

栗原康平*
Kohei Kurihara
三五大輔*
Daisuke Sango
糸野和孝†
Kazutaka Kumeno

齋藤 進†
Susumu Saito

宇宙からの地球観測ソリューション

Earth Observation Solutions

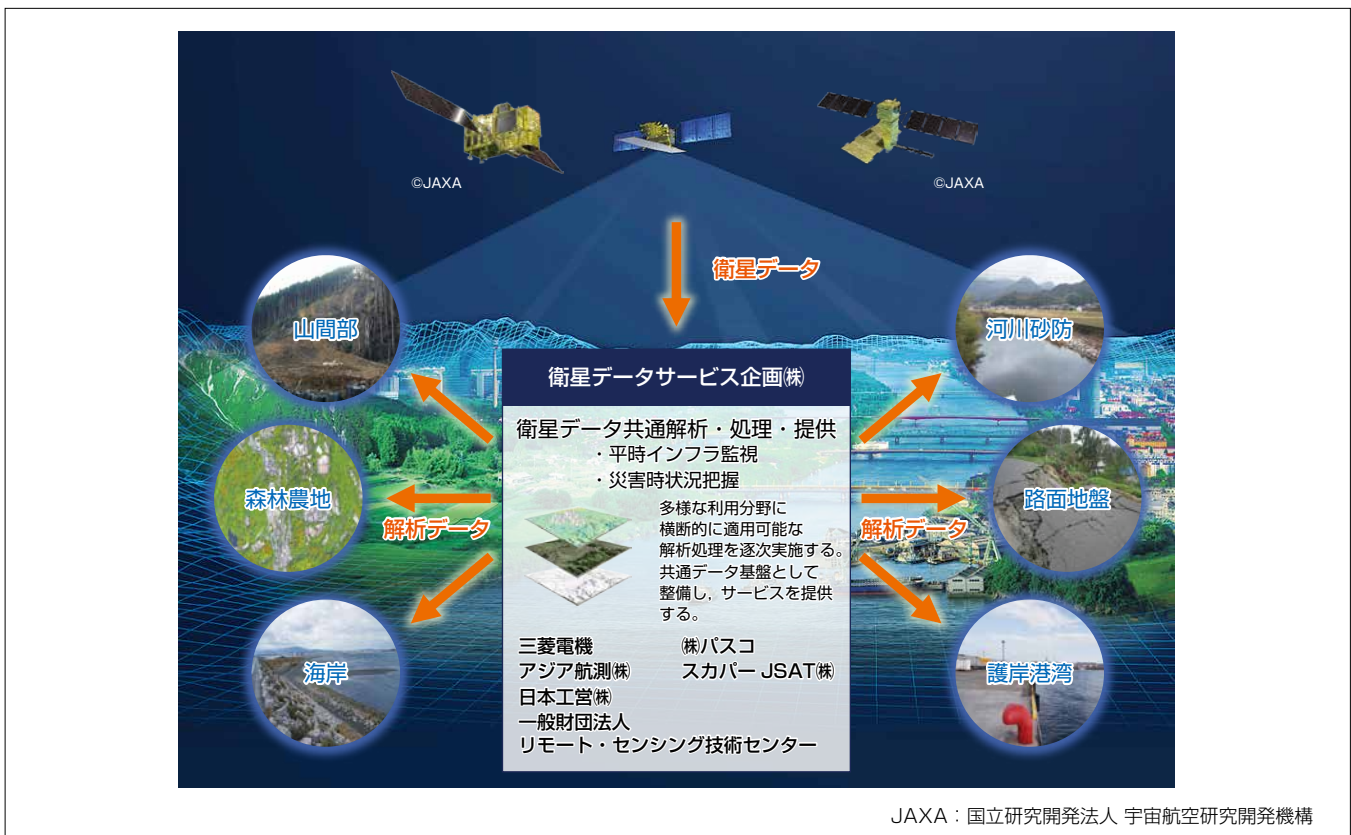
要 旨

日本政府の宇宙基本計画工程表には、衛星データ利用拡大に向けたソリューション(観測ソリューション)の開発・実証の推進が明記されており、官公庁で観測ソリューションの利用が進むと期待される。民間でも今まで宇宙と無関係であった企業が、衛星データ利用を活発化しており、今後は官民で観測ソリューションの利用拡大が期待される。

三菱電機では光学衛星及び合成開口レーダ(SAR(Synthetic Aperture Radar))衛星で取得したデータから、ユーザーが望む情報に変換して提供する、衛星観測ソリューションサービスを展開している。先に述べた高まる需要に対応するため、当社を含めた6社で衛星データ解析情報提供サービスの事業化を進める新会社“衛星データサービス企画㈱”を設立した。

新会社では、災害時サービスに加えて平時から日本全国の広範囲かつ継続的に取得した衛星データの解析処理を逐次実施し、共通データ基盤として整備・アーカイブ化することで、インフラ管理など多様な分野に適用可能なサービス提供の検討を行っている。当社はこのサービスを実現するコア技術として、インフラ管理などの国土監視に向けた全国SARデータ時系列自動解析ツールの開発に取り組んでいる。

また、当社では損保会社やインフラ事業者からのニーズが高い、台風・豪雨災害時の浸水域・浸水深情報の提供サービスの高度化に取り組んでいる。衛星データに加えて地上の情報(SNS(Social Networking Service)・報道情報、IoT(Internet of Things)機器など)を組み合わせることで付加価値の高いソリューション開発に取り組んでいる。



衛星データサービス企画㈱の設立

当社、㈱パスコ、アジア航測㈱、スカパーJSAT㈱、日本工営㈱、一般財団法人 リモート・センシング技術センターの6社が出資し、災害時の迅速な状況把握や平時の継続的な国土・インフラ監視などに共通的に幅広く適用可能な衛星データ解析情報提供サービスの事業化を進めるため、“衛星データサービス企画㈱”を2021年6月に設立した。衛星データ利用の普及と市場拡大を図る。

1. ま え が き

政府の宇宙基本計画工程表への観測ソリューションの開発・実証の明記によって、官公庁での衛星データ利用が進むとともに、民間企業での衛星データ利用も併せて進んで、多様な分野での事業創出が期待されている。

一方で、衛星データはデータ量が多く、またデータ自体からの情報抽出は高度な技術が必要とされ、衛星データになじみのないユーザーへ利用を拡大するためには、ユーザーが求める情報又はユーザーが理解できる情報を提供する必要がある。しかし衛星データからユーザーの理解が容易なデータへの変換には、膨大な計算や経験・ノウハウを持つ技術者による調整が必要になる。

例えば、継続して観測したSAR衛星データセットを用いて、地表変位を計測する技術(干渉SARデータ時系列解析技術)がある。この技術は、観測データ同士の組合せ処理を行い、地表変位を計測するが、精度向上のためには組合せ数を増やす必要があるため、計算量が膨大になる問題がある。そこで、日本全国の干渉SARデータ時系列解析を行う“全国SARデータ時系列自動解析ツール”を開発した。このツールの詳細は2章で述べる。

また、近年増加する豪雨、洪水及び台風による水害時に、現地に立ち入らずに広域を観測できる衛星データの利用が期待されているが、衛星データそのままではユーザーが利用しにくく、ユーザーが求める情報への変換が必要である。そこで、衛星データ単独及び衛星では補えない地上情報を組み合わせて、ユーザーが求める情報に変換する技術開発を行っている。この技術開発の詳細は3章で述べる。

2. 全国SARデータ時系列自動解析ツール

2.1 概 要

全国SARデータ時系列自動解析ツール(図1)は、衛星データを用いて日本全国の地表変位を自動で算出するため

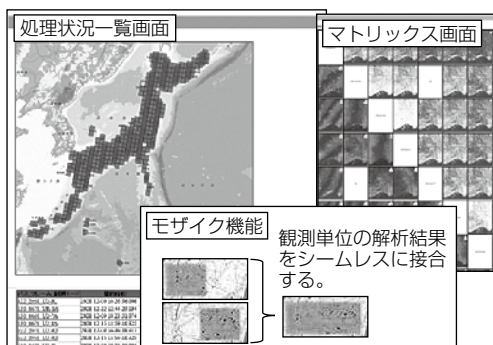


図1. 全国SARデータ時系列自動解析ツール

のツールである。全国の地表変位を自動算出するに当たって、①観測ごとの計算量が膨大である、②手動調整項目の作業量が多い、③1観測単位から日本全国につなげる機能が必要、④センサ特有のノイズが大きいといった課題があった。そこで、これら①～④の課題解決のための開発を行った。

2.2 開発内容

2.2.1 観測ごとの計算量の縮減技術

干渉SARデータ時系列解析では、観測ごとに手動で再計算を実施していたため、計算量が膨大になる問題があった(図2(a))。

そこで、ある時点までに観測されたSARデータによる演算と、次回帰の観測データを加えたときの演算の共通部分に着目して、共通部分の演算結果は再利用し、新たに必要な演算の増分だけを自動で処理する技術を開発した(図2(b))。

これによって、大幅な計算量縮減を達成した。図2は6回帰分のデータのため、80%の計算量低減(25通り→5通り)であるが、先進レーダ衛星(ALOS-4)の1年間の計算量(276通り)では、92%の計算量低減(276通り→24通り)になる。その結果、現実的な規模の計算機システムで日本全域の干渉SAR時系列解析を実現した。

2.2.2 手動調整項目の作業量低減

干渉SARデータ時系列解析では、観測ごとに自動的に地表変位を算出するが、全国均一の観測状況(天候や電離層の状態)ではないため、観測データの品質に起因した精度低下が発生する。一般的に、先に述べた低品質データは手動削除を行うが、日本全国について毎回帰手動で低品質データを削除することは困難である。

そこで、解析状況を一覧表示して視覚化する画面を開発し、その画面から低品質データを削除可能にした(しきい値による一斉削除も可能である)。また、この削除した低

	X	X+1回帰	X+2回帰	X+3回帰	X+4回帰	X+5回帰
観測データ1の解析期間						
X		1	1	1	1	2
X+1回帰			1	1	1	2
X+2回帰				1	1	2
X+3回帰					1	2
X+4回帰						2
X+5回帰						
合計						25

X回帰からX+4回帰までの地表変位算出時の計算量 →10通りの計算が必要

	X	X+1回帰	X+2回帰	X+3回帰	X+4回帰	X+5回帰
観測データ2の解析期間						
X			2	2	2	2
X+1回帰				2	2	2
X+2回帰					2	2
X+3回帰						2
X+4回帰						
X+5回帰						
合計						5

X+5回帰が観測されたときの地表変位算出時の計算量 →15通りの計算が必要

合計25通りの計算が必要

(a) 従来の手法

	X	X+1回帰	X+2回帰	X+3回帰	X+4回帰	X+5回帰
計算量削減後の解析期間						
X		1	1	1	1	2
X+1回帰			1	1	1	2
X+2回帰				1	1	2
X+3回帰					1	2
X+4回帰						2
X+5回帰						
合計						5

計算済みのペアを再利用することで、新たに観測されても灰色の箇所の計算だけでよくなり、5通りの計算量に縮減

(b) 開発手法

図2. 計算量縮減の原理

品質データをデータベースによって管理し、以降の回帰の処理では使用しないようにして、毎回帰の手動調整項目の作業量低減を実現した。(図1のマトリックス画面)。

2.2.3 1 観測単位から日本全国につなげる

観測衛星は、地球を周回しながら一定幅の領域を観測するが、一度の周回では日本全域を観測できないため、複数の周回に分けて観測する必要がある。また、一般に衛星データは1観測単位(ALOS-2, ALOS-4では55×70km)の細切れで提供されるため、細切れになった画像をパッチワークのように貼り合わせる必要がある(モザイク処理)。

しかし、周回が異なる衛星データは観測日時が異なるため、地表変位の算出期間が異なり、隣接するデータ間で変動量にギャップが生じる。

そこで、撮影日時と場所が異なるデータによる変動量解析結果を、時間的・空間的にシームレスに接合する技術を開発し、つなぎ目のない日本全域の変動マップを実現した(図1のモザイク機能)。

2.2.4 センサ特有ノイズの低減

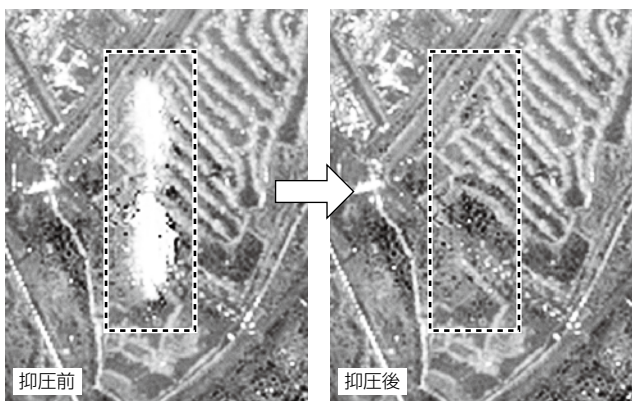
一般に、SAR衛星データには観測原理上センサ特有ノイズが重畳される。その一つとしてアンビギュイティノイズがあるが、アンビギュイティノイズは矩形(くけい)として画像に重畳するため(図3左)、本来地表変位がない箇所に地表変位が現れるなどの地表変位算出の誤差になる問題がある。

そこで、衛星データに重畳するアンビギュイティノイズを抑圧する技術を開発した。

これによって、センサ特有ノイズに起因する誤差の影響を低減し、地表変位の精度向上を達成した(図3右)。

2.3 その他の開発(クラウド対応)

衛星データサービス企画(株)が事業化をする上で、ニーズ

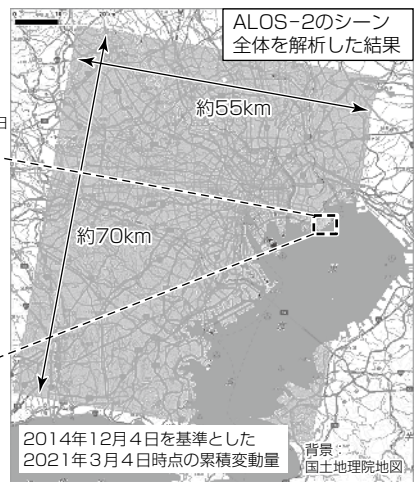
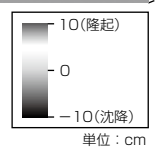
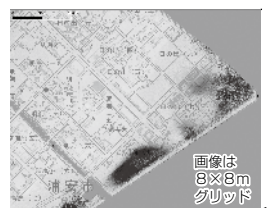


元画像：JAXA提供
画像の輝度は干渉画像の色相と輝度の和を示す。

図3. センサ特有ノイズの低減の効果

ツールによるSBAS解析結果をGISアプリケーションで表示した例

利用データ：
JAXA ALOS-2 高分解能3mモード
2014年12月4日から2021年3月4日
までの南行軌道の30シーン



SBAS：Small-Baseline Subset, GIS：Geographic Information System

図4. 解析事例

とのバランスを考慮しながら解析対象地域や解析頻度を見直すことが考えられる。例えば、事業開始当初は大都市周辺域でスモールスタートし、市場調査を踏まえて解析範囲を拡大していくことが考えられる。

そこで、このツールをクラウド対応にして、事業計画に沿ってシステム規模を柔軟に変更することを可能にした。

2.4 解析事例

全国SARデータ時系列自動解析ツールによって、日本全域の地表面や建造物等の変動を広域にわたって把握することが可能になった。

自動解析ツールによる解析事例を図4に示す。

3. 浸水被害把握ソリューション

3.1 概要

豪雨や洪水、台風による水害時の観測ビジネスとして浸水被害把握ソリューションを開発している。2020年度から、東京海上日動火災保険(株)(以下“東京海上日動”)と保険金支払迅速化を目的とした協業の中で、水害発生前後の衛星画像を解析し、観測領域中の浸水域と、浸水深を提供する取組みを実施している。2021年度は佐賀豪雨に対してリアルタイム解析を実施した。浸水深推定は一部改善すべき課題が抽出されたが、浸水域推定は一定の成果を確認できた。

2022年度は浸水深推定の更なる高度化のため、衛星では補えない地上情報(当社家電等IoT機器やSNS・報道情報)を組み合わせた当社独自の付加価値向上策に取り組む(図5左)。

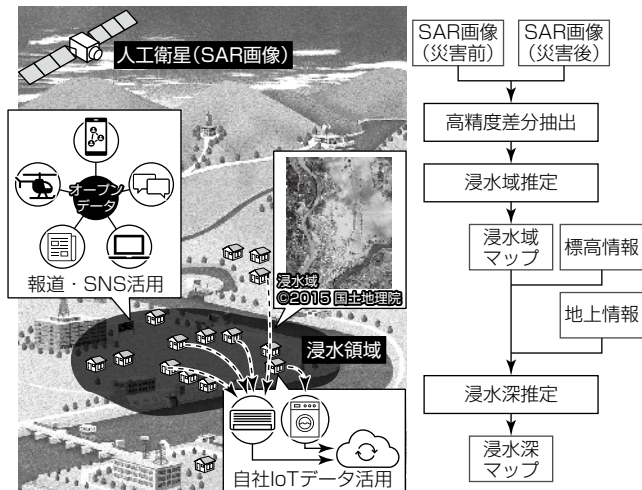


図5. サービスイメージと処理フロー

3.2 事業化に向けた取組み

事業化に向けたステップとして2020年度から東京海上日動とPoC(Proof of Concept)を実施している。PoCではALOS-2の災害発生前後画像を高精度差分抽出手法⁽¹⁾によって比較して浸水域を推定している(図5右)。この手法はSARの後方散乱の反射特性を2回散乱まで考慮した反射モデルに基づいて浸水域を抽出することで、従来の一般的な手法では難しかった都市部の浸水域を抽出できる特長を持つ。抽出した浸水域マップはDEM(Digital Elevation Model)などの標高情報と組み合わせて浸水深を推定する。

2020年度は過去災害事例への適用・評価を実施して浸水域・浸水深推定ツールの開発、高度化を実施した。複数の過去災害の解析から、衛星の観測角度など撮像条件によって浸水の検出に不適な条件がある課題⁽²⁾を抽出した。

2021年度には浸水深推定高度化のため、衛星データ精度を補償する情報活用を検討した。国土交通省が公開するハザードマップを用いた改善⁽³⁾及びSNS画像や報道画像などの地上情報から得られる浸水深情報をを用いた改善を実施してPoC適用を行った。またこれら改善策を適用した浸水深推定ツールを用いて、佐賀豪雨に対してリアルタイム解析を実施した。浸水域推定では一定の成果を確認できたが、浸水深推定結果では一部改善すべき課題が見られた。解析対象の佐賀県武雄市・嬉野市では収集可能なSNS情報に限りがあるため、地上情報を活用した精度改善効果が限定的であった。この解決策として、地上情報を安定的に収集するインフラ作りにも注力し、都市及び郊外、両者に対する浸水被害把握を実現する。

3.3 浸水被害把握例

令和2年7月豪雨時の熊本県人吉市に対して浸水被害把握の自主解析を実施した。解析条件を表1に、結果を図6

表1. 解析条件

災害前	2016年4月16日13時13分
災害後	2020年7月4日13時13分
オフナディア角	50.5°

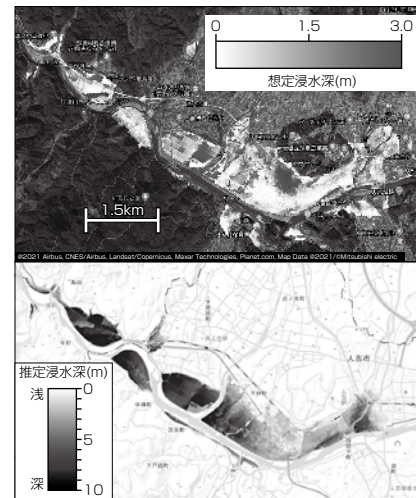


図6. 浸水深推定結果と国土地理院の推定浸水深分布

上に示す。また比較のため、国土地理院が2020年7月4日までに収集したSNS画像、航空写真とDEMを用いて作成した段彩図を図6下に示す。データ取得時間に差があるものの、この開発で求めた浸水域は国土地理院の推定浸水範囲を概ねカバーしていることが確認できた。

3.4 今後の計画

浸水深推定の更なる高度化のため、その他のGIS情報や当社家電等のIoT機器から抽出できる地上情報を浸水把握に活用する検討を行い、より幅広いユーザー層への訴求とサービス提供を目指す。

4. むすび

当社が取り組む観測ソリューション技術について述べた。また今回述べた技術以外の解析事例も含めて当社サイトに掲載している⁽⁴⁾。今後は衛星データを顧客が活用しやすい価値あるソリューションサービスとして提供することで、利用拡大を推進する。

参考文献

- (1) ARII, M. : Sensitivity study of ALOS-2 data to floodwaters in Joso City in 2015 and its application, Journal of The Remote Sensing Society of Japan, **38**, No.4, 325~336 (2018)
- (2) 宇宙航空研究開発機構衛星利用運用センター, ほか: 災害時の人工衛星活用ガイドブック 水害版・浸水編 (2018) <http://www.mlit.go.jp/common/001227723.pdf>
- (3) Kurihara, K. : Flood depth estimation via SAR satellite analysis using prior knowledge of flood hazard mapping, IGARSS (2022)
- (4) 三菱電機㈱: 衛星観測ソリューション <http://www.MitsubishiElectric.co.jp/society/space/solution/>