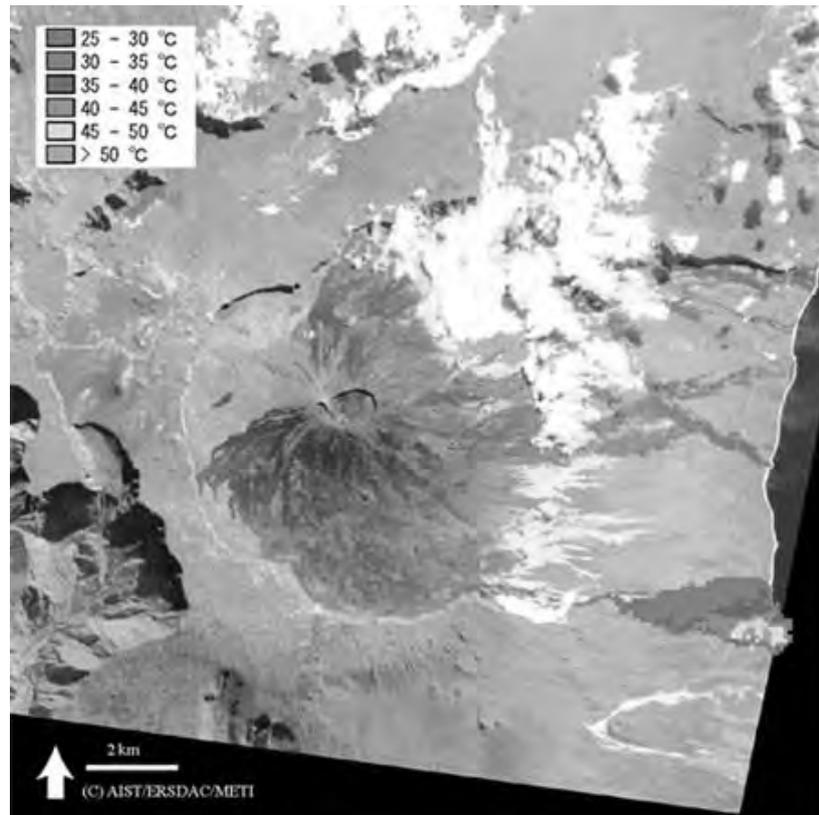


図 5.2-6 噴火後の夜間 TIR 画像から求めた熱異常域(背景は噴火前の VNIR 画像)

## (2) 高分解能衛星 IKONOS による事例

火山噴火にともなう災害をもたらす現象として、前出のような地形変動や溶岩の流出と合わせて、火山礫や噴石の飛来があげられる。これらは、山火事の原因となるほか、人命や施設にも被害を及ぼし重大な災害につながりかねないので、その分布を早期に把握することが重要である。しかし、噴火直後の火山周辺は、災害対策基本法に基づく警戒区域に指定され、調査員の立ち入りは規制されることがある。また、航空機による垂直撮影も飛行規制で制限されることがあり、確実な手段ではない。それに対して高分解能衛星は、事象に対して分解能は十分とは言い切れないものの、噴火直後の火山礫や噴石の把握に有効である可能性がある。

佐々木ら<sup>6)</sup>は 2004 年 9 月の浅間山噴火の際の火山礫や噴石の飛散状況を、高分解能衛星 IKONOS を利用して着弾痕を判読することで把握することを試みた。図 5.2-7 は使用した IKONOS 画像である。噴火前(b)と噴火後(c)と比較することで、対象とする噴火による着弾痕であることが、また図 5.2-8 よりフォールスカラー画像を併用することで、着弾により発生した山火事の跡を明瞭に判読できることがわかる。またフォールスカラー画像を併用するもうひとつのメリットとして、噴煙を通しての判読性がトゥルーカラー画像より多少高いことがあげられる(図 5.2-9)。

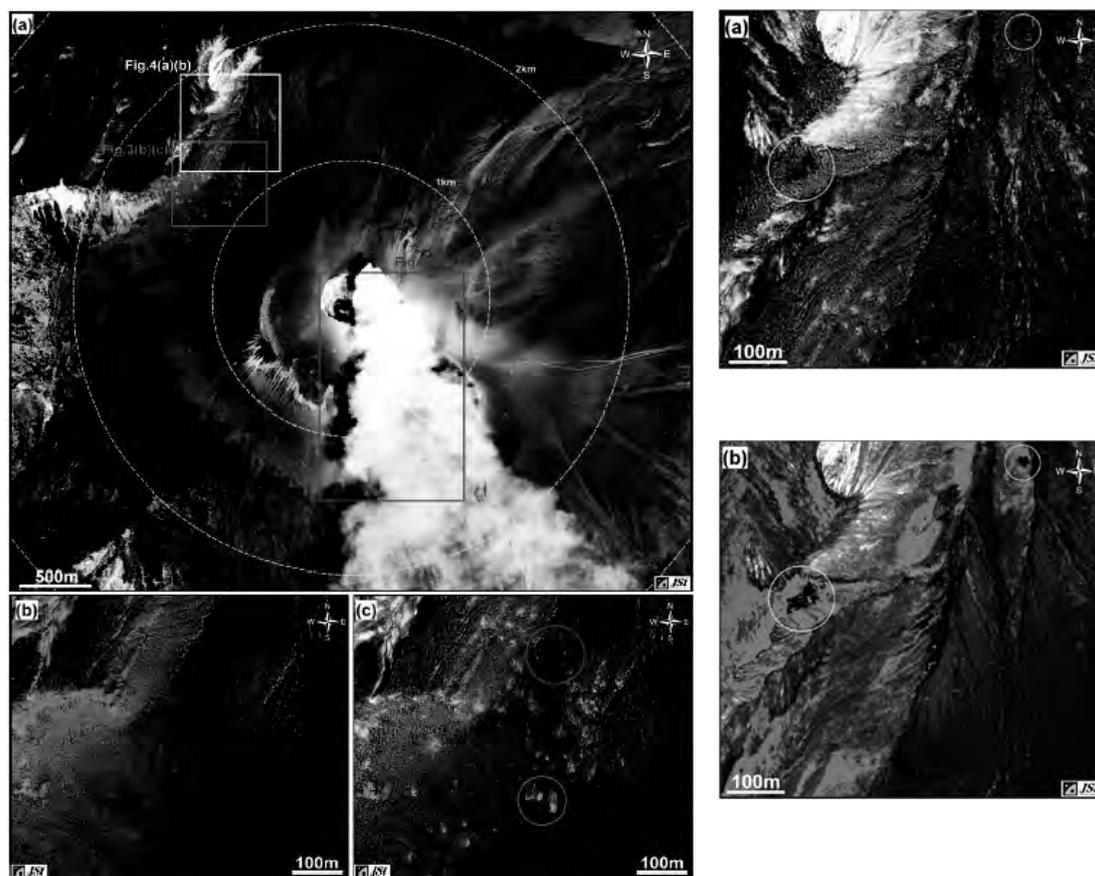


図 5.2-7(左)(a)使用した噴火後の IKONOS 画像, (b)噴火前の IKONOS 部分拡大画像, (c)同噴火後  
 図 5.2-8(右)(a) 噴火後の IKONOS トゥルーカラー拡大画像,(b)同フォールスカラー拡大画像

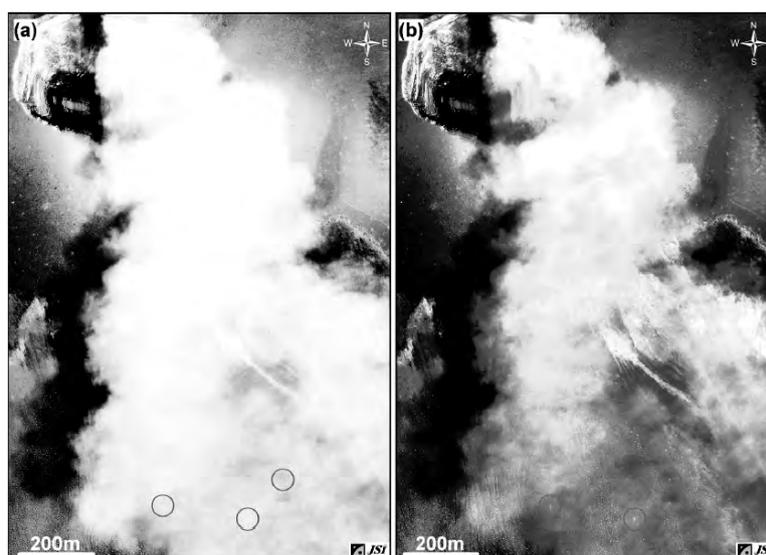


図 5.2-9(a) 噴火後の浅間山南斜面 IKONOS トゥルーカラー画像,(b)同フォールスカラー画像

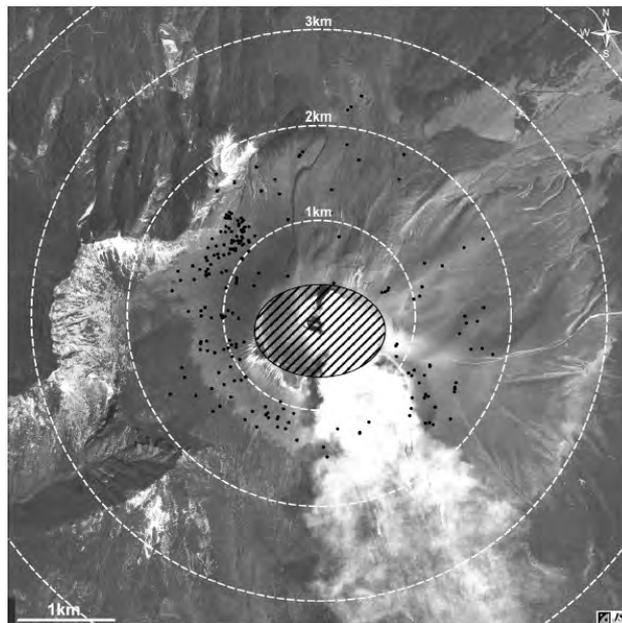


図 5.2-10 IKONOS 画像判読による噴石着弾痕分布図

検討の結果、植生限界より上の標高帯では、インパクトクレーターと呼ばれる凹地状の環状地形や、放射状の細粒物質の飛散した跡を判読することで、直径 3m 程度以上の着弾痕を把握できることがわかった(図 5.2-10)。今後、噴火直後の防災対策策定のための基礎資料として活用されることが期待される。

### (3) 合成開口レーダ SAR による事例

火山噴火は、災害をもたらすほかの自然現象と異なり、比較的長期にわたる傾向があるため、噴火直後からその状況を継続的にモニタリングし、その後の推移状況を予測する必要がある。そのためには火口の溶岩噴出状況や、それにもなう地形変化などを把握することが重要である。しかし、噴火活動中は雲に加えて噴煙のため光学センサーや航空レーザ計測などで火口を観測することは困難である。それに対して合成開口レーダ SAR であれば、噴煙を通して火口の状況を観測できる上、航空機搭載型の場合でも火口の直上を飛行しないので安全性も高く、噴火活動中の観測手段として有効であると考えられる。

大木<sup>7)</sup>らは 2004 年に噴火した浅間山を対象として、噴煙に覆われた状況下で山頂火口内の噴火活動を把握するため、航空機搭載型 SAR で複数回にわたり観測をおこなった。そして INSAR によって地形変化を計測し、噴火前の航空レーザ測量による火口形状と比較した。観測の際は、レーダーシャドウの影響を低減するため 4 方向から観測した(図 5.2-11)。その結果、同 9 月に始まった溶岩の噴出が 10 月にピークとなり、その後急激に沈静化していたことがわかった(図 5.2-12)。今後、火山噴火後の継続的な山体のモニタリングへ航空機搭載型 SAR が活用されることが期待される。

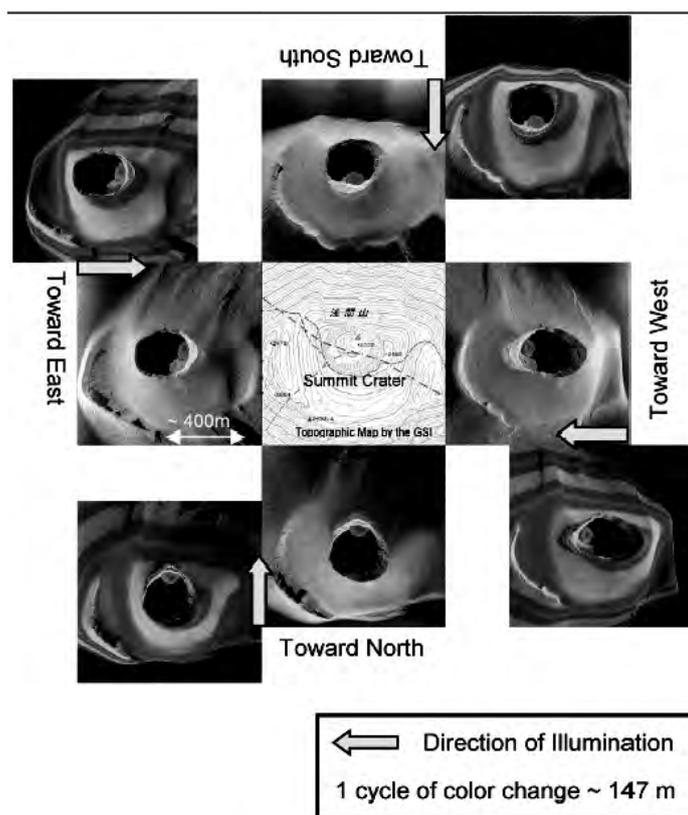


図 5.2-11 噴火後に 4 方向から取得された航空機搭載型 SAR 画像。モノクロ画像は後方散乱強度画像, カラー画像は干渉縞画像

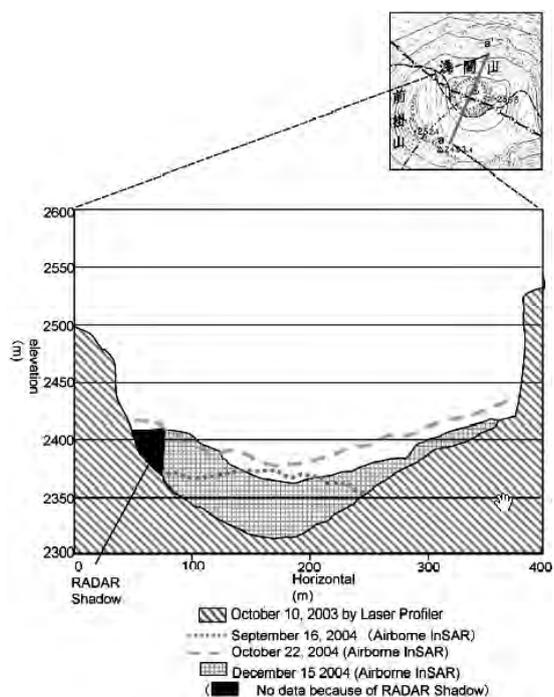


図 5.2-12 噴火前(航空レーザ計測)および噴火後 3 時期(航空機搭載型 SAR)の DEM 断面図

### 5.2.3 事後の詳細調査・復興に向けての情報提供の事例

火山噴火にともなう火山灰の降灰は森林にダメージを与えるため、周辺地域の復興にあたっては降灰状況や、降灰にともなう森林の被害程度を把握する必要がある。

菅野ら<sup>8)</sup>は、火山噴火にともなう降灰により被害を受けた森林の整備対策に活用することを目的として、2000年に噴火した有珠山を対象として衛星画像と森林GISを利用して降灰や森林被害の現況把握を試みた。現地周辺は残雪に覆われており降灰が厚いほど輝度値が低下することを利用して、SPOT画像の輝度値から火山灰の降灰の厚さを推定し、降灰分布図を作成した(図 5.2-13)。また、近赤外域の輝度値と森林被害の程度に密接な関係があることを利用して森林被害区分推定図を作成した(図 5.2-14)上で、現地調査をおこない、推定図を修正し最終的な森林被害区分図を作成した(図 5.2-15)。そして、これらの情報を地元の防災担当機関に提供し、復興活動に貢献することができた。合わせてインターネットを介して地元住民にも情報を提供した。衛星リモートセンシングによるこのような調査は、噴火後で周辺が立ち入り禁止区域となる火山噴火後では有効手段であり、今後の活用が期待される。

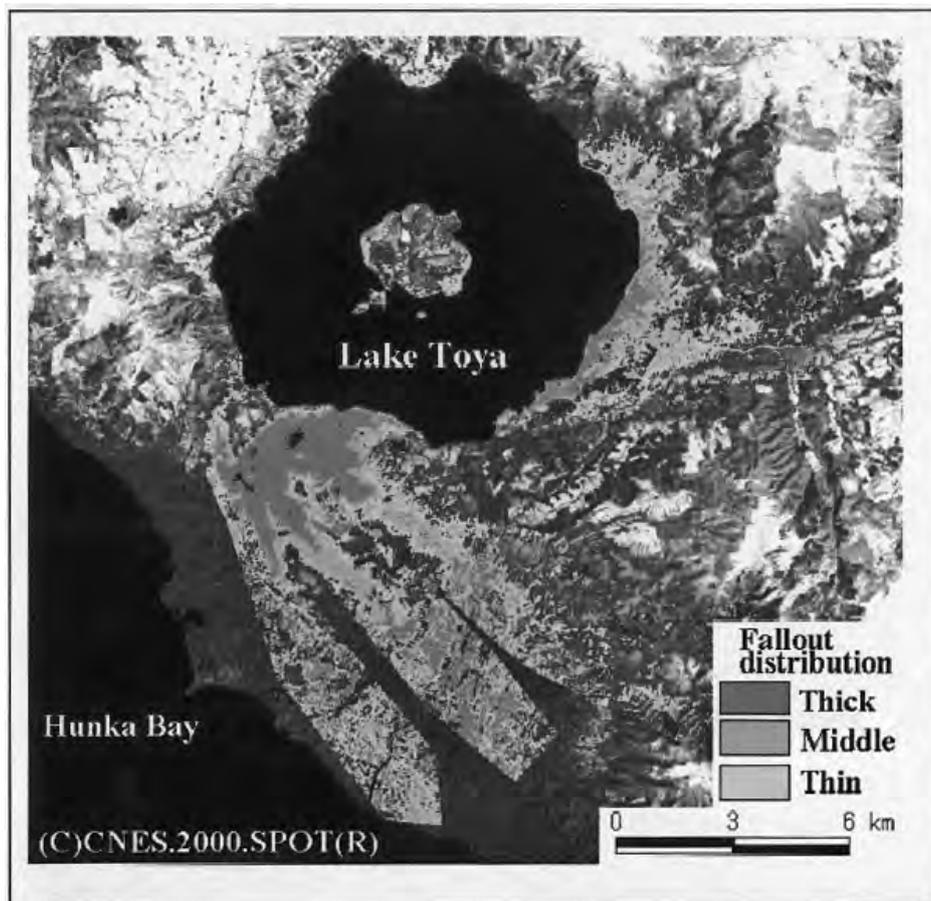


図 5.2-13 噴火後の SPOT 画像から作成した降灰分布図

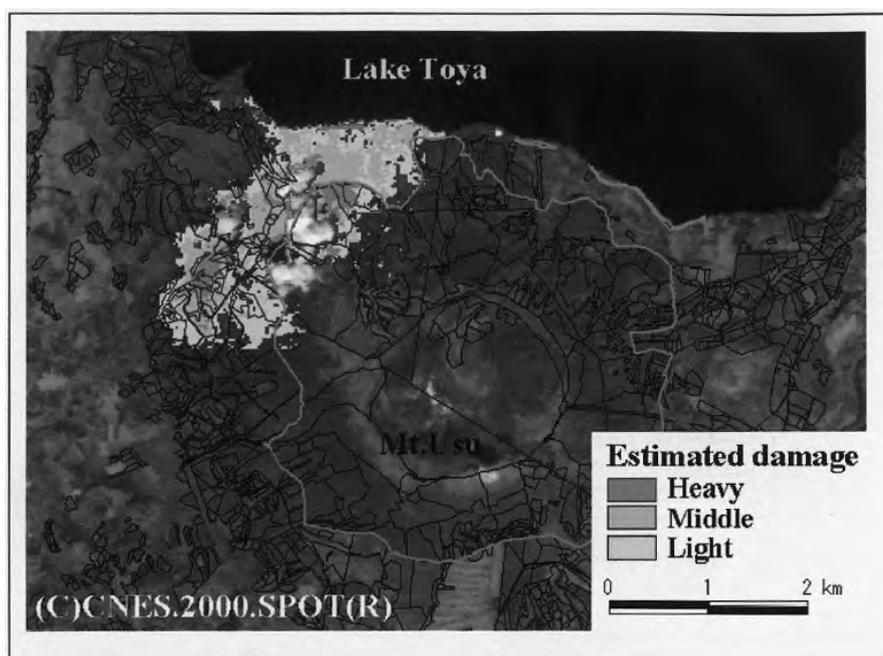


図 5.2-14 噴火後の SPOT 画像から作成した森林被害区分推定図

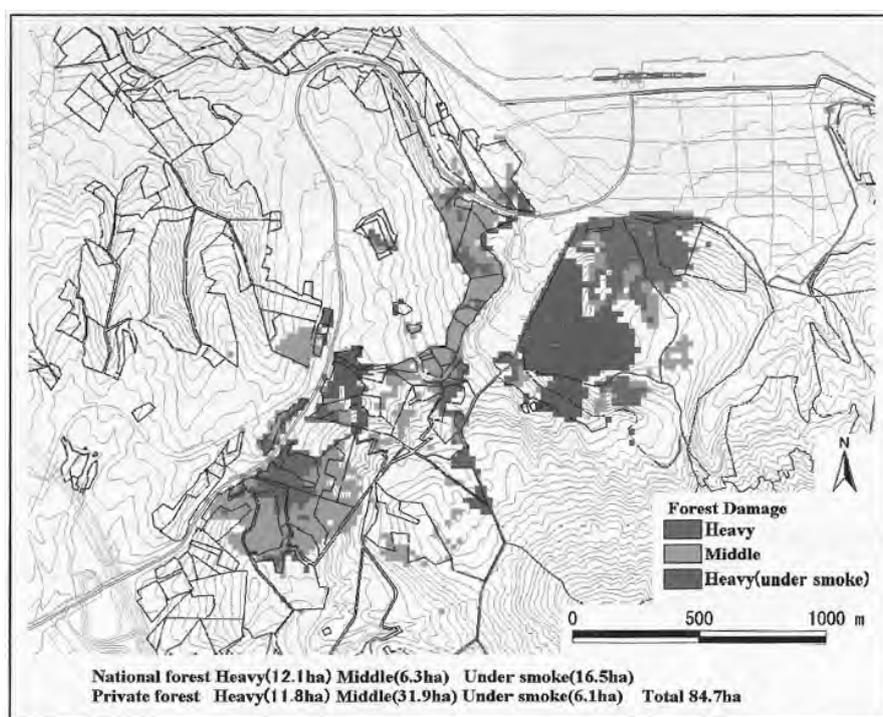


図 5.2-15 森林被区分図

### 5.3 土砂災害での事例

#### 5.3.1 事前予測での事例

##### (1) 衛星画像データによる地すべり地形の評価

地すべりや斜面崩壊などの土砂災害は、火山と異なりあらかじめピンポイントで発生箇所を予測することが困難であるため、事前予測のためには、まず広域の中から危険箇所を絞り込む必要がある。そのためには、衛星リモートセンシングにより地すべり地形や崩壊地形を抽出し、合わせて水循環の違いに起因する植生の違いなどを衛星画像で解析することが有効と考えられる。

大野ら<sup>9)</sup>は長崎県北松浦半島の北部、伊万里湾から松浦市にかけてのエリアを対象として、ASTER データから作成した DEM による地形量と、同 NDVI により地すべり地形の評価を試みた。NDVI を使用するのには、水環境の違いが地すべり／非地すべり地形の植生の違いに影響している可能性があるからである。なお、本地域は、北松タイプと呼ばれる大規模(幅・延長とも 500m～1km に及ぶ)な地すべりが多数発生している場所である(図 5.3-1)。ASTER DEM による斜面傾斜角や NDVI と地すべり箇所(図 5.3-2)を比較検討した結果、急傾斜箇所や地形の凹凸の激しい箇所を抽出し、さらに NDVI を補助的に使用することで、地すべり地形を評価できる可能性があること、ただし現地調査や航空写真判読などの組み合わせにおいて有効な手段となり得ることがわかった。

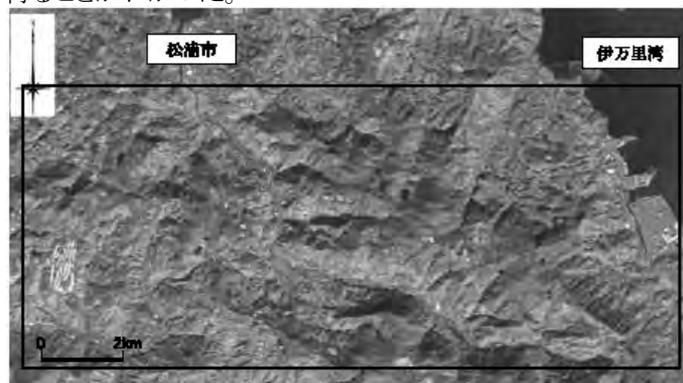


図 5.3-1 対象地域の ASTER 画像

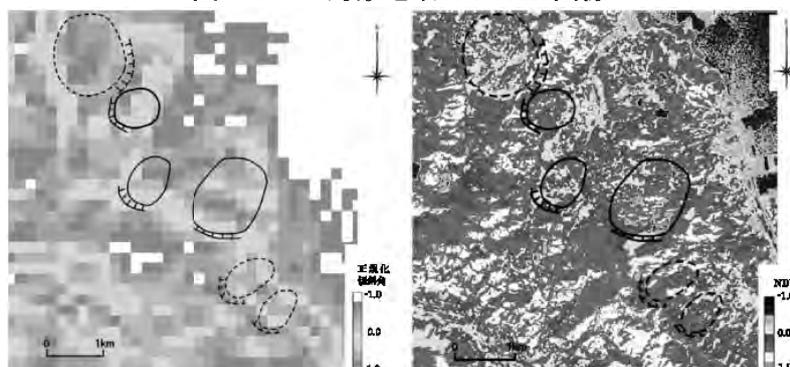


図 5.3-2 ASTERDEM による斜面傾斜角(左)と NDVI(右)の例図中黒線は判読による地すべり箇所

(2) 航空レーザ計測データによる地すべり地形の評価

衛星リモートセンシングによる DEM データなどは、広域にわたり地すべり地形を評価するための補助手段として活用できる可能性があるものの、森林地帯における DEM データは、基本的には地盤を詳細に反映したものではないため、有効性には限界がある。それに対して航空レーザ計測は、レーザパルスが樹木の隙間を通して地盤に到達するため、光学画像と比較すると地形の再現性が高いので、ある程度限定されたエリアで地すべり地形を精度高く抽出するのに活用されることが期待されている。

笠井ら<sup>10)</sup>は、ダムや道路などの施設での土砂災害の軽減・防止に資することを目的として、航空レーザ計測により求めた DEM から地形量を地すべり地と非地すべり地で比較し、地すべりの地形的特長や発達プロセスを評価することを試みた。対象とした地すべりは、福島県摺上川ダム流域である。ここでは、航空レーザ計測による 2m メッシュ DEM をもとに、斜面勾配と固有値比の二つのパラメータを地形量として採用した(図 5.3-3、5.3-4)。固有値比は地表面の粗さを表す指標であり、活発な地表活動が起こっている場所では値が小さくなることが知られている。これらの比較検討から、地すべり地で 35 度以下の斜面が多いこと、比較的若い地すべり地では 45 度以上の斜面も多いが、発達が進むにつれてその割合が低下すること、地すべり活動で地表が複雑になると固有値比 3-6 の割合が高くなることなど、地すべり発達プロセスと地形量の間に対応関係があることがわかった。今後、多様な条件で事例を蓄積するとともに、斜面勾配と固有値比以外の指標も導入していくことで、地すべり判読の客観的な判断材料として活用できる可能性がある。

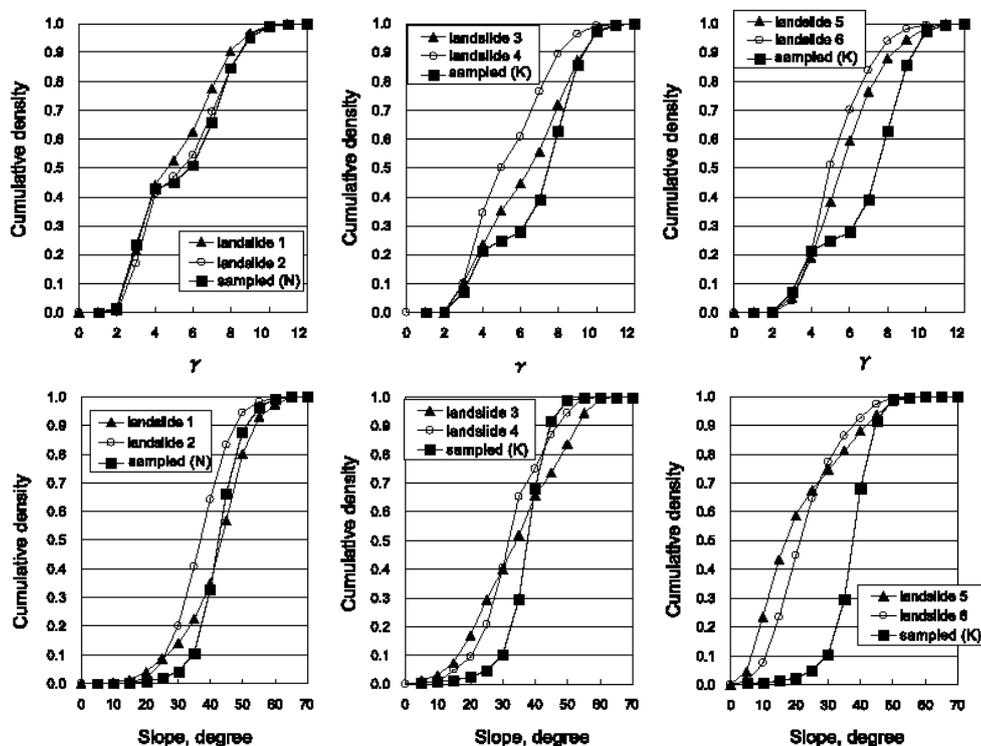


図 5.3-3 斜面勾配(上段)と固有値比(下段)の累積頻度

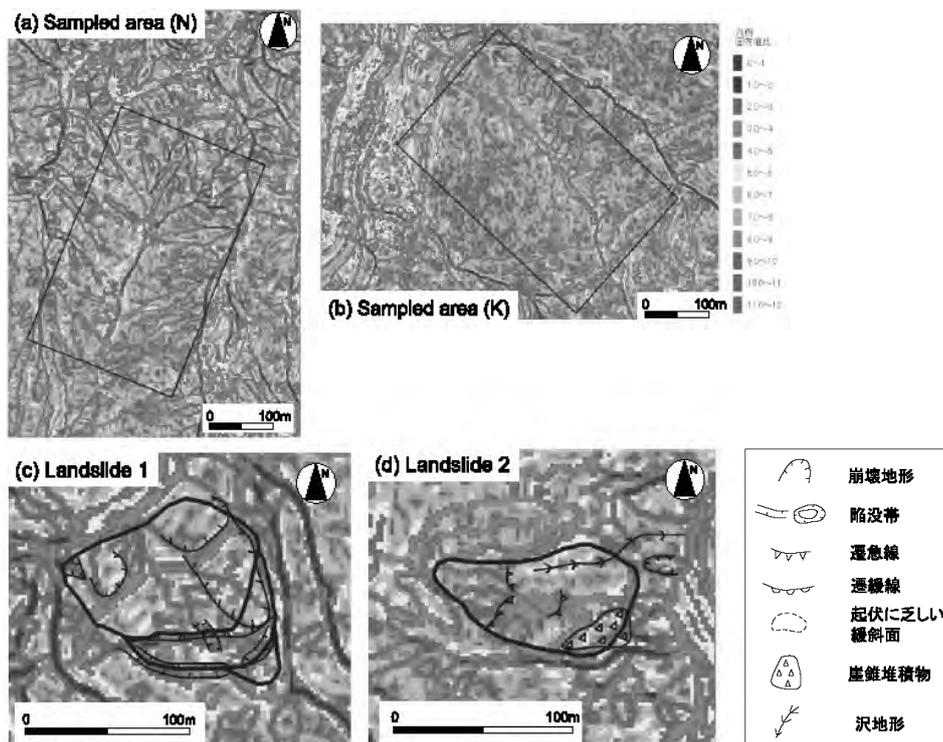


図 5.3-4 固有値比分布図例(a,b: サンプルエリア、c,d: 地すべり地)

### 5.3.2 被災直後の緊急対応事例 —国際災害チャーターへのALOS 適用事例—

2006年2月17日にフィリピン共和国レイテ島で発生した大規模(幅1.5km、長さ3.9km、崩壊土砂量推定2,100万 $m^3$ )地すべりは、住宅や学校が崩壊土砂に埋まり、村全体が壊滅状態となる大災害を引き起こした。その際に人的被害は死者行方不明合わせて1,000人を超える大惨事となった。これを受けて、宇宙航空研究開発機構(JAXA)では、ALOSによる緊急災害観測を実施した<sup>11)、12)、13)</sup>。当時、ALOSは初期ミッションチェック中であり初画像を公開した直後であったが、災害の規模および人的被害が甚大であったことを受けて実施されたものである。

図5.3-5は被災3日後の2月20日にAVNIR-2で観測された画像である。

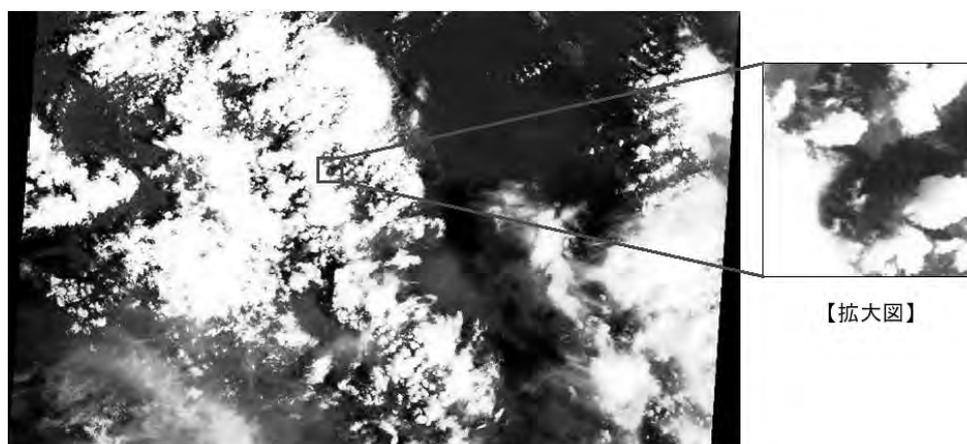


図 5.3-5 被災直後に取得されたAVNIR-2画像

この画像はただちに国際災害チャーターに提供され、その他の画像とともに解析処理された。その結果は同チャーターのホームページ<sup>14)</sup>に公開された(図 5.3-6)。

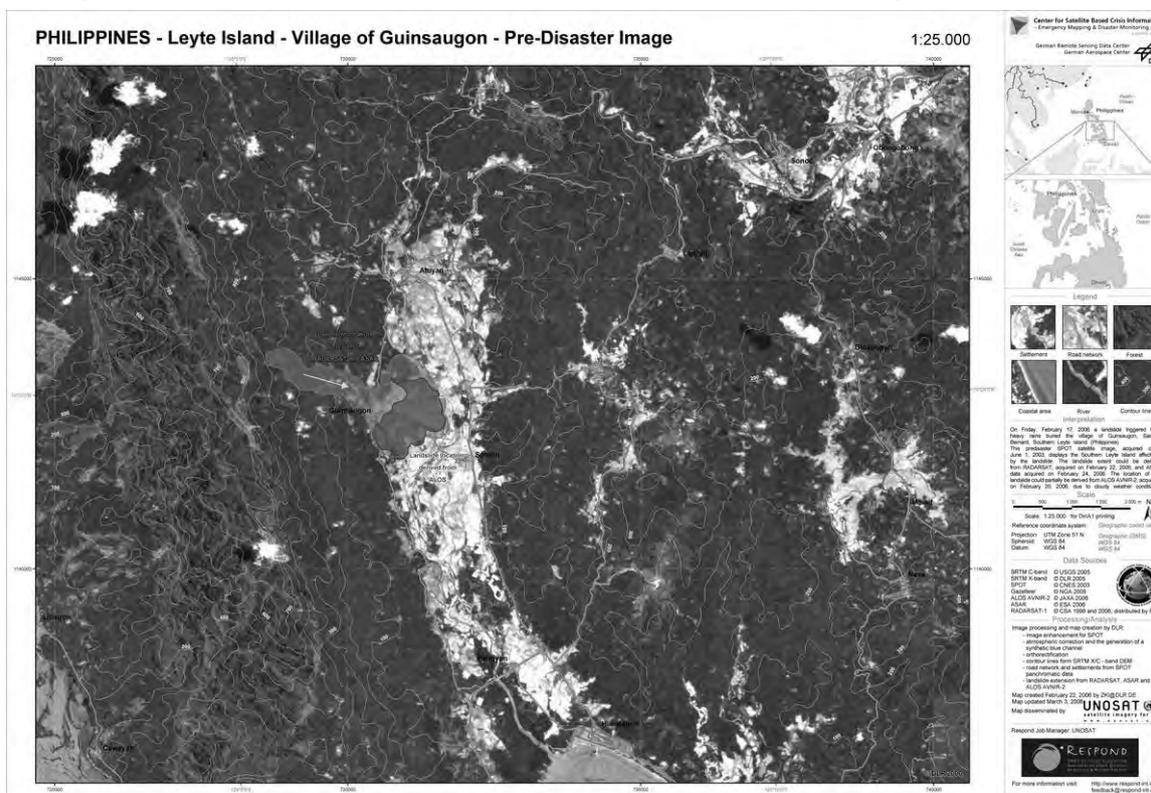


図 5.3-6 国際災害チャーターHPに掲載されている解析結果画像

また、2月24日には合成開口レーダPALSARによる観測もおこなわれ、1996年にJERS-1 SARで観測された画像との重ね合わせ処理により、概略の崩壊範囲が明らかにされた(図 5.3-7, 5.3-8)。

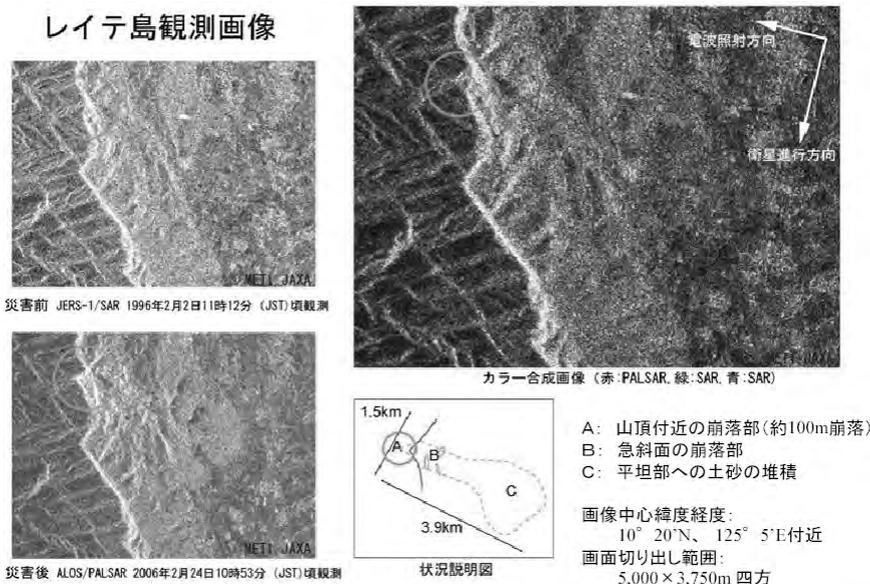


図 5.3-7 PALSARとJERS-1SAR画像および重ね合わせ図

北西方向から見たフィリピン・レイテ島の地すべり被災地  
North-west view of landslide area in Leyte Island, Philippines

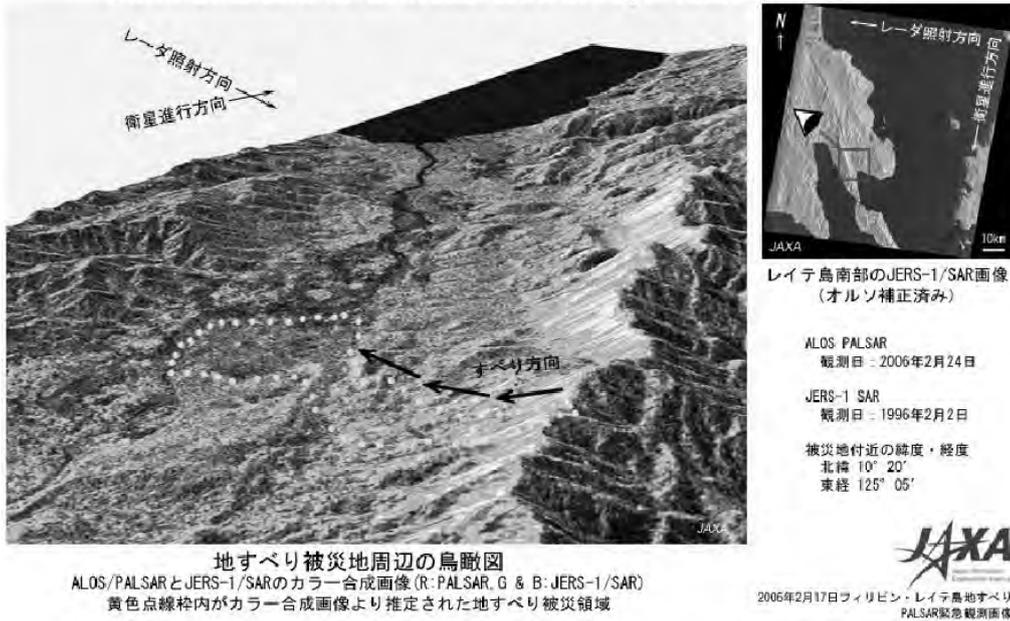


図 5.3-8 SAR 重ね合わせ図の鳥瞰図

5.3.3 事後の詳細調査・復興に向けての情報提供の事例

(1) QuickBird と PRISM による事例

前出のレイテ島の斜面災害は地すべりと呼ばれているが、衛星画像などから流れ山地形が確認されており、火山性複合岩帯の大規模な山体崩壊により岩屑なだれであるとの判断もある。小荒井ら<sup>15)</sup>は、高分解能衛星による流れ山地形計測の可能性について検討を試みた。図 5.3-9、図 5.3-10 は計測に用いた QuickBird および ALOS PRISM のステレオペア、図 5.3-11 は流れ山地形の現地写真である。

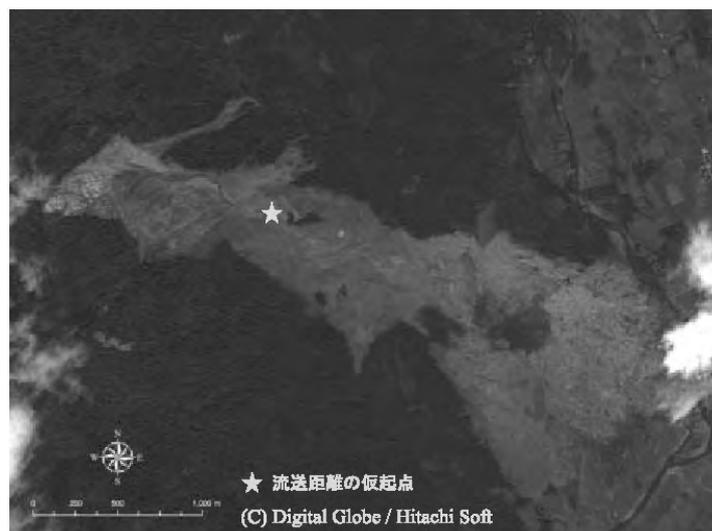


図 5.3-9 レイテ島岩屑なだれの QuickBird 画像

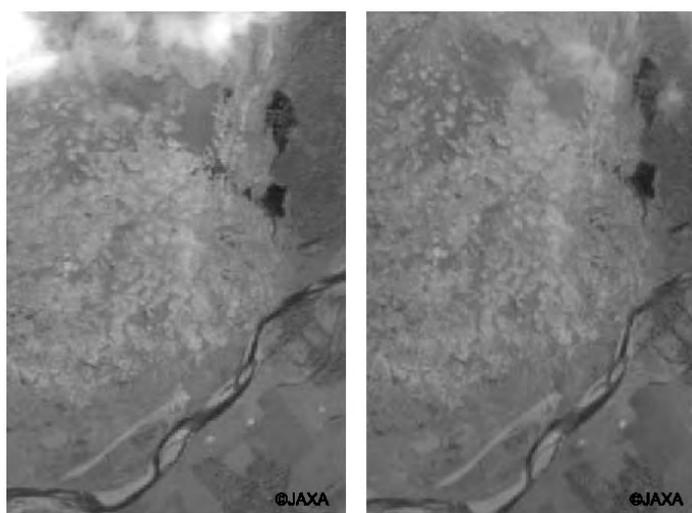


図 5.3-10 レイテ島岩屑なだれの PRISM ステレオ画像



図 5.3-11 レイテ島岩屑なだれの流れ山堆積域の状況

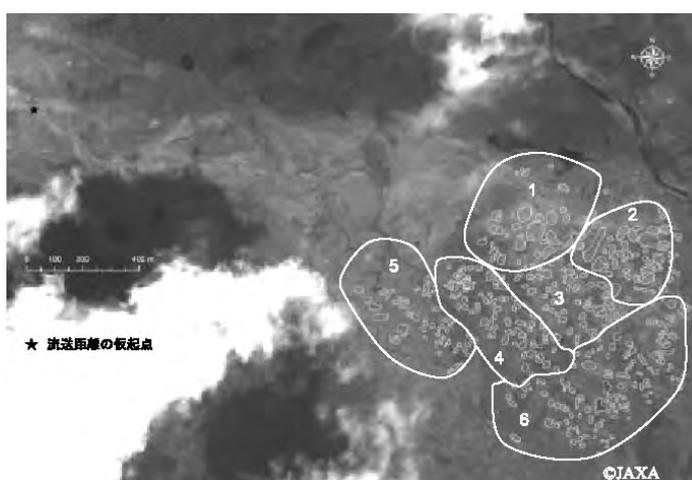


図 5.3-12 レイテ島岩屑なだれの流れ山図結果(背景は PRISM 画像)

立体感は得られないが高分解能かつカラーで判読性能の高いQuickBirdと、モノクロではあるが立体視可能なPRISMを組み合わせることで、流れ山地形を把握することができた(図 5.3-12)。

## (2) ASTER と SPOT による事例

2004年3月、インドネシア国スレウェシ島南部の火山であるバワカラエン山のカルデラ壁で大規模な山体崩壊が発生した(図 5.3-13)。その規模は約2億 $\text{m}^3$ という報告もある。このような大規模山体崩壊後の土砂流出については、事例が少なく実態は明らかになっていない。

そこで清水ら<sup>16)</sup>は、災害発生前はASTER、発生後はSPOT5により(図 5.3-14)3か年にわたりDEMを作成し、発生から2年間の経年変化を把握した。発生直後の崩壊土砂による旧河道の閉塞やガリー侵食、その後の侵食活動の低下など、経年変化を面的かつ定量的に把握することができた(図 5.3-15,5.3-16)。

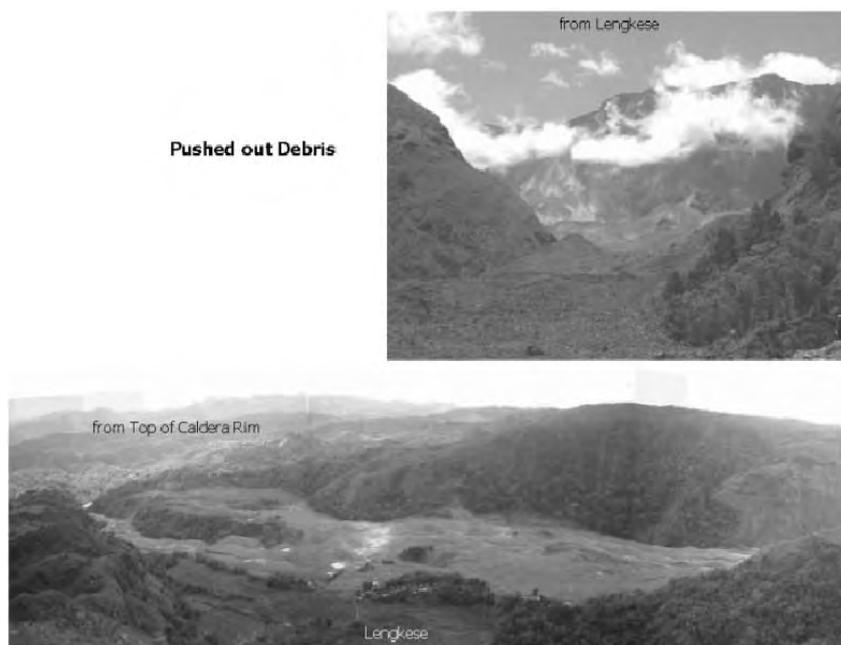


図 5.3-13 バワカラエン山体崩壊の崩壊土砂の堆積状況



### (3) PALSAR による事例

大規模な地震災害では、事後に広域の地殻変動を把握する必要がある。そのためには、合成開口レーダ SAR による INSAR 解析は有効な手段である(図 5.3-17)が、地形変動が急激(変位が大きい、大規模な地すべりや崩壊などをともなうなど)場合には、干渉性が低下し計測ができない場合がある。

金田ら<sup>17)</sup>は、2008 年に発生した岩手・宮城内陸地震において、そのような場合での SAR(後方散乱強度画像)のマッチングによる水平変動成分の抽出を試み、断層の位置と変動ベクトルの間におおむね整合がとれていることを示した。(図 5.3-18)。今後、検証を重ねることで、INSAR と本手法の組み合わせにより、SAR による地殻変動計測の可能性が広がることが期待される。

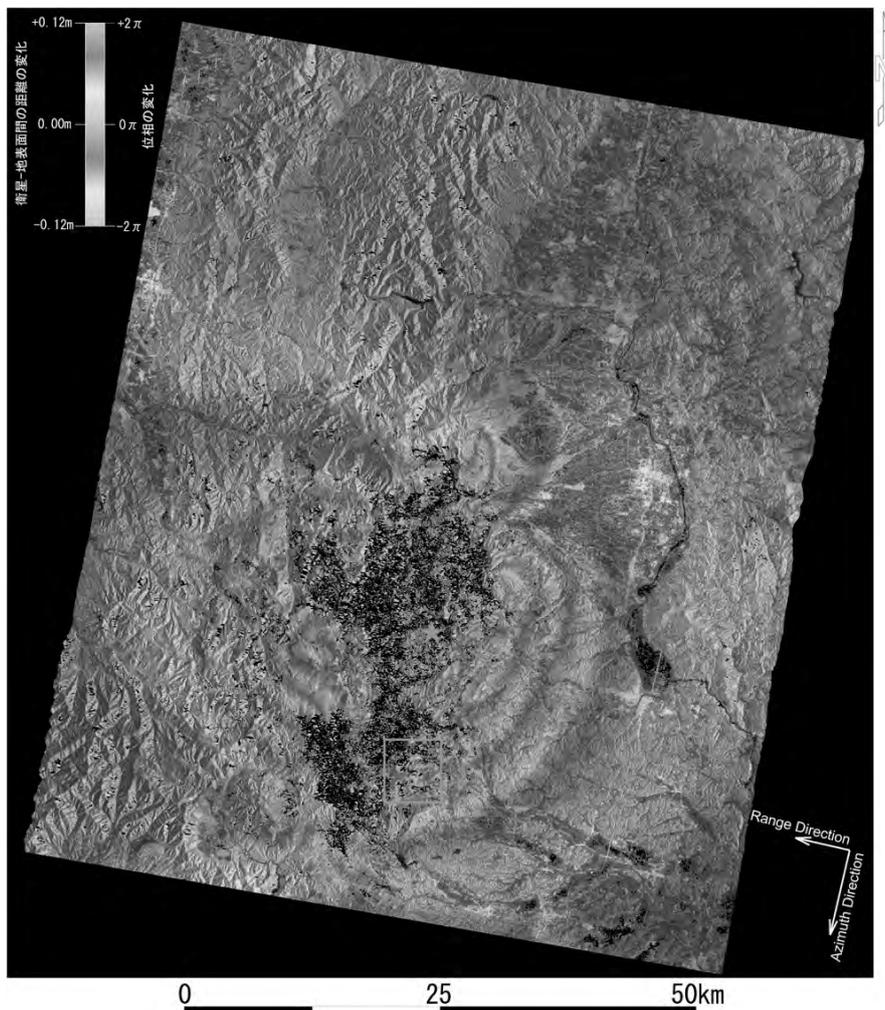


図 5.3-17 岩手・宮城内陸地震前後に取得された PALSAR データによる変動分布図

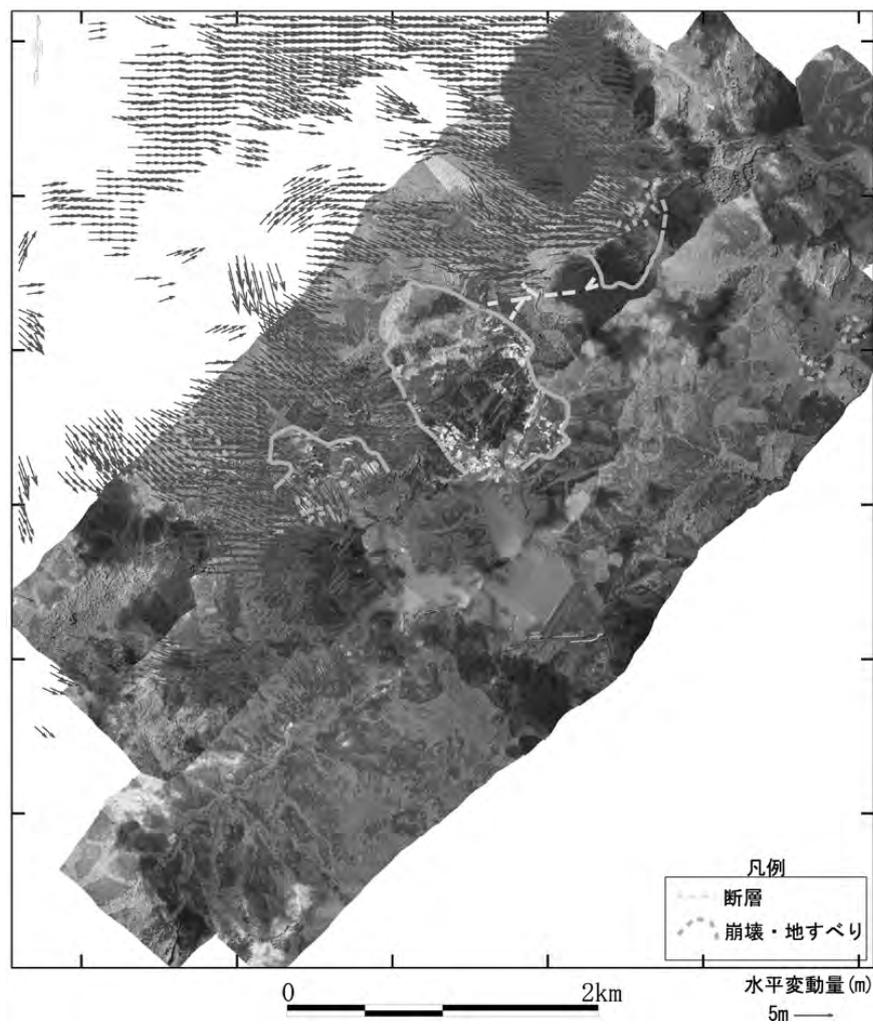


図 5.3-18 岩手・宮城内陸地震震央周辺 PALSAR 画像マッチングによる変位ベクトル

## 5.4 事例をもとにした技術課題

### 5.4.1 火山災害についての技術課題

火山噴火の事前予測の観点では、リモートセンシングが活用できるのは山体の熱異常分布の把握である。山体地下のマグマの動きは複雑であり、それと山体表面の熱異常、噴火発生の有無や場所は容易に対応がつかぬものではなく、また一般化も難しいと考えられる。今後、各火山において個別に事例を蓄積していくことで、GPS や地震計などの地上観測網の補助データとして、活用が進むことが期待される。その際の課題としては、火山活動が活発化した際に的確なタイミングでデータを取得するための観測の高頻度化と、山体周辺の熱異常分布が把握できるための高分解能化があげられる。

一方、噴火活動中や噴火後の対応の観点では、その噴火活動で発生した事象を特定する上で、事前に取得された画像データと比較することが有効であることが示されている。(独)産業技術総合研究所の火山衛星画像データベースは、その点で有用である。しかし、同データベースでは対象とする衛星画像が中空間分解能の ASTER に限定されていることから、例えば火山弾痕のように個別の空間スケールが小さい現象の分布域の把握などは困難であるため、有効性には限界がある。また、ASTER は光学センサであることから、噴火活動が活発で噴煙があがっている間や、雲に覆われた状況では確実な観測が期待できない。したがって、事後の対応場面においてリモートセンシングの有効性を高めるには、衛星画像データベースとして ASTER タイプの衛星画像だけでなく、高分解能衛星画像や SAR 画像なども充実させていくことが望まれる。

### 5.4.2 土砂災害についての技術課題

土砂災害の事前予測の観点では、リモートセンシングが活用できるのは地すべりや崩壊が発生する可能性がある箇所の絞り込みである。リモートセンシングから得られる地形や森林の活性状態から地すべり地形を評価する試みは、本章で引用した例のみならず多数おこなわれてきた。しかし、衛星で把握できる地形は SAR を除けば基本的には森林表層の標高であること、また森林の活力状態と地すべり地形(地下の水分状態など)との因果関係がさほど強くないことから、衛星リモートセンシングによる地すべり地形の評価には限界があると考えられる。それに対して航空レーザ計測は、森林に覆われた箇所でも地形を詳細に把握できることから、地すべり地形の評価への活用が広まっていくものと期待される。そのためには、本章で引用したような事例を多様な地形・地質条件のもとで蓄積を重ねていくことが必要と考えられる。

一方、土砂災害発生後の対応の観点では、被害範囲や崩壊・堆積深の把握などがリモートセンシングの活用場面である。現象自体は森林の大規模な破壊や表層土の露出など、被覆状況が顕著に変化するため、光学センサなどではクリアな画像さえ取得できれば、その範囲や深さを把握することは比較的容易である。しかし、大規模な土砂災害の場合、大雨が引き金となって発生する場合も多いと想定され、その場合は災害発生直後に光学センサでクリア

な画像を取得することは困難である。そのため、全天候型センサである SAR への期待が大きい。しかし SAR の場合、発生域の樹木の残存状況や地表面の粗さなどの影響によっては、光学センサほどには発生前の画像との違いが鮮明でないこともある。したがって、今後は本章で引用した PALSAR(L バンド SAR)のみでなく、近年衛星数が増えて利用が期待されている X バンドや C バンド SAR など、多様な波長での観測や、ポラリメトリなどによる土砂災害域の把握を試みる事が重要と考えられる。

## 5.5 今後の技術開発

### 5.5.1 火山災害についての技術開発

火山噴火の事前予測の観点では、山体周辺の熱異常分布を高頻度かつ高分解能で観測する必要があげられた。現在、地球観測衛星で熱赤外センサを保有するものとしては下記があげられる。

表 5.5-1 主な衛星搭載熱赤外センサ

衛星/センサ	分解能	観測頻度
ASTER/TIR	90m	16 日
LANDSAT 7	60m	16 日
Terra/Aqua MODIS	1km	1 日
NOAA/AVHRR	1.1km	1 日
MTSAT	4km	1 時間(全球観測)

このように、観測頻度の高い MODIS や NOAA/AVHRR、MTSAT は分解能が粗く、山体の中での熱異常分布の把握には適さない。一方、比較的分解能の高い ASTER/TIR や LANDSAT7 は山体の熱異常分布を把握するには十分な分解能を有しているが、観測頻度が粗いため、火山活動の活発化を適切なタイミングで捉えられない可能性が高い。

一方、昨今の地球観測衛星の動向として、小型化・シリーズ化(同一機種を同時に複数運用することで観測頻度を高めること)が主流となってきている。熱赤外センサー搭載は衛星の小型化とは相反する面もあり、現在のところこれら小型衛星に熱赤外センサーを搭載する流れにはないが、火山災害のみならず環境分野など多方面でも有用な熱赤外センサを、小型衛星に搭載するための技術開発を今後進める必要がある。

一方、噴火活動中や噴火後の対応の観点では、ASTER タイプ以外の高分解能衛星や SAR の画像のデータベース化があげられる。そのためには、各国の衛星運用機関、民間商用衛星運用会社など、幅広い協力体制が不可欠である。現行の類似した体制として、本章でも引用した国際災害チャーターや、ADRC(アジア防災センター)によるセンチネルアジアなどといった、災害時の衛星画像データ提供の枠組みがある。これらは、基本的には災害発生後の活動に限定されているが、被災後より迅速に情報を提供するためにも、事前に被災エリアがある程度限定できる火山災害に関しては、画像データベースをそろえるなど、活動を広げ

ることを関係機関に働きかける必要がある。また、合わせて事前・事後の衛星画像データからの変化抽出の自動化、変化領域で発生した事象の自動認識技術など、画像処理技術の高度化も同時に進める必要がある。

### 5.5.2 土砂災害についての技術開発

土砂災害の事前予測の観点では、航空レーザ計測のように森林地帯でも地形が詳細に計測できる技術が有効である。ただし、従来からの等高線や段彩図、陰影図などでは、必ずしも航空レーザデータに含まれる豊富な地形情報を視覚的に表現することができず、効果的な立体表現手法が望まれている。アジア航測では、赤色立体地図という特殊な表現手法を開発し<sup>18)</sup>、地すべり地形や火山の溶岩地形などの視覚化に効果を発揮している(図 5.5-1)。

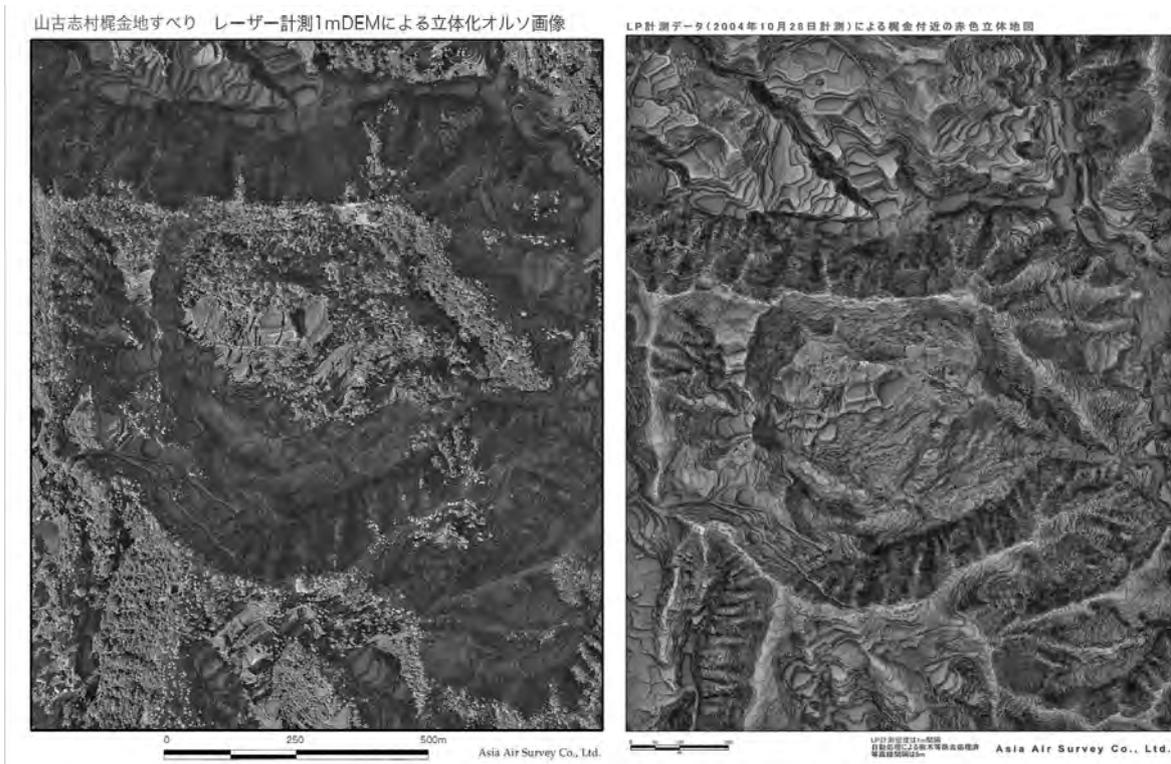


図 5.5-1 2004 年新潟県中越地震山古志村梶金地すべり  
オルソ画像(左)と航空レーザ計測による赤色立体地図(右)

今後、さらに効果的な表現手法の開発により、航空レーザ計測による潜在的な地すべり地形の評価が進むことが期待される。また、合わせて多様な地形・地質・植生条件のもとで航空レーザ計測がおこなわれ、地すべり地形と地形量の定量的な評価が実施され、客観的な地すべり地形の評価がおこなわれることも必要である。

一方、土砂災害発生後の対応の観点では、その被害範囲や程度(崩壊深、堆積深)の把握に全天候型センサである SAR の活用が期待されるが、国内で多用されている L バンド SAR

のみでは限界があることから、近年衛星数が増えて利用が期待されている X バンドや C バンド SAR など、多様な波長での観測による被害把握の技術開発が必要と考えられる。さらに、後方散乱強度画像や INSAR といったこれまでの解析手法だけでなく、ポラリメトリによる土地被覆状況の変化の把握など、SAR データが有する情報を最大限活用する技術の開発が必要と考えられる。

## 参考文献

43. 浦井稔, 衛星リモートセンシングによる火山活動評価, 産総研地質調査総合センター第9回シンポジウム, p23-28,2007.
44. 金子隆之, 高崎健二, 安田敦, 青木陽介, MODIS 夜間赤外画像による浅間山 2004-2005年活動の熱観測, 火山, Vol.51, No.4,pp273-282,2006
45. 横尾亮彦, 井口正人, 石原和弘, 熱赤外映像観測からみた桜島南岳山体斜面の熱活動, 火山 Vol.52, No.2,pp121-126,2007
46. <http://www.gsj.jp/database/vsidb/image/>
47. [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/new\\_research/nr20070517/nr20070517.html#a1](http://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/nr20070517/nr20070517.html#a1)
48. 佐々木寿, 向山栄, 高分解能衛星画像を用いた浅間山 2004年9月1日噴火の噴石着弾痕分布図, 火山, Vol.51, No.1,pp63-73,2006
49. 大木章一, 村上亮, 渡辺信之, 浦部ぼくろう, 宮脇正典, 航空機搭載型合成開口レーダー(SAR)観測による浅間火山 2004年噴火に伴う火口内の地形変化, 火山, Vol.50, No.5,pp401-410,2005
50. 菅野正人, 加藤正人, 衛星データによる 2000年有珠山噴火の降灰と森林被害の把握, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.22, No.1, pp89-95,2002
51. 大野博之, 稲垣秀輝, 大久保拓郎, 宋琳晶, 人工衛星DEMデータと光学データを用いた地すべり地形の評価, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.2, pp55-59,2008
52. 笠井美青, 池田学, 藤澤和範, 松田昌之, 鈴木雄介, 航空レーザ測量から作成されたDEMの解析に基づく地すべり地形発達プロセスの推定, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.2, pp26-32,2008
53. [http://www.jaxa.jp/press/2006/03/20060301\\_sac\\_daichi.pdf](http://www.jaxa.jp/press/2006/03/20060301_sac_daichi.pdf)
54. [http://www.jaxa.jp/press/2006/02/20060224\\_daichi\\_j.html](http://www.jaxa.jp/press/2006/02/20060224_daichi_j.html)
55. <http://www.eorc.jaxa.jp/imgdata/topics/2006/tp060227.html>
56. [http://www.disasterscharter.org/disasters/CALLID\\_114\\_e.html](http://www.disasterscharter.org/disasters/CALLID_114_e.html)
57. 小荒井衛, 佐藤浩, 新井場公德, 小山内信智, 伊藤英之, リモートセンシングで捉えたレイテ島岩屑なだれの地形的特長, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.2, pp14-25,2008
58. 清水孝一, 小山内信智, 山越隆雄, 笹原克夫, 筒井健, 衛星観測高精度DEMによるインドネシア国バワカラエン山の大规模崩壊後の土砂流出の経年変化把握, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.2, pp3-13,2008
59. 金田真一, 青井麻美, 沼田洋一, 小野田敏, 荒瀧和律, 斉藤和也, SAR画像マッチングによる平成20年岩手・宮城内陸地震の地すべり調査, 日本リモートセンシング学会第45回(平成20年度秋季)学術講演会論文集
60. <http://www.aiko.co.jp/bousai/tyuetsu/tyuetsu.htm>

## 6. まとめ

### 6.1 活用事例および技術課題のまとめ

本報告書は、最近の大規模災害において利用されたリモートセンシング技術の活用事例を調査したものである。大規模災害として、全世界を対象とした最近の地震災害、津波災害、豪雨災害、火山・土砂災害を取り上げ、各種災害についてイベント(事例)を中心として取りまとめた。まとめ方としては、事例の具体的紹介(プラットフォーム、センサ、解析手法、解析項目、成果物等)と、それらの技術がどの過程(事前予測、現況把握、事後対策、予防等)で利用されているかできるだけわかるようにしたことである。さらに各章では、事例をもとにした技術課題と、今後の課題解決や技術展望についても記述するようにした。

本節では総まとめとして、災害ごとに解析事例と技術課題について整理を行うものとする。第2章から第5章までの解析事例について表によって整理した。

表 6.1-1 は、各種災害で利用されたプラットフォームおよびセンサ、使用した主な解析手法、そして解析項目(あるいは成果物等)の一覧である。

表 6.1-1 本報告書で取り扱った災害事例(イベント・対象地域別によるまとめ)

災害	災害事例(イベント名・対象地域)	利用したプラットフォームおよびセンサ	使用した主な解析手法等	解析項目・成果物等
地震災害	1995年 兵庫県南部地震	ヘリコプター(Hi-Vision)	画像判読	建物被害分布
		航空写真(RC)	画像判読、画像解析	建物・道路被害抽出
		航空機マルチスペクトル画像(MSS)	画像分類	建物被害分布
	2004年 新潟中越地震	衛星光学画像(IKONOS)	画像解析、画像判読	斜面崩壊地分布
		衛星光学画像(SPOT)	ステレオ計測、画像判読	DSM、DEM 地形変化図、地すべり規模推定
	2008年 岩手・宮城内陸地震	航空レーザデータ	レーザ計測	地形変化図、陰影起伏図
		衛星 SAR 画像(TerraSAR)	画像判読	地すべり地抽出
		衛星 SAR 画像(ALOS)	InSAR 解析	地表面変位
	2008年 中国汶川地震	航空デジタル写真(DMC)	画像解析、画像判読	DSM オルソ画像 地すべり量推定
		無人機光学画像(FlyingImager)	画像解析(システム開発)	被害状況把握

津波災害	2004年 スマトラ沖地震	衛星高度計 (Jason-1)	海面高度 (波高) 計測	海面形状分布
			津波伝播シミュレーション	浸水深推定
		衛星光学画像 (IKONOS, QuickBird)	画像判読、画像解析 画像分類	建物・道路被害分布
		衛星光学画像 (SPOT-5)	画像判読	被害状況図
		地上計測データ (GPS)	現地調査	被害状況、被害記録
	1993年 北海道南西沖地震	航空写真 (RC)	画像解析	被災地分布
2007年 ソロモン諸島	衛星光学画像 (QuickBird)	画像判読	建物被害分布	
豪雨災害	1986年 茨城県小貝川洪水	衛星光学画像 (LANDSAT)	画像判読、画像分類	洪水氾濫状況図
	1986年 栃木県余笹川洪水	航空写真 (RC)	ステレオ画像判読	洪水氾濫状況図
	1998年 中国長江中流域洪水	衛星光学画像 (NOAA)	画像解析	洪水氾濫状況図 (被災面積)
		衛星光学画像 (LANDSAT)	画像解析	洪水氾濫域推定図
		衛星 SAR 画像 (JERS-1 他)	画像解析	浸水域抽出
	1998年 中国松花江洪水	衛星光学画像 (NOAA 他)	画像解析	洪水氾濫状況図
	1991年 中国淮河洪水	衛星光学画像 (LANDSAT 他)	画像解析	洪水氾濫状況図
	2005年 米ミシシッピ洪水	衛星光学画像 (MODIS 他)	画像解析	洪水氾濫状況図
2008年 ミャンマーエヤワディ川洪水	衛星光学画像 (MODIS 他)	画像解析	洪水氾濫状況図	
	衛星 SAR 画像 (ALOS)	画像解析	氾濫域 (冠水域) 変化図	
火山災害	2004年 浅間山噴火	衛星赤外画像 (MODIS)	画像解析	温度分布 (放射温度)
		衛星光学画像 (IKONOS)	画像判読	噴煙、地形変化
		航空機 SAR 画像	InSAR 解析	地表面変位
	2006年 桜島噴火	地上可視・熱映像カメラ画像	画像解析	温度分布 (放射温度)
	2007年 フランス領フルネーズ火山噴火	衛星赤外画像 (ASTER)	画像解析	温度分布 (放射温度)
		衛星光学画像 (ASTER)	ステレオ計測	DEM
2000年 有珠山噴火	衛星工学画像 (SPOT)	画像解析、GIS 解析	降灰分布、森林被害状況	

土 砂 災 害	長崎県北松浦半島	衛星光学画像 (ASTER)	ステレオ計測 画像解析、画像判読	DEM 地すべり地抽出
	福島県 摺上川ダム	航空レーザデータ	レーザ計測	DEM、斜面勾配
	2006年 フィリピン レイテ島	衛星光学画像 (ALOS) 衛星 SAR 画像 (ALOS, JERS-1)	画像解析	崩壊地分布図
		衛星光学画像 (ALOS, QuickBird)	ステレオ画像判読	地形変化
	2004年 インドネシア スラウエシ島	衛星光学画像 (ASTER, SPOT-5)	ステレオ計測	DEM、地形変化
	2008年 岩手・宮城内陸地震	衛星 SAR 画像 (ALOS)	InSAR 解析、画像解析	地表面変位、変位ベクトル

この表から推定されることを総括すると以下ようになる。

- ① 基本的にリモートセンシング技術は災害後の現況把握が主となっており、特に広域把握の重要性から、衛星光学画像が利用されている。
- ② 衛星光学画像の中でも最近では、商用の高解像度衛星画像の利用も増えている。
- ③ 災害時は通常天候障害が多く、通常の光学衛星ではデータ収集が難しいことから、全天候型の SAR 画像の利用価値が高まっており、SAR 画像解析 (InSAR 含む) の研究が進んでいる。
- ④ 災害時の緊急データ収集では、航空機の機動性が優越するはずであるが、今回の事例解析ではあまり参照されていない。これは航空機データ収集が一般的に民間会社に委ねられていることから、資料として公開されていないことにも起因すると考えられる。
- ⑤ 災害時のリモートセンシング技術の利用は進んでいるものの、内容的には研究要素の強いものが多く、実用技術として活用されているものが少ない。

## (2) 各種災害におけるリモートセンシング技術の課題

ここでは、活用事例をもとにした災害ごとの技術課題を整理する。

表 6.1-2 各種災害に対するリモートセンシング技術の現状課題

災害	プラットフォームおよびセンサに関する課題	解析技術の課題	その他の課題
地震災害	・建物や斜面崩壊地抽出のためには光学衛星の高解像度化が必要	・大容量デジタルデータの処理能力の限界	・変化比較のために地震前のアーカイブ画像、DEM 等が重要

津波災害	・津波は瞬間的な災害のためデータ収集(解析)のリアルタイム性向上	・広域では詳細な建物被害が把握できない ・画像処理の迅速性(自動化)が意味を持つ	・地図(GIS)情報と画像データのアーカイブ整備が急務 ・シミュレーション技術との融合が最も効果的
豪雨災害	・高解像度衛星データ、マルチスペクトルデータの観測頻度の向上(観測期間の短縮)	・時系列的な航空写真による解析精度の向上 ・詳細なDEMの利用	・天候の影響を受けないポラリメトリック SAR データ、多季節 SAR データの利用検討
火山災害	・火山活動活発化の際のデータ収集タイミング(観測頻度増加) ・全天候型(SAR)画像の利用 ・高解像度化	・噴煙・雲等による画質低下	・噴火前の画像データベース整備が有効
土砂災害	・全天候型(SAR)画像の利用 ・詳細な地すべり地形把握のために航空レーザ計測の利用が重要	・森林下の情報(詳細な起伏や水分状態)が得られないと精度が低下する	・地すべり前の画像データベース整備が有効 ・ポラリメトリック SAR データ、多バンド SAR データの利用検討

この表から推定されることを総括すると以下ようになる。

- ① 常時モニタリングとしての衛星データ活用は重要であるが、災害という緊急性・特殊性から、リアルタイム的なデータ収集(衛星であれば観測頻度の向上)、高解像度化が求められている。
- ② 災害時は天候障害の影響を受けやすいと考えられるので、SAR 画像の利用拡大が求められている。現在でも SAR 衛星の利用は可能だが、多バンド・多偏波データ提供の必要性に迫られている。
- ③ どの災害でも重要なのは、災害イベントの事前データベースの整備である。データとしては衛星画像、航空写真、DEM(DSM)等の地形情報などである。また、各種災害で必要とされる統計的なデータベースもある。災害時の現況把握や事後対策では災害前後での変化比較の解析が多いため、常時新鮮なデータベースをアーカイブしておくことが強く望まれている。

## 6.2 今後のリモートセンシング技術の展望

ここでは、今までの事例解析および6.1節でまとめられた技術課題を踏まえ、大規模災害にリモートセンシング技術をより活用させるための課題解決(技術開発)と、将来的な技術展望についてまとめる。

表 6.2-1 各種災害に対するリモートセンシング技術の課題解決と技術展望

災害	プラットフォームおよびセンサに関する技術開発	解析技術に対する技術開発	将来の技術展望
地震災害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性という観点から、無人機によるデータ収集システム開発が重要</li> <li>・デジタル写真測量システムの開発</li> <li>・データフュージョン技術の開発</li> <li>・実用的な航空機 SAR の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1 時期画像による建物被害抽出技術の開発</li> <li>・道路情報の抽出技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震前のデータアーカイブシステムを構築する</li> <li>・同時に災害時の情報収集、管理、表示統合システムを構築する</li> <li>・緊急時画像処理システムの開発</li> </ul>
津波災害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・常時海面高を計測するために静止衛星への高度計搭載</li> <li>・成層圏プラットフォームの開発</li> <li>・小型衛星等による観測頻度の向上</li> <li>・衛星 SAR 画像の取得拡大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シミュレーション検証データとしての利用拡大が重要</li> <li>・画像処理、画像判読の自動化</li> <li>・衛星画像の広域復興モニタリングでの活用を強化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際災害チャーターや民間プロバイダ等の提供による画像を利用拡大させる</li> <li>・世界の衛星データの管理とリアルタイムでの提供</li> </ul>
豪雨災害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高解像度衛星データの観測頻度を向上と継続化</li> <li>・SAR の高解像度化と多偏波の開発</li> <li>・衛星データの低価格化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上観測網の整備と衛星データとの連動化</li> <li>・自動モニタリングシステムの開発</li> <li>・洪水自動検出手法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リアルタイム配信システムの開発</li> <li>・グローバルデータ (DEM, GIS、統計データ等) の整備</li> </ul>
火山災害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高頻度で高解像度の熱映像データが必要である</li> <li>・火山災害監視を目的とした小型衛星開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動抽出技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際災害チャーターや民間プロバイダ等の提供による画像を利用拡大させる</li> </ul>
土砂災害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地盤高を得られる航空レーザ計測データの拡大利用</li> <li>・多バンド SAR の開発</li> <li>・偏波解析技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・立体表現手法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事前予測技術の開発が重要</li> </ul>

この表から推定されることを総括すると以下ようになる。

- ① 技術課題でも示されているように、多バンド・多偏波 SAR の開発が望まれている。特に災害時での緊急対応には航空機の機動性が重要であるため、航空機 SAR システムの開発が望まれている。
- ② 衛星による常時モニタリングシステムでは、高解像度化、観測頻度の向上、時系列的な解析のためのデータ取得継続化が求められており、これからの要求に対する技術開発が必要である。
- ③ プラットフォームの開発として、従来の多目的衛星から低コストで単目的のための衛星 (小型化) が求められている。これは各々の災害専用衛星として位置づけられ、観測頻度の向上や、

ハイパースペクトル化にもつながる。

- ④ 現在、さまざまな解像度やスペクトルバンドのデータが存在するが、有限なデータを最適化するためには、さまざまなセンサデータを組み合わせて有効に利活用するのが現実的である。そのためにもデータフュージョン技術の開発が必要である。
- ⑤ 解析技術としては、取得した災害データの緊急性を必要とすることから、大量データの画像処理時間の短縮、自動検出手法の開発、リアルタイム配信を検討すべきである。
- ⑥ 将来的な展望としては、被災データがすぐ収集できるかどうか重要である。そのためのデータ供給として国際災害チャーター等のメンバー増加と、さらなるデータの蓄積、誰もが簡単に利用できるなどの枠組みの充実を急ぐ必要がある。また、民間企業の参加も今後の展望として重要である。
- ⑦ 被災状況や事後対策では、比較のために過去のデータが重要である。そのためにもイベント前からデータを整備しなければならない。データアーカイブは事前投資が必要なため、国家機関がこの必要性を認識し、毎年の予算付けを行い、国家備蓄財産として常に整備、更新していくことが災害を軽減するための重要なファクターとなる。

東京大学 生産技術研究所  
都市基盤安全工学国際研究センター  
〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1  
*<http://icus.iis.u-tokyo.ac.jp/>*  
*E-mail: [icus@iis.u-tokyo.ac.jp](mailto:icus@iis.u-tokyo.ac.jp)*

*Tel: (+81-3)5452-6472*

*Fax: (+81-3)5452-6476*