

リモートセンシング技術の展望と実務利用における期待

Prospects of Remote Sensing Technology and Expectations for Practical Applications

今西 将文¹⁾, 伊達 裕樹²⁾



1) Masafumi IMANISHI, 副参与, (株) ウエスコ技術推進本部, m-imanishi@wesco.co.jp

2) Yuki DATE, 地盤調査課長, (株) ウエスコ鳥取支社, y-date@wesco.co.jp

近年, 異常気象や自然災害の頻発化に伴い, リモートセンシング技術が地盤調査や防災分野において注目されている. この技術は, 衛星や航空機に搭載された光学センサやマイクロ波センサなどを用いて地表面の形状や変状, 物性などを遠隔から観測する. 特に, 合成開口レーダー (SAR) は, 地表面の変位を面的に把握できることから, 地盤沈下や変動の監視に有効である. 近年では, 衛星データの無料公開やドローンの普及により, データの入手も容易化してきた. また, 専用ソフトウェアの他にも汎用 GIS や PC の性能向上で, 様々なデータを統合的に解析できる環境も整ってきた. 今後, 衛星コンステレーションの整備が進み, より充実した観測データが入手できれば, 地盤変動の長期的な監視や災害発生時の迅速な状況把握など, 様々な安全・防災上の課題解決が期待できるため, 地盤工学分野の実務において, リモートセンシング技術の導入を積極的に推進していく必要がある.

キーワード: リモートセンシング, 土砂災害, 地盤変動, 地盤沈下, スクリーニング, SAR
(IGC : B-03, C-01, C-07)

1. はじめに

近年, 異常気象や自然災害の頻発化, 地方における人口減少と担い手不足といった社会課題が深刻化してきており, このような状況下において, Society5.0 の実現に向けた動きが加速し, DX や宇宙関連技術, センシング, モニタリング, デジタルツインといった技術が注目を集めている. 中でも, リモートセンシング技術は, 以前よりも身近な存在となり, 地盤調査や防災分野における実務への応用が期待されている.

リモートセンシングは, 人工衛星や航空機などから観測したデータを用いて, 地表面の状態を非接触かつ広範囲に把握する技術である. 従来は, 専門的な知識や高価な機器が必要とされ, 一部の研究機関や企業に限られた利用が主であったが, 近年は, 衛星のオープンデータを公開するプラットフォームやドローンの普及により手軽にデータを入手できるようになってきた. そして深層学習をはじめとする AI 技術の発展により, 高度な解析から抽出・判定作業を自動化しようとする試みも見られる¹⁾.

また, PC 性能の向上, 地理情報システム (GIS) や画像処理ソフトウェアの機能向上に加え, 解析ソフトの汎用化により, 様々な種類のデータとリモートセンシングデータを統合的に扱える環境が整いつつある. これによって, リモートセンシングデータを活用した新たな分析手法やサービスの開発がさらに進み, 地盤調査や防災分野における実務への応用が広がることが期待される.

本稿では, 地盤工学分野の実務に携わる現場技術者の

視点から, リモートセンシング技術の現状と将来展望について考察する.

2. 地球観測センサ

2.1 主なセンサの種類

地表を観測するセンサは, 大きく分けて光学センサとマイクロ波センサに分類される. それぞれに, 対象物から放射される電磁波を受動的に観測する受動型と, 自ら電磁波を放射してその反射波を受信する能動型が存在する. 具体的なセンサの種類としては, イメージャ, サウンダ, 分光計, ライダー, マイクロ波放射計, 合成開口レーダ (SAR), 降水・雲レーダなどが挙げられる.

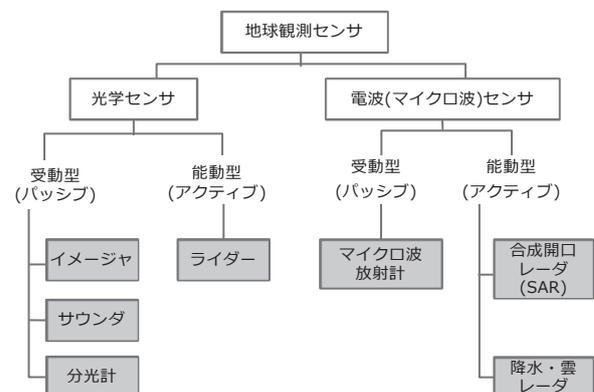


図-1 主な観測センサの種類²⁾

2.2 センサは何を見ているのか

地球観測センサは、図-1 に示す通り様々な種類のセンサから構成され、それぞれの特性を活かして、気象、海洋、地表など、多岐にわたる分野の観測に利用されている。特に、地表を観測対象とする場合には、以下のセンサがよく用いられる²⁾。

2.2.1 イメージャが測るもの

イメージャとは、いわゆるカメラであり、高解像度のレンズやセンサを搭載した衛星が、数十 cm クラスの細かな写真画像を撮影する。観測波長は可視光線(RGB)のほか、近赤外線(NIR)に対応するものも多く、ドローン搭載型の安価な製品もある。さらに複数の波長帯の光を同時に捉える方法として、複数のフィルタやセンサを組み合わせ、10チャンネル程度の波長を記録するマルチペクトルセンサや、分光器を用いて100以上の狭い波長帯に分離するハイパースペクトルセンサを搭載した衛星も存在する。物質はそれぞれ固有のスペクトルを持つため、ハイパースペクトル画像を解析することで、物質の特定や定量的な分析が可能になる³⁾。

2.2.2 ライダーが測るもの

ライダー (LiDAR) とは、Light Detection And Ranging の略で、レーザー光を対象物に照射し、その反射光を受光することで対象物までの距離を測定する技術である。通常、GNSS (Global Navigation Satellite System) や IMU (Inertial Measurement Unit) と組み合わせて航空機やドローンに搭載され、これらの3つの計測技術を統合することで、レーザー反射点群の水平位置 (x,y 座標) を概ね±30cm、高さ (z 座標) を±15cm 程度の精度で決定する⁴⁾。

2.2.3 合成開口レーダ (SAR) が測るもの

SAR (合成開口レーダー) は、衛星からマイクロ波を照射し、地表面で後方へ散乱して跳ね返って来た波を観測する技術であり、この観測によって得られる情報は、後方散乱波の強度と位相の2つである^{5,6)}。

衛星から照射されたマイクロ波は、地表面で様々な方向に散乱する。このうち、衛星に跳ね返る部分の強度は、次の三つの要因で変化する。一つ目は、地表面の粗度である。地表面が滑らかならば、マイクロ波は鏡面反射して衛星に戻ってくる量は少なくなり、逆に、地表面が粗いと、様々な方向に散乱して、戻ってくる量も増える。二つ目は、地表面の誘電率である。物質によってマイクロ波を反射したり吸収したりする度合いが異なる。地表面の土壌、植生、水などによって後方散乱波の強度が変わる。三つめは、マイクロ波の入射角であり、地表面に当たる角度によっても散乱波の強度は変化する。このように、後方散乱波の強度の変化は、地表面の状態を反映することから、例えば、森林が密生している箇所ではマイクロ波は散乱されやすく、その強度は強くなり、草地では相対的に弱まる。また、作物の種類で誘電率が異なるため、その差異で作物の種類を識別できる場合もある。土壌水分量によっても誘電率が変化するため、乾燥地と湿地を区別、あるいは湖面・水域を特定できる。

また、マイクロ波は波であることから、ある一定の周期で振動しており、この振動の様子を位相と言う。そして、衛星のアンテナから反射体までの距離が長くなると、マイクロ波が進む時間が長くなり、位相が変化する。さらに、地表面の形状や物質によっても、マイクロ波の散乱の仕方が異なり位相に影響を与える。異なる二時期に同じ位置にある衛星から照射されたマイクロ波の位相差を精密に測定することで、衛星から地表面までの距離の変化を検出することができる。

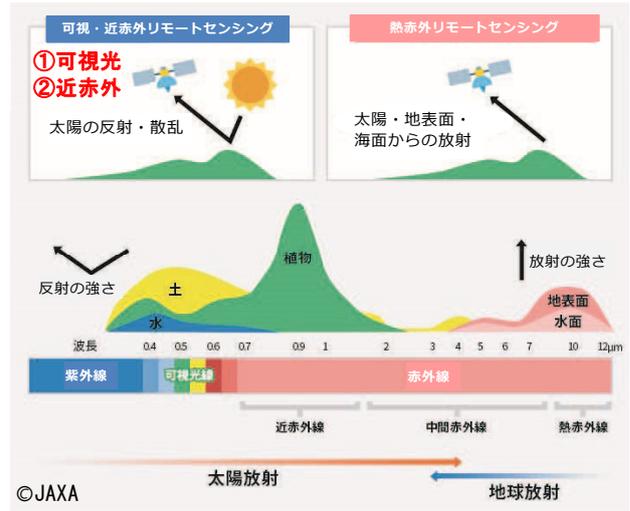


図-2 イメージャが測るもの³⁾

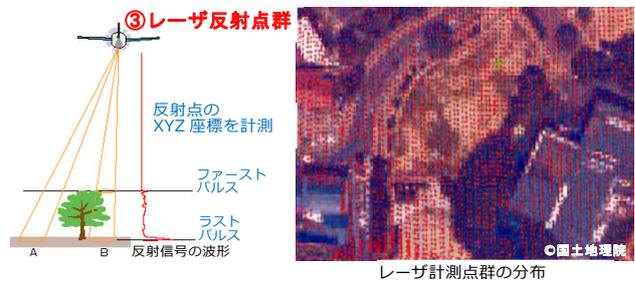


図-3 ライダーが測るもの⁴⁾

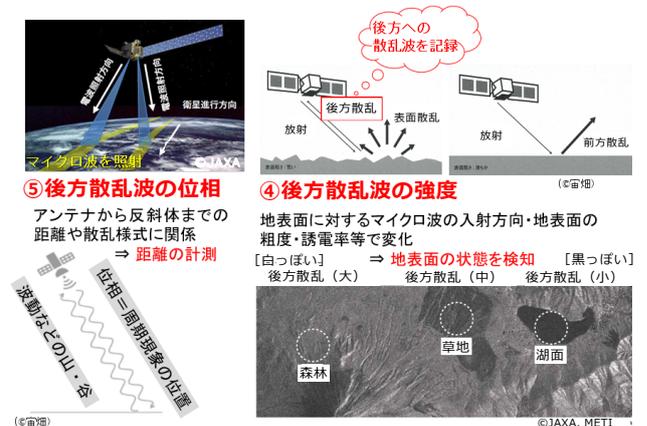


図-4 合成開口レーダ(SAR)が測るもの^{5,6)}

3. 観測データから地表の変化を解析する手法

各種センサが観測する、可視光バンド、近赤外バンド、レーザ反射点群、マイクロ波の後方散乱位相および強度に関するデータを用いて、写真画像の比較、植生指数 (NDVI) の差分、デジタル標高モデル (DEM) の差分、合成開口レーダ (SAR) 画像の強度差分、干渉 SAR (InSAR) 解析によって地表に生じた変化を解析する手法を示す。

- (1) 写真画像の比較による手法は、異なる二時期の光学写真画像を目視比較して、その差異を判別する。この際に用いる写真は、オルソ補正 (中心投影の空中写真から、写真上の像の位置ズレを補正する正射変換) 済み画像が望ましい (図-5 参照)。
- (2) 植生指数 (NDVI) は、植物の赤および近赤外バンドの反射特性を捉えて、活性度の高低を+1~-1 の範囲で表す。二時期の差分をとると、例えば、NDVI が従前より低下している場所は、盛土行為に先行する森林伐採、植生部への土砂被覆、植生が消失した土砂崩れ箇所を示す。ただし、季節が違えば植生の盛衰が NDVI 値を増減させる要素となるので、画像の選定期間は留意が必要である (図-6 参照)。
- (3) デジタル標高モデル (DEM) は、ランダムに計測されたレーザ反射点群から、建物や樹冠を含めた表層を抽出したものと、これらを除いた地表面のみをフィルタリングした点群を、均等な格子間隔で再サンプリングした数値表層モデル (DSM) ならびに数値地形モデル (DTM) の総称である。災害前後の DTM の差分をとることで、崩壊発生箇所と土砂堆積区間の特定や地形形状の変化を可視化できるほか、流出土砂量を算定することができる (図-7 参照)。

- (4) SAR 画像は、後方散乱の強弱を白黒で表した画像である。特定の事象を挟んだ異なる二時期の SAR 画像から差分を得るには、前時期の白色を赤色に置き換え、後時期の白色を青色と緑色に置き換えた画像をカラー合成する。すると、災害等で斜面崩壊や浸水・湛水が起った場所は、従前と比較して反射強度が弱まっており、このような場所は赤色になる。一方、土砂流出域や漂流物が滞留した場所は反対に反射強度が強まりシアン色で現れる (図-8 参照)。

- (5) 干渉 SAR (InSAR) 解析は、地表の変動を高精度に測定する技術である。同じ地点を同じ軌道から異なる時期に観測した SAR データを収集し、2 つの観測データを比較して位相差を算出すると、この差は地表の変動量に対応している。変位の大きさと方向を視覚化するために、位相差から干渉画像 (インターフェログラム) が作成される。この画像はその地点の位相差に応じて 0°→水色、60°→青色、180°→赤色へと割り当てていくと 360°で水色に戻り、衛星から見たその地点が 1 波長分の変化を起こした地点だということを表現する。SAR 衛星のマイクロ波が L バンド

の場合、その波長は約 24cm なので電波の往復行路を考慮して片道に直すと 360°の位相差は半分の約 12 cm の変動を表す。この縞模様の繰り返しを、位相差 0°で変動が生じていない場所から積み上げて数えていく操作 (Phase unwrapping) をすることで、変位の総量が広域に分かる (図-9 参照)。

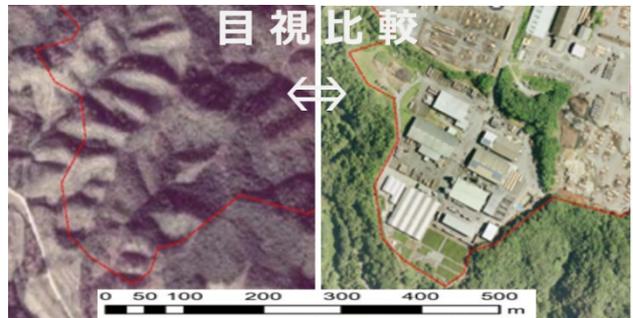


図-5 写真画像 (オルソ補正済み) の比較

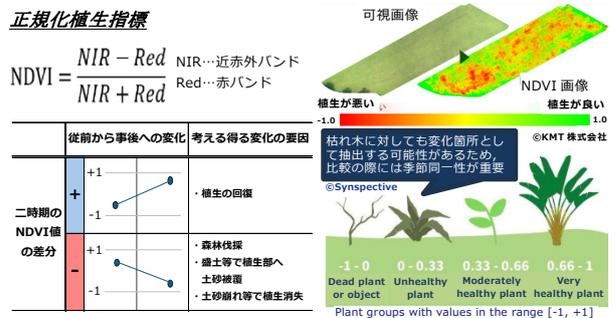


図-6 植生指数 (NDVI) の二時期差分 (7)

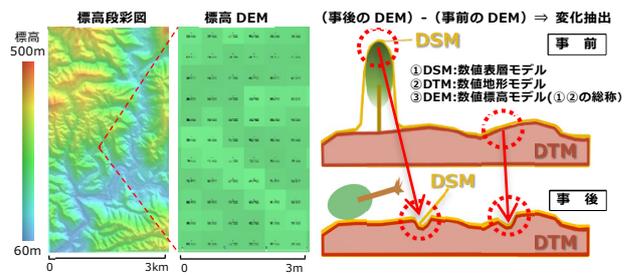


図-7 デジタル標高モデル (DEM) の二時期差分

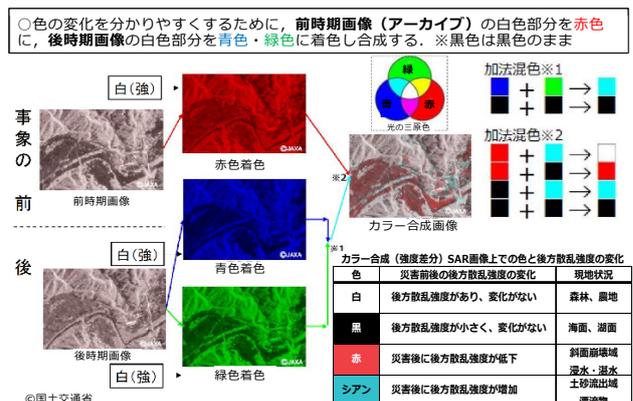


図-8 SAR 画像 (後方散乱強度) の二時期差分 (8)

4. 常時および災害時の適用事例

4.1 データの種類と期待される取得間隔

衛星データのアーカイブが検索できるサイトを(1)～(4)に例示する。Sentinel シリーズは ESA (欧州宇宙機関) が運用するオープン&フリーの地球観測衛星で、光学衛星・SAR 衛星ともにそれぞれ 5 日と 6 日 (12 日) ※3 毎のデータが入手できるが、観測データの空間分解能はそれぞれ 10m 四方と 5m×20m で比較的粗い。光学衛星で、Airbus 社の SPOT や Maxar 社の World View は有償ながら空間解像度は 1.5m 四方と 0.3m 四方となり、回帰日数は 1 日あるいは 2 日程度とされているが、アーカイブサイトで検索してみると、欲しい場所のデータが必ずしも高頻度で揃ってはいない。SAR 衛星について、ALOS-2 は JAXA が運用する有償の国産衛星であり、干渉解析が可能なデータセットは 4 回/年程度しか得られないが、災害時には緊急観測が実施されることがある。

現在、数多くの衛星が稼働しているが、災害発生時の任意のタイミングでリアルタイムなデータを取得することは困難である。通常は、災害前後で最も近いタイミングのデータを探したり、過去の類似の季節におけるデータと比較したり、連続的な観測データの蓄積を待つといった対応が一般的である。航空レーザ測量においても、フライト時の天候条件や、データ処理におけるフィルタリングなどの工程に伴う遅延が避けられない。また、比較対象として重要な過去の DEM が未整備な場合ある。

- (1) Sentinel | <https://scihub.copernicus.eu/>
- (2) SPOT/Pleiades | <https://www.satim.co.jp/satellite/>
- (3) Maxar/Airbus/Planet | <https://landinfo.com/>
- (4) ALOS-2 | <https://gportal.jaxa.jp/gpr/>

4.2 常時における適用事例

リモートセンシングデータの常時利用を想定した 2 つの事例について紹介する。

図-10 は、日本海に面する平野部において、地盤変状箇所のスクリーニングや変状履歴の予察を行った事例である。ALOS-2 が 2014 年から 2021 年までの 7 年間に観測した 24 シーンの降交軌道データをもとに、時系列 In-SAR 解析を実施した。時系列 In-SAR 解析には PS-InSAR (Permanent Scatterers InSAR) 解析と、SBAS (Small Baseline Subset) 解析がある。前者は、建物や道路など、衛星からの電波を安定して反射する箇所 (永久散乱体) に着目し、長期間にわたる地盤のわずかな変動を高精度に計測する手法である。一方、後者は、短い観測間隔と垂直基線長を持つデータペアを用いて広範囲の地盤変動を効率的に把握する。本事例における解析手法は PS-InSAR である。全観測データの中で、他データとの組み合わせにおいて観測時期と垂直基線長が平均的となるデータをマスター画像としてデータの接続を自動決定する (図-10(a) 参照)。次に、全てのペアで干渉解析

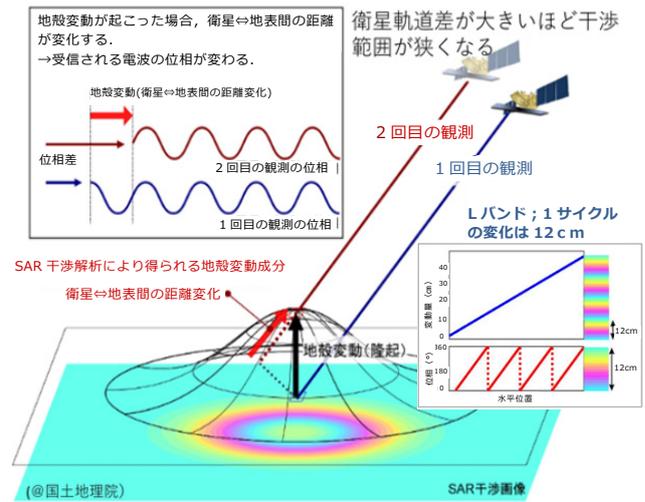


図-9 干渉 SAR (InSAR) 解析⁹⁾

を実施して (図-10(b) 参照)、干渉画像から安定した散乱体 (Persistent Scatterers, PS) を選定し、PS 点に対して位相アンラッピングを行って変位量を推定する (図-10(c) 参照)。なおこの時の変位量は、衛星からの視線方向に対する成分である。図-10(c) を俯瞰すると、衛星の視線方向から遠ざかる青色の箇所が散見され、これらの箇所は宅地造成箇所や道路盛土と BOX、沖合の波消ブロックに該当し、沈下が懸念される。図-10(c) の範囲からは外れるが、河道付替工事の軟弱平野部の沈下履歴を図-10(d) に示す。河道脇の道路 (図中①②) と無人駅前 (③) から家屋密集エリア (④) とともに一貫して沈下が進行していたことが分かる。地層断面図によれば厚さ 20m 程度の超軟弱地盤が同様の厚さで谷の横断方向に分布しているが、家屋密集エリア (④) の沈下速度 (-160mm/7 年) が無人駅前 (③) のそれ (-30mm/7 年) 5 倍程度に達しているのは、交通や群衆による荷重の多寡が影響しているものと推察される。

図-11 は、濃尾平野における地盤沈下の観測を、従来の水準測量と SAR 解析による手法とを比較した事例である。本事例では、オープンアクセス衛星 Sentinel-1 の概ね 2017 年から 2022 年頃までの観測データをもとに、様々な手法とパラメータによる解析が行われた。具体的には、PS-InSAR 法と SBAS 法の 2 つの干渉 SAR 解析手法を比較した。空間分解能についても 15m と 30m の 2 パターンの解析結果があり、さらに昇交軌道と降交軌道の解析結果を組み合わせることで、地表の水平方向と垂直方向の変動を分離する 2.5 次元解析を行い、水準測量の成果と比較した。その結果、空間分解能 30m の SBAS 法による 2.5 次元解析 (図-11(b) 参照) が他の解析結果と比較して、得られた解析結果の数、散布図の標準偏差、最大格差において最も優れていることが分かった。水準測量との比較では、年間変位量の標準偏差および最大格差がともに 0.5cm/year を下回る結果が得られた。

表-1 リモートセンシングデータの種類と期待される取得間隔のイメージ

センサ種別 衛星名	分解能		取得費用	データ取得タイミング(通常時)						データ取得タイミング(緊急時)						解析手法
	時間(撮像間隔)	空間(ピクセル)		1月	2月	~	11月	12月	1月	2月	~	11月	12月			
光学センサ																
Sentinel-2	5日	10m	無償	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
SOPT	1日	1.5m	有償	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
WorldView	2日	0.3m	有償	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Laser Profiler ※1	任意	0.5m ※2	有償	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
マイクロ波センサ																
Sentinel-1 (Cバンド)	6日 ※3	5×20m	無償	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
ALOS-2 (Lバンド)	4回/年 ※4	3m	有償	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
COSMO-SkyMed (Xバンド)	16日	1m	有償	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

※1:航空機に搭載されたものが一般的、※2:流通実績が多いものとして、※3:三機体制のうち一機故障中に付き現在は12日、※4:災害等は緊急観測が実施されること有り

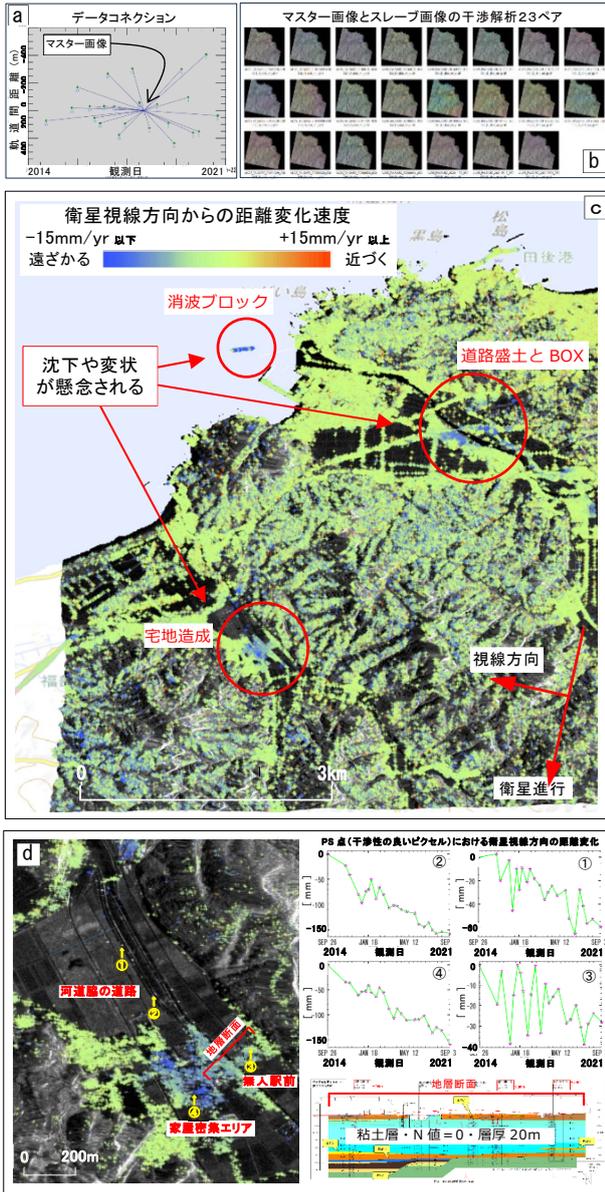


図-10 変状箇所のスクリーニングや履歴の予察事例

4.3 災害時の適用事例

図-12は、令和5年8月の台風7号豪雨により、鳥取市河原町で発生した土石流の痕跡を各種のデータと解析方法で検出を試みた事例である。図-12(a)は、発災2ヶ月後とその12ヶ月前のSPOT衛星画像であり、誌面上での縮尺は凡そS=1/28,000程度である。崩壊起点部の幅は約60mで、土石流は延長L=1,750mに渡って流下してい

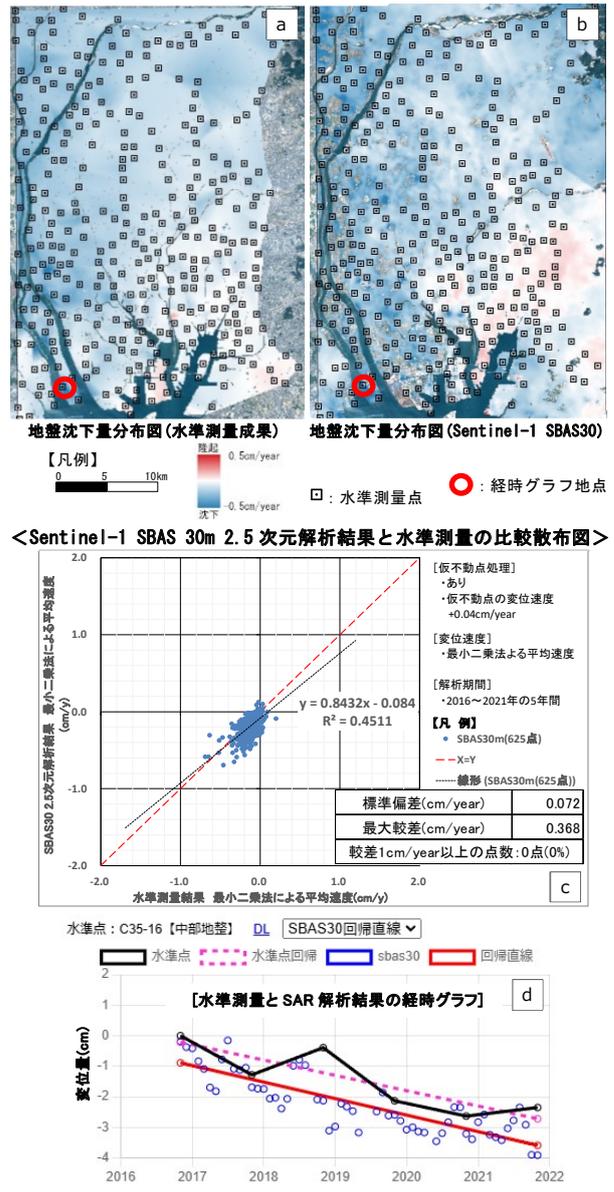


図-11 水準測量とSARによる上下変動測量の比較事例

る。衛星分解能は1.5mながら痕跡は目視でよく識別することができる。図-12(b)は、図-12(a)のSPOT衛星による発災後のNDVI画像と発災前後のNDVI差分画像である。後者からはNDVIの低下領域が、土石流の流下により植生が失われた場所として検出できている。この時の閾値の調整には留意が必要である。図-12(c)は、発災同月に計測した航空レーザ測量によるDTM(数値地形モデ

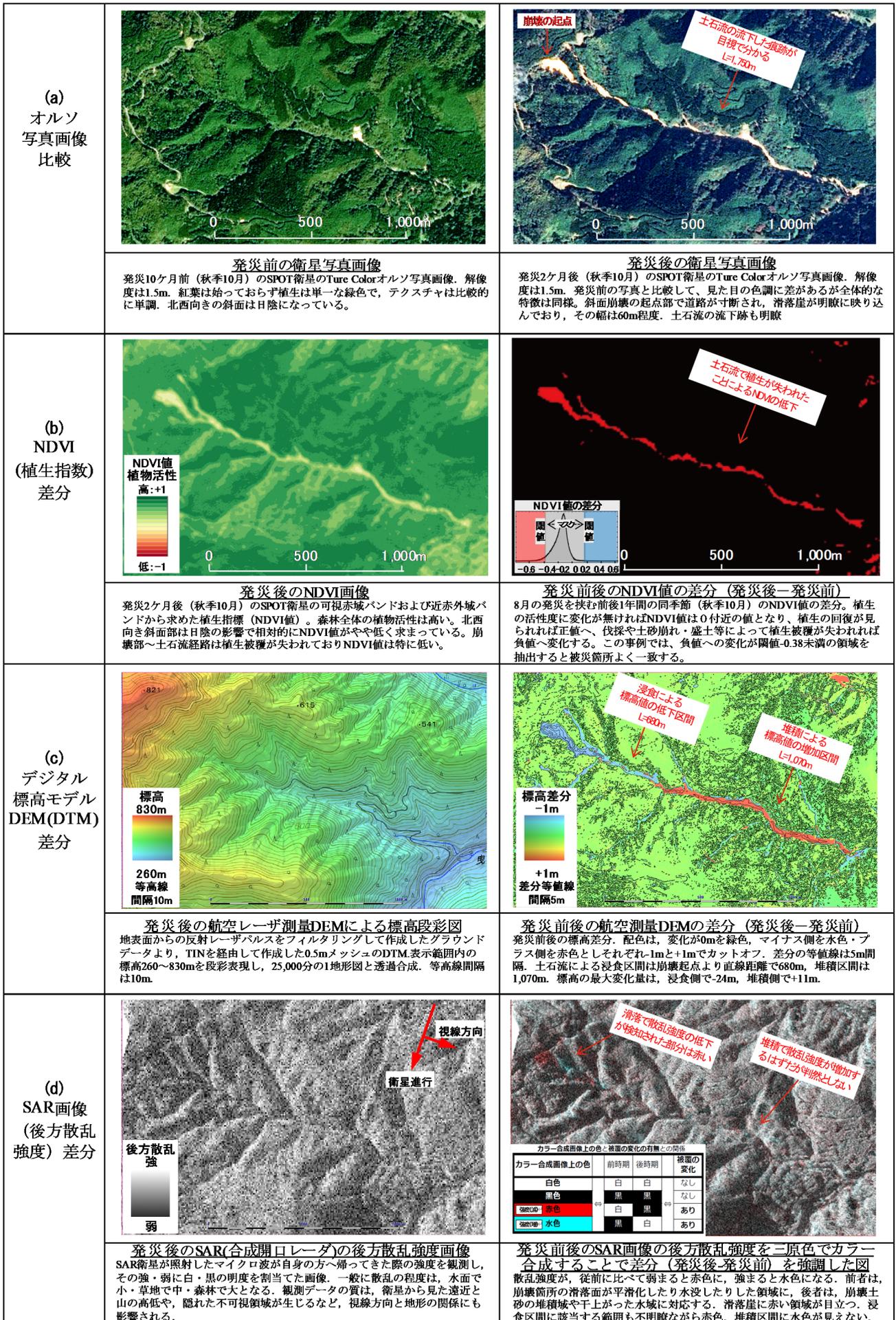


図-12 土砂災害発生箇所抽出事例

ル) と、これより 21 ヶ月前の DTM との差分を標高段彩図としたものを示す。後者からは、発災前後で、標高が低下した浸食区間と逆に標高が増加した土砂堆積区間が高精度に識別できる。図-12(d)は、発災同日に緊急観測された ALOS-2 の SAR 画像(後方散乱強度)データと、これより 25 ヶ月前のアーカイブ画像とを二時期カラー合成して散乱強度の変化を色で表現したものである。散乱強度の低下は赤色で示され、今回の滑落崖と一致する結果が得られた。しかし、下流域の浸食区間では赤色が、堆積区間については水色の着色パターンが期待されたものの、明確な識別は困難であった。SAR 画像では解析をやっかいにする地物の倒れ込みや起伏の影(レイオーバー・シャドウ)による影響の他、電波の照射方向が観測結果に影響を与えることが知られており¹⁰⁾、今回の結果もその一例と考えられる。

5. 実務利用における現在地と今後への期待

地表を観測対象とする主なセンサ画像には、表-2 に示す通り、それぞれの特徴に強みと弱みが存在する。これらのセンサ画像は、視認性、気象条件、観測精度などに関して共通点と相補的な点があり、複合的に利用することで、インフラの保安全管理、防災・減災、環境モニタリング、農業など、幅広い分野において、より高精度な情報を網羅的に得ることができる。また、リモートセンシングデータの解析には、高度な機能を持つ専用のソフトウェアが利用される一方で、汎用 GIS もその機能を拡充しており一部のデータが取り扱えるものもあって、いずれも汎用的な PC 上で動作させることができる。代表的なソフトウェアの特徴、およびそれぞれの強みと弱みは表-3 の通りである。リモートセンシングデータの実務利用を前提としたマニュアル類としては表-4 に示す通り、近年、特に SAR に関するものの発行が相次いでいる。

一方、地上観測の回数とデータ入手の機会に関しては、飛躍的な増加が期待されている。その背景には、近年注目を集めている「衛星コンステレーション」の存在があり、小型衛星の打ち上げコストが大幅に低下したことで、多数の小型衛星をネットワーク化し¹¹⁾(図-13 参照)、地球全体を高い頻度で観測することが現実的になってきた。これにより、大型衛星と小型衛星がそれぞれの強みを活かし、より効率的な地球観測システムが構築される方向にある。国内においても、この流れは加速しており例えば、ALOS-4 は年間 20 回の干渉可能なデータの取得機会を提供する¹²⁾。QPS 研究所は 10 分ごとのリアルタイム観測を目指すとし、Synspective は 2020 年代後半には 30 機の衛星体制を構築し、2 時間以内の観測を実現する計画としている^{13,14)}。さらに、複数の企業や機関が運用する人工衛星を仮想的に一つの観測網として利用する「バ

ーチャルコンステレーション」や、衛星の観測計画を自動的に最適化する「スマートタスキング」といった技術開発も進んでおり、より柔軟かつ効率的な地球観測が可能となることが期待される^{15,16)}。

反面、膨大な量の衛星データを入手できるようになることで、その解析には人的な限界が生じることが予想される。これに対して、AI を活用したスクリーニングや判別の効率化がこの課題を解決し、新たな知見を迅速に得るための鍵となり得る。例えば、近年問題となっている違法盛土等の課題に対して、我々は SAR 画像と AI を組み合わせた地表変化の兆候を早期検知する仕組みの開発に着手している(図-14 参照)。今後、この技術をさらに発展させることで、より広範囲な地域での監視が可能となり、様々な分野への応用が可能になるものと考えられる。

表-2 地表を観測対象とするセンサの強み弱み

	ライダー計測図	光学画像	SAR画像
強み	・樹冠下の地表面を計測可能 ・距離や形状の定量表現が可能 ・変化の検知が得意	・視覚的に理解しやすい ・植物の活性など視覚以外の情報も取得可能	・雨や曇りに比較的強い ・夜間でも観測可能 ・変化の検知が得意
弱み	・可視化に数値処理が要る ・既存アーカイブが少ない	・雨や曇時は情報の取得困難 ・撮影条件異なると解析精度が落ちる	・可視化に数値処理が要る ・解析解釈に専門知識が必要 ・撮影条件異なると解析困難

表-3 リモセンデータを扱える汎用ソフトの例

ソフト名	主な特徴	強み	弱み
ArcGIS	世界的に普及しているGISソフト、画像処理機能も充実	強力なGIS機能、多様なデータ形式に対応	高価格、学習コストが高い
QGIS	オープンソースのGISソフト	無料で高性能、コミュニティが活発	商用ソフトウェアに比べて機能が不足する場合もあり
ERDAS IMAGINE	光学衛星画像の解析、空間モデリングに優れたソフト	直感的な操作性、GISとの連携が容易	高価格、学習コストが高い
ENVI/SARscape	豊富な衛星スペクトル画像処理、SAR解析オプション有り	多様なセンサーデータに対応、カスタマイズが可能	高価格、学習コストが高い
SNAP	欧州宇宙機関が開発したオープンソースのSAR解析ソフト	SAR解析に特化、無料	GUIがやや使いにくい、対応データは限定的
Google Earth Engine	クラウドベースで膨大な蓄積データが利用可能	Googleアカウントで登録してWebベースですぐに利用可能	無料枠の制限有り、カスタマイズには要プログラミング

表-4 SAR 技術の実務利用に向けたマニュアル類

資料名	発行年月	編集・発行
地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル	平成29年3月	環境省
災害時の人工衛星活用ガイドブック(水害版・衛星基礎編)	平成30年3月	JAXA,国土交通省
災害時の人工衛星活用ガイドブック(土砂災害版)	平成30年3月	JAXA,国土交通省
合成開口レーダ(SAR)画像による土砂災害判読の手引き	令和2年4月	国土交通省 国土技術政策総合研究所
合成開口レーダ(SAR)の道路土構造物の維持管理への活用マニュアル(案)	令和3年7月	東京大学、基礎地盤コンサルタンツ(株)
合成開口レーダ(SAR)衛星を活用した山地災害判読ガイドブック	令和4年度	林野庁
中山間地域等直接支払制度における衛星画像を用いた現地調査実施マニュアル(令和4年度改訂版)	令和5年1月	(一財)リモートセンシング技術センター
ALOS-2/PALSAR-2データを利用した森林伐採検知の推奨手順とその行政利用の手引き	令和6年2月	(国研)宇宙航空研究開発機構、(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所、茨城県
衛星SARIによる上下変動測量マニュアル	令和6年6月	国土交通省 国土地理院

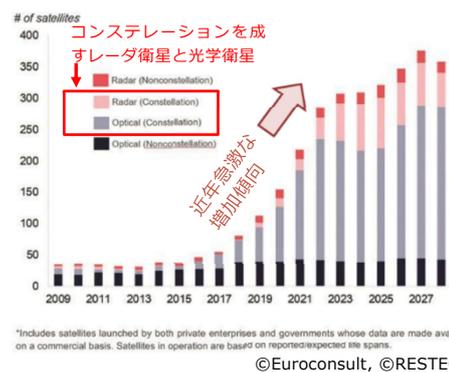


図-13 小型人工衛星の打ち上げ動向¹¹⁾

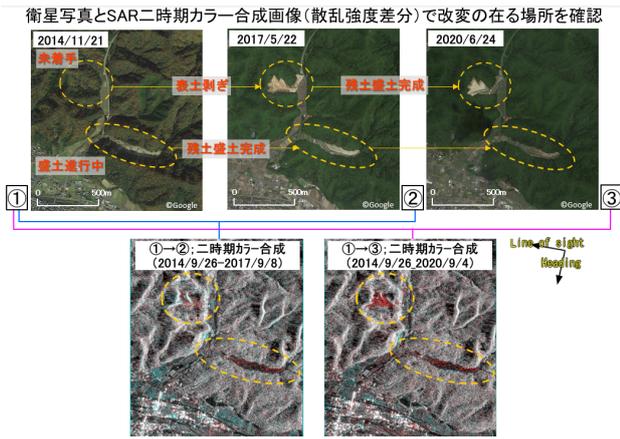


図-14 SAR 画像から盛土箇所を特定できるようにするための AI アルゴリズムの開発を目指す

6. まとめ

PC や解析ソフトの性能向上と充実したデータが入手しやすくなることで、リモートセンシングは組織の規模を問わず利用可能な技術となり、地盤工学分野においても、多様なデータに基づく高度な解析が可能となる。今後も技術革新は加速し、衛星技術は地盤変動の監視や災害リスクの評価をはじめとする、防災や社会課題解決への貢献が期待されるなど、様々な分野で不可欠な要素となるはずである。故に、将来を見据え、実務への導入を積極的に推進していくことが必要と考える。

謝辞

岡山大学西山哲教授ならびに鳥取大学中村公一准教授には、本稿の執筆あたって有用な示唆と議論を頂いた。愛知県からは、水準測量と SAR による上下変動測量の比較事例に関して業務成果の一部を使用させて頂いた。鳥取県からは、レーザ測量 DEM データを貸与頂いた。各位に対し、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Xiao Xiang Zhu, Devis Tuia, Lichao Mou, Gui-Song Xia, Liangpei Zhang, Feng Xu, Friedrich Fraundorfer.: Deep Learning in Remote Sensing: A Review, IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING MAGAZINE, Vol.5, No.4, pp8-36, 2017
- 2) JAXA 衛星利用運用センター 村木 祐介 : CONSEO もくもくスクール 2023 リモートセンシング概論, https://earth.jaxa.jp/conseo/news/20231225-1/document_6.pdf, (参照 2024.11.1).
- 3) JAXA:地球観測衛星の基礎知識, https://earth.jaxa.jp/files/eo/EO_Basic_knowledge.pdf, (参照 2024.11.1).

- 4) 国土地理院 : 航空レーザ測量入門, p.23, 2004.
- 5) Tellus:干渉 SAR (InSAR) とは-分かること, 事例, 仕組み, 読み解き方-, <https://sorabatake.jp/4343/>, (参照 2024.11.1).
- 6) JAXA 衛星利用運用センター 平林毅:海氷情報センター開設 50 年記念イベント宇宙から見た海氷観測, https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN1/drift_ice/50_koen/utyukaramita_kaihyoukansoku.pdf, (参照 2024.11.1).
- 7) İsa Avcı, Emin Farzaliyev, Elif Kabullar.: Classification of Lands of Remote Sensitive Data by NDVI Method in Smart Agriculture, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLVI-4W5, pp.73-77, 2021.
- 8) JAXA, 国土交通省 : 災害時の人工衛星活用ガイドブック土砂災害版, p.19, 2018.
- 9) 国土地理院: 干渉 SAR の基礎・原理に関する質問, https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/gsi_sar_faql.html, (参照 2024.11.1).
- 10) 鈴木大和・松田昌之・野村康裕・中谷洋明 : SAR 画像の後方散乱強度変化による土砂災害調査手法の適用, 土木技術資料, Vol.61, No.12, pp.16-19, 2019.
- 11) 一般財団法人リモート・センシング技術センター: 衛星画像の最新動向 (サブスク・小型・SAR など), https://www.restec.or.jp/about/pdf/saiga_RESTECforum2021.pdf, (参照 2024.11.1).
- 12) JAXA : 先進レーダ衛星「だいち 4 号」(ALOS-4), https://www.jaxa.jp/projects/sat/alos4/index_j.html, (参照 2024.11.1).
- 13) 株式会社 QPS 研究所: プロジェクト, <https://i-qps.net/>, (参照 2024.11.1).
- 14) 株式会社 Synspective: SAR 衛星コンステレーションが可能にする未来, <https://synspective.com/jp/satellite/strix-constellation/>, (参照 2024.11.1).
- 15) 衛星地球観測コンソーシアム : 「ヴァーチャルコンステレーション」実現による衛星データビジネスの未来, https://earth.jaxa.jp/conseo/news/20240402-2/community_document_3.pdf, (参照 2024.11.1).
- 16) JAXA、株式会社 QPS 研究所、株式会社スペースソフト、三菱電機株式会社 : 大型・小型衛星の連携によるスマートタスキングの構想書, https://aerospacebiz.jaxa.jp/wp-content/uploads/2024/07/2024_kyousouprogram-tasking_kousousyo.pdf, (参照 2024.11.1).

(2024 年 11 月 30 日 受付)