



防災・災害分野への 地球観測衛星データの利用

伊 東 明 彦

かつて経験したことがない規模・頻度で災害が発生している。平成 23 年の東日本大震災やバンコクの浸水被害では、規模が大きい故に、短時間で災害の規模を把握することは困難であった。これらの災害を教訓に、広域を同時に観測できる地球観測衛星の防災・災害分野への期待が高まっている。2015 年 3 月に開催された防災世界会議では、災害の観測、予測、予警報のために必要な人工衛星、情報インフラ基盤の整備の支援を行うことが示された。本稿では、地球観測衛星の整備状況の動向を紹介するとともに、防災・災害分野への可能性について述べる。

キーワード：地球観測、衛星リモートセンシング、光学センサ、SAR センサ、ひまわり、小型衛星

1. 地球観測衛星の動向

地球観測衛星の歴史は、1972 年の Landsat1 号機の打上げから始まり、1999 年の IKONOS の打上げ以降、分解能が 1 m 未満の高分解能衛星が次々と打ち上がり、その可能性は大きく広がってきた。高分解能の衛星画像は、航空写真のように鮮明であり、個々の家屋、狭い道路、車両まで見分けることができ、様々な用途で利用され始めた。また、近赤外等も含めた複数の波長の利用により、農業分野ではタンパク質の含量や生育状況の把握など、航空写真の利用範囲を超えて、利用され始めた。地球観測衛星の広域を同時に観測できること、繰り返し観測することで過去からの変遷が把握できるといった長所は、災害把握への利用が期待された。

一方、地球観測衛星の多くは、太陽光の反射を計測する光学系のセンサであり、台風による浸水被害では、雲の下の地表面を観測できないといった課題や、夜間では観測できないといった課題がある。日本では、雲を透過した観測や、夜間での観測が可能なマイクロ波を利用した観測に着目し、早期に合成開口レーダー（SAR：Synthetic Aperture Radar）のセンサの開発を進めてきた。特に、日本は、SAR センサの中でも、比較的波長が長い L バンドのセンサを開発してきており、ALOS や ALOS-2 を打上げてきた。L バンドによる観測は、樹木や植生の影響を受けにくく、地表面の形状の変化が把握できるといった長所があり、日本のように樹木・植生に覆われている面積が多

い地域は、有用である。ALOS は、2011 年 3 月の東日本大震災の時に、多くの画像を撮影し、地盤変動の情報等を提供し、その有用性を示した。また、地球観測衛星は、観測頻度が少なくデータが取得できないといった課題があったが、分解能が 5～10 m 程度の中分解能や、1 m 以下の高分解能の衛星が多く運用され、1 回／日以上での観測機会が得られる環境が整ってきた（表—1、2 参照）。さらに、最近では、小型衛星を複数機で運用することで、観測頻度を向上させる計画や静止気象衛星のひまわりの空間分解能と時間分解能の性能向上により、災害把握への期待が高まっている。このように地球観測衛星は、多様化と高度化により、これまでの防災・災害分野利用に関する課題を克服しつつある。

2. 防災・災害分野への利用用途

地球観測衛星データの防災・災害分野への利用可能性について、それぞれの災害分野ごとの利用状況を以下に紹介する。

(1) 浸水被害

近年の浸水被害としては、平成 23 年の東日本大震災の巨大津波による浸水や、同年のタイ国における洪水被害が挙げられる。2つの浸水被害は、広範囲に及んだ被害であり、その範囲を把握する手段として、広域を同時に観測できる衛星データの有用性が報告されている。東日本大震災の浸水被害では、光学センサや

表一 1 主な中分解能衛星の諸元情報

衛星名	国籍	打ち上げ日	バンド	分解能
ALOS	日本	2006/1/24	白黒 (前方, 直下, 広報)	2.5 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	10 m
Terra (センサ: ASTER)	アメリカ/日本 カナダ	1999/12/18	緑, 赤, 近赤外	15m
			短波長赤外 (8 バンド)	30 m
			熱赤外 (5 バンド)	90 m
SPOT-5	フランス	2002/5/4 ^{*1}	白黒	5 m
			緑, 赤, 近赤外, 中間赤外	10 m
SPOT-6	フランス	2012/9/9	白黒	1.5 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	8 m
SPOT-7	フランス	2014/6/30	白黒	1.5 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	8 m
RapidEye	ドイツ	2008/8/29	青, 緑, 赤, レッドエッジ, 近赤外	6.5m
THEOS	タイ	2008/10/1	白黒	2 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	15 m
FORMOSAT-2	台湾	2004/5/19	白黒	2 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	8 m

※1: 現在は, 運用を終了。過去に観測した画像は提供可能。

表一 2 主な高分解能衛星の諸元情報

衛星名	国籍	打ち上げ日	バンド	分解能
GeoEye-1	アメリカ	2008/9/6	白黒	0.41 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	1.64 m
WorldView-1	アメリカ	2007/9/18	白黒	0.5 m
WorldView-2	アメリカ	2009/10/8	白黒	0.46 m
			コースタル, 青, 緑, 黄, 赤 レッドエッジ, 近赤外1, 近赤外2	1.85 m
WorldView-3	アメリカ	2014/8/13	白黒	0.34 m
			コースタル, 青, 緑, 黄, 赤 レッドエッジ, 近赤外1, 近赤外2	1.38m
QuickBird	アメリカ	2001/10/18 ^{*1}	白黒	0.61 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	2.4 m
IKONOS	アメリカ	1999/9/24 ^{*1}	白黒	0.82 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	3.2 m
Pleiades-1A	フランス	2011/12/17	白黒	0.5 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	2.8 m
Pleiades-1B	フランス	2012/12/1	白黒	0.5 m
			青, 緑, 赤, 近赤外	2.8 m

※1: 現在は, 運用を終了。過去に観測した画像は提供可能。

SAR センサの観測結果が, 衛星販社の Web ページ等で紹介された。特に, 天候に影響されずに雲を透過して観測できる SAR センサの有効性が報告された。浸水した領域では, SAR センサから照射したマイクロ波が鏡面反射を起こし, 後方散乱強度が非常に低く観測される。この原理を利用することで, 浸水域と非浸水域が識別できる。また, タイ国における洪水被害では, 中分解能の光学センサや温室効果ガス観測技術衛

星「いぶき」の CAI センサが観測し, 浸水域の変遷把握に役立てられた。

また, 洪水予報でも利用されつつあり, 洪水流出の計算に利用する流域特性の設定に地球観測衛星データから作成した土地利用 (土地被覆) 分類図が利用されている事例もある。さらに, 地球観測衛星データのステレオ画像からは, 標高データも作成可能であり, 2m メッシュの標高データを提供しているサービスも

ある。今後、これらの高精細な標高データを利用することで、更なる洪水予報の精度向上が期待される。

(2) 斜面崩壊

斜面崩壊に関しては、平成20年の岩手宮城内陸地震における土砂災害や、平成23年の台風12号による紀伊半島豪雨の被害を対象に利用された事例がある。岩手宮城内陸地震を対象とした事例では、ALOSに搭載されたPALSARのデータを利用し、SARセンサから照射したマイクロ波の散乱が変化した箇所を検出することで、斜面崩壊箇所が抽出された。また、紀伊半島豪雨の被害では、被害直後に観測したSARデータを判読し、河道閉塞、大規模崩壊、大規模土砂流痕後を抽出した事例がある。

(3) 火山活動

火山活動把握への利用に関しては、国土地理院が2時期のSARデータを干渉させ、その差を抽出することで、僅かな距離の変動を計測する干渉SAR技術を利用し、地殻変動を計測している。ALOS/PALSARを利用した計測では、46地域の火山が監視され、面的な地殻変動の情報を提供した。また、ALOS-2/PALSAR-2を利用した火山の地殻変動の状況は、測地観測データ(GNSS)と共に、国土地理院のWebページで報告されており、2015年の火山活動では、十勝岳周辺、吾妻山周辺、箱根山周辺、桜島の地殻変動が紹介された¹⁾。

(4) 火山噴火に伴う降灰

火山噴火に伴う降灰に関しては、2011年の霧島山(新燃岳)噴火による降灰範囲を処理した事例がある。一般的に降灰範囲の調査は、現地調査により計測されるが、霧島山噴火のように広域に及ぶと降灰範囲の調査に多大な労力を費やす。衛星画像を利用した事例では、ALOS/AVNIR-2やTHEOSの光学センサを利用し、降灰範囲の特定を試みた事例があり、概ねの降灰範囲が特定できることが報告されている。

(5) 森林火災

森林火災への地球観測衛星データの利用は、火災の早期検知やその後の火災範囲の変遷を把握するため、観測頻度と即時性が求められる。そこで、観測頻度が高く、分解能が低い(250m～数km) Terra/MODIS, Aqua/MODIS, NOAA/AVHRRを利用し、1日2回以上の観測頻度を実現し、火災の早期発見を行っている。これらの衛星には、熱赤外のセンサも搭載されて

いることから、熱異常を検出することで、森林火災を検知している。日本の衛星では、ALOS-2に搭載されたCIRCが熱赤外のセンサであり、森林火災把握への利用が期待されている。また、森林火災の焼失範囲の把握には、光学センサが有用であり、焼失後のデータから、焼失範囲を特定した事例が見られる。

(6) 地震に伴う地盤変動

地震に伴う地殻変動では、干渉SAR技術が有用であり、1995年の阪神・淡路大震災、2007年の新潟県中越地震と能登半島地震、2008年の岩手・宮城内陸地震、2011年の東日本大震災等、多くの災害で、処理された事例があり、地殻変動の把握や地中の活断層の動きの解明に役立っている。海外の事例においても、2008年の中国・四川省地震、2015年のネパール地震など、多くの地震において処理され、その有用性が示されている。特に、海外を対象とした地震では、地震の被害範囲・規模を推測するためのセンサ網が整備されていないことから、地震被害の状況把握に大いに役立っている。

(7) 地震や竜巻による建造物倒壊

地震や竜巻による建造物倒壊の把握では、高分解能の光学センサのデータが役立ち、災害後の画像を目視判読することで、倒壊被害の状況を把握することが出来る。また、被害前の画像も利用し、変化箇所を抽出することで、効率的に倒壊建物を抽出することができる。東日本大震災や2012年のつくば市における竜巻災害では、建造物の倒壊を地球観測衛星データを利用し、判読・抽出している。

3. 防災・災害分野への利用に係る課題

前項のとおり、多くの災害で、地球観測衛星データを利用した研究事例が報告され始めているが、社会実装され、防災・災害分野で利用されている事例は少ない。その要因を整理すると以下が考えられる。

(1) 災害から画像提供までの時間

災害発生時は、速やかな安全確認や状況把握が求められ、地球観測衛星データの画像を、災害発生当日中、遅くても翌日の早朝に、被災地の自治体や被災地の救援機関に届ける必要がある。航空写真に関しては、国土地理院や河川事務所が、災害時における緊急撮影の協定を締結しているため、災害後、速やかに撮影し、利用されるスキームが構築されている。地球観測デー

タを利用する場合、観測要求、画像検索、画像発注、画像受領、処理、顧客への提供といった一連の手順に時間を要することから、航空写真と同様の時間で画像や処理結果を提供することは難しい。しかしながら、一部の地球観測衛星データに関しては、撮影日の当日中、もしくは翌日早朝に処理結果を提供した事例もあり、災害後の迅速な状況把握の方法として期待できる。実績を積み重ね、地球観測衛星データの緊急撮影の協定を締結していく必要がある。

(2) 地球観測衛星データの価格

地球観測衛星データは、既に観測されたデータの購入は、比較的、価格が下がってきたが、新規に観測要求し、画像を整備する場合、費用が高い傾向にある。今後、後述する小型衛星や超小型衛星が打ち上がり、競争が激化することで、更に価格が下がることが期待される。

(3) データの継続性

地球観測衛星の分解能や波長等のセンサの仕様は、日々進化している。災害把握に利用することを想定すると、被災前後のデータを整備し、被災箇所を抽出する用途が多いはずであるが、被災前の画像が無いと比較が出来ない。特に干渉SAR技術を利用する場合は、干渉させるため災害前後のデータの観測条件を揃える必要があり、データの継続性が重要となる。

4. 防災・災害分野利用に向けた取り組み

防災・災害分野への地球観測衛星データ取組みに関しては、国土技術政策総合研究所（以降、「国総研」）土砂災害研究部が土砂災害分野への適用について取り組んでおり、その研究成果が、国土技術政策総合研究所資料や、月刊誌土木技術資料等で紹介されている²⁾。JAXAは、国総研と独立行政法人土木研究所に対して、ALOS-2の観測データ提供に関する協定を締結した³⁾。今後、更なる研究成果や利用事例が蓄積されることが期待される。

また、(一社)日本リモートセンシング学会では、国土防災リモートセンシング研究会が、国土管理の実務者が地球観測衛星データを利用するための、「国土マネジメント・国土防災の観点からの衛星データ活用ガイドライン」や、「建設・国土防災分野におけるInSARの実利用化に関する調査研究」の報告書を作成、Webページで公開している⁴⁾。現在は、「災害時活用版ガイドライン」の作成に取り組んでいる。

5. 次の時代への幕開け

地球観測を取り巻く環境は、大きく変化しつつあり、次の時代の到来を予感させる。その1つ目は、気象衛星「ひまわり」の進化であり、平成26年10月に打ち上がったひまわり8号は、分解能（水平分解能が可視域で1 km から0.5 km ~ 1 km に向、近赤外・熱赤外が4 km から2 km に向）、観測頻度（30分から10分毎に向、また日本付近は25分毎に観測可能）、多波長による観測（計5バンドから計16バンドに向）が、飛躍的に向上した。これにより、雲の発達状況の把握や、火山灰の検出などのデータ利用の高度化が期待される。

2つ目は、衛星の重量が100 kg 超の小型衛星や、100 kg 以下の超小型衛星の打上げである。米国Skybox Imaging社は、24機の打上げを目指しており、既に打ち上げた衛星を利用し、サービスを開始している。また、米国Planet Labs社は、100機以上の衛星打上げを予定している。国内では、(株)アクセルスペースが、「WINSAT-1」と「ほどよし1号」の小型衛星を打ち上げており、今後も複数の小型衛星の開発・打上げを計画している。大学や自治体が衛星を打ち上げる計画もあり、今後、多くの小型衛星、超小型衛星が運用される見込みである。これらの小型衛星や超小型衛星の運用は、複数の衛星を軌道に分配配置し、協調運用する「コンステレーション」を可能とし、高頻度観測による新たな情報サービスの創出が期待されている。特に、災害把握では、災害後に速やかにデータを取得できる可能性があり、期待が高い。

3つ目は、JAXAが防災・災害把握を目的に、ALOS/PALSARの後継機として2014年打ち上げたALOS-2/PALSAR-2の利用である。PALSAR-2は、SARセンサであり、天候に影響されずにデータが取得できることから災害時の状況把握として利用可能である。また干渉SARの技術を利用することで、火山の山体の変動や、地すべりの予兆把握、震災時の地盤変動把握への利用が期待される。ALOS/PALSARで蓄積された技術がALOS-2/PALSAR-2で活かされ、ネパール等の地震災害や、箱根等の多くの火山の地盤変動把握で実績を挙げつつある。

6. おわりに

本稿執筆中にも、台風18号による浸水被害や阿蘇山噴火など、災害が発生した。近年は、自然災害の報告が無い年はほとんどなく、災害が多発化している。

世界における自然災害の統計データでは、1970年代と比較し、最近の10年間は、発生件数、被災者数が約3倍となっているとの報告がある⁵⁾。地球観測衛星分野は、センサの高度化・高性能化や、データ処理のアルゴリズム開発や適用性の検証が行われ、研究を主目的とした成果が多く見られた。しかしながら、近年の適用事例から、災害時の情報収集や災害前の予兆把握に、地球観測衛星データが有用な手段であることは明白となってきた。今後は、社会インフラとして利用していくための仕組みづくりが重要であり、多発化する災害に対して、どのように利用し、被害を軽減していくかが問われている。既存の社会インフラや、SNS等の情報発信・共有システムとも連携・協調し、新たな社会システムを構築していく必要がある。近年の災

害の大規模化・高頻度化に対して、地球観測衛星データが一助となれば幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) <http://www.gsi.go.jp/>
- 2) <http://www.nilim.go.jp/>
- 3) <http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos2/news/2015/150224.html>
- 4) <http://rssj-kokudo.civilibaraki.ac.jp/>
- 5) <http://www.emdat.be/>

【筆者紹介】

伊東 明彦 (いとう あきひこ)
宇宙技術開発㈱
営業本部企画営業部
リーダー



平成 27 年度版 建設機械等損料表 発売中

■平成 26 年度版に対する変更点

- ・損料算定表の諸元記載要領も変更し読み易さを改善
- ・「機械運転単価表」の作成例を、現行歩掛に合わせて見直し
- ・関連通達・告示に「東日本大震災の被災地で使用する建設機械の機械損料の補正」を追加

■B5 判 モノクロ 本編 592 ページ

- 一般価格 7,920 円 (本体 7,334 円)
- 会員価格 6,787 円 (本体 6,285 円)
- 送料 (単価) 600 円 (但し沖縄県を除く日本国内)
注 1) 沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会
(電話: 098-879-2097) にお申し込み下さい。
- 発刊 平成 27 年 5 月 9 日

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>