4. 東日本大震災における宇宙航空研究開発機構の取組み

Disaster monitoring for Japan Earthquake with satellites by JAXA

高橋 陪夫*・島田 政信*・宮城 洋介*・大木 真人*
河野 宜幸*・白石 知弘*・本岡 毅*

Masuo TAKAHASHI, Masanobu SHIMADA, Yousuke MIYAGI, Masato OHKI
Noriyuki KAWANO, Tomohiro SHIRAISHI and Takeshi MOTOHKA

概要：東日本大震災の災害復旧・復興支援として、ALOS「だいち」は被害状況の把握のため被災地をほぼ毎日観測し、合計約450シーンを取得した。ALOS 観測画像及びその解析結果を中央省庁や地方自治体等の関係機関に迅速に提供した。また、国際災害チャータやセンチネルアジアの枠組みで海外機関から5000シーンを超える観測結果を受領し、ALOS 観測結果同様に関係機関に提供した。本稿では、東日本大震災の宇宙航空研究開発機構の取組を紹介する。

1. はじめに

2011年3月11日14時46分に、三陸沖（牡鹿半島の東南東、約130km 付近、深さ約24km）[1]を震源とするマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震、またそれを起因とする大津波が発生し東北から関東地方の沿岸部の市町村に甚大な被害が発生した。宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、東日本大震災の災害復旧・復興支援として、関係省庁並びに被災地等の地方自治体に対し ALOS（Advanced Land Observing Satellite）、また国際災害チャータ[2]、センチネルアジア[3]の枠組みから提供された衛星画像及びその解析結果の迅速な提供を行った。地震発生後、JAXA 宇宙利用ミッション本部衛星利用推進センター防災利用システム室では、直ちに中央省庁並びに地方自治体を支援するための体制を築いた。また、3月12日未明に政府の緊急災害対策本部に、被災地域の災害発生前 ALOS 画像に地理情報を重畳した「だいち防災マップ」を70枚程度提供した。地球観測研究センター（EORC）では、観測した ALOS 及び海外の衛星画像を解析するための体制を構築し、画像及び解析結果を随時「だいち防災WEB」[4]や「JAXA/EORC ホームページ」[5]にて公開した。

被災地は公衆回線網に大きな被害が出たため、岩手県の支援要請に基づき、4月下旬まで WINDS「きずな」及び ETS-8「きく8号」を用いた衛星通信回線の

提供を行った。

本稿では、ALOS による緊急観測結果、国際災害チャータ及びセンチネルアジアの枠組みから提供された海外衛星画像、データの提供及び利用状況についてまとめた。

2. ALOS による観測結果

本章では、ALOS の光学センサであるパンクロマチック立体視センサ（PRISM）及び高性能可視近赤外放射計2型（AVNIR-2）、Lバンド合成開口レーダ（PALSAR）の観測結果について述べる。緊急観測結果は、JAXA/EORC のホームページにて迅速に掲載し、被災地域の状況を公開するように努めた。表1に、4月22日に ALOS が軽負荷モードに入り観測を停止するまでの被災地域のパス単位の観測結果を示す[6]。

2.1 PRISM/AVNIR-2

震災発生3日後の3月14日に、被災地を全域にわたり、被雲の少ない画像を観測した。観測画像及び宮城県多賀城市から福島県相馬市までの拡大画像を図1に示す。多賀城市から南相馬市の沿岸部において、広域にわたり冠水している様子が分かる。また、津波で流されたと思われる海上漂流物を多数確認出来た。さらに、図2に示すとおり岩手県陸前高田市油崎付近において、震災前にあった生簀が流され、大量の漂流物が押し寄せ、平野部が広域に冠水しているのが分かる。また、図3に示すとおり福島県南相馬市小高区付近において、3月14日時点で広域にわたって水田が冠水し

*宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 50, NO. 4, 2011

沿岸の植生が流されている様子が分かる。その後の継続観測により、被雲等で観測できない箇所を観測出来た。

図1 宮城県多賀城市から福島県相馬市の3月14日 AVNIR-2 観測画像とその拡大画像

図2 岩手県陸前高田市油崎の AVNIR-2 観測画像

図3 福島県南相馬市小高地区の AVNIR-2 観測画像

図4 岩手県陸前高田市の ALOS パンシャープン画像

図5 ALOS による岩手県陸前高田市の鳥瞰図

図6 PALSAR による地殻変動図(昇降軌道) (左図：5パス分のモザイク画像の全体図、右図：3月19日茨城県北部地震(左側)、4月11日福島県浜通り地震(右側)による地殻変動図)

3月24日に、PRISM/AVNIR-2の同時観測があり、主に東北地方の沿岸を観測することが出来た。PRISM画像とAVNIR-2画像を用いて擬似的に2.5m分解能にしたパンシャープン画像を作成し、

図7 岩手県から福島県沿岸部のPALSAR 災害前後のカラー合成画像(R：2009年1月21日、GB：2011年3月14日)

AVNIR-2 観測画像と同様に関係省庁並びに地方自治体に提供した。岩手県陸前高田市のパンシャープン画像及び鳥瞰図を図4、図5に示す。東北地方の主要幹線道路である国道45号高田バイパスの橋及び北側に位置する東浜街道の橋が津波により損壊し、2 km にわたって防潮林として植えられていた高田松原が流されていることが分かる。

2.2 PALSAR

震災前後の5パス分のPALSAR データを用いて差分干渉 SAR 解析を行った結果を、図6左図に示す。ほぼ全域に渡り干渉縞が確認できるため、広範囲にわたる地殻変動があったことが分かる。また図6右図より、周囲の干渉縞と異なる局所的な干渉縞が把握できることから、3月19日に発生したマグニチュード6.1茨城県北部地震による地殻変動(左側)、及び4月11日に発生したマグニチュード7.0福島県浜通り地震による地殻変動(右側)を表していると思われる。

震災後の3月14日にScanSAR モードで観測した画像を赤に、震災前の2009年1月21日観測画像を緑と青に割り当てたカラー合成画像を、図7に示す。海岸部の赤色に変化している箇所は、災害後に反射が弱くなり、津波により冠水したと考えられる。

3. 湛水域抽出

ALOS AVNIR-2 及び PALSAR を用いて、被災地域の湛水域抽出を行った。

表1 ALOS 光学と PALSAR のパス単位の観測結果

Date	Sensor	Pointing/Offnadir
3月12日	PRISM OB2	ポインティング 0
	AVNIR-2	ポインティング 0
3月13日	AVNIR-2	ポインティング 44
	PALSAR/FBS	オフナディア 46.6
3月14日	AVNIR-2	ポインティング -23.0
	PALSAR/WB1	オフナディア 27.1
3月15日	AVNIR-2	ポインティング 37
	PALSAR/FBS	オフナディア 34.3
3月16日	AVNIR-2	ポインティング -42
	PALSAR/FBS	オフナディア 43.4
3月17日	AVNIR-2	ポインティング 16
	PALSAR/FBS	オフナディア 14
3月18日	PALSAR/FBS	オフナディア 50
3月19日	AVNIR-2	ポインティング -12.8
	PALSAR/FBS	オフナディア 14
3月20日	AVNIR-2	ポインティング 42
	PALSAR/FBD	オフナディア 34.3
3月21日	AVNIR-2	ポインティング -36.5
	PALSAR/FBS	オフナディア 34.3
3月22日	AVNIR-2	ポインティング 25
	PALSAR/FBS	オフナディア 14
3月23日	PALSAR/FBS	オフナディア 50
3月24日	PRISM OB2	ポインティング 0
	AVNIR-2	ポインティング 0
3月25日	AVNIR-2	ポインティング 44
	PALSAR/FBS	オフナディア 43.4
3月26日	AVNIR-2	ポインティング -28.5
	PALSAR/FBS	オフナディア 28.8
3月27日	AVNIR-2	ポインティング 32.5
	PALSAR/FBS	オフナディア 25.8
3月28日	AVNIR-2	ポインティング -44
3月29日	AVNIR-2	ポインティング 1.9
3月30日	PALSAR/FBS	オフナディア 47.8
3月31日	AVNIR-2	ポインティング -25
	PALSAR/WB1	オフナディア 27.1
4月1日	AVNIR-2	ポインティング 38
	PALSAR/FBS	ポインティング 34.3
4月2日	AVNIR-2	ポインティング -41
	PALSAR/FBS	オフナディア 41.5
4月3日	AVNIR-2	ポインティング 14
4月5日	AVNIR-2	ポインティング -9
	PALSAR/WB1	オフナディア 27.1
4月6日	AVNIR-2	ポインティング 43
4月7日	AVNIR-2	ポインティング -34
	PALSAR/FBS	オフナディア -34
4月8日	ANVIR-2/OBS	ポインティング 28
	PALSAR/PLR	オフナディア 21.5
4月10日	AVNIR-2	ポインティング 0
	PRISM/OB1	ポインティング 1.2
4月11日	AVNIR-2	ポインティング 44
4月12日	AVNIR-2	ポインティング -26
	PALSAR/FBS	オフナディア 34.3
4月13日	AVNIR-2	ポインティング 35.3
	PALSAR/FBS	オフナディア 34.3
4月14日	AVNIR-2	ポインティング -44
4月15日	AVNIR-2	ポインティング 12.5
4月17日	AVNIR-2	ポインティング -16
	PALSAR/WB1	オフナディア 27.1
4月18日	AVNIR-2	ポインティング 41
	PALSAR/FBS	オフナディア 34.3
4月19日	AVNIR-2	ポインティング -39
4月20日	AVNIR-2	ポインティング 22.5

3.1 AVNIR-2 による湛水域抽出

3.1.1 対象データ

被災地での復旧作業に資するために、湛水域及び湛水域面積をほぼ毎週算出した。出来る限り1パスで被災地全域をカバー出来るように画像を選択したが、被雲等で使用出来ない画像に関しては、他観測日の画像を使用した。

3.1.2 抽出結果

震災前後の AVNIR-2 画像を用いて、県単位に集計した湛水域面積を表2に示す。被雲のため使用出来ない、また湛水域がない箇所は、0となっている。中央省庁等に提供したものは、市区町村単位の抽出結果[7]である。一例として、福島県相馬市から南相馬市周辺の湛水域抽出結果画像を、図8に示す。発災後直ぐの3月14日では、海岸部が広域に湛水しているが、時間の経過と共に水が引いているのが分かる。

3.2 PALSAR による湛水域抽出

中央省庁からの要望もあり、主に仙台平野を対象領域として震災前後の PALSAR データを用いて湛水域の抽出を行った。

表2 AVNIR-2 による県単位の湛水域面積

県名	湛水域面積 [km ²]						
	3月14日 時点	3月19日 時点	4月5日 時点	4月12日 時点	4月17日 時点	4月20日時点	
	3月14日 観測	3月19日 観測	4月5日 観測	4月12日 観測	4月17日 観測	4月18日 観測	4月20日 観測
岩手県	2.74	1.96	1.10	1.03	0.75	0.69	0
宮城県	109.09	64.68	22.28	14.21	7.61	4.28	0
福島県	25.90	21.52	13.94	11.03	5.85	0	0.09
茨城県	2.62	0.05	0.10	0.09	0.04	0	0.02
千葉県	1.07	0.16	0.02	0	0	0	0.00

図8 福島県相馬市から南相馬市の AVNIR-2 による湛水域抽出結果

図9 宮城県沿岸部の PALSAR による湛水域抽出結果

宮城県沿岸部の湛水域抽出結果の例を、図9に示す。観測時のオフナディア角が小さいと分解能の低下があること、また大きすぎるとレンジアンビキュイティの影響により、湛水域抽出に影響があることが分かった。しかし、震災前後においてこれらの条件を避け、観測条件の良い画像を用いることにより比較的良好な結果を得ることが出来ることも明らかになり、今後の知見を得た。

4. 国際災害チャータ

3月11日の地震発生後15時24分（日本時間）に、内閣府から国際災害チャータの発動を行い、光学及び SAR 衛星共に地震翌日3月12日の観測画像から提供を受けた。国際災害チャータから提供されたシーン数は、5,000以上であった。

4.1 光学衛星

国際災害チャータから提供された光学衛星の一覧を、表3に示す。光学衛星は、3月12日から4月14日観測分の提供を受けた。複数の衛星ではほぼ毎日広域観測可能な RapidEye 衛星画像で広域の被害状況を把握し、他の海外高分解能衛星画像を詳細な被害状況の把握に使用した。福島県いわき市勿来町を観測した RapidEye 衛星のマルチスペクトル画像を、図10に示す。震災前の2010年5月21日と震災後の3月12日を比較しており、津波により沿岸部の砂丘部が大きく削り取られているのが分かる。詳細な被害状況把握の例として、3月12日に宮城県石巻市周辺を観測した IKONOS-2 衛星のパンクロマチック画像を図11に示す。

表3 国際災害チャータ提供の光学衛星一覧

衛星名	提供機関	国
Cartosat-2	ISRO	インド
EO-1	USGS	アメリカ
Formosat-2	CNES	フランス
GeoEye-1	USGS	アメリカ
HJ	CNSA	中国
IKONOS-2	USGS	アメリカ
Kompsat-2	KARI	韓国
Landsat-5, 7	USGS	アメリカ
RapidEye	DLR	ドイツ
SPOT-4, 5	CNES	フランス
QuickBird-2	USGS	アメリカ
WorldView-1, 2	USGS	アメリカ

図10 福島県いわき市勿来町の RapidEye 観測画像

す。住宅街まで浸水している様子が分かる。また、図中 A では、石巻市南浜町の火災の状況が分かる。3月14日に岩手県下閉伊郡山田町を観測した WorldView-2 衛星パナクロマチック画像とマルチスペクトル画像から作成したパンシャープン画像を、図12に示す。カキやホタテなどの養殖筏があった山田湾は、震災後大量の海上漂流物が散乱している様子が分かる。3月14日に福島県相馬市周辺を観測した Kompsat-2 衛星のパナクロマチック画像とマルチスペクトル画像から作成したパンシャープン画像を、図13に示す。相馬市の水田が広範囲に冠水している様子が分かる。3月13日に岩手県久慈市から宮城県南三陸町付近までを観測した SPOT-5 衛星のパナクロマチック画像を図14に示す。観測幅が60km と広く東北地方の沿岸部から内陸部まで広く観測出来、広範囲な状況把握に有効で

図11 宮城県石巻市の IKONOS-2 観測画像

図12 岩手県山田湾の WorldView-2 観測画像

図13 福島県相馬市の Kompsat-2 観測画像

あった。

また、3月19日に国際災害チャータに加盟の USGS (Clark University) から、図15に示す宮城県女川市女川町総合運動公園に書かれた「SOS」メッセージを見

図14 東北地方のSPOT-5 観測画像

図15 宮城県女川市女川町総合運動公園 SOS メッセージつけたという連絡が届いた。至急宮城県に連絡し、数時間後に宮城県が既に把握している避難地であることが分かり、孤立集落の疑いは杞憂に終わった。

4.2 SAR 衛星

国際災害チャータからの提供された SAR 衛星の一覧を、表 4 に示す。SAR 衛星は、3 月12日観測から 4 月23日観測画像の提供を受けた。

茨城県行方市と鉾田市を結ぶ鹿行大橋周辺を、3 月13日に観測した TerraSAR-X 衛星の画像を、図16に

表 4 国際災害チャータ提供の SAR 衛星一覧

衛星名	提供機関	国
ENVISAT	ESA	欧州
RADARSAT-1, 2	DLR	ドイツ
TerraSAR-X	CSA	カナダ

図16 茨城県鹿行大橋周辺の TerraSAR-X 観測画像

示す。鹿行大橋周辺の拡大画像を左上に示すが、橋の一部が地震により崩壊したため線が途切れているのが分かる。

5. センチネルアジア

センチネルアジアから提供された光学衛星の一覧を、表 5 に示す。

3 月12日に宮城県岩沼市、亶理郡亶理町付近を観測した Formosat-2 衛星のマルチスペクトル画像を図 17 に示す。沿岸の暗くなっている所が津波により冠水したと考えられる。海岸線から数 km に渡って広く冠水している様子が分かる。

3 月13日に宮城県仙台市、名取市付近を観測した THEOS 衛星のパンクロマチック画像とマルチスペクトル画像から作成したパンシャープン画像を、図18に示す。沿岸部の広域な冠水、仙台市塩釜港の石油コンビナートの火災による煙、海上漂流物等を確認出来る。

3 月15日に宮城県仙台市若林区、宮城野区付近を観測した Cartosat-2 衛星画像を図19に示す。沿岸部が広く冠水しているのが確認できる。

表 5 センチネルアジア提供の光学衛星一覧

衛星名	提供機関	国
Cartosat-2	ISRO	インド
Formosat-2	NSPO	台湾
THEOS	GISTDA	タイ

6. 福島第一原子力発電所

福島第一原子力発電所の状況把握として、国際災害チャータに 4 月中旬まで観測要求をし、観測結果画像を中央省庁に随時提供した。地理情報を重畳した ALOS の観測結果画像に、福島第一原子力発電所から

図17 宮城県仙台市, 名取市の Formosat-2 観測画像

図18 宮城県仙台市, 名取市周辺の観測 THEOS 画像

図19 宮城県仙台市の Cartosat-2 観測画像

の距離範囲を表示したものを図20に示す。また、3月12日から3月19日までに国際災害チャータから提供された観測結果を一例を、図21に示す。

図20 ALOS 画像による福島第一原子力発電所距離範囲

図21 福島第一原子力発電所の国際災害チャータ観測画像

7. データ提供及び利用状況

本震災において、ALOS 画像、海外衛星画像、またその解析結果の提供先について、表6に例を示す。各種画像データは観測もしくは受領後、直ちに関係機関に提供した。一方、被災地への画像配布という観点では、困難を極めた。そのため、被災地の地方自治体には横山隆三岩手大学名誉教授を中心に画像等の提供を行った。また一部は、WINDSやETS-8の通信班の移動で持参したものもあった。

中央省庁、地方自治体並びに関係機関向けの「だいち防災WEB」は、発災から4月末までに1,500件を超えるアクセスがあった。ALOS 観測結果を掲載している JAXA/EORC のアクセス数は、発災後は1日に約2万件のアクセスがあった。月平均では、平時は10万

表 6 ALOS 画像，海外衛星画像並びに解析結果の提供先

提供機関	提供物
内閣官房	・仙台空港及び福島第一原子力発電所の震災前後画像を提供した ・国際災害チャータ画像は，4月19日まで提供した
内閣府	・震災当日57枚の дайチ防災マップを提供し，各県対策本部に送付した ・ALOS 観測結果及び国際災害チャータ画像，原発関連画像を随時提供した ・北海道から千葉までの湛水域結果を提供した
警察庁	・ALOS 観測画像から各種プロダクトを作成し大判印刷物を各県対策本部へ送付した
国土交通省	・3/21～4/22まで PALSAR, AVNIR-2 による湛水解析結果を提供した ・三陸沿岸，千葉液化エリアの情報を提供した ・関心地域（山火事の可能性）の画像を提供した
農林水産省	・農地の湛水状況の情報を提供した ・千葉県北部（九十九里浜周辺）から茨城県沿岸の浸水解析結果を提供した
水産庁	・沖合に流された漁船の搜索参考情報として岩手沿岸画像を提供した
海上保安庁	・3/13，16，及び4/18観測の海上漂流物解析結果を提供した
環境省	・陸前高田周辺のみで約56万 m ² の漂流物の情報提供をした
文部科学省	・原発関係の画像を提供した
防災科学研究所	・東北及び新潟長野の ALOS 画像を提供した
国土地理院	・震災前後の画像を順次提供した
宮城県	・国際災害チャータにより女川運動公園上の SOS メッセージが確認され，情報提供した
岩手県・岩手大	・岩手大経由で関係機関（岩手県等）に画像，解析結果を提供した ・国道45号線の被害状況については光学判読結果を提供した ・震災前後の画像を提供した
関東地方整備局	・海外衛星画像を用いて千葉県液化エリアの状況を提供した
和歌山県	・現地活動用 дайチ防災マップを提供した
京都大学防災研	・緊急地図作成プロジェクトに使用する画像を提供した

件台のアクセス数であるが，地震発生後の3月，4月はそれぞれ55万件，34万件であった。ALOS 観測結果をご覧になった被災地の方から観測画像の問合せ，またこの領域で船舶を航行する関係者の方々から海上表漂流物についての情報を随時掲載して欲しいという要望を頂いた。

8. まとめ

2011年3月11日の東日本大震災発生後，JAXA では政府災害対策本部，中央省庁，地方自治体並びに関係機関に，ALOS 画像及び海外衛星画像，またその解析結果を随時提供し，災害復旧・復興に役立てられている。ALOS は，震災後から電力異常を発生した4月22日までに搭載された3つのセンサで，合計約450シーンを観測した。また，国際災害チャータ及びセンチネルアジアから提供された海外衛星画像は，5,000シーンを超える膨大なデータとなった。

ALOS は本震災発生後数年まで復旧・復興状況をモニタリングすることを計画していたが，2011年5月12日に運用を停止せざるを得ない状況になったことは，大変残念である。現在，各方面から ALOS 後継機（PAL-SAR 及び光学）の早急な打上げを強く切望されており，その早期実現に向けて邁進している所である。

青森県から東京都までの南北に約700kmを超え，沿岸部のみならず山間部も被害地域であった本震災では，広域を一度に観測でき，且つ定期的に観測可能な衛星画像の有用性が示せた。また，日本保有の衛星である ALOS は，被災地域をほぼ毎日観測し，広域観測が可能な日本独自の衛星の有意性を示せた。さらに情報伝達等において，平時の防災利用実証等で協力を得た関係機関との連携を活かすことが出来た。またその一方で，海外機関からのデータ授受，処理，関係機関へのデータ提供等種々の問題点が見えた。この知見を活かし，今後発生する可能性のある災害に対し，より一層防災及び減災に寄与していきたい。

本震災において御支援，御協力頂いた関係機関，国際災害チャータ，センチネルアジア加盟の各機関に謝意を表す。

最後になるが，本震災でお亡くなりになった方々に深く哀悼の意を表すと共に，被災された皆様に心よりお見舞い申し上げたい。

参考文献

- [1] 気象庁発表
- [2] 国際災害チャータ(The International Charter) : <http://www.disasterscharter.org/home>
- [3] センチネルアジア (Sentinel Asia) : <https://sentinel.tksc.jaxa.jp/sentinel2/topControl.action>
- [4] дайチ防災 WEB : <https://bousai.jaxa.jp/index.php>
- [5] 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター 画像ギャラリー : http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/gallery/jnew_arr.htm
- [6] 陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS) の運用終了について : http://www.jaxa.jp/press/2011/05/20110512_daichi_j.html
- [7] 湛水抽出結果 : http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos/news/2011/pdf/110408_alos.pdf