

特定地点を観測する高分解能衛星について、1機あたり1周回で観測可能な関心域の数や、関心域について一回の通過で観測できる地点数は重要と考えられる。

商用高分解能衛星(Worldview, Pleiades等)はコントロール・モーメント・ジャイロ(CMG)を搭載してアジリティを高めており、1回の通過で多数の地点を高分解能で観測することが可能である<sup>2</sup>。31cm分解能のWorldView-3であれば、45度ポインティングしても、分解能は73cmである(別紙 2)。

これに対して小型衛星は、アジリティは高くなく、1回の通過で観測できる地点数は1-2点と考えられる。このため、20基のコンステレーションで監視可能な地点数は1日20か所に限定されることになる。

安全保障利用での、関心地点(拠点など)に対する監視要求は多いと考えられ、従来から商用高分解能衛星に対するニーズが高い。小型コンステレーション衛星は、分解能は劣るが(1m程度)高頻度に観測できるため、高分解能衛星で同定した対象物の変化(移動など)の把握など、補完的な目的で利用することが考えられる。ただし、光学衛星の観測は天候の影響を受けるため、確実に変化を捉えるのであれば合成開口レーダ(SAR)衛星が有利と考えられる。

またこれら局所的な観測だが高時間分解能(あるいは準リアルタイム動画観測)を必要とする要求に応えるため、静止軌道からの光学観測が研究されており、中国では高分4号に続き13号を打ち上げて分解能15m程度の常時観測が行われている<sup>3</sup>。JAXAにおいても災害観測および安全保障を目的とし、分割式大型望遠鏡を搭載した静止光学観測衛星が研究されている。ただし技術的な制約から静止軌道からのサブメータレベルへの高分解能化は難しく、高分解能観測については低軌道の小型コンステレーションや商用衛星との統合運用が必要である。

太陽同期軌道の周回衛星はグローバルな監視能力を有するが、通常、利用者の関心域は特定の地域に集中しておりローカルである。また、安全保障利用の場合データの利用は排他的であり共有できない。したがって、利用者がグローバルな観測能力を有する衛星システムを保有しても、自らの関心域に限れば観測能力が不足するため、それを補うために商用衛星を活用していると考えられる。なお、米国政府は有事にシャッターコントロールを行って自国衛星の画像の提供を制限する必要があるため、安全保障目的の場合は商用衛星だけで自在性を確保することができず、我が国自ら、政府衛星、民間衛星の両面で衛星を保有・運用することが経済安全保障上、必要になる。

その一方で、我が国で全ての衛星機能を抗たん性までを保証しながら維持するのは困難であり、同盟国・同志国との連携を進め、観測データの相互利用を進めるのも重要である。(ロシアの侵攻を受けたウクライナが西側諸国から衛星サービスの提供を受け、活用している。)

従来の高分解能衛星は、複数の安全保障ユーザが有する局所的なニーズに応えることによって、高価な衛星システムの維持・運営を行っている。(1機あたりの観測分解能、姿勢制御機能等が高く、その分1機あたり、1画像あたりのコストが高い。)超小型衛星は局所的な観測能力を衛星の数でカバーして利用者に提供している。(姿勢変更機能等は低いものの、衛星数が多いことで観測エリアをカバーする。また、機数が多いことで低額で高頻度な観測も利用できるため、高分解能衛星ほどの情報を必要としない利用分野において有効な観測手段となる。)

Planet社のDove衛星は分解能が低いものの(約4m)、世界中の陸域表面を概ね毎日1回観測しているため、観測要求を出すことなく任意の地表面の様子を過去にさかのぼって観測することが可能である。

世界的にロケットの打ち上げコストが減少する中、小型衛星の機数が増加し、小型衛星観測データの量は今後も増え続けていく。そのため、データから有用な情報とするための解析作業がボトルネックとなり、機械学習やAIといったデータ処理技術の開発が重要である。

## 1.2. ユースケースと衛星利用

### 関心地点の発見と監視(災害等)

南海トラフ地震のような大規模な災害が発生した場合、どの地域でどのような被害が発生しているかを的確に把握し、必要に応じて詳細な情報を獲得して防災機関等に提供することで、

<sup>2</sup> WorldView-2では進行方向と直交に300kmの視線変更に必要な時間は9秒である(別紙1)

<sup>3</sup> [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/gf-13.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/gf-13.htm)

迅速・的確な災害派遣等を行う事が可能となる。

このためには、まず広域を監視して発災個所を特定する手段が必要である。機数、機動性に優れる超小型衛星群を有効に活用する上でも、広域監視結果からさらにどこを観測するかを決定することが重要である。（広域観測によってエリアの絞り込みが必要）

JAXA の ALOS-3（光学衛星）や ALOS-4（レーダ衛星）のような広域監視能力は、こうした場合に必須となる。しかし機数（観測頻度）に限られることや、国内の民間コンステレーション衛星の発展から、広域観測と高頻度観測を分担し、官民共同による観測システムの検討が行われている。2022 年から開始された衛星地球観測コンソーシアム（CONSEO）では産学官でのこれら議論が行われており、ユーザとなる省庁もオブザーバとして参加している。

地震被害の場合、天候が良ければ日中の光学衛星による観測データは直観的で判り易く、防災機関等がただちに活用可能である。一方、夜間や荒天時は情報が得られないため、水災害の多い日本では初動の情報獲得手段としてレーダ衛星も重要である。

なお、前述の広域観測システムからのデータをマージし、迅速に被害域を特定するためには、膨大な広域の観測データ<sup>3</sup>を短時間で処理するための強力な解析能力が必要となる。（JAXA が防災機関向けに提供している防災インタフェースシステムは 3 シーンの処理時間で時間を規定（1 時間）しており、南海トラフ被害域に対してはかなりの時間を要すると考えられることから、スーパーコンピュータの活用についての検討を開始した。）

被害域が特定できたところで、より高分解能な衛星（小型コンステレーション衛星等）に監視対象を割り振って観測することになる。ただし、レーダ衛星の場合、被害前後画像を比較することで状況を把握するため、初見の画像を提供されても情報を把握することは困難であり、発災前に予め同じ観測条件（入射角等）で観測された被災前画像が必須である。（平時の情報を蓄積する必要がある）

被災地域毎に観測データが得られた場合、光学衛星は判読可能が容易であるため、画像を内閣府防災、国交省（TEC-FORCE）、防衛省（FAST-Force）、地元自治体に提供することが有効と考えられる。一方で、現場で迅速な判断に必要な情報（倒壊家屋の件数、被災者数、等）変換して提供することも重要であるが、現在は十分と言えない。衛星観測データから情報化技術の研究を推進するべきである。

大規模災害では、迅速に広域を分析する能力が必要になることから、AI 等を活用して自動的に分析・提供する能力が必要になる。

#### 関心対象の発見と監視（海洋状況把握：MDA 等）

日本周辺の船舶の監視では、船舶が活動する区域を特定し、あるいは将来の動静を推定し、対象地域に監視能力（有人/無人航空機、船舶、ヘリコプター）を派遣することが必要となる。

夜間でも広域監視可能な合成開口レーダと AIS（船舶自動識別装置）受信機を組み合わせ、更に他の情報を活用することで漁船の位置等を推定することが可能となる。X バンドよりも C バンドあるいは L バンドといった長い波長の方が、荒れた海域での船舶の抽出に向いている。日本の L バンド SAR 衛星（ALOS-2 や ALOS-4）の広域監視能力は非常に有効と言える。

船舶位置の特定のためには一般に AIS が利用されており、衛星で収集した商用データも入手可能であるが、日本海、東シナ海、南シナ海（地政学的に我が国にとって注意を要する海域）のような船舶過密域では電波が輻輳して正確な情報を獲得することができなかつた。これに対し、DBF（Digital Beam Forming）技術などの活用により電波輻輳を低減する研究および実装を JAXA の ALOS-4 衛星において計画されている（SPAISE-3）。また、ALOS-2/ALOS-4 では、AIS データとレーダ画像を同時に観測・解析することで、SAR と AIS の複合的な情報利用により、AIS 信号を発生している通常船舶や、発生せずに航行する要注意船舶などの識別が可能となってきている。AIS データ、SAR データそれぞれは商用で購入可能であるが、こうした監視活動に有益な情報を獲得することができない。

なお、AIS 信号を出さない船舶も、AIS 以外に送信する電波を衛星で受信することで、船舶を検知する電波監視衛星による情報も外国企業がサービスを開始している。

<sup>3</sup> 南海トラフ地震被害域を対象に、700km×70km をパンクロ（白黒）80cm、マルチ（カラー）3.2m で観測し、80cm 相当のパンシャープン画像（RGB）を合成すると約 230Gbyte。

そのため日本として、性能を高めた AIS 受信技術を SAR 衛星に適用することや、電波情報関連技術が重要である。

広域である海洋の監視においては、衛星が飛来して観測する 1 パスあたりでの観測可能面積が非常に重要である。SAR は能動センサであるため、使用する電力が大きくまた発熱により観測できる時間が制限される。その点において現在の小型 SAR コンステレーションは、関心領域の狭い観測には適するが、観測可能時間の短さから、広い領域の監視については大型 SAR 衛星にまだ及んでいない。海洋状況把握 (MDA) についてはしばらく大型の SAR 衛星による監視が有利である状況である。

また広域の海を監視した際にその観測データの殆どが何も無い海面であり、そうしたほとんど無駄なデータを衛星上に一時保有し、地上に通信すると、本来の観測要求を満たせなくなる。そのため、軌道上において、衛星内で船舶らしき信号の受信有無を確認し、該当の周囲観測データだけを位置情報と共にダウンリンクする機能が必要となる。そのためエッジコンピューティングの研究推進が必要である (JAXA において研究および実証計画中)。

さらに経済安全保障の観点では、我が国の輸出入の大部分 (重量ベースで 99%以上) を占める海上輸送が維持できるよう、重要なシーレーン等の監視を、合成開口レーダと AIS の組合せで行うことが有効である。内閣府宇宙開発利用加速化戦略プログラム (スターダストプログラム) で海上保安庁等が実施中の「衛星データ等を活用した AI 分析技術開発」はそのような能力確保に有効なものであるが、令和 6 年度末までの実施となっている。

#### 関心地点の監視 (防災)

日本は火山活動が活発であり、国内の活動中の火山については、ALOS-2 による観測データが火山噴火予知連絡会で分析され、火山監視に利用されている。SAR データを用いた干渉解析による監視は、山体の膨張・収縮等の現象を面で捉えることができるため、従来の地震計や傾斜計による観測を補完する情報として、政府の行う警戒レベルの変更判断等に活用されている。

ALOS-4 は広域観測能力を獲得したことで、監視頻度を向上することができるため、監視対象となる全ての火山を対象に定期的な観測を行えるようになる。

他国の商用 SAR 衛星は波長の短い X バンドを利用している場合が多いが、我が国は国土の 67 % が森林でおおわれており、X バンドでは植生のため電波が地表に届かず、地殻変動の監視を行うための十分な情報が得られない場合が多い。ALOS-2/ALOS-4 のような L バンド SAR 衛星は、我が国の国土に適した衛星と言える。

L バンド SAR 衛星の防災利用技術は日本の防災機関、研究機関、JAXA によって進められ、世界をリードしている。遅れて米国/インド、欧州、ドイツも L バンド衛星の開発や検討を実施中。

現状、SAR データの解析は人の手によるところが多い。地震災害や近年の線状降水帯で起こる広域の災害では、必要な情報を迅速に提供するための解析能力の準備が必要となる。

#### 関心地点の監視 (安全保障: 陸域)

あらかじめ、監視したい地点が定まっている場合、当該地点を繰り返し観測し、その変化を捉えることで相手方の活動 (の変化) を推定することが可能となる。このためには、陸海空の拠点 (車両基地、艦艇の母港、航空機の基地) を定期的に観測し、その変化を捉える能力が必要になる。

状況に応じて、時間軸の分解能の高い情報が必要とされ、より多くの衛星による情報が必要になると考えられる。ある程度以上の大きさの対象に対しては、JAXA において研究中の静止光学衛星が有効である。高分解能観測が必要な対象については、商用衛星等による高頻度観測結果が有効と考えられる。なお、確実に情報を得るためには天候に左右されないレーダが有利と考えられるが、視認性に劣るため、光学衛星で識別・同定した目標の動静をレーダで監視するといった使い方が想定される。

なお、毎日の観測頻度を上げるためには、同一面内に多数の衛星を配置することが有効であるが、1 日の中での観測頻度を上げるためには、複数の軌道面に衛星を配置することが必要となる。

小型衛星のコンステレーションでは、こうした観点から複数の軌道面に衛星を配置するものもある。

特定の地域に関心のある利用者から見ると、一定の性能を有するコンステレーションは多ければ多いほど有益であるが、衛星費用対効果については留意が必要である。

#### 平時の情報収集(テロ・災害等の脅威への対応)

我が国の活動範囲は世界に広がっており、我が国の国民に対するテロ・災害の被害は、いつ・どこでも発生し得る。2013年11月のフィリピン台風30号被害が発生した際は、我が国も災害派遣を行っているが、派遣場所を決定するためには現地の地形情報は必須である。このような状況に備えるためには、平時の情報収集は必須である。荒天であれば情報を収集することができないため、平時から情報を収集しておくことが必要である。また、レーダ画像では平時との比較で被災状況を評価するため、平時の情報収集が必須となる。

古くからある衛星企業(MAXAR, Airbus)の高性能衛星や最近のベンチャー企業のコンステレーションは、いずれも安全保障利用を柱としているが、前者は局所的(15km x 15km等)な高分解能(31cm~50cm)を1日1回、世界中の任意の地点に提供(ただし、観測可能な地点数は限定的)、後者は局所的(10km x 10km)な中分解能(1m~3m)を1日1回、世界中の任意の地点(ただし、観測可能な地点数は限定的)、もしくは世界中の地表面の情報を毎日低分解能(5m)で提供している。しかしながら平時の高・中分解能情報は必ずしも収集されていないことに注意を払うべきである。(ニーズ、事業性が高くないエリアは撮像されない)

安全保障や防災目的の定期観測、平時の情報の収集には、前項のような局所的な高分解能衛星や、小型衛星コンステレーションでは観測範囲が十分でないため、広域観測衛星(ALOS-3, 4)の能力が必須である。

グローバルに情報を収集している衛星として、LANDSAT, Copernicus等があり、これらは政策目的で広く活用されているが、いずれも政府により運用されている。Copernicusでは、企業では対応できない気候変動対策や雇用対策等の政策目標の下で投資がなされているが、解像度は10m前後であり、邦人に対する災害・テロ対策の平時情報としては十分とはいえない。

したがって、我が国独自のインフラとして、邦人の安全確保のための衛星観測手段を保有することは大いに意義がある。

#### 政府の広域衛星、高分解能衛星、小型衛星(多数機)の組合せ

表2-1-1のような3つに大別した場合、それぞれに観測の特長と適した使い方(利用分野)がある。いずれかの種類の衛星のみを使うのではなく、それぞれの特徴を考慮し、利用用途に応じて複合的に利用することが有効である。世界的にSAR、光学衛星はこの三極化が進む見込み。また、いずれの衛星種も他の衛星種の機能を代替することができない。

小型衛星はこれまでの(各国政府の)広域観測衛星や、(各国政府及び民間商用の)高分解能衛星を観測頻度や配布の柔軟性といったところで補完するものであり、価値がある。

例えば、各国政府の広域観測SAR衛星を狭域観測に用いる場合は、SpotLightモードと呼ばれる観測によって、広域性を犠牲にしながらか分解能を高めているが、このような用途は(必要な観測要求、仕様を満足する前提で)民間の小型Xバンド衛星による代替が有効である。また、高分解能観測衛星では観測しきれないところにも、民間小型衛星が役立つ。

小型衛星の多数機コンステレーションは、我が国の民間企業を含めて顕著に発展している。資料④に示すように米国ではNRO(国家偵察局)/NGA(国家地理空間情報局)といった衛星情報をインテリジェンスとして担う機関においても重要視され、積極的な活用が図られている。

JAXAにおいても民間企業との連携や、関係省庁への小型衛星利用に関する支援を一部で行っているが、さらにそれら活動の強化が有効であろう。

表2-1-1 広域観測衛星、高分解能衛星、小型衛星(多数機コンステレーション)の比較

種類	主な特長	主な保有者	利用分野
広域観測衛星	広域、基盤情報 (観測条件が一定)	政府	安全保障、国土管理、 防災に利用。 広域性が必要なもの。
高分解能衛星	高分解能	政府(秘匿性の高いも)	安全保障。特に高い分

		の) 民間企業	解能、画質が必要なもの。
小型衛星 (多数機)	安価、高い観測頻度	民間企業	安価であり様々な分野に利用。扱いやすい情報として安全保障分野でも利用が進んでいる。

### 1.3. 商用衛星による衛星監視能力の運用、分析・利用

#### リソースの配分

商用衛星といえども観測リソースは有限なので、自国内で安全保障利用に関する商用衛星に対する観測要求を調整した方が、国家としての利益を最大化できる。

同一目的であれば観測要求を共有して最適化を図り、取得した画像を共有した方が経済的であるが、組織間の目的の共有が困難な場合は上位の組織で優先度を定めてリソースを配分することが考えられる。多岐に渡る個別の要求を調整することは現実的ではないため、上位組織では大きな枠組み単位(衛星、地域、等)でリソース配分を決定し、各組織は配分されたリソースを自由に利用できることが望ましい。

#### データの共有

画像を複数の府省庁で共用することで、コスト低減は期待できるが、複数利用者が使うためにはデータ提供事業者との利用ライセンスや価格の調整が必要となる。

なお、機密性の高い衛星はデータ自体の秘匿性が高いため、データの共有・伝達が困難であるが、商用衛星データはこれに当たらない。ロシアのウクライナ侵攻では、商用衛星データが活用されている。

特に秘匿性が低い領域において、データの共有、さらに解析能力を有する組織からの分析結果の提供は、我が国の省庁での衛星情報利用の促進に有効と思われる。衛星データを解析する機能を各省庁、部署に整備するのは負担が大きく、通常は知りたい情報が迅速に入手できれば十分である。

一方で、特定の関心箇所や取得された画像から抽出された情報は秘匿性の高いものになる可能性がある。この場合は組織間で共有するのは困難となる。

#### 分析リソースの共有

衛星データから各種判断の根拠となる有用な情報を抽出するためには、一般に当該分野の専門知識が必要となる。現在は衛星情報の分析は各府省庁の専門的分析部門(秘匿性の高いところが多い)、もしくは研究組織(国交省国総研・土木研、国土地理院、防災科研、産総研、農水省農環研、林野庁森林総研、環境省環境研等。解析データが公開されやすい)が実施している。

我が国は国土が狭く、航空機などで情報の収集が容易なことから、広大な国土(陸域)を有する国と比べると衛星情報の活用は発展していない。したがって前項の専門的な組織の解析技術も対象が限定的である。機械学習や AI 技術といった多量の衛星情報を迅速に解析するような取り組みも組織毎に行われている。一方、現在は十分な利用のデータとラベルがあれば AI 技術を活用することで、直接結論を導く手法が実用化されている。特定の目的で情報抽出のコンテストを行い、優勝者のアルゴリズムを買い取る手法も行われている。

このような状況では、それぞれの専門組織が課題を示し、アルゴリズムの検討・提案は広く民間市場に求め、提案されたアルゴリズムを買い取って、これを活用して専門組織が分析することが考えられる。情報システムの上で、利用者毎に厳格な情報管理を行うのは難しいことではない。データへのアクセス権、分析結果へのアクセス権の的確な管理によって、解析者のマンパワー、衛星データ、計算機といった各種リソースを有効に活用することが可能になると考えられる。

#### 衛星観測データからユーザが必要とする情報へ、海洋データセンターとしてのサービス

衛星情報分析の体制を整備、維持している専門的な組織に対し、現業機関や自治体の多くは

そのような体制を組むことが難しい。2、3年で人事異動となり、衛星データの導入や継続の課題となっている。また、衛星から得られる情報を新たに利用したい民間企業にとっても同様の課題があるだろう。

そのため、衛星データから共通的、基盤的な情報として処理し、これを政府内、自治体等に提供するようなデータセンターのようなサービスは有効である。それぞれの機関で専門の衛星データ解析機能を要せずに、衛星データを処理した「情報」が提供されれば、衛星情報利用が広く進み、国のデジタル戦略や Society 5.0 の目指す社会実現にもプラスとなるだろう。（秘匿性の高い情報を扱い、専門の分析部門を有する機関においても、基盤的な情報としてそれらの情報が活用できれば、より高度な、専門的な分析に集中することができる。）

海洋に関する国内機関の関心は、重複しながらも具体、詳細が異なっている。しかしながら船舶は連続した海を移動し、かつての北朝鮮工作船のように漁船に偽装する船もあるため、海洋の状況が切れ目なく把握され、関係する機関が連携しながら対応できることが重要である。我が国の海上自衛隊、海上保安庁、水産庁が訓練や海難救助等を連携して実施し、関係強化も進んでいる。が、中国では海上保安に当たる海警局は武器使用が認められ、中国第2海軍化が進められているといわれている。加えて、中国漁船の漁師は基礎的な軍事訓練を受けている、民兵化しているとの調査がある。対象が曖昧になる脅威に対し、情報の連続性、関係機関の共有に寄与するデータセンターが役立つだろう。その際は前出の「衛星データ等を活用した AI 分析技術開発」での知見が有効となる。

なお、衛星等で得られた船舶、海洋の情報を複合して表示、分析するサービスが国内を含む民間企業でも提供されているが、企業によって得意分野や、利用できる衛星情報が異なるため（企業間関係による事情、国内で独占販売となっている衛星情報も多いことによる）、国として海洋の情報収集を民間企業1社のみにも頼ることはできない。

欧州では、欧州が保有する Sentinel（SAR、光学等）を中心とする衛星情報を海洋分野に活用するための専門機関が存在している。1つは CMEMS（Copernicus Marine Service）であり、民間を含む海洋ユーザが使いやすい情報として提供、ユーザの利用支援を行っている。もう1つの EMSA（European Maritime Safety Agency）はセキュリティを含む MDA を担当し、衛星観測データを解析した情報を、欧州各国の海上保安機関等に迅速に配信している。このような海洋と宇宙にまたがった専門機関が我が国にもできれば、海洋と宇宙の連携が一層進むものと期待される。

（参考）欧州の MDA 情報を扱う EMSA の人員は、270 人以上と同機関ウェブサイトに記されている。米国の国家地理空間情報局（NGA）は海洋に限らず、広く地理空間情報（GEOINT：Geospatial Intelligence）を扱い、その人員は約 14,500 名となっている（参考資料1）。

参考資料2では、「衛星観測データを提供する事業」と、「衛星観測データを解析しユーザに有用な情報を提供する事業」との垂直統合が米国で進んでいる例を紹介している。多くのユーザにとっては、そのように統合されたサービスから、必要な情報を簡単に入手できる方が好都合である。ロケットによる衛星打ち上げコストが下がり、小型衛星の数とそれによる観測データが増える中では、衛星データのコモディティ化が進む可能性が高い。ユーザのニーズに応え、高付加価値なサービスを提供できる事業者が競争優位となるだろう。

#### 国内で基盤となる光学・SAR 観測衛星の確保について

安全保障と防災では、衛星に求める機能（広域性、局所性、高頻度、即応性）に類似性がある。通常は、関心域の状態（基地、火山）等を定期的に監視、もしくは平常時の情報を収集し、活用する衛星を自国で保有することは、国民の安心・安全の確保、国家安全保障上の対応の自在性を確保する上で、非常に重要である。

また、我が国は、ALOS-2 の観測能力を他国（カナダ、イタリア）に提供することによって、他国の SAR 衛星データ（カナダ RCM、イタリア COSMO-SkyMed）を入手しており、MDA や災害対応で活用している。単体の衛星では獲得できない高頻度の情報を獲得しているが、これは政府が衛星を保有していなければ、成し得ないことである。

（補足：観測データのオープン&フリー化はその衛星情報の活用が進みやすくなるものの、フリーの情報は他国とのデータ交換に活用できない。）

安全保障及び国土管理に有効なリソースであり、広く様々な省庁での利用にまたがるところ、

現在は文部科学省／JAXA が研究開発衛星（実証衛星）として、開発、運用を行っているため、観測の継続性が担保されていない。将来的には、我が国固有のインフラとして、政府で応分の負担をしながら国の機関が保有・運用することが望ましいと考えられる。

### デュアルユース衛星の有効性

昨今の安全保障では、現場での情報共有が有効とされている。秘匿性の高い情報は、現場で共有することが出来ず、緊迫した現場の活動で活用することが困難と考えられる。

一方、商業衛星や、平時のデータも収集する衛星（ALOS シリーズなど）はこうした制約がないことから、災害が増加し、安全保障環境が緊迫する日本で、より活用の機会が増えてくると考えられる。その時々状況に応じ、災害や安保の観測能力を柔軟に配分することが可能である。

また、秘匿性の高い衛星では情報の公開や共有が困難なところ、デュアルユース（マルチユース）衛星であればオープンとできる場合が多い。オープンな領域によって、同盟国・同志国との連携（観測データ共有を含む）を進めることや、学術界や産業界での活用や、技術的なフィードバック、改善を受けやすいものとなる。それによる技術向上は、クローズドな利用においても有効となる。現代において、安保/非安保の境界が曖昧、連続的になってきており、その面でもデュアルユース（マルチユース）衛星は有効であろう。

これらの衛星で得た画像は、マルチユースであるが故に、解析処理を行わないと一般的には理解が難しい。そのため、衛星画像を迅速に処理・分析する能力、および必要な情報を判読しやすい形で、現場に速やかに伝達する能力が必要になる。

### 同盟国・同志国との衛星データの共有

衛星データ共有の形態は、①安全保障機関同士、②宇宙機関同士といったカウンターとなる機関間で実施されるものと想定される。

①安全保障機関同士であれば、衛星情報に加え、関係の情報を含めて共有ができ、利用目的に応じた性質の情報であり、共同でのオペレーションを想定した活用になっていくだろう。この場合、それぞれの国の宇宙機関が当該機関を支援することが考えられる。（デュアルユース衛星は、安全保障機関と宇宙機関との協力関係が普通。）

②宇宙機関間同士であれば、衛星情報の交換となり、双方様々な分野（安全保障を含む）に活用されるものとなる。

民主主義的価値観を共有する国家間での連携が進む中、二国間でのデータ共有は、さらに他の友好国間との共有に課題が生じる。そのため、多国間での衛星情報共有も同様に進むことが予想される。イギリス国防省は 2023 年 2 月、Allied Persistent Surveillance from Space Initiative、APSS（宇宙からの持続的な監視に関するイニシアチブ）に関する同意書に 18 か国が署名したことを発表した。今後、各国政府の監視衛星による観測データの共有、処理、利用、配布に加え、民間企業からのデータ調達費用について検討が行われる。なお、18 か国は英国、ベルギー、ブルガリア、カナダ、フィンランド、フランス、ギリシャ、ハンガリー、イタリア、ルクセンブルグ、オランダ、ノルウェー、ポーランド、ルーマニア、スペイン、トルコ、スウェーデン、米国。政府の観測衛星を保有しない国も含まれている。

我が国においても、日米豪印QUAD（クアッド）のスペースワーキンググループにおいて、各国政府が保有する衛星データの共有を進めている。クアッド衛星データポータルでは、気候変動、災害対応、海と海洋資源の持続可能な利用、その他の 4 分野の日米豪印データサイトを集めている。なお、前出の APPS は各国の監視衛星が対象となっているが、現在のところクアッド衛星データポータルは、各国の公開データベースからなっている。

### 欧州の参考事例

欧州では、欧州連合と欧州宇宙機関による地球観測プログラムである「コペルニクス計画」の下、広域観測を特徴とした Sentinel 衛星が運用されている。Sentinel 衛星は無償で公開されるオープン＆フリー、欧州のセキュリティ（クローズド）の両面で利用されるデュアルユース（マルチユース）衛星である。なお、MDA 分野では EMSA によって AIS 情報等と合わせて利用され、分析結果が欧州内の MDA 関連機関に提供されている。

2 機運用体制の中、Sentinel-1B は 2021 年 12 月に不具合を発生し、観測不能に至った（その後 2022 年 8 月に運用断念発表）。この観測不能を補うため、欧州はカナダ宇宙庁が運用するレーダ衛星 RCM の観測データ提供を受け、さらに民間商用レーダ衛星 ICEYE の画像に購入による対応を行った。

なお、EMSA では本件をきっかけに小型衛星が観測頻度向上の価値を有し、今後も有効な情報手段と述べている。

## 2. 政策提言

前項の状況を踏まえ、経済安全保障に係る我が国の衛星インフラに関する提言を記載する。観測衛星を主な対象として記載しているが、通信衛星、測位衛星にも共通的なものもある。なお、特に秘匿性の高いものである情報収集衛星は本資料の対象としていない。

### 提言 1：同盟国・同志国との連携により、衛星情報の共通利用や関連技術力の強化を進める

悪意のある妨害行為や、国の緊急事態でも十分な抗たん性を有する衛星インフラの確保には、同盟国・同志国の支援を活用することが有効である。（これは観測衛星のみならず、通信衛星、測位衛星についても同様に検討すべきである。）

我が国も同盟国・同志国を支援するため、それら国々から求められる日本の衛星インフラや関連技術の検討も重要である。そのような衛星や関連技術をもって、これら国々との協力関係を強化する。

衛星に関する安全保障において、様々なチャンネル・階層における関係の強化を行う。また、多国間での連携強化のため、国際的なコミュニティの参加も重要である。自国の衛星や関連技術の保有は世界の宇宙コミュニティ参加のための入場券の役割も果たす。（他国に貢献せず、相手国の情報を入手する一方のフリーライダーは相手にされない。）

継続的な関係での協力により、我が国の衛星およびその情報利用、分析に関する技術の向上も期待できる。秘匿性の高い階層（安全保障機関）、比較的低い階層（宇宙機関や民間、大学、研究所等）で扱う情報や技術が異なるため、それぞれの階層での連携が重要となる。

衛星観測情報は、それぞれの国の技術、需要に応じた特徴（画質の特徴、配信時間等）を有している。多種類の、多面的な（高度な）情報の利用、解析ができるメリットがあるが、十分な技術的理解を要するものでもある。そのため平時から双方の衛星情報の特徴を理解し、データの伝送経路の調整を含めて準備し、緊急時に迅速に利用、解析できる状態とすることが必要である。



なお、国の緊急事態（有事、大規模災害時等）では特に多く（エリア、頻度）の衛星情報が必要となる。各国政府の衛星は自国およびその周辺の観測が中心となっているところ、それ以外のエリアでは観測能力が余剰となるため、（自国から離れた国に対して）観測協力をしやすい。そのような同盟国・同志国との観測協力が進めば、衛星1機あたりの観測能力を何倍にも増やせると言える。しかしながら、各国はそれぞれの事情で衛星情報の提供を制限する部分もあるため、基盤的な衛星データ収集は自国として保有する必要がある。

（参考）

#### 日本の取り組み

JAXA はカナダ宇宙庁と双方のレーダ衛星（日本 ALOS-2、カナダ RCM）の観測画像共有を開始した。カナダから提供される情報は日本政府内で利用が可能であり、日本政府機関に提供中である。RCM はカナダ宇宙庁とカナダ国防省に利用されているデュアルユースのレーダ衛星であり、二国間、多国間連携に活用されている。NATO への貢献として、カナダ国防省が RCM データによる船舶検出に責任をもち、対応している。

#### 国際間の情報共有

宇宙先進国が運用する広域衛星の主流がデュアルユース（マルチユース）であることから、衛星情報の共有は安全保障機関間、もしくは宇宙機関間によると考えられる。安全保障機関で共有される場合は、宇宙機関もこれに協力することが妥当である。

急速に増加している小型衛星も、安全保障において重要な観測手段である。政府が観測データを購入し、それを同盟国・同志国間と共有する場合は、事業者のビジネス面（ライセンス料の設定）や、他国での安全保障での利用に対する配慮や合意が必要である。

衛星データの受信についても、商用の高緯度地上受信局に加え、同盟国・同志国の宇宙機関が保有する地上局での受信・処理設備についてもバックアップとして検討すべきである。

**提言 2：我が国の安全保障において保有すべき衛星観測情報及び関連技術に関し、主たる手段（自国政府、国内/海外民間企業、友好国の支援）も含めて整理する。民間に求める衛星情報や課題を示し、応じるものに対し調達契約（アンカーテナント）を結ぶ**

安全保障に必要な具体的な情報（データでなく、判断に資する情報、インテリジェンスに関するもの）を基に、構成要素となる衛星観測データ及び情報化のための処理、解析技術について整理する。特に小型衛星による観測や、衛星データの解析技術は民間事業として発展していることから、国として必要な課題、要件を示し、応じるものに調達を結ぶ。

このプロセスにより、政府機関が有効に活用可能な情報が得られること（利用に必要な画質、精度、配信速度等といった要求仕様が明確であることで、実際に有用なデータとして活用される。また、）、さらに日本政府のアンカーテナントにより、民間企業の資金調達にも寄与できる。なお、政府機関の要求を満たしながらも、価格競争で国内企業が選定されないことも想定される。可能であれば、経済安全保障の観点で日本企業の調達にインセンティブを与えられる仕組みがあるとよい。

なお、海洋状況把握（MDA）に関する衛星情報手段については提言 6 で示す。

**提言 3：政府広域観測衛星と民間小型コンステレーション衛星利用の相乗効果を発揮する**

政府広域観測衛星と民間小型コンステレーション衛星はそれぞれ観測の特長を有し、組合せによる相乗効果を狙った利用が重要である。

例えば、政府広域観測衛星により、広域で位置情報等の精度の高い情報を入手し（面的にモレがない）、特に注意が必要な領域や対象を絞り込む。絞り込まれたエリアや対象に対し、民間小型衛星の高い観測頻度を活かした観測を行う（時間的にモレがない）ことが、安全保障、災害対応いづれにも有効である。

(参考事例) 世界の小型光学衛星コンステレーションの先駆けとなった Planet 社の DOVE 衛星では、画像位置精度の向上に我が国の広域観測衛星「だいち」(初号機) 観測データを基にした 2.5m 分解能の GCP (地上基準点) 情報を活用している。面的に連続、高い位置精度をもつ政府衛星による情報を、アジャイルな観測を得意とする小型衛星画像の位置精度向上に利用することは今後も継続するであろう。特に、関心ターゲットの位置情報を正確に把握したい分析において重要となる。

#### **提言 4 : 広域観測衛星をデュアルユース (マルチユース) とし、安全保障・民生技術・学術・人材育成を繋ぐ**

提言 1 の同盟国・同志国との連携を様々な階層で進めるため、さらに日本国内で民生、学術、教育 (人材育成) の間の衛星関連技術を繋げるために、政府の広域観測衛星を活用する。宇宙先進国では広域な観測衛星をデュアルユース (マルチユース) として開発、運用していることが多い。国として安全保障、災害対応、国土管理のために広域観測衛星を整備し、その時々々の緊急度に応じて複数の用途に活用している。特に高い分解能でないことから、データ配布や情報面での制約が少なく、様々な用途や機関に広く、速く届けることが可能である。

JAXA 等、国の安全保障の要求、災害の要求、海外の宇宙関連技術、情報を把握している機関が、情報を適切に扱うことで、安保、民生、学術を繋ぎ、技術の活用、応用を行う。双方の技術を適切に融合する、生まれた技術を他方に活用する。(高度な情報把握には特に高い分解能をもつ観測衛星が必要であるが、それらは秘匿性が高い安全保障専用の衛星となる。情報取扱いの制約上、民生や学術界、海外との連携が難しい側面がある。) 利用の制約が緩い衛星情報も人材育成に十分役立ち、高度な衛星情報の解析技術者や、関連サービスを担う企業の創出に資する。

#### **提言 5 : 衛星データを分析し、情報を提供するデータセンター機能を整備する**

入手可能な衛星画像数が増加だけでなく、地球観測衛星データの種類や、同種の衛星でも実施主体毎に個性の異なる観測データなど、衛星データのバリエーションや、関連の解析技術も多岐にわたる中、衛星データ分析に要す労力が増加している。衛星データの分析を専門に担う機関や部署以外では、分析体制維持の負担も大きく、衛星利用の負担になっている。それらの機関は「衛星データそのもの」ではなく、自らの業務に役立つ「情報」を、必要な早さで求めている。

そこで衛星分析人材を集めたデータセンター機能をつくり、種々の衛星データを分析した結果を提供することができれば、我が国の衛星情報利用が広く、高度に進むことが期待できる。

先に述べたとおり、欧州では EMSA が SAR、AIS を中心に衛星情報を解析し、欧州各国の海洋に關係する機関に迅速に情報提供を行っている。加えて、EMSA では分析技術の継続的な開発も実施している。

また我が国において内閣府/海上保安庁が、内閣府宇宙開発利用加速化戦略プログラム (スターダストプログラム) 「衛星データ等を活用した AI 分析技術開発」として、AI を活用しながら衛星情報解析による海上のリスク情報を關係省庁に提供するシステムを開発しているが、期間限定の取り組みとなっている。

このようなデータセンターは次のようなメリットが期待できる。海洋と宇宙に高い技術を有する我が国が、海洋宇宙連携を促進するためにも有効と考える。

- ・ 共通的な衛星データ分析業務※や、データ分析に関する技術開発を一元化できる。人員、設備 (計算機)、衛星データ、解析ソフトウェアといったリソースを効率よく利用できる。特に人的リソースは、情報・AI 関連の人材需要が増す中で課題が大きい。また、専門的な人材を育成できる。(※ここでいう分析は、我が国に整備されている専門の分析機関が行っているもの、特に秘匿性が高いものは除いている。)

- ・ 我が国の海洋の安全保障に關係する機関間での情報共有に役立つ。
- ・ MDA に関する情報技術開発を長期的、計画的に実施できる。指針や技術課題を示すことで、

関係する研究機関や民間企業がニーズを捉えた技術開発ができる。（民間企業の育成にも寄与。）

- ・ 我が国の MDA（センターの性質により安全保障、科学、民生等）に必要な衛星情報に関するニーズをまとめ、宇宙（衛星）側には的確、具体的な要求が可能となる。
- ・ 我が国の衛星観測リソースをその時々状況に応じた優先度での要求が可能となる。（衛星を保有する JAXA や民間企業に対し、司令塔の機能を果たす。）
- ・ 同盟国・同志国、さらに多国間との連携において、衛星データを担う分析機関同士の連携が望ましい場合、適切な対応機関となる。特に多国間（QUAD や自由で開かれたインド太平洋等を想定）の連携機会の場合は様々な国や機関にまたがることになることから、特定機関よりもデータセンターのような共通的で専門的な組織による連携がスムーズと思われる。海外とのデータ共有に関するルール作成、管理といったことにも効果的と考える。
- ・ 本検討においては、「衛星データ等を活用した AI 分析技術開発」で得られた技術、知見が役立つ。

### 提言 6：我が国の MDA の主要情報として必要な観測手段を整備する

（民間衛星の利用や、同盟国・同志国とのシェアリングを含む）

重要な観測手段として次の衛星を示す。

- ① 広域 SAR
- ② 狭域/高頻度 SAR
- ③ 広域周回光学（水深推定含む）
- ④ 小型光学
- ⑤ 静止光学
- ⑥ AIS/VDES
- ⑦ 電波監視
- ⑧ マイクロ放射計
- ⑨ 海面高度計
- ⑩ 塩分濃度
- ⑪ マルチスペクトル

※MDA 以外では、熱源を把握するための赤外線観測、3次元（高さ）情報を得るための LIDAR も重要。

MDA において船舶情報は①～⑦、海洋情報は⑧～⑪が基本となる。これら衛星に関する情報は 3章で紹介するが、主たるものを以下に記す。

- ① 広域 SAR：周辺国との境界が海にあり、広い海域（EEZ 等）を有する我が国では、周辺海域の最新情報を日々把握することが必須。洋上は雲が発生しやすいため、雲を透過する SAR 衛星で観測することが有効。船舶が移動するため、狭域/高頻度 SAR のつなぎ合わせでは情報解析が困難となる。
  - SAR 衛星の周波数帯は L バンドが最適。洋上の監視において悪天候による影響を受けにくい。また、陸域の植生を透過し地表面、地殻変動の観測が可能なることから、地震、火山の多い我が国の災害対策に有効。なお、オペレーブルな L バンド SAR は通商産業省/NASDA による JERS-1（1992 年）が世界初。以降日本がデータ解析、利用技術（災害監視、船舶観測等）を含め世界をリードしており、同盟国・同志国へのデータ提供に寄与しやすいものである。
  - 風が強く海面が荒れると、海面からの反射を船舶と誤検出しやすくなるが、多偏波の観測で得られる HV モード画像を用いることで対策可能（船舶/海面の反射の比を向上できる）。通常、小型 SAR 衛星は多偏波機能を有しない。
- ② 狭域/高頻度 SAR：観測幅の制約はあるものの、港湾等の特定エリアの監視に有効。また高い観測頻度を活かした船舶追尾への利用も期待できる。（最新の船舶位置情報や予測

を基に、後続の衛星が迅速、自律的に観測場所を狙うための技術が必要)

- ③ 広域周回光学（水深推定含む）：昼間、晴天時に限られるが、SAR と比べ判読性が高い情報として、船舶の詳細な分析が可能。SAR 画像の判読技術を高めるための参照、教師データになる。陸域での大規模災害発生時の広域な被害状況把握や、地理空間情報のベースとなる。なお、光学衛星データを用いた水深推定（島しょ部を含む沿岸域は安全保障、航行安全でも重要）や、離島の監視にも寄与する。
- ④ 小型光学：広域周回光学と同様だが、高頻度の観測を得意とし、港湾等で有効に利用可能。
- ⑤ 静止光学：今後登場する可能性が高い観測衛星。周回衛星と異なり、我が国周辺域を常時観測可能。緊急事態発生時に即座に観測、情報収集可能な手段となる。周回衛星と比べ分解能は劣るが、観測可能なものは追尾も行いやすい。
- ⑥ AIS/VDES：船舶間の事故防止等に活用されている AIS 信号は、低軌道周回衛星で受信可能。船舶固有の様々な情報を入手できるもので、MDA において広域 SAR と並んで特に重要。各国政府の SAR 衛星に搭載され、SAR/AIS の同時観測が進んでいる（我が国が世界初であった）。装置が小型で済み、1機あたりの観測範囲も広いため、小型の AIS 専用衛星のコンステレーションが海外で進んでいる。次世代 AIS として、船舶間、船舶/衛星間通信にも利用可能な VDES (VHF Data Exchange System) の検討が日本や欧州で進んでいる。なお、日本海、東シナ海といった船舶が過密する海域では、衛星での AIS 信号受信が極端に困難となる。JAXA の ALOS-4 ではその対策を講じた AIS 受信機を搭載予定。
- ⑦ 電波監視：AIS 信号を発生しない、もしくは偽装する船舶の大まかな位置の把握等に、電波監視衛星による情報サービスが海外において進んでいる。輸出規制その他に注意を要するが、AIS 同様に小型衛星で広範囲をカバーできるため、新たな船舶監視手段として期待されている。
- ⑧ SAR 衛星と異なり海域、陸域からのマイクロ波をパッシブ（自ら送信しない）に受信する。海域では海面水温、海上風速等の情報を把握可能。海洋モデルの高精度化に必要。
- ⑨ 海面高度計：海面高度を測定でき、海洋モデルの高精度化に必要。
- ⑩ 塩分濃度：塩分濃度の差による海面温度による放射率の変化で測定する。海流の解析に有効。
- ⑪ マルチスペクトル：通常の光学衛星より、広く様々な波長帯を観測する。我が国では HISUI、GCOM-C を運用中。波長別の信号強度から様々な海洋情報（水温、クロロフィル濃度等）を得られる。

#### **提言 7：無人航空機の能力強化**

大型無人航空機について、現在は米国技術を利用している（防衛省、海上保安庁）。今後、我が国としての無人航空機技術のさらなる育成・発展を検討すべきである。小型無人航空機に関する技術は、国内でも研究開発が実施されているため、大型機と比べ自国技術として早期に加えることが可能である。限定的な運用に耐えうる信頼性・運用容易性を有する小型機から適用を行い、さらに大型化や信頼性向上技術に取り組むと良い。加えて、衛星と有人/無人航空機の特徴を活かした連携利用、無人機運用の省力化（省人化）・自律化、悪意のある攻撃や通信傍受に関する対策、無人機に搭載可能な小型・軽量かつ高速大容量通信を実現する衛星通信機材に関する等が重要と考える。