

3. 成果 (3)アウトカム / インパクト

4) 災害状況把握 ~ センチネルアジア(1/4) ~

(1) 宇宙機関と防災機関との連携の実現

- アジア太平洋地域の衛星を活用した防災活動としてセンチネルアジアをJAXA主導で構築し、アジアの約半数が参加する国際的な活動に発展した。
- アジア防災センター(ADRC)の防災コミュニティー(29カ国がメンバー)と連携としてプロジェクトを実施した。これは、従前にはないプロジェクトモデルとなっている。
- アジア各国の67機関に加え、国連(アジア太平洋経済社会委員会:UNESCAP)を始めとする11の国際機関もメンバーとなっている。特に全78機関のうち56機関については防災機関であることから、宇宙機関と防災機関の連携によりアジア太平洋地域全体の災害対策に貢献している。

宇宙からの広域詳細観測



「だいち」日本
インド タイ 韓国

- 衛星保有国(インド、タイ、韓国、台湾)との連携による衛星観測を実現。
- 今後、マレーシアからの衛星画像提供を予定。

災害情報の伝達

きずな 日本

- 受信局をフィリピン、タイ、インドネシア等に10局設置。
- さらに2局を設置予定。


災害情報の共有

- ホストサーバーをJAXAに設置
- ミラーサーバーをフィリピン、タイ、インドネシア等11ヶ国に設置。

**能力開発
人材育成**

防災機関と宇宙機関の連携

これまで140件以上の災害に対応



24ヶ国・地域67機関・11国際機関が参加。



センチネルアジア
共同プロジェクトチーム(JPT)参加機関数の
遷移

	各国機関		国際機関	総計
	国・地域	機関数		
H18年2月	14	23	4	27
H18年6月	18	44	7	51
H19年3月	19	44	8	52
H19年9月	20	51	8	59
H20年6月	20	51	8	59
H21年7月	22	54	8	62
H22年7月	23	59	9	68
H23年7月	24	66	11	77
H24年1月	24	67	11	78

B

3. 成果 (3)アウトカム / インパクト

4) 災害状況把握 ~ センチネルアジア(2/4) ~

(2)アジア各国の衛星との連携

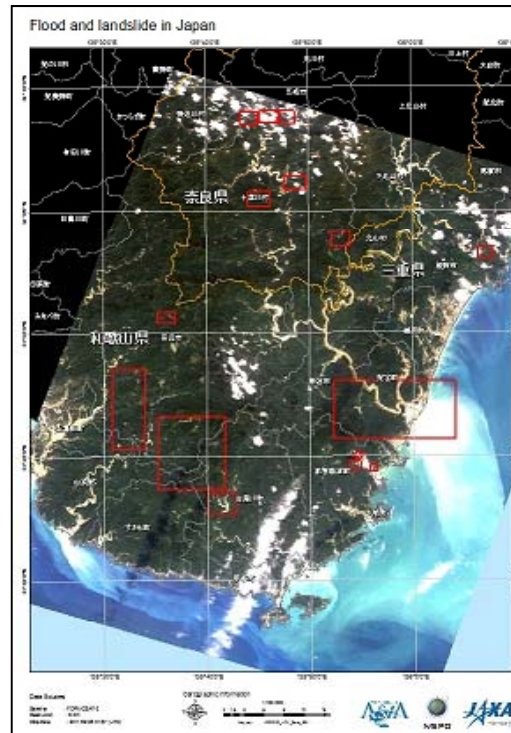
- 当初は「だいち」のみで開始したプロジェクトであったが、「だいち」を活用した防災活動の有効性が評価された結果、現在ではインド、タイ、韓国、台湾の衛星も参加している。
- 「だいち」運用停止後もセンチネルアジアの枠組みにより日本国内の災害緊急観測が行われおり(2011年7月の新潟・福島豪雨、9月の台風12号、15号等)。センチネルアジアは「だいち」という一つの衛星プロジェクトの枠を超えた国際的な活動になっている。

H23年7月 新潟・福島豪雨



新潟県南魚沼市六日町付近の FORMOSAT-2による観測画像

H23年9月 台風12号



提供されたFORMOSAT-2画像をJAXAで処理・解析し、前後比較により土砂崩壊と思われる状態を確認、地理情報等を付加した高次処理画像を内閣府、国土交通省、和歌山県等の防災機関へ提供。広域災害における土砂崩壊等の把握、支援活動に貢献。

3. 成果 (3)アウトカム / インパクト

4) 災害状況把握 ~ センチネルアジア(3/4) ~

(3)国連UNESCAPとの連携の実現

- センチネルアジアは発足時からUNESCAPと連携して推進しており、国連と連携した宇宙イニシアティブが実現できた。
- センチネルアジアについてはUNESCAPも高く評価しており、2009年次年報にて災害対応について安定的な宇宙情報の提供元としている他、2011年のタイにおける大洪水の対応におけるUNESCAPヘイザー事務局長とインラック首相との会談においても、センチネルアジアの貢献について紹介されている。



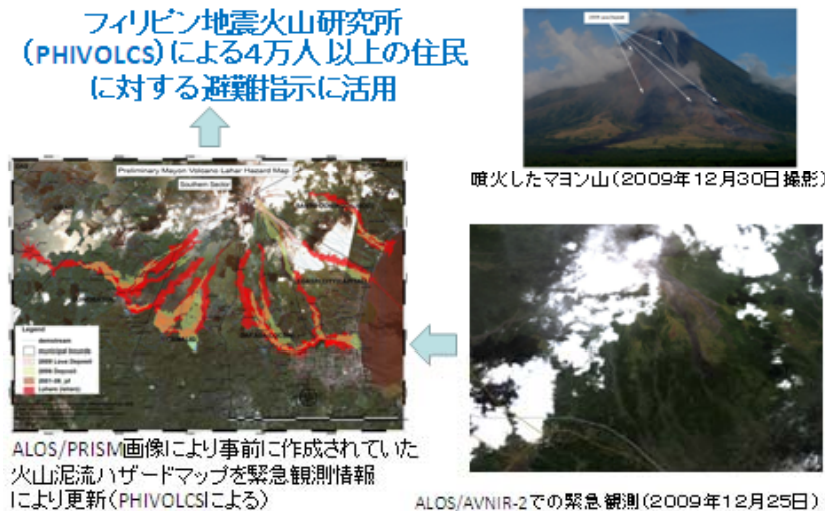
センチネルアジア合同プロジェクト会合が2011年7月にマレーシア・プトラジャヤで開催され、UNESCAPヘイザー事務局長が参列された。

3. 成果 (3)アウトカム / インパクト

4) 災害状況把握 ~ センチネルアジア(4/4) ~

(4) コミュニティーレベルへの利用拡大及び他地域へのモデルとしての展開

- ・2009年のマヨン山噴火時の避難対応に「だいち」画像により作成したハザードマップが活用されるなど、住民・コミュニティレベルまで利用が広がった。
- ・地球規模課題対応国際科学技術協力(JICA・JSTプロジェクト)に採択された研究課題「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」にセンチネルアジア森林火災ワーキンググループが参加しており、カリマンタン・パラカラヤの消火隊をエンドユーザとする火災検知・抑制システムを構築している。
- ・センチネルアジアの研修にフィリピンの市長など(Cainta市)も参加し、自治体もセンチネルアジアの活動に興味を示している。
- ・アジア50か国の約半数である24か国が参加している。アジアにおけるリージョナルシステムとして、今後のヨーロッパ・アフリカリージョンや南北アメリカリージョンの宇宙技術を用いた防災システムの見本となっている。森林火災ワーキンググループのモデルについてはアフリカへの適用が検討されている。



フィリピン地震火山研究所 (PHIVOLCS) はJAXAとの協力によりALOS/PRISM画像により事前に作成していた火山泥流ハザードマップをALOSによる緊急観測情報により更新し4万人以上の住民への避難指示に活用した。

センチネルアジア森林火災ワーキンググループが推進している消火隊をエンドユーザとした衛星による火災検知情報を用いた森林火災抑制システムの構築

大学等の研究者が、学術的な立場から多くの研究に取り組んでいる。この状況(公募研究の状況、初期検証への参加、関連学会との関わり、成果など)について以下に示す。

1) 公募研究

- 公募研究(RA)はこれまで2000年、2006年、2009年の3回実施。第1回及び第2回は全世界、第3回は日本-アジア-ロシアを対象とし、研究件数は総数329件、うち日本人が代表研究者(PI)のものは117件である。
- PI研究報告会を6回実施。
(2000@東京、2004@淡路、2007@京都、2008@ロードス島、2009@ハワイ、2010@東京)
- 最後の2010@東京は、第1回及び第2回の公募研究の最終報告会であった。
- センサ校正検証を皮切りに、利用研究を主たる目的としたもので、災害、森林、雪氷、土地利用、農業、DEM作成等が含まれる。テーマ的にはSAR単独利用が約7割、光学単独が2割の割合で、複合が1割。まんべんなくテーマが選ばれているが、災害変化抽出(DinSARによる地殻変動抽出、硫黄島の変動検出、岩手宮城地震の変化抽出、四川省地震の地殻変動、地盤沈下検出等)、森林(森林減少への取り組み)や農業等への利用等を中心に研究が進展した。また、DEMの精度改善や産業廃棄物の検出等への応用へも行われている。

2) 初期検証への参加

- 2006年1月24日の打上げ以降、定常運用が開始される同年10月23日までは初期校正期間と位置付け、SAR/光学ともに校正を主たる目的とした。外部委員として日本の主要な校正研究者や外国の研究者の参加を得てCVST(Calibration Validation and Science Team)を立ち上げ、チーム活動を実施した(2004年以降)。
- チームメンバーが世界中に分布することから、研究者の校正サイトを積極的に観測し、画像データ、校正情報、校正に関わる研究情報を相互に交換して、PALSAR/光学センサが必要とするラジオメトリック精度の確認と精度の向上を実施した。
- 初期検証の結果は、一部監視活動を継続すべき項目は発生したものの、基本的な目標精度は達成しているとの合意を得ることができた。このチーム員は、他PIに先行しデータを得ることができるもので、PIも自身の研究を進めることができた。

3) 関連学会との関わり

- 学会としては、IEEE GRS (Geo Science and Remote Sensing)、SPIE、AGU (American Geophysical Union)、EGU (European Geophysical Union)、地球惑星連合、日本リモートセンシング学会、日本測地学会、日本火山学会、計測と制御、等と関係している。
- その他、宇宙関連団体として、GEOSS (Global Earth Observation system of systems) や Committee on Earth Observation System (CEOS) (この中には SAR, DEM, Land product, 森林関連の団体がある) と密な連携をとっている。
- 災害関係の実利用実証として、気象庁の地震予知連絡会、火山噴火予知連絡会に参加している。
- 「だいち」の成果については、日本リモートセンシング学会のALOS特集号(2007年)、IEEE TGRSの特集号(2009年)、IEEE JSTARS (The IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS)) の特集号(2010年)、日本測地学会のALOS特集号(2010年)が発行され、校正検証のみならず、森林における活用、地殻変動への活用等で、科学ジャーナルへの投稿が増えている。

4) 顕著な成果

- ① SARのエンジニアリング的な観点では、PALSARに備わった4種類のモード(FBS, FBD, ScanSAR, Polarimetry(Pol))は、5年間に渡り高い安定性を示した。校正精度(ラジオメトリック精度、幾何学精度)は高く(一部は世界レベルにある)、雑音レベルは-34dBと低い(世界一)ことが確認された。PALSAR/Polは定常的に運用された初の宇宙用ポラリメトリSARであり(ALOSは2006年打上げ、C-bandのポラリメトリを持つRadarsat2は2007年打上げ、1994年に打ち上げられたSIR-C: Shuttle Imaging Radar-Cもポラリメトリモードはあったが11日間の運用で終了した)、31～41dBという非常に高いチャンネル間クロストークや、VV/HH間偏波特性が確認された。これらの校正作業は、全世界に配置したコーナー反射鏡や熱帯地方に広がる森林領域を用いて世界レベルで実施された。

5) 研究成果 ～ 研究成果について(3/7) ～

②ポラリメトリに関しては、高精度のPOLCAL(ポラリメトリック校正法)の開発が行われた(日本人研究者3件)。ポラリメトリの応用分野としては、ポラリメトリックデータを用いた4成分分離手法が開発された(日本から2件開発された。ともに、米国で開発された3成分分離手法の「電力が負になる」という欠点を克服したもの)。これらの使用によって、森林を含む土地利用分類(都市域の分類も含む)の精度が向上した。その他のポラリメトリの応用の一つとしては、海洋油汚染(オイルスリック)の検出にHH/VVの比率が低く、凧いだ風に伴うもの(ウィンドスリック)と識別出来る手法の開発(イタリアの研究者による)、ポラリメトリと干渉処理を組み合わせる手法により(Polarimetric Interferometry)森林樹高を計測する可能性、雪氷域への応用により、降雪・非降雪域の分類が可能になった。熱帯雨林の森林解析へも応用されたが、PALSAR/Polの分解能:30mから、ALOS-2ではPolモードが約5mまで向上することから、これらの分野の研究と利活用が進むものと思われる。

③JERS-1 SAR(1992-1998)で初めて検証されたL-band SARを用いた干渉処理の研究が非常に進んだ。PALSARでは前述したように、雑音レベルが非常に低く、同時に送信電力が高く、合わせて人工衛星の軌道をほぼ同じ高さを飛行する様に管理した為に、46日(回帰日数)の整数倍離れて得られたデータの干渉が非常に良質の情報を提供することができた。これを用いた研究としては、地震、火山等の自然災害に伴う地殻変動、工業用水くみ上げ等に伴うゆっくりとした地盤沈下、やはりゆっくりとした堤防沈下監視等があげられる。

地震災害等は、2007年能登半島地震、2007年ソロモン島地震、2008年四川省地震、2008年岩手宮城地震、2010年ハイチ地震、2011年東日本大震災、2006～2007年の硫黄島隆起、2006年ハワイ島キラウエア火山の溶岩噴火等の結果を詳細に抽出した点が他の周波数のSARに比べて卓越している。特に、L-band SARは植生に覆われた地表を信号が透過する能力が高いことから、高い干渉性を得ることができ、より高い周波数のCバンドやXバンドでは見られない特徴である。地盤沈下については、日本列島では国土地理院のGPS受信機との組み合わせにより、cm程度の高い精度(差分干渉法)で沈下量を推定することが可能になった。また、世界的にも複数時期のSARデータを用いた方法(時系列解析の一種)により1cm以下の精度の検出が可能になってきた(Permanent Scatterer解析、Persistent Scatter解析、Small Baseline 解析等)。これらは、測量分野へ利用範囲が広がっている。高い精度の干渉計測につきものの誤差要因としては、1)気象遅延(屈折率が湿度、気温、気圧に依存すること)、2)電離層遅延の二つの問題があるが、前者については気象庁等の客観解析データとの組み合わせでほぼ遅延量の特定が可能になった。後者については、PALSARでは28MHzの帯域幅の為に補正は十分でないが、ALOS-2では帯域幅が84MHzに広がることから、補正の可能性が高まる。これらの研究を支える母体としては、国内では東京大学地震研、京都大学防災研究センター、各大学の地震解析研究グループ、米国におけるWinSARグループ(SARデータの干渉を主に研究するグループ)、GEO-Hazardグループ等があげられる。

5) 研究成果 ～ 研究成果について(4/7) ～

- ④断層の上では変位量が大きすぎる為に干渉しないが、この点を解決する方法として振幅による合わせ込み方法が提案され、分解能はやや落ちるが電波照射方向のみならず衛星進行方向の変動量検出も可能になった(手法はスイスチームが開発、国内研究者で検証)。また、ALOS-2の高帯域化の為に、このような断層直上の非干渉地帯が小さくなる。さらに、ScanSAR干渉法が実用化し、350km幅での干渉が試験的に試され、2010年チリ地震のような巨大な地震に伴う地殻変動をとらえられるようになってきた。ScanSAR干渉の運用はALOSでは試験的にしかなされなかった為、多くの事例は得られなかったが、ALOS-2では帯域幅が28MHzと広がるとともに、軌道の保持がALOS以上に細かく高頻度で行われることからScanSAR干渉が大幅に良くなることが期待される。最大のメリットは、巨大地震発生時の地殻変動を確実にとらえられることである。
- ⑤森林伐採等による炭素量の大气中放出量は、陸域から大气中に放出される二酸化炭素量総量の18%を占めることが報告されている。特に、熱帯雨林域での放出が多いことがIPCC等の報告書で記述されている。SARは全天候性のセンサであり、常時雲に覆われる熱帯雨林の観測に最適である。また、SARの観測量(反射係数)とバイオマス量が関係することが1990年代より把握されているが、L-band SAR(後方散乱係数)とバイオマス関係式の研究が世界的に実施された。それによると、HV偏波でみた乾燥森林がバイオマス関係式をより正確に導くことがわかってきた。また、後方散乱係数の変化が森林伐採に直結することも実運用を通して明確になってきた。それもあり、IBAMA(ブラジル環境・再生可能天然資源院)ではJAXAから配信される補正済みのPALSARデータを用いて違法伐採の取り締まりを行った。このように、後方散乱係数の変化や、後方散乱係数とバイオマスの関係式が出来上がることで、近年高まりを見せるREDD+(Reducing the Emission from the deforestation and the forest degradation)活動に、L-band SARがどう貢献するかについての研究がなされている。GEO-FCT(Forest Carbon Tracking)等は宇宙機関間での研究母体である。JAXAではその動きの一環として、全球レベルの森林モザイク画像の作成、森林非森林分類手法の開発と実用化がなされ、今後のREDD+へのリモートセンシングデータとしての活用が具体化してきた。特に、世界初の10m分解能での全球森林・非森林マップの作成は今後の活動起点になる(2010年10月発表)。ALOS公募研究で選定された研究テーマの最大手は災害、二番手は森林であり、PALSARが森林へ貢献することが高く期待された。ALOS/PALSARは、全世界の大森林域が二時期を持つこと(雨期と乾期)から、両時期を均等に観測する計画を立て、それを元にして定常的にデータを取得した。それによって、森林の時間変化(変化する地球)を監視することができた。これは、データを大量に取得する衛星があったからこそであるが、合わせて時間的に変化しない性能を有したセンサ(高い安定性)を搭載することで実現出来た森林監視である。ALOS-2では同様に高い感度を有し、同様な偏波を有すること(更に低雑音モードを有すること)からより高い森林監視が期待出来る。

5) 研究成果 ～ 研究成果について(5/7) ～

- ⑥高次成果物としてのオルソ画像は、地形情報を元にして斜め観測するSAR画像を地形情報(Digital Elevation Model, DEM)を用いて引き起こしたものである。結果的に、得られた画像は通常地形図として使用することができる。ALOS/PALSARではこの技術を既に習得し、全球規模において分解能程度(10m)の精度を有する森林・非森林図、PALSARモザイク画像を完成させた。これはそのまま、GIS上で活用出来るもので地図として活用も可能である。ALOS-2では分解能が更に良くなり(3mまで向上)、物の視認性が向上することから、3m規模で全球の地図作成が可能になる。ALOSが10m規模であったことと比較すると、大きな前進である。これにより、雲に覆われる熱帯地域の地図作成が期待される。
- ⑦高分解画像に期待されることとして、地表面の識別が良くなること、目視判読精度が向上することがあげられる。その利点としては、災害時に土砂で埋もれた被災域、道路の特定等がしやすくなることである。この事例は、ALOS-2と同等の分解能を有する航空機搭載合成開口レーダーにより既に確認済みである(2004年新潟県中越地震により長岡市の土砂崩れ現場の観測等)。また、災害発生時の緊急解析としてどこが変化したかを見いだす「変化抽出」が必要となる。緊急観測で得た画像と過去の画像の合わせ込みにより変化抽出を行うが、二枚の画像が異なる入射角で見ることが多い。その場合でも、分解能が3mに向上することで、ALOS以上の検出が期待出来る。また、地滑り、土砂災害等の領域の特定が容易になり、ALOS-2における改善点として列記できる。
- ⑧L-band SARの特徴として、雪氷域の監視をあげることができる。特に、地球の温暖化を色濃く反映する極域氷河の振る舞いは高分解能全天候性PALSARが大いに性能を発揮したところである。ScanSARやStrip画像の繰り返し観測と、時系列変化により、南極の氷河破壊、北極の氷の衰退、年変化、グリーンランドの氷河衰退(ピーターマン氷河、ヤコブスハーゲン氷河等)とその後退速度の加速が確認された(1990～2006年が1km/年の後退速度であったのが、2006年～2010年で2km/年と加速している)。又、これら氷河の構造がポラリメトリにより観測されたことやScanSAR等で幅広く観測されたことから、これらのアーカイブデータとの複合利用により、ALOS-2により地球環境の監視が更に進展すると思われる。

5) 研究成果 ～ 研究成果について(6/7) ～

- ⑨ 国外における事例として、ALOS SAR, Radarsat, Radarsat-2, Envisatを用いた南極の氷移動図を作成した(大陸全体についての氷移動分布図をNASA/JPLが作成)。これによると、南極の東半分はさほど動きが無いが、西半分は大いに動くことがわかった。ALOS-2も同様な観測することで、極域氷河の変動がとらえられる。特に、JERS-1の1992～1998年、ALOSの2006～2011年、ALOS-2の2013年～と約30年に渡る地球の変化をとらえることができる。また、全てが同じ周波数を使用することから、地球の変化を均質にとらえることが可能になり、世界の知識としての財産を増やすことができる。
- ⑩ 海洋への応用として、SAR画像は後方散乱係数が風速と風向に依存するが、風向は概ね他の機器にゆだねられることから、風速だけが高分解能で求められる。PALSARを用いた海上風速推定モデル(JAXAで開発)が完成したが、実運用を直前にして運用停止したことから、今後の活用が期待される。利点としては、地形の影響を細かく受け、沿岸災害の要因になる沿岸風速を詳細に把握出来ることである。ALOS-2ではこの点が大いに進展すると期待出来る。
- ⑪ 更に海洋応用事例としては、流氷監視をあげることができる。PALSAR/ScanSARは高感度で350kmを観測することが可能であり、海水面と海氷の識別が容易であったことから、海上保安庁ではJAXAが提供する情報をもとにして流氷図を作成して公開した。冬期の流氷情報は航行する船舶にとって重要な情報であり、全天候センサとしては効果的な情報源とすることができる。更に改善が求められた点としては、シャーベット上氷の識別である。これは、単偏波のSAR(例えば、HHだけ)では分類が困難なもので、ALOS-2のようにHH+HVで観測することで識別が可能になる。更に、L-band SARでは海洋からの反射が小さい一方、船舶等の人口構造物からの反射は大きい。同時に、船舶が航行する際に発生する波(ウェイキ)を確認することができることから、海洋船舶の監視に活用出来る。ALOS-2ではこの点も考慮してより高い感度を有したPALSAR-2が開発されている。
- ⑫ 科学面では、PALSARの電離層との関連性が大いに研究された。日周運動する電離層密度がPALSARの電波伝搬速度を局所的に変化させたり、あるいは偏波面を変化させたりという事象が、世界のいくつかの場所で発生し、プラズマとの関連性が議論された。結果として、プラズマバブル、TID(Traveling Ionospheric Disturbance)、Faraday回転等との関連性が大いに研究された。JERS-1 SARにおいても研究のテーマになっていたが、感度の点と、降交軌道の為か、ほとんど観測されなかったものであった。ALOSでは、打上げから2ヶ月以内に観測することができた。ALOS-2でもこの方面の研究は進むとともに帯域幅が増えることで、その補正方法の研究も進むものと思われる。

なお、ここで紹介したいいくつかの事例は、既に多くの科学ジャーナル、査読付き論文誌等で公開されている。

5) 「だいち」画像の主要な研究利用実績

【協定に基づく利用(行政機関、研究機関、地方自治体等)】

10件 (行政機関5件、研究機関1件、地方自治体2件、国際機関2件)

【共同研究(ALOS京都・炭素観測計画)に基づく利用】

19件 (米国3件、ブラジル、ドイツ、フランス、イギリス各2件など)

【共同研究(研究公募)に基づく利用】

329件 (日本117件、米国53件、中国28件、イギリス12件、韓国11件、ロシア11件など)

【海外研究機関での利用】

32件 (米国24件、コロンビア2件、カナダ、ブラジル、ブラジル、チリ、日本(JICA)各1件など)

414件 (欧州の研究利用件数)