

2. 広域災害把握（東日本大震災）

（1）背景と目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9という我が国では未曾有の巨大地震であった。これにより引き起こされた東日本大震災は、津波により極めて甚大な被害が生じた（図1）。我が国では1995年の阪神・淡路大震災以降、様々なリモートセンシングが防災分野で広く利用されるようになった。データ利用の目的の1つは災害前の現況把握で、これは防災利用に限らず、都市計画や環境保全分野でも同様である。もう1つの目的は、災害発生後の被害状況把握であり（図2）、自然災害のみならず人為災害や環境破壊なども含めて、地表状況の変化を観察するものである。この2つの目的でリモートセンシングの防災利用が拡大しているのは、センサとプラットフォームの技術革新に負うところが大きい。センサとしては、光学（可視・近赤外）、マイクロ波、熱赤外などが代表的なものであり、最近これらの空間分解能が大きく向上したことが、都市防災分野での利用が拡大した最大の要因といえよう。また、センサが対象地域に向きを変えるポインティング機能が付加したために、災害を観測できる頻度が大幅に向上した。全天候型のマイクロ波センサ（SAR：合成開口レーダ）を搭載した衛星が増えたことも、利用が広がった一因といえる。ここでは、リモートセンシングによる広域災害把握の動向に関して、東日本大震災の事例を中心に解説する。

（2）国土地理院による緊急空中写真撮影

国土地理院では、東日本大震災の発生翌日から、被災地の空中写真の撮影を過去にない規模の体制で実施した¹⁾。「災害時における緊急撮影に関する協定」に基づいて、主要な航空測量会社7社が地域を分担して、全てデジタル航空カメラによって計4千枚を超える撮影を行った。撮影範囲は、青森県から茨城県までの太平洋岸の津波被災地域を面的にカバーするものであるが、原発事故による飛行制限区域は除かれた。撮影された空中写真は、一刻も早く政府や被災地域の関係機関に届けるためデータ処理を進め、撮影日の翌日以降、国土地理院のサイトで順次公開した²⁾（図3）。さらに、撮影時の飛行位置・姿勢データと既存の数値標高モデル（DEM）を用いて、簡易オルソ画像を作成し、面的に連続した画像データを構成するとともに、これに地図情報を加えた正射写真地図も順次公開した。さらに、撮影した空中写真を目視判読して、津波浸水範囲を1/25,000地形図上に描き、10万分1浸水概況図も作成し（図4）、浸水面積の総計を約561平方キロと推計した。図5はこの空中写真の例であるが、仙台塩釜港における津波被害とタンク火災の様子を詳細に観察することができる。

（3）災害発生時の衛星画像に関する国際協力

近年、世界各国の宇宙機関は、大災害時の衛星画像の提供に関する協定「国際災害チャータ」を締結し、衛星画像は被災国の緊急対応や国際救援・支援活動に利用されている。東日本大震災では、内閣府が初めてチャータの発動を依頼し、アメリカ、ドイツ、フランス、インド、中国、韓国などの宇



図1 東日本大震災の津波被災地の現地写真 (左：宮城県名取市、右：宮城県女川町)

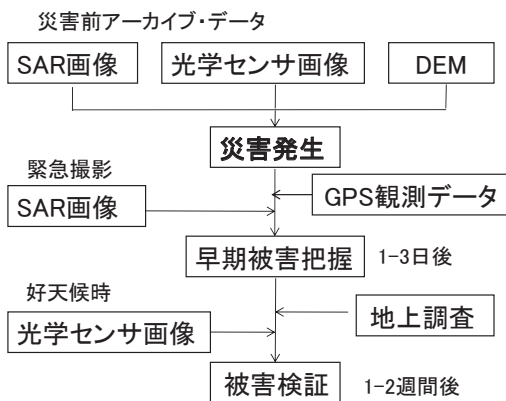


図2 衛星リモートセンシングによる災害把握の流れ

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による被災地の空中写真

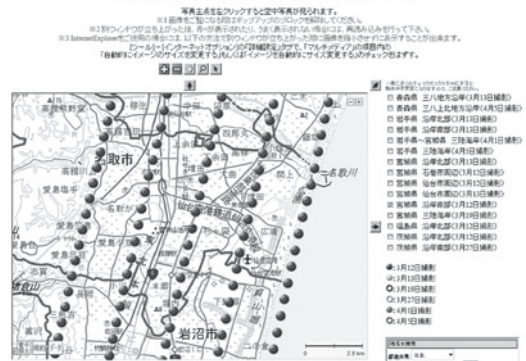


図3 国土地理院による被災地域の空中写真のWebサイト²⁾

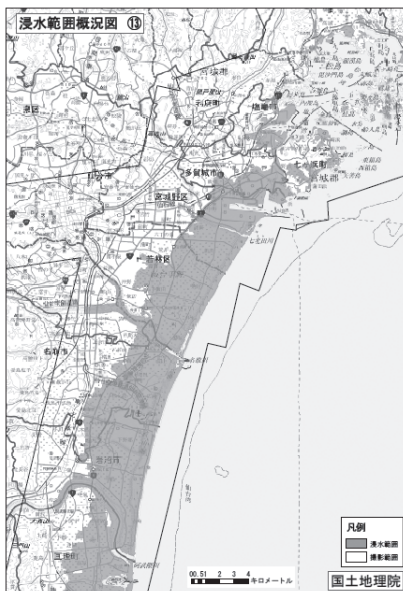


図4 国土地理院による浸水範囲概況²⁾ (仙台市付近)



図5 国土地理院の空中写真²⁾ (仙台塩釜港)

宙機関から、JAXA が衛星データの提供を受けた³⁾。また民間の高分解能光学衛星も詳細な被害状況の把握に利用された⁴⁾。とくに、福島第一原子力発電所の事故により周辺地域は飛行禁止となったため、この地域では、衛星画像（図6）と無人機（UAV）による空撮が重要な情報源となった。

国際チャータのアジア・太平洋版ともいえるのが、JAXA が提唱し、2006年に発足したセンチネル・アジアである。同地域の自然災害の監視を目的としており、衛星から得た災害情報をインターネット上で共有し、災害を軽減・予防することを目的としている。このセンチネル・アジアの枠組みを通じて、タイ、台湾、インドの光学センサ衛星が、東日本大震災の発生時に衛星画像を提供した⁵⁾（図7）。このような国際的な協力体制によって、被災地域の観測機会が大幅に向上し、今後、大規模災害が発生した時の緊急対応に役立つことが期待される。

（4）高分解能衛星 SAR による地殻変動と建物被害の検出

TerraSAR-X はドイツ航空宇宙センターが2007年に打上げた高分解能レーダ衛星であり、日本が得意とするLバンドより短い波長のXバンドのマイクロ波を用いて観測を行っている。筆者らは東日本大震災の前後に撮影された高分解能 SAR 画像（図8）を用いて地殻変動量を検出する方法を提案した⁶⁾。地震後の SAR 画像が地殻変動で移動している可能性を考慮して、画像は衛星の軌道情報のみによって補正したものを用いた。後方散乱が大きい無被害の堅ろう建物に関して、地震前後の SAR 強度画像（解像度約3m）の空間相関を求めることで、この期間における建物の移動量を検出した。この方法を GPS 電子基準点を含む SAR 画像に適用したところ、基準点周辺の数百棟の無被害建物において GPS 観測値によく近似した地殻変動量が得られた（図9）。今回の地震では、陸上において最大5mを越える大きな地殻変動量が GPS で観測されたが、本方法により詳細な地殻変動の空間分布の推定が可能となった。

高分解能 SAR データは、建物の被害把握にも用いることができる。東日本大震災では多数の建物が津波により大きな被害を受けたが、震動による被害とは異なり、建物の側面や低層部への被害が特徴的である。そこで、SAR の斜め照射特性から起こる画像上における建物の倒れ込みを利用し（図10）、その範囲での後方散乱係数の地震前後の変化から建物側面の被害状況の把握を試みた⁷⁾。図11は側壁が完全に損壊し骨組みだけとなった2階建て建物である。上段の SAR 画像でも判別できるが、倒れ込み範囲の後方散乱が低下している（暗くなっている）。これは壁の損壊によって、壁からの反射や地面と壁の二重反射が低減したためだと考えられる。同様の手法を福島第一原子力発電所にも適用し、レーダ影範囲の後方散乱係数の平均値の変化を求め、爆発による原子炉建屋の損傷把握を行った。その結果、爆発事故による建屋の損壊（レーダ影の縮小）を把握することができた。このように、高分解能 SAR 画像は、構造物の3次元的な形状の変化把握にも利用可能である。

（5）まとめと考察

リモートセンシングを用いた東日本大震災による広域被害把握について紹介した。衛星搭載の光学センサや合成開口レーダに関しては、高分解能化やセンサのポインティングによる撮影機会の増大が

大きな流れである。今後も、必ずや世界各地で大きな自然災害が発生するであろう。急速に進歩するリモートセンシング技術を災害対応に有効に利用することが、今後の大きな課題といえよう。

(第 18 章 2 : 山崎 文雄)



図 6 DigitalGlobe 社が公開した福島原発 3 号機の爆発直後画像⁴⁾

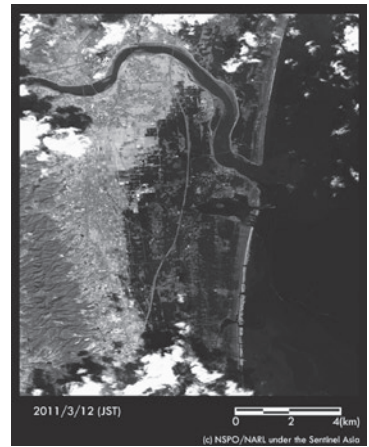


図 7 台湾の FORMOSAT 衛星による岩沼市、亘理町付近の津波湛水状況⁵⁾

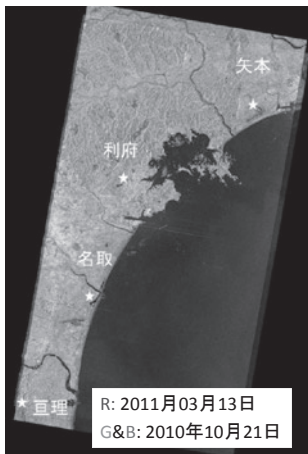


図 8 TerraSAR-X の 2 時期画像のカラー合成⁶⁾

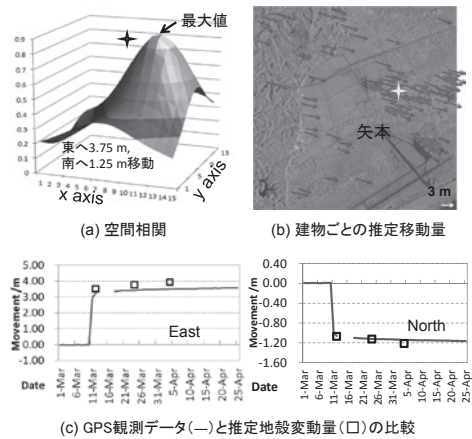


図 9 SAR 強度画像の無被害建物の相関に基づく矢本 GPS 基準点の地殻変動量の推定値と観測値⁶⁾

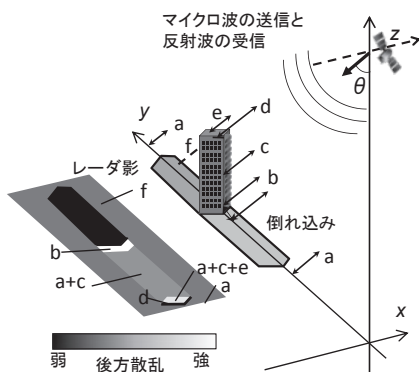


図 10 SAR の斜め照射と建物の倒れ込み⁷⁾

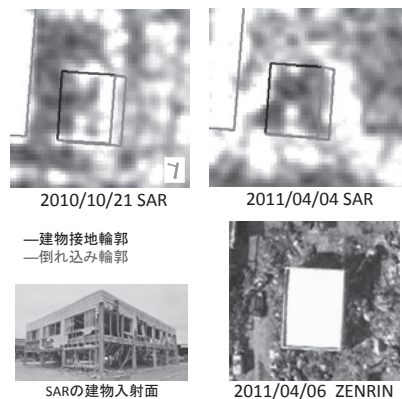


図 11 側面被害建物の SAR 強度画像と現地写真⁷⁾