

# 個別調査分析 3

## 宇宙

### Project Manager

鈴木 一人 東京大学公共政策大学院教授

### Project Member

石澤 淳一郎 宇宙航空研究開発機構

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター 技術領域主幹

木村 俊義 宇宙航空研究開発機構

研究開発部門 センサ研究グループ グループ長

小林 啓二 宇宙航空研究開発機構 航空技術部門

航空利用拡大イノベーションハブ ハブマネージャ

川井 大介	政策研究大学院大学	政策研究院リサーチ・フェロー
上砂 考廣	政策研究大学院大学	政策研究院リサーチ・フェロー
中山 衣美子	政策研究大学院大学	政策研究院リサーチ・フェロー
大村 崇	政策研究大学院大学	政策研究院リサーチ・フェロー

## 目次

第1章 安全保障の宇宙利用におけるウクライナ侵攻のインパクト.....	3
第2章 政策提言.....	12
第3章 海洋状況把握（MDA）に有効な衛星観測（詳細編）.....	25
第4章 無人航空機（無操縦者航空機）.....	183
第5章 米国家偵察局及び米国家地理空間情報局の動向等.....	194

# 第1章 安全保障の宇宙利用におけるウクライナ侵攻のインパクト

## はじめに

ロシアによるウクライナ侵攻が始まる前までは、大規模な武力紛争が起きる場合、宇宙システムは真っ先にターゲットとなり、宇宙空間における紛争が武力紛争に先駆けて行われるというのが一般的な理解であった。

確かに、宇宙システムは戦場において圧倒的な優位性を生み出すシステムであり、その存在の有無が戦況に大きく影響することは間違いない。後述するように、ウクライナ侵攻において圧倒的な火力を持つロシアがウクライナに対して苦戦したのも、宇宙からの情報や通信システムがあったことに起因すると考えられる。

こうした状況の中で、ウクライナ侵攻において宇宙システムがどのような役割を果たしたのか、また、その役割はどのようなインパクトを生み出したのかを検討したい。

## 1. 安全保障のための宇宙利用

宇宙空間を活用した情報収集や通信、測位といった能力を防衛のために獲得することは、宇宙空間を使って地上の防衛能力を高めるための「手段」としての宇宙安全保障である。情報収集によって脅威を発見、分析し、通信によって部隊を動かし、効率的な指示を送り、測位によって敵味方の位置を正確に把握することでより効率的に戦闘行動を行うことが出来るようになるための「手段」である。こうした「安全保障のための宇宙」は自国の領域を守り、そのための地上における軍事的手段を採用し、最終的には自国を防衛し、敵を撃退することを目的としている。つまり、ロケットや衛星は地上の軍事的能力を向上させるための増強財（enabler）であると言える。

この「手段」としての宇宙安全保障、ないしは「安全保障のための宇宙」は、各国の安全保障戦略や防衛装備の性質によって大きく変わってくる。アメリカのようにグローバルに部隊を展開し、世界のあらゆる場所での出来事に関心を持ち、ドローンや巡航ミサイルなどの装備を効率よく運用するためには宇宙システムによるサポートが不可欠であり、そのシステムを失えば安全保障戦略を達成することが困難になる。同様に中国やロシアもアメリカほどではないにせよ、宇宙システムへの依存度が高くなっている。欧州やカナダ、日本などは米中露とは異なり、グローバルな部隊の展開は平和維持部隊の派遣などで部分的に行っているが、大規模な軍事作戦の展開といったことは安全保障戦略の中に含まれていない。ドローンなどの無人機の運用も行っているが、それが安全保障にとって決定的な役割を果たしているというわけではない。その点で宇宙システムを必要としているが、米中露ほど依存している状態ではない、と言える。途上国を含む多くの国は、宇宙を必要とする安全保障戦略を持たず、「安全保障のための宇宙」には強い関心を持たない。日本の場合、防衛大綱において「人工衛星の活用は領域横断作戦の実現に不可欠である」としており、個々の部隊運用ではなく、領域横断作戦を実現する際に不可欠であると限定的な位置づけにある。

## 2. 戦闘領域としての宇宙

宇宙システムが安全保障戦略上も、社会経済活動の上でも重要になってくると、紛争状態になったとき、まず宇宙システムを攻撃することによって敵の戦力を大幅に削減し、社会経済秩序を混乱させることが可能になるということである。つまり、宇宙システムは紛争状態においては極めて「おいしい」標的となりうるということである。

しかも、宇宙システムは極めて脆弱にできている。そのため、外敵からの防護を施すことが難しく、わずかな衝撃でも損傷を受ける状態にある。2007年の中国による衛星破壊（ASAT）実験は地上からミサイルを発射して衛星を撃墜したが、それ以外にも地上からレーザーを照射し

て衛星を破壊することや、宇宙空間で他の衛星を衝突させて衛星の機能を奪う（いわゆるキラ一衛星）といったことも可能である。こうした物理的な攻撃によって衛星の能力を奪うことは軍事戦略的に有効な手段と考えられており、中国だけでなく、アメリカ、ロシアも衛星撃墜の能力を持っている。さらに2019年3月にはインドが自国の衛星であるMICROSAT-Rを撃墜し、世界で4番目のASAT能力保有国となった。

こうしたASAT実験は宇宙空間において極めて大きな問題を生み出す。それは物理的に衛星を破壊することで大量のデブリが発生するということである。既に述べたようにデブリは宇宙空間を高速で飛翔しており、デブリと衝突すれば衛星は大きく損傷することになるが、さらにその衝突によって多数のデブリが発生し、そのデブリが他の衛星の脅威となる、いわゆるデブリのカスケードが起こる。こうした現象を指摘したNASAの科学者であるケスラーの名を取って「ケスラー・シンドローム」と呼ぶ。このように連鎖的にデブリの衝突によって大量のデブリが地球軌道を汚染し、宇宙空間が安全に利用することのできない空間になってしまうという恐れがある。

しかし、衛星を破壊し、大量のデブリを発生させることは、その衛星を破壊した国にとってもデブリとの衝突リスクを高める行為である。ASAT能力を持つ米中露印はいずれも安全保障目的でも社会経済目的でも宇宙を利用しており、多数の衛星を保有・運用している。そのため、自国の短期的な軍事的戦略であったとしても、長期的には自国の衛星をデブリ衝突リスクに晒すこととなるため、衛星を破壊するという行為は相当な状況にならなければ積極的に取り得る選択肢にはならないだろう。

むしろ、より懸念されているのは非物理的な衛星攻撃である。衛星と地上の間で通信を行う場合も、GPS信号を受信する場合も、偵察衛星の画像を見るときも全て無線で地上局と衛星の間で電波のやり取りを行う。そのため、この電波を遮断すれば自らが保有し運用する衛星であってもアクセスできなくなり、その衛星の機能を奪うことができる。こうした妨害電波による工作を「ジャミング（Jamming）」と言うが、非物理的な攻撃はジャミングに限らない。GPS信号のように衛星からのデータに基づき、自らの位置や必要な情報を取得する場合、その電波に偽りのデータを混ぜることで情報を誤認させ、相手を混乱させるという「スプーフィング（Spoofing）」と呼ばれる手段や、偵察衛星のカメラやセンサーに対して強い刺激を与え、その機能を麻痺させる「ダズリング（Dazzling）」といった手法も用いられる。また、こうした非物理的な攻撃は地上から衛星を狙うだけでなく、軌道上に配置した衛星から行うことも可能である。さらに、非物理的な攻撃として、衛星を管制するためのシステムにサイバー攻撃を行い、ハッキングをして衛星を乗っ取ることや、地上局の衛星を制御するシステムを無効にするという方法もある。

こうした攻撃に対して、防御する方法が極めて限られているだけでなく、その攻撃がどこから行われたものなのか、誰が損害に対して責任を持つのかということをも明らかにすることが難しい。こうしたアトリビューション問題は宇宙システムの場合、宇宙状況監視（SSA）によってデブリの動きなどを監視していても、SSAで把握出来るデブリの大きさにも限りがあるため（直径約10cm以下のデブリは観測できない）、物理的・非物理的な攻撃によって衛星の能力が失われたとしても、それがデブリによるものなのか、それとも意図的な攻撃によるものなのかを判定することが難しい。紛争状態になった場合、宇宙システムは「おいしい」標的となり、攻撃の対象になりやすい。

さらに、宇宙空間は安全保障のための衛星だけでなく、社会経済活動のための衛星も数多く軌道上を周回している。近年に入って小型衛星の技術革新が進んだことで、廉価に衛星を開発・製造し、打ち上げることが可能になっている。そのため、宇宙空間にはこれまで宇宙開発に関わってこなかった途上国や大学、民間企業が続々と宇宙開発の分野に参入し、技術開発や教育や商業目的で宇宙利用を進めるようになってきている（石田，2017）。こうした新しく宇宙開発に参入してきた主体は、しばしば衛星を打ち上げて運用することを最優先とするため、宇宙空間が安全保障目的で利用されていることに対する意識が希薄であり、衛星管制のプログラムに対するサイバー攻撃からの防護や衛星管制のための電波の管理などが甘くなる傾向がある（Secure World Foundation, 2017）。そして、これらの民間衛星であっても、いったんハッキングされ乗っ取られた場合、その衛星を標的となる軍事衛星と衝突する軌道に乗せ、あたかも事故に見せかけた形で衛星を攻撃することができる。

宇宙空間は長い間、「平和の目的に限り」利用される「聖域」のように扱われてきたが、「安全保障のための宇宙」としての性格が強くなる一方、かつてのような数少ない技術先進国による寡占状態ではなく、途上国や大学までもが自由に参入できる空間となったため、極めて「混雑した」空間にもなっており、それらを使って敵の宇宙システムを攻撃することが「おいしい」状況が生まれている。こうした変化を受けてアメリカでは、宇宙空間が「戦闘領域 (War Fighting Domain)」になったという認識を持つようになり、「安全保障のための宇宙」を活用するためにも「宇宙空間の安全保障」が重要になってきたと考えられるようになってきたのである。

### 3. なぜ宇宙戦にならなかったのか

では、なぜロシアはウクライナ侵攻に際し、宇宙システムに対して攻撃せず、ウクライナがアメリカの衛星システムを使ってロシア軍の位置を確認し、的確な攻撃をすることを可能にしたのか。また、アメリカの民間企業である Starlink が提供する通信サービスを使うことが出来るようになったのか。もしロシアが本格的にウクライナに対して軍事侵攻を行い、戦場において優勢を獲得しようとするのであれば、宇宙システムを攻撃するのがセオリーではないのだろうか。

#### 3.1. 宇宙空間における抑止

宇宙システムが戦時において圧倒的優位性をもたらすものであれば、その衛星の機能を奪うことを目指すことになる。実際、ロシアは、ウクライナへの大規模侵攻を開始する前の、2021年11月にASAT実験を実施し、ロシアが保有する衛星を撃墜している。これは、ロシアがウクライナに侵攻した際、アメリカを含む他国が介入するようなことがあれば、衛星を破壊することが出来ると脅すためのデモンストレーションであったと考えられる。

こうした ASAT 能力を誇示するロシアが宇宙戦を展開しなかったのは、宇宙空間における「抑止」が効いていたからだ、と理解するべきであろう。宇宙空間における抑止とは、A国が保有する衛星に対してB国による攻撃がなされた場合、耐えがたい損害を伴う報復を、最初の攻撃をB国に対して行う、と言うものである。しばしば、宇宙における抑止は、例えば「衛星一機撃墜された場合、相手の衛星一機を撃墜する」といった形の報復が想定されるが、これは有効な抑止ではない。なぜなら、衛星の役割や価値は国によって異なっており、多数の衛星を保有する国家であれば、衛星一機を失っても、他の衛星で代替出来る可能性があるが、限られた数の衛星しか持たず、その役割が大きい場合は過剰な反撃として受け止められるであろう。また、衛星を攻撃する能力は持つが、自らは衛星を保有しない国（例えば北朝鮮）のような国が衛星を攻撃した場合、報復として北朝鮮の衛星を撃墜しようとしても、対象となる衛星がない、という状態が起きる。

そのため、宇宙空間における抑止を論じるには、衛星への攻撃に対して、衛星に対する報復という形で抑止が成立するわけではない。では、どのような形で抑止が成立するのか。それは、衛星に対する攻撃に対して、あらゆる手段を使って報復する、ということになる。つまり、ロシアがアメリカの衛星に対して攻撃を行った場合、アメリカは核兵器を含むあらゆる手段によって報復する可能性がある。つまり、衛星に対する攻撃は第三次世界大戦を引き起こす恐れがある、ということである。こうしたエスカレーションの可能性のある限り、衛星を攻撃することは、慎重にならざるを得ないであろう。そのため、ロシアはウクライナ侵攻に対しても衛星を攻撃することはなかったのである。

#### 3.2. 「打ち上げ国」を巡る問題

しかし、宇宙条約では、衛星には「打ち上げ国」の管轄権が及ぶことになっており、衛星が「誰のものなのか」ということに関しては、法的には複雑な状況がある。打ち上げ国は「一般に宇宙物体登録条約に基づき宇宙物体の登録を行い、また、宇宙損害責任条約が宇宙物体により引き起こされる損害についての責任を負い、賠償を行うべき国」とされるが、衛星の所有権が移転した場合には、その打ち上げ国の概念が複雑化する。A国に所在し、B国が保有する射場XからB国のロケットでC国政府の所有する衛星を打ち上げた場合、A国が領域打ち上げ国、B

国が施設打上げ国、C国は打上げを行わせる国となり、宇宙物体登録条約上はC国が「打ち上げ国」となるが、A国、B国とも打ち上げ国として関与することになる。このように、宇宙空間における主権や管轄権の問題は、地上における領域的な規定を適用することが出来ない。

さらに、民間企業の運用する衛星であったとしても、宇宙条約の規定では、その衛星の運用にライセンスを与える国家が責任を負うことになる。StarlinkもMaxarもアメリカ政府からライセンスを受けており、その意味では、これらの民間企業の活動もアメリカ政府の管理下にあると言える。もしロシアが何らかの形でこれらのアメリカの民間企業が運用する衛星に攻撃を仕掛けた場合、アメリカ政府に対する攻撃と受け取られる可能性もある。そうなれば、アメリカがウクライナへの侵攻に介入してくる可能性もあり、ロシアとしては望ましい結果とはならないだろう。宇宙空間における自衛権の問題は必ずしも確立した法理とはなっていないが、それでも、ルールがないだけに、アメリカが自衛権を主張して介入してくる可能性を排除できない限り、ロシアもこれらの衛星に対する攻撃には躊躇するであろう。その意味で宇宙空間においても「抑止」が成立しており、それゆえに宇宙システムが「武器」として活用できるのである。

なお、ロシアがウクライナへの軍事侵攻を始めた2022年2月24日に、アメリカの通信衛星会社であるViasatにサイバー攻撃がかけられたことが明らかにされている。Viasatは一般向けのほかに軍事用のブロードバンド通信サービスを提供する会社だが、この衛星会社にサイバー攻撃を仕掛けたのはロシアではないかと疑われているが、まだ攻撃主体を特定するには至っていない。また、このサイバー攻撃による被害は軽微であり、通常のサービスに影響することはなかったとViasatも発表している。

#### 4. 宇宙とサイバー

衛星に対するサイバー攻撃は、ASATと異なり、明白な攻撃主体を示すことが困難であり、物理的な破壊を伴わないながらも、衛星の能力を奪うことが出来るという点で、衛星に対する攻撃としてより有効で、現実的な脅威となっている。

2022年2月、ロシアのウクライナ侵攻が始まると同時に、ウクライナをはじめとするヨーロッパの多数の衛星モデムがサイバー攻撃を受け、使用不能となったと報告されている。また、グローバルな通信サービスを提供し、米軍も利用していると言われているViasatはサイバー攻撃を受け、一時サービスが停止したが、ハードリセット（衛星を一度停止し、再起動を行うこと）を行い、隣国スロバキアのウクライナ難民向けの通信を含むサービスを再開した。

近年では、ソフトウェア定義型衛星の登場により、衛星の運用がより複雑になっている。衛星は常にシステムをアップデートし、サイバー攻撃に対する柔軟性と堅牢性を構築している。伝統的な衛星オペレーターは長い間、ハードウェアとネットワークのセキュリティに長けており、政府、軍事、石油・ガス、海運、金融など、厳しいセキュリティ要件が求められるセクターへのサービスを提供してきたことから、相当程度のサイバーセキュリティの水準にある。しかし、商業ベンチャー企業が多数登場し、衛星を通じたネットワークの数とチャンネルが増えているため、全ての衛星が堅牢であるとは限らず、脆弱性を抱えたサービスも少なからずあると見られる。また、衛星は打ち上げてから、そのハードウェアを10年単位で運用するため、システムのアップデートをする仕組みを持っていなければ、リスクは大きくなる。実際、老朽化した衛星を運用しているオペレーターも少なからずあると見られている。

この問題は、サードパーティ（衛星を使ったサービスプロバイダ）との関係で問題になってくる。最終使用者にとって、どの衛星を使っているかが必ずしも明確でないことが多く、そのインフラとして脆弱な衛星ネットワークを使っている可能性が排除出来ない。また「サプライチェーン脆弱性」の問題もある。サプライチェーン脆弱性とは、サイバーセキュリティの水準の高いプロバイダであっても、そのプロバイダが使っているハードウェアのサプライチェーンの中にリスクのあるサプライヤーが存在し、そこにセキュリティホールを設定する場合があります。そのため、最終的なサービスを提供するプロバイダは、サイバーセキュリティに関して、サプライチェーンを点検し、そうした脆弱性を回避することが求められる。しかし、ハードウェアメーカー、ソフトウェア開発者、衛星メーカー、事業者、商用ユーザーの全てを管理することは極めて困難であり、誰にどのような責任があるのかということをはっきりさせることは不

可能に近い。

さらに大きな問題は、衛星そのもののサイバーセキュリティがしっかりしていても、地上局におけるセキュリティが脆弱な場合、衛星がハッキングされ、乗っ取られることで、上述したような、衛星自身が武器として使われるリスクが存在している。

こうした問題に対して、衛星のサイバーセキュリティに関する多国間のセキュリティセンターを構築し、サイバーインシデントの前、中、後の情報共有を支援する明確なコミュニケーションラインを構築する必要がある。そのためには、政府、衛星メーカー、オペレータ、ソフトウェア開発者、サービス利用者との協力が不可欠である。各領域からの教訓や経験の共有も含め、それぞれが果たすべき役割を担っている。地上システムと宇宙システムがこれまで以上に密接に統合され、その区別が曖昧になるにつれ、従来はサイバー脅威管理の別々の分野とみなされていたものが、協力的かつ情報交換することが必要である。

## 5. 宇宙アセットを持たないウクライナの宇宙利用

ロシアのウクライナ侵攻で宇宙戦にならなかったもう一つの理由は、ウクライナが宇宙アセットを持っていなかったことによる。ロシアは当初、電撃戦によりキーウを強襲して陥落させることを目指していた。そのため、制空権を得るためにアントノフ空港を占拠し、ウクライナの防空システムを攻撃した（結果的には防空ミサイルや航空機を移動させていたことで攻撃は成功しなかった）が、その過程でウクライナの衛星も攻撃することは視野に入っていたと思われる。しかし、ウクライナは独自で保有する衛星システムを持っておらず、宇宙を基盤とするシステムに依存していなかった。そのため、宇宙戦は起こらなかったと言える。

しかし、自らの衛星システムを持たないウクライナは、アメリカをはじめとする西側諸国によって訓練を受け、アメリカの商用衛星などを使ったシステムの活用については十分知悉していたと思われる。ゆえに、ロシアのウクライナ侵攻が始まった当初あるいはその前から、衛星の重要性は理解しており、それゆえウクライナのフェドロフ情報大臣（副首相）が Starlink のオーナーであるイロン・マスクにツイッターでメッセージを送り、その 10 時間後に Starlink が使えるようになる、といった状況が生まれた。

### 5.1. Starlink

Starlink は 2022 年の 4-5 月に主たる戦場となったマリウポリ攻防戦の拠点となったアゾフスターリ製鉄所の包囲戦で重要な役割を果たした。ここではアゾフスターリ製鉄所の地下に潜んでいたウクライナ軍（アゾフ大隊）とキーウの司令部との間の通信を確保することで、戦況の把握や補給の連絡、またロシア軍の包囲状況などの情報を提供したと言われている。

また、外国首脳がキーウを訪問する際、鉄道を使ってウクライナ国内を移動するが、ウクライナ鉄道の通信ネットワークは基本的に Starlink によるものである。列車内の移動体通信サービスだけでなく、鉄道運行のための連絡調整やロシア軍の攻撃による破壊と、その修復に関する情報も Starlink を通じてやり取りされている。

戦場においては、ドローンに Starlink のターミナルを搭載することは不可能であるが、ドローンを操縦する端末を Starlink に接続することで、ドローンが撮影した画像などの情報を伝達し、敵の位置や「戦場の Uber」と言われる GIS Arta に必要な情報を提供している。GIS Arta とはスマホ入力やレーダーなどによる索敵情報を統合するシステムであり、そこで統合された情報を元にウクライナ軍の装備のうち、最も効率的に攻撃する方法を選択し、瞬時にそれを伝達するシステムである。戦場においてこうした指令を伝達するシステムとして Starlink は不可欠なものとなっている。

しかし、Starlink は民間企業であり、このような形で軍事利用されることでロシアからの攻撃を受けるリスクが高まることに対する懸念も生まれている。Starlink のオーナーであるイロン・マスクは 2022 年 10 月に、無限にウクライナを支援し続けることは出来ない、とコメントしてゼレンスキー政権を困らせることがあった。イロン・マスク自身、しばしばロシア寄りの発言をすることが知られており、ロシアからの圧力を受けていた可能性もある。また、2023 年 2 月には Starlink の社長であり、その親会社である SpaceX の COO であるグウェイン・ショットウェルは、Starlink が「武器化」されていることを懸念していると発言している。これは商業衛星

が軍事的に用いられることで、ロシアの攻撃対象となることを懸念したものと考えられる。

## 5.2 GPS

現代戦において、自らの位置と敵の位置を知ることは絶対不可欠の能力である。それを可能にするのは GPS である。GPS には一般向けの P-code と呼ばれる信号と軍が使用する M-code があるが、アメリカは同盟国に対しても M-code は公開しておらず、共同作戦を実施する際にのみ M-code を提供すると言われている。そのため、アメリカの支援を受けつつも、ウクライナ軍が M-code を使っているということは考えにくい。ゆえに、ウクライナ軍は P-code を使っているものと想定される。

しかし、P-code の問題は、その周波数が一般に知られており、それ故にその信号に対してジャミングをかけることが可能であり、実際、ロシアはコンスタントに GPS のジャミングを行っているとの報告もある。電波情報収集を民間企業として行っている HawkEye360 はウクライナとロシアの国境地帯で GPS のジャミング信号が出されていることを確認している。

こうしたジャミングはロシアに限らず、様々な場面で用いられている。GPS の P-code 信号は脆弱性が高く、実際の戦闘においてはその有効性には限りがある。しかし、こうしたジャミングを受けているにもかかわらず、ウクライナは各戦線において一定の成果を挙げており、その点では GPS のジャミングも恒常的なものではなく、一時的な戦術的利用しか出来ないということが示唆される。M-code が常時使える状況でなければ P-code を活用するしかないが、一定の限界と脆弱性を抱えつつも、そのオプションは完全に否定されるべきではないだろう。

## 5.3. 商業衛星画像

商業衛星画像は、1990 年代から一般に利用可能になり、近年では Planet Labs や Spire のように小型衛星をコンステレーションとして運用し、数時間ごとに世界のあらゆる地域の画像を更新することが可能なサービスも登場している。また、伝統的に商業的な衛星画像は光学センサーを使った、写真のような画像が主流であったが、光学センサーは夜は使えず、雲がかかっている時も使えないため、情報収集の手段としては限界があった。しかし、合成開口レーダー（SAR）を使った衛星画像は曇りでも夜間でも使えるため、偵察などに使われるが、こうした SAR 画像も商業的に入手出来るようになってきている。2006 年に 11 基だった商業用地球観測衛星の数は、2022 年には 500 基を超え、そのうち約 350 基が米国企業によるものである。

実際、ウクライナへの大規模侵攻が始まる前から、軍事アナリストなども SAR を使ってロシア軍の動きを把握しており、2月24日の前から侵攻が始まることを見ることが出来ていた。当然、ウクライナ軍もこうした動きは掴んでいたと思われる。また、こうした商業衛星の画像はメディアでも活用され、New York Times がブチャでの虐殺を衛星画像を使って証明したことはよく知られている。

ただ、SAR 衛星の画像は電波の跳ね返りを捉えて地上の物体を判別する画像であるため、その画像を分析する能力やソフトウェアの存在が重要となる。既にそうしたソフトウェアも商業的に入手可能ではあるが、それでも分析者には一定の訓練が必要となる。また、闇雲にあちこちの画像を取得するだけでは情報として不十分であり、どこを見れば良いのか、どこに敵の動きがあるのかということを知るためには、一定のインテリジェンスが必要となる。そうした能力を高めていくことも民間データを利用する際には重要となる。

また、日本でも衛星画像の海外移転に関しては、リモートセンシング法といった規制がかかっているが、米国の商業衛星が他国に衛星画像を提供する場合も、様々な規制がかかっている。しかし、米国政府はウクライナを支援する立場から、ウクライナ向けの画像提供については規制を緩和している。また、ロシアも衛星画像を活用していると言われているが、ソ連時代から偵察衛星の開発には後れを取っていたロシアも商業衛星画像に依存していると見られている。ただし、米国企業の画像にアクセスすることが出来ないため、ロシアは中国から商業衛星画像を購入していると見られている。

また、軍による商業衛星画像の利用だけでなく、メディアがこれらの画像にアクセス出来るようになったことが大きい。いわゆる公開情報インテリジェンス（Open Source Intelligence: OSINT）として、商業衛星の画像を活用することで、戦況の変化を逐一確認し、戦場で何が起きているかを正確に検証することが出来るようになった。そして、こうした画像の持つ影響力



は大きく、世論形成にも大きな影響を与えていると言える。こうした紛争の可視化は戦争の行方を大きく変えることになるだけでなく、西側諸国によるウクライナ支援の流れを作ったものと見て良いだろう。

## 6. 商業衛星の軍事利用の問題点

ロシアのウクライナ侵攻は、史上初の「商業宇宙戦争」とも言えるような、商業衛星が前面に出る戦いとなっている。しかし、こうした新しい状況は、これまでにない問題を生み出している。

伝統的に宇宙システムを軍事的に利用する場合、その秘匿性や技術的特殊性から、政府や軍が保有する衛星を使ったものに限られていた。民間企業の運用する衛星は軍が保有する精密な画像を取得したり、秘匿通信が出来ないものであった。しかし、ウクライナ軍が示したことは、そうした特殊性がない場合でも、民間企業が提供する衛星の能力は軍のそれと大きく変わることはなく、十分に軍事的な作戦を遂行する上で有効なものであるということであった。

こうした軍事的有用性が証明されたとなると、本章の冒頭で論じたように、相手の軍事的能力を引き上げるために軍事衛星だけでなく、商業衛星の能力も奪い取る必要が出てくる。軍事衛星であればその所属が明確であり、軍事衛星への攻撃は国家に対する攻撃として認知されるため、抑止戦略が可能となる。しかし、民間衛星はしばしば所有者の国籍が複数にまたがっていたり、様々な国から出資されている場合もある。宇宙条約に基づく「打ち上げ国」の登録も便宜的に第三国でなされる場合があり、どの国家が民間企業の活動に責任を持つかがはっきりしない場合もある。そのため、商業衛星に対する攻撃に対して、抑止戦略を採ることは容易ではない。しかも、今回ウクライナ軍が使っている衛星は主にアメリカの企業が提供する衛星サービスであり、ウクライナ軍の活動を制限することを目的にアメリカの衛星を攻撃する可能性もある。まさに Starlink の社長であるショットウェルが懸念した通りの問題が起きうる可能性が出てきたのである。

では、誰が商業衛星を防護し、どのような形で抑止をすることが可能なのであろうか。まさにこの問題が現在、アメリカの国家宇宙評議会（議長はハリス副大統領）を中心に議論されている。この議論の答えはまだ出ていないが、一つの可能性として考えられるのは、民間企業の活動であっても、アメリカが防護するとコミットするサービスについては、アメリカが「打ち上げ国」であることを宣言し、その民間企業に対する攻撃はアメリカに対する攻撃であると宣言することである。そうすることで、民間企業にも軍事衛星と同様の位置づけを与え、抑止戦略を展開するということである。これが国家宇宙評議会の結論になるかどうかは不明だが、商業衛星をどのようにして守るのか、ということは今後も大きな問題として議論が続くであろう。

## 7. ウクライナ侵攻からの教訓

最後に、本章で論じたロシアのウクライナ侵攻から得られる教訓をまとめてみたい。

### 7.1. サイバー攻撃への対抗

戦時において宇宙システムが使われることは自明という状況である。物理的な ASAT による攻撃は、抑止戦略によって止めることが出来る可能性はあるが、明確な攻撃の意図や形跡が残りにくいサイバー攻撃に対する防護は抑止戦略でも実現することはない。

となれば、サイバー攻撃に対する対抗は、第一に衛星だけでなく、地上局も含めたサイバーセキュリティを高めていくことである。これは既存のオペレーターでは実施されていることではあるが、新たに商業的サービスを展開する宇宙ベンチャー企業では必ずしも実施されているとは限らない。ゆえに、政府は戦時におけるサイバー攻撃を想定して、これらのベンチャー企業にもサイバー防衛を義務づけること、また必要であれば、サイバーセキュリティの専門家を育成するプログラムを展開し、サイバー攻撃に対抗できるような能力を構築していくことである。

## 7.2. GPS に対する妨害電波への対抗

戦場において、GPS ほど重要な情報を提供してくれる信号はない。しかし、GPS 信号は中軌道 (MEO) の衛星から発せられているため、相対的に弱い信号であり、簡単にジャミングなどで妨害される恐れがある。そのため、GPS に対するジャミングに対抗する手段を持たなければならない。既に述べたように GPS への攻撃は恒常的に行われるものではないが、それでも重要な局面で使われることは想像に難くない。

GPS への対抗手段の一つは、周波数ホッピングなどを使い、ジャミングに対抗する M-code の信号を使うことである。ウクライナの場合は同盟国ではないため、M-code を使う可能性は低かったが、日本の場合、アメリカの同盟国として M-code が使える可能性はある。しかし、それはアメリカの判断によるものであり、常に使えるとは限らない。そのため、代替手段として考えられるのが、準天頂衛星に搭載されている公共信号を使うということであろう。この点についてはまだ未確定のことが多いが、日本独自の測位衛星システムがある以上、これを活用することは十分に可能性がある。

また、GPS ジャミングに対抗するような受信機能の強化ということも一つの方法として考えるべきであろう。さらには、GPS のジャミング信号を出す機器に対して、その機能を奪うということも一つの方法である。物理的に攻撃することは、敵の主権の及ぶ範囲にある場合、なかなか難しいと思われるが、電磁波によってそうした機器に対して攻撃をかけることは可能であろう。今後 GPS ジャミングに対抗する手段としての電子戦の能力を向上させることが重要な問題と考えられる。

## 7.3. 独自のコンステレーションか商業サービスの利用か

本章で紹介した Starlink や Planet Labs は小型衛星を多数打ち上げ、それらを同期させて、一つの機能を獲得するものである。これらの小型衛星コンステレーションは民間企業で培われたものであり、政府はこうした技術を十分に習得しているわけではない。アメリカでも軍が極超音速滑空ミサイルを探知・追尾するために小型衛星のコンステレーションを構築しようとしているが、米国防総省も独自で開発するのではなく、民間の商業衛星オペレーターに発注してシステムを構築する方針を打ち出している。

他方、日本では国家安全保障戦略や国家防衛戦略の中でコンステレーションの構築が明記されているが、それを誰が構築するのかという点については書かれていない。アメリカと異なり、日本には小型衛星のコンステレーションによって衛星サービスをはじめようとするベンチャー企業がないわけではないが、まだ十分に成功するとは言えない状況にある。その中で、日本がコンステレーションを構築する際、政府が独自で開発するのか、民間の商業サービスを利用するのか、という問題が残る。

小型衛星コンステレーションは一つの機能を多数の衛星で実行するため、一つの衛星を破壊したり、無効化したとしても、他の衛星で機能をカバーすることが出来る。その意味では、小型衛星コンステレーションは敵の攻撃に対して攻撃されるリスクを分散するという効果を持っている。その意味でも、小型衛星コンステレーションを積極的に活用していくべきである。しかし、本論でも述べたように、商業衛星を軍事的活動に利用するとすると、その衛星をどう防護するのか、という問題が出てくる。それ故、日本では小型衛星コンステレーションの構築能力は政府ないし防衛省が持つべきであり、そうした技術開発を進めることによって民間企業にもスピルオーバーすることを期待することが出来る。日本の宇宙産業の競争力強化という観点からも、政府が独自のコンステレーションを構築することが望ましい。

## 7.4. 衛星画像取得にかかる能力

戦争において民間企業であれ、軍や政府の衛星であれ、宇宙から画像を取得することは極めて重要である。日本はこれまで内閣官房の衛星情報センターが情報収集衛星を運用して衛星画像を取得してきたが、これは防衛省や自衛隊に直結した画像ではないため、安全保障上の目的で十分に活用できるかどうかには疑義が残る。

日本では国家安全保障戦略、国家防衛戦略、防衛力整備計画でスタンドオフミサイル能力の構築のために、標的を発見し追跡する手段として衛星画像の取得が論じられている。その意味

でも、これまで防衛省・自衛隊が持たなかった画像取得能力を持つべきである。しかも、その主たる目的がスタンドオフミサイルの運用ということであれば、小型衛星コンステレーションによる撮像頻度が高いシステムにする必要があるだろう。

#### まとめ

安心・安全の観点からの宇宙利用を考えるに際して、ロシアのウクライナ侵攻から得られる教訓は多い。この侵攻における宇宙利用は今後も様々な形で広がって行くであろうが、防衛省・自衛隊はこれまで衛星の運用の実績がないだけに、世界が宇宙を利用した安全保障戦略を描き、それを実際の活動に応用していることを考えると、日本が出遅れているという感覚は否めない。それだけに、ここから得られる教訓に基づいて、どのような衛星を使った能力を、どのようなプライオリティとスピード感で構築していくのか、を早急に検討する必要があるだろう。

## 第2章 政策提言

### 1. 人工衛星による観測と経済安全保障

宇宙空間には国境が無い。中国の気球が米国の領空に入れば撃墜されるが、中国の人工衛星が米国を、逆に米国の衛星が中国を観測することは問題にならない。偵察目的では、いつ何を観測し、どのような情報が収集されているかは公開されず、人工衛星の軌道やその観測能力から推測する（偵察衛星では公開されず、観測能力も推測となる）しかない。

ロシアによるウクライナ侵攻では、ウクライナ政府に対し西側諸国から衛星観測情報が提供された。衛星画像によるロシア軍の行動把握や衛星通信によって、数的に劣るウクライナ軍の抗戦を支えている。また、ロシア政府の発表と異なる事実を国際社会で明らかにすることにも、衛星観測画像が利用され、世界的に注目された。そして、これらに民間の商用衛星画像が活用されたことも特徴的であった。

ウクライナ侵攻ではこのような情報戦、認知戦といった分野において、地球をグローバルに観測できる人工衛星が注目を受けたが、人工衛星は災害発生時の被害把握や、自国の国土の管理・地図の作成（地理空間情報の整備）、気象や地球規模での気候変動、環境変化の把握等、政府や自治体の判断に必要な社会インフラとなっている。さらに大学や研究機関による地球科学研究や、産業界においても幅広く活用されている（なお、利用される衛星情報の条件は長期的な継続性、連続性である。継続されない衛星情報は、学术界、産業界からも利用されにくい。継続が前提となって利用され、関連の技術、産業が発達する。）。

我が国は自国で人工衛星を開発、運用する能力、ロケットで輸送する能力を有している。世界的に宇宙開発が進むに連れ、そのような国は増えつつあるものの、殆どの国はそれら能力を有していない。そのような国々に対し、我が国は衛星観測データの活用により、災害時の緊急支援、環境保護、農業や漁業に関する支援を実施している。気球を飛ばしてくる国と、友好国に必要な支援を提供してくる国とでは、国民の受け止め方は当然違ってくる。

また、我が国の国家安全保障戦略（令和4年12月）では、宇宙安全保障の取組強化に加え、同盟国・同志国との連携の強化（インド太平洋地域において、我が国の総合的な国力と同盟国・同志国等との連携により対応すべき等）が述べられている。先進国間においては衛星情報の共有や衛星関連技術協力により、双方の宇宙利用能力を高めるとともに、万一の事態において同盟国・同志国で支援できる有効関係と、その準備が必要である（平時から相手国の衛星観測情報が利用できるようにしておく）。

我が国も衛星による観測能力を維持、向上することが安全保障上重要であるが、有事の際に抗たん性を含めてあらゆる機能を維持することは困難であり、同盟国・同志国の支援、協力を受け合う体制が有効であろう。これは衛星観測情報に限らず、通信衛星や測位衛星といった他の衛星インフラも同様と考える。

後進国への支援活動は我が国の同志国を増やし、また関係を強化し、国際社会の安定、秩序にも寄与するものである。加えて、自国の科学技術力に基づく衛星能力により、他国の災害時等の支援を行うことは、国民からの宇宙開発に関する共感や、世界に科学技術力をもって寄与する誇りを感じさせることもあろう。以上は宇宙基本法の目的である、国民生活の向上、経済社会の発展に寄与、世界の平和及び人類の福祉の向上に貢献にも合致するものである。

#### 1.1. 衛星コンステレーションの能力

Planet社はDove衛星を保有し、約4m分解能で「世界中の地表面を毎日観測する能力」を有しており、利用者は関心域を継続的に評価することで変化を捉えることが可能である。加えて同社は分解能50cmのSkySatを保有しており、変化のあった場所について詳細な情報を得ることが可能である。（サービスの想定として、同一の場所を観測する際はDove、要求を受けた場所の観測はSkySatとなっている。）また、同社は分解能30cm、32機で同一地点を最大12回撮像可能（中緯度は30回）次世代衛星群Pelicanも発表している<sup>1</sup>。

<sup>1</sup> <https://sorabatake.jp/26325/>

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った。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）観測協力をを行いやすい。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）側への的確、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。



## 第3章 海洋状況把握（MDA）に有効な衛星観測（詳細編）

海洋状況把握は船舶、海洋状況、さらに海域のインフラ等、様々な情報を対象とする。ここでは船舶および海洋（海象や海洋環境）の情報について触れる。船舶の行為が環境に影響を与えることもあれば（洋上での油の不法投棄等）、船舶の行動目的分析において、行動パターンに加え、背景となる海洋情報も手掛かりとなる。モデル技術の発展により、海洋の状態が予測できるようになりつつあるが、この予測によって船舶行動の予測も一部で可能となるし、予測から外れた船舶は（海難事故等を含め）注意すべき対象として捉えることもできるようになるだろう。図3-1に海洋状況把握に資する衛星観測情報例を示す。以降では、観測対象として船舶、海洋の順で説明する。

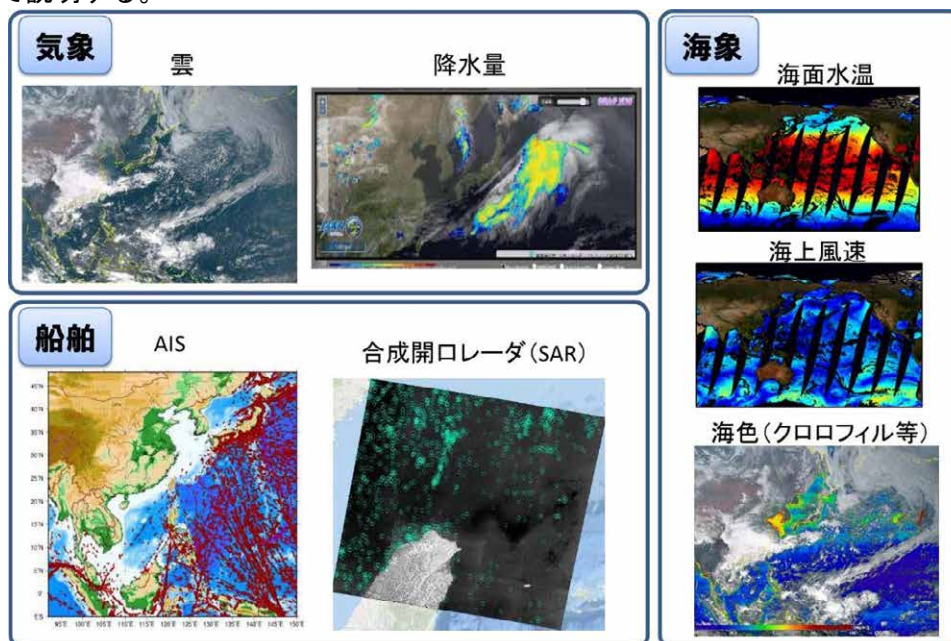


図3-1 海洋状況把握に資する衛星観測情報例

### 3.1. 船舶の観測

船舶の観測では、船舶から送信した AIS 信号や各種電波を捉えたもの、合成開口レーダ（SAR）や光学衛星により船舶そのもの（形状）を捉えたものがある。

#### 3.1.1. AIS 信号情報

利点：船舶の静的情報、動的情報（位置、速度）を把握できる。GIS 上に表示させながら、注目する船舶について詳しい情報を追っていくことが可能。さらに連続的な情報も得られやすく、航跡を追うことで、通常の行動パターンを把握する、動きからどのような活動をしているか、といったような分析もしやすい。

地上局では 50~100km の範囲の受信（見通し）範囲となるが、衛星は 1 機で一度に直径 5,000 km といった広域の船舶 AIS 信号を受信できる。そのため、全球（世界中）の船舶情報を得られやすい。広域な情報を他の手段と比べ安価に得やすく、個々の船舶の詳細情報も得られるため、海洋状況把握におけるベース情報として利用できる。

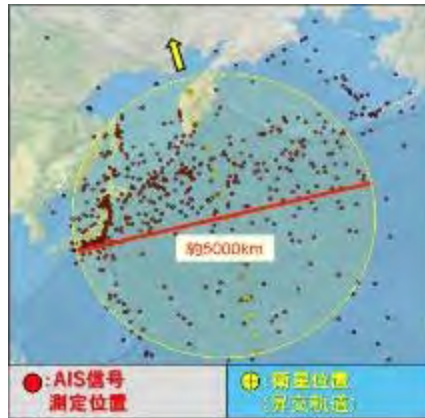


図 3-2 衛星 AIS (1 機) の受信範囲例 (SDS-4 搭載 SPAISE1)  
衛星が全球を回ることにより、全球を観測できる。

課題は、船舶が過密するエリアからあまりに多くの AIS 信号を衛星で受信してしまい、それを分離できずに、信号情報が得られない。(日本海、東シナ海といった日本の周辺国との境界となる海域において特に顕著。そのため、我が国の安全保障上は大きな課題であり、対策が必要。現在 ALOS シリーズに同時搭載する SPAISE シリーズに於いて対策実施中)

また、軍関係の船舶や小型船舶等 (大型船を除く多くの漁船、プレジャーボート等) は、AIS 送信 (AIS 装置搭載) 義務がない。さらに素性或動きを知られたくない船舶は AIS 信号を偽装する。これらのため、AIS 信号のみで情報を判断するのは正確な情報認識とならない。そのため、後述の合成開口レーダその他の情報で補うことが重要である。

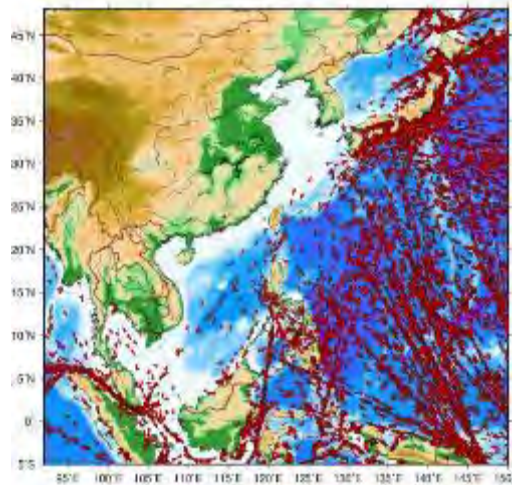


図 3-3 船舶過密域における衛星での AIS 信号受信例 (赤いプロットが 1 隻を示す)  
日本海、東シナ海等の海域で、AIS 信号の受信課題が生じる

参考：日本において、また海外においても次世代 AIS (VDES) の利用や、衛星での受信について議論がされているところであるが、信号衝突の問題は同様に生じるものと思われる。

また、VMS (The vessel monitoring system、衛星船位測定送信機) を用いて、船舶の位置情報を衛星で受信することで、特定の船舶の動き (特に、漁船が許可された条件、ルールの中で活動しているか) を把握することも行われている。これも AIS と同様な情報として利用されることもある (VMS の搭載、利用状況は国によって異なる)。

我が国では、水産庁が VMS を用いて漁船を監視することで、漁業取締の効率化がなされている。

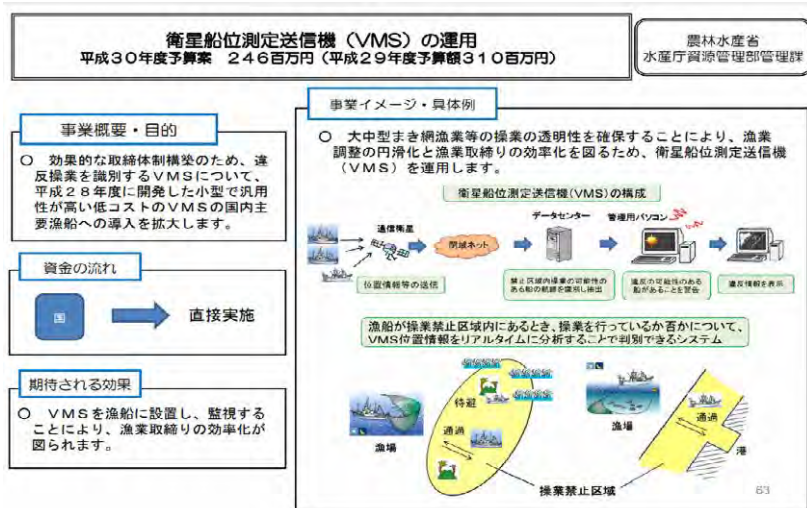


図 3-4 衛星測位測定送信機 (VMS) の運用に関する資料<sup>4</sup>

JAXA (宇宙航空研究開発機構) では、2012 年 5 月 18 日に打ち上げられた小型実証衛星 4 型 (SDS-4) で初めて衛星による AIS 受信実験 (SPAISE1) を行った。その 2 年後、2014 年 5 月 24 日には陸域観測技術衛星「だいち 2 号」(ALOS-2) でも AIS 受信実験 (SPAISE2) を実施した。洋上の船舶の衛星による観測は、AIS 信号の受信と、AIS を受信できない船舶に対する合成開口レーダ (SAR) による観測が有効と考えられていたが、SAR と AIS 受信機の同時搭載は「だいち 2 号」が世界初である。その後数年間も SAR と AIS の両方を観測可能な衛星は「だいち 2 号」が世界で唯一の状態が続き、SAR と AIS を組み合わせた観測情報の利活用は我が国が有利な状態で進められた。

なお以前も JAXA (前身となる組織を含め) では、海洋の観測 (水温、海色などの海洋環境) や災害時の海上漂流物の観測は行っていたが、定常的な海洋状況把握 (特に船舶情報) について、候補となる省庁等と連携した利用検討が本格的に行われたのは、これら AIS や SAR による観測情報が得られてからである。その後 SDS-4 は 2019 年 12 月 2 日に JAXA からスカパーJSAT 社に譲渡され、以降はスカパーJSAT 社により運用が継続され、2021 年 7 月 1 日に SPAISE1 による AIS 受信を終了した。「だいち 2 号」搭載 SPAISE2 は現在も運用を継続中である。

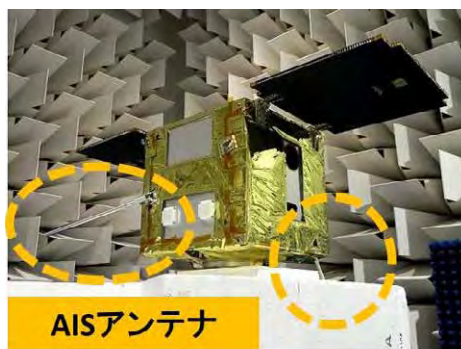


図 3-5 小型実証衛星 4 型 (SDS-4) に搭載された AIS アンテナ (SPAISE1 実験)

<sup>4</sup> 内閣府. 「第 66 回宇宙政策委員会資料 Retrieved from : <https://www8.cao.go.jp/space/committee/dai66/gijisidai.html>



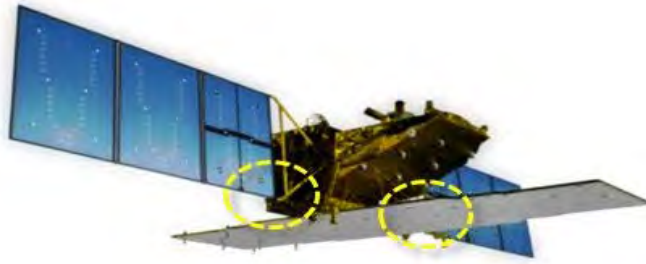


図 3-6 「だいち 2 号」 (ALOS-2) に搭載された AIS アンテナ (右図は衛星上面から)

衛星による AIS 信号受信 (観測) の利点はその広域性にある。図 3-7 は海上保安庁による AIS 陸上局のカバーエリアである。陸上局の見通し (高さ、地形) にもよるが、概ね 50 km 程度までの受信範囲に対し、衛星による受信範囲は衛星から直径 約 5,000 km に及ぶ。SPAISE1、SPAISE2 の両方で受信したある 1 日の AIS 信号例 (同じ船舶の信号を複数回受信したものは、1 信号のみを図示したもの) を図 2-7、図 3-6 及び図 3-7 に示す。



図 3-7 海上保安庁 : AIS 陸上局のカバーエリアと航行支援システムによる情報提供の例<sup>5</sup>

<sup>5</sup> 海上保安庁「AIS を活用した航行支援システム」 (2009 年 10 月 20 日) Retrieved from [https://www.kaiho.mlit.go.jp/syokai/soshiki/toudai/ais/ais\\_index.htm](https://www.kaiho.mlit.go.jp/syokai/soshiki/toudai/ais/ais_index.htm)

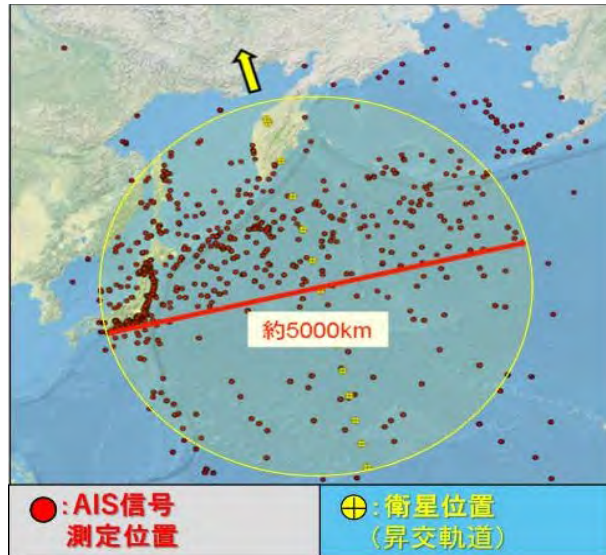


図 3-8 SDS-4 搭載 SPAISE1 の受信範囲

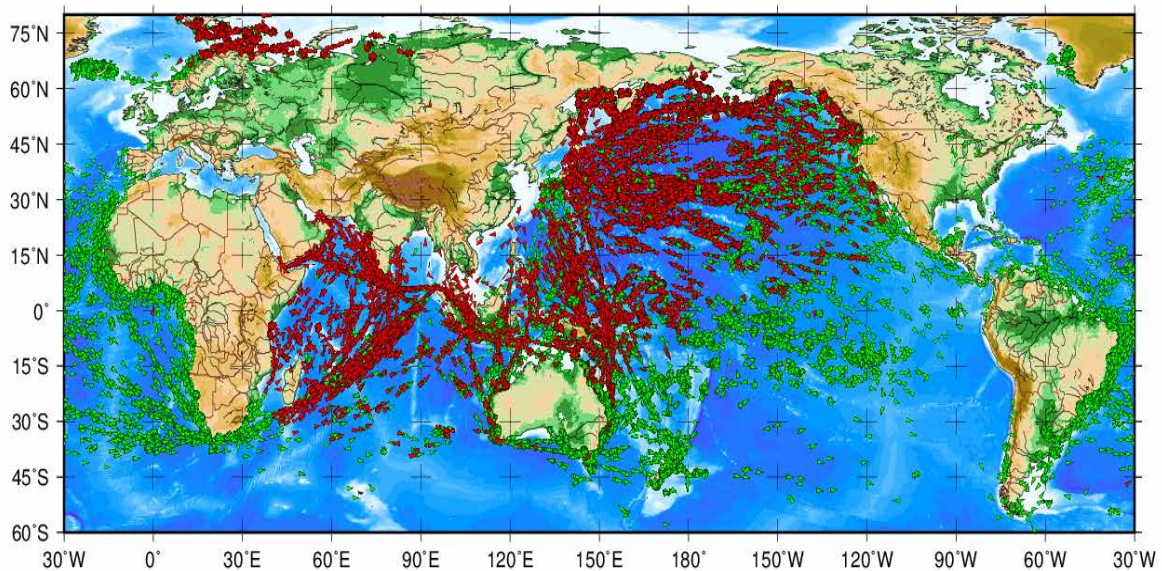


図 3-9 SPAISE1 (緑) 及び SPAISE2 (赤) で受信した船舶 AIS 信号例 (1 日あたり) (各プロットの向きは船舶の進路を示す)

### 3.1.2. AIS の課題①：衛星観測における船舶過密域での信号衝突

このような広域観測のメリットがある一方で、衛星による AIS 受信は船舶が過密する領域等では、受信した信号を復調することが困難とのデメリットがある。通常の AIS 通信では、洋上（または陸上局を含む）における通信範囲に存在する送受信機により通信タイミングが調整され、信号衝突を生じない仕組みで運用されている。ところが衛星は観測範囲が広いため、複数集団の船舶を同時受信してしまい、これにより信号衝突が生じ、信号の復調（分離）が極めて困難となる。我が国の東方（太平洋側）や南方は衛星による AIS 信号を観測しやすいが、日本海や東シナ海、南シナ海は船舶の存在密度が多いため、衛星による AIS 信号観測が難しい（図 3-10 及び図 3-11）。また陸上局で受信した AIS 情報が民間企業により有償で配布されてもいるが、韓国を除いた周辺国においては、それら AIS 情報の入手も楽観視できない。これら海域は我が国の安全保障、水産資源（IUU 漁業による影響等）上、極めて重要なため、課題を認識した上で対策（SAR、電波等の別の手段での情報把握や、AIS 受信性能の向上等）を講じることが重要である。

なお、送信頻度や信号の長さ（含まれる情報）を減らして衛星で受信しやすくするための衛



星用 AIS 周波数 (AIS チャンネル 3, 4) も割り当てられた。が、衛星用 AIS 信号の発信には船側の装置更新が必要であり、それに見合うほどのメリットが船側になかったためか、普及が進んでいない。

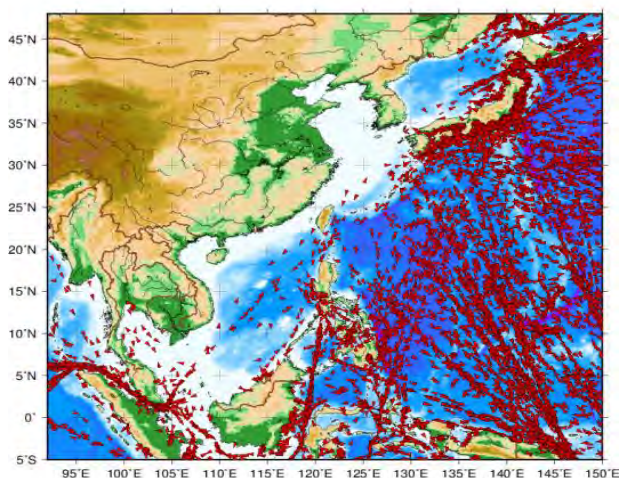


図 3-10 SPAISE2 による観測例 (1 週間あたり) 日本海、東シナ海等の観測が困難 (左)

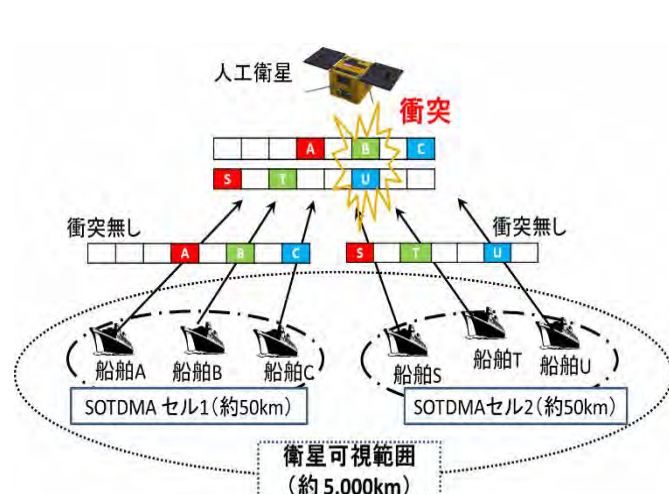


図 3-11 衛星による AIS 受信の課題、信号衝突の概念図 (右)

### 衛星 AIS 観測の高度化

衛星搭載性を高めるための装置の小型化や、受信性能向上のための研究を行っている。また、受信帯域を拡大するための検討を行っている。JAXA では、前述の広範な受信領域内における混信を防ぐため、DBF (Digital Beam Forming) 技術をつかった受信方向の制限による受信領域分割や、信号分離アルゴリズム、あるいは AIS アンテナの拡大などの対策により、実用化の研究を確実に進めている。

また、AIS 信号がある VHF 帯は国際 VHF (船舶共通通信システム) が使用している周波数帯でもあり、このことから AIS 以外の電波信号を受信することで、AIS 信号発信を切っている不審船舶などについてもその存在を検知できる可能性があり、検討を進めている。

### 船舶過密域における AIS 観測性能の向上

日本海、東シナ海等、船舶が多く存在するエリアでは非常に多くの AIS 信号を同時に受信してしまい、衛星による AIS 信号の観測 (分離、復調) が困難である。衛星による AIS 信号受信は受信範囲が広いことが利点であるが、船舶過密域では不利に働いてしまう。これは他国の AIS 受信衛星でも同様であり、衛星による AIS 信号受信において最大の課題である。

これに対し「だいち 4 号」に搭載する SPAISE3 では、主に AIS 信号の衝突数を減らし、復調をしやすい改善を行っている。図 3-12 のコンセプトのとおり受信エリア (海域) を絞ることで、その海域の AIS 発信船舶数、すなわち衛星で受信する AIS 信号数を減らす。また、衛星の利点である広域観測性を失わないよう、この処理は仮想的に行う。図 3-13 のように SPAISE3 アンテナは 8 本のアンテナで構成され、また開口長も十分となるように設計した。8 本のアンテナでそれぞれ独立に受信した AIS 信号は地上に伝送される。これにより、位置の異なる 8 個の受信機で受信した AIS 情報が得られるが、これらを地上処理 (地上デジタルビームフォーミング) することで、仮想的な受信パターンを形成する。この処理によって海域ごとに受信パターンを調整できることに加え、元々広いエリアでの AIS 信号も受信しているため、複数パターンを処理することにより広域観測性も損なわない。なお本技術については JAXA で特許出願を行っている (特開 2018-7212、AIS 信号受信システム及び AIS 信号の受信方法)。

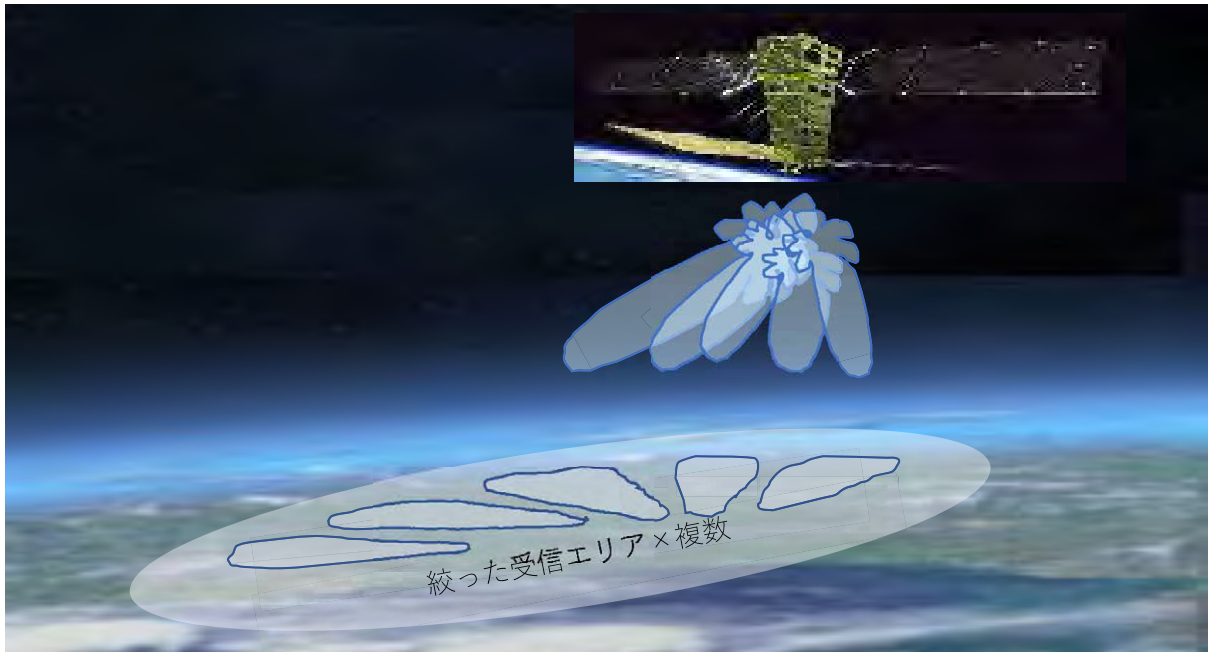


図 3-12 SPAISE3 の技術コンセプト

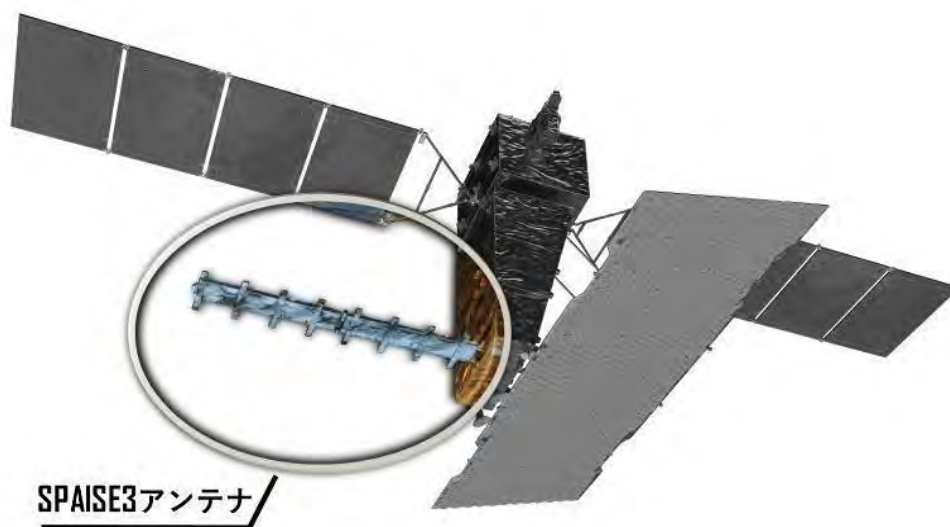


図 3-13 「だいち 4 号」搭載 SPAISE3

### 衛星 AIS に関する企業

各国政府衛星以外の商用サービスは、長く exactEarth（主にイリジウム NEXT 相乗り 60 機）、ORBCOMM の 2 社であったが、その後に登場した Spire が超小型 3U 衛星 100 機規模サービスを開始。その後 Spire 社は調達した資金によって exactEarth を買収し、世界で最も多くの AIS 衛星を保有する企業となっている。

### Dynamic AIS™ サービス

船舶過密海域では信号衝突により衛星での AIS 信号受信が困難となるものの、洋上の船舶間は信号の送受信範囲が限られており、信号衝突は生じにくい（極端に混雑した港湾などを除く）。そこで衛星 AIS 事業を行っている Spire 社では、船舶で受信した周辺船舶の AIS 情報を収集して

配布するサービス :

Dynamic AIS™を提供している。同社のウェブサイト

(<https://spire.com/maritime/solutions/dynamic-ais/>) によると配信時間は 6 分以内となっている。また、同サイトでの南シナ海におけるデモ画面の切り出しを図 3-14 に示す。

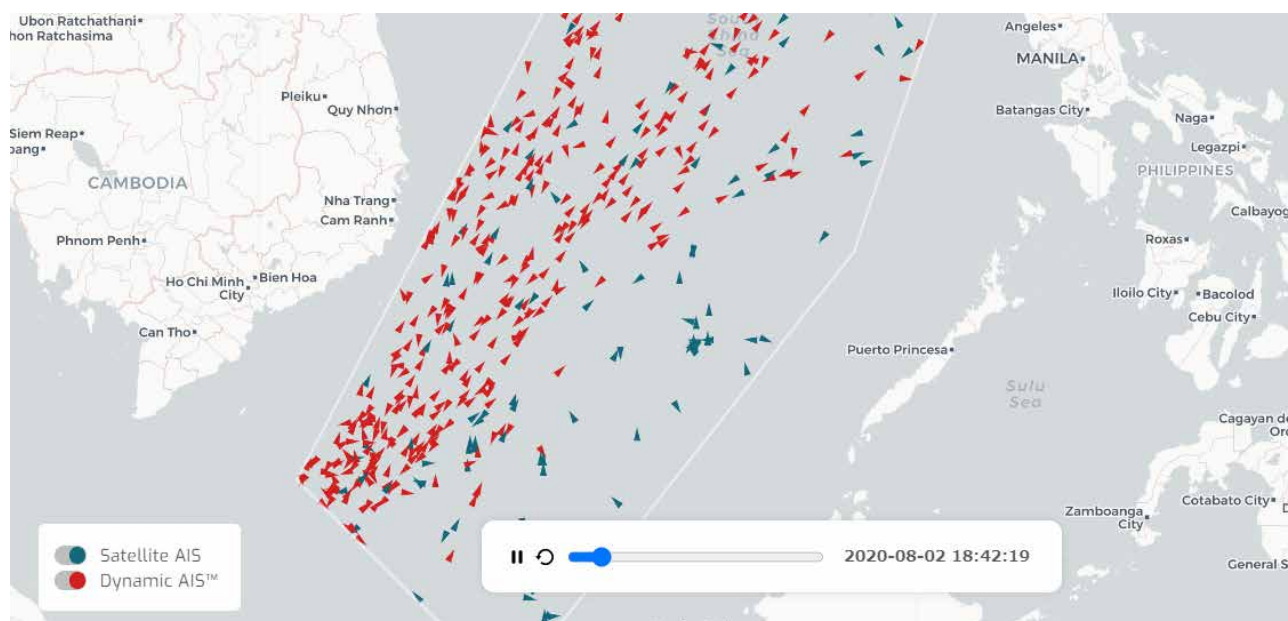


図 3-14 Dynamic AIS™に関するデモ画面  
(船舶位置のプロット) 青 : 衛星 AIS、赤 : Dynamic AIS™ (船舶受信 AIS)

日本企業 : IHI

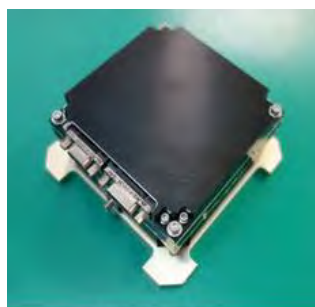
株式会社 IHI と Space BD 株式会社は 2022 年 2 月 28 日、IHI が開発し、Space BD が打上げに関する全てのサポートを提供した超小型衛星「IHI-SAT」が、国際宇宙ステーション (ISS) に向けた打上げに成功したことのプレスリリースを発売した。

( [https://www.ihi.co.jp/ihi/all\\_news/2021/aeroengine\\_space\\_defense/1197670\\_3351.html](https://www.ihi.co.jp/ihi/all_news/2021/aeroengine_space_defense/1197670_3351.html) )

内容を以下抜粋するが、日本の民間企業として初めての AIS 衛星となる。

IHI-SAT は、シグナス補給船で ISS に輸送後、日本実験棟「きぼう」から超小型衛星放出機構「J-SSOD」(\*) によって、宇宙空間へ放出され、約 1 年間の運用を予定しています。

今回、IHI が開発した IHI-SAT は、3U (寸法 : 約 10cm × 約 10cm × 約 34cm) サイズの超小型衛星で、船舶が発信する AIS 信号を宇宙空間で受信するシステムを搭載しており、その機能実証を主なミッションとしています。AIS 受信システムは多数の船舶が発信する信号を高精度にデジタル化し、個別の船舶信号に分離・識別することが可能で、混雑した海域でも船舶の動きを把握することができます。また、人の手が届かない宇宙空間で衛星機器の不具合が発生した際に、自己診断など複数の復旧手段により、ミッションを継続できるロバストなシステムを有している点も特徴です。



AIS受信システム



また、株式会社 IHI の資料「宇宙から船を追う」では、独自の AIS 受信システムの開発を進め、信号干渉により AIS 信号が取得しにくい東シナ海や地中海などでも良好な AIS 情報の提供を目指していること、明星電気株式会社と開発した衛星搭載 AIS 受信機は、約 8 × 8 × 6 cm と超小型化を実現した旨が紹介されている<sup>6</sup>。



衛星搭載 AIS 受信機

図 3-15 AIS 受信機

### 3.1.3. AIS の課題② : AIS 情報の扱い

元々 AIS は船舶間や船舶-地上局間での通信を目的としていたが、宇宙から広域に信号受信できることが分かり、衛星によって得られた AIS 情報の提供サービスが進んでいる。

日本でも衛星による AIS 受信の実用化に向けて、AIS に関する船舶からの通信の相手方に人工衛星が規定されるなど、電波法や関係法令が改正された。これにより、船舶からの AIS 信号を衛星で受信することは問題がないことが明確となっている。

一方、AIS 情報配信については、海運会社等の無線局免許人に提供することは問題ないことは公表されているが、それ以上のことは分からない。また、海外の衛星で受信した AIS 情報を購入することも問題ないとなっている。このため、日本企業が AIS 受信衛星を打ち上げて、データを配布する事業を行おうとしにくくなっている可能性がある。

<sup>6</sup> [https://www.ihico.jp/ihico/technology/review\\_library/review/2017/\\_cms\\_conf01/\\_icsFiles/afieldfile/2020/04/07/ab9d6d7ce07ca30916ad20a2ffea4024.pdf](https://www.ihico.jp/ihico/technology/review_library/review/2017/_cms_conf01/_icsFiles/afieldfile/2020/04/07/ab9d6d7ce07ca30916ad20a2ffea4024.pdf)

## AIS情報の配信

○電波法(昭和25年法律第131号) (一部略)

第59条 何人も法律に別段の定めがある場合を除くほか、特定の相手方に対して行われる無線通信を傍受してその存在若しくは内容を漏らし、又はこれを窃用してはならない。

第109条 無線局の取扱中に係る無線通信の秘密を漏らし、又は窃用した者は、一年以下の懲役又は五十万円以下の罰金に処する。

産業競争力強化法に基づく「グレーゾーン解消制度」の結果として、次のことが公表されている。

- ▶ 事業者自らが受信設備を介してAIS情報を取得し、海運会社等の無線局免許人に提供するサービスにおいては、他の船舶のAIS情報を提供する場合であっても、その情報が既に船舶局間で共有されていることから、「存在若しくは内容を漏らす」に該当しない
- ▶ AIS情報の発信者又は受信者である海運会社等の無線局免許人に対しAIS情報を提供することは「窃用」に該当しない
- ▶ 販売事業者からAIS情報を購入取得することは、自らが無線通信から当該情報を受信して得るものではないことから、「傍受」に該当しない

「グレーゾーン解消制度」の活用結果

<http://www.meti.go.jp/press/2014/05/20140530004/20140530004.html>

<http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150731003/20150731003.html>

20

図 3-16 AIS 情報の課題

### 3.1.4. AISの課題③：AIS搭載義務のない船舶の普及率

海上保安庁のウェブサイト（<https://www.kaiho.mlit.go.jp/soshiki/koutsuu/ais-info.html>）から、AISの搭載義務は次のように紹介されている。

#### AISの搭載義務

2002年7月1日に発効された「1974年の海上における人命の安全に関する条約（SOLAS74）」第V章受け、国内法では、次の特定の船舶に対し、AISを搭載することが義務づけられています（第19規則）。

- ① 国際航海に従事する300総トン以上の全ての船舶
- ② 国際航海に従事する全ての旅客船
- ③ 国際航海に従事しない500総トン以上の全ての船舶

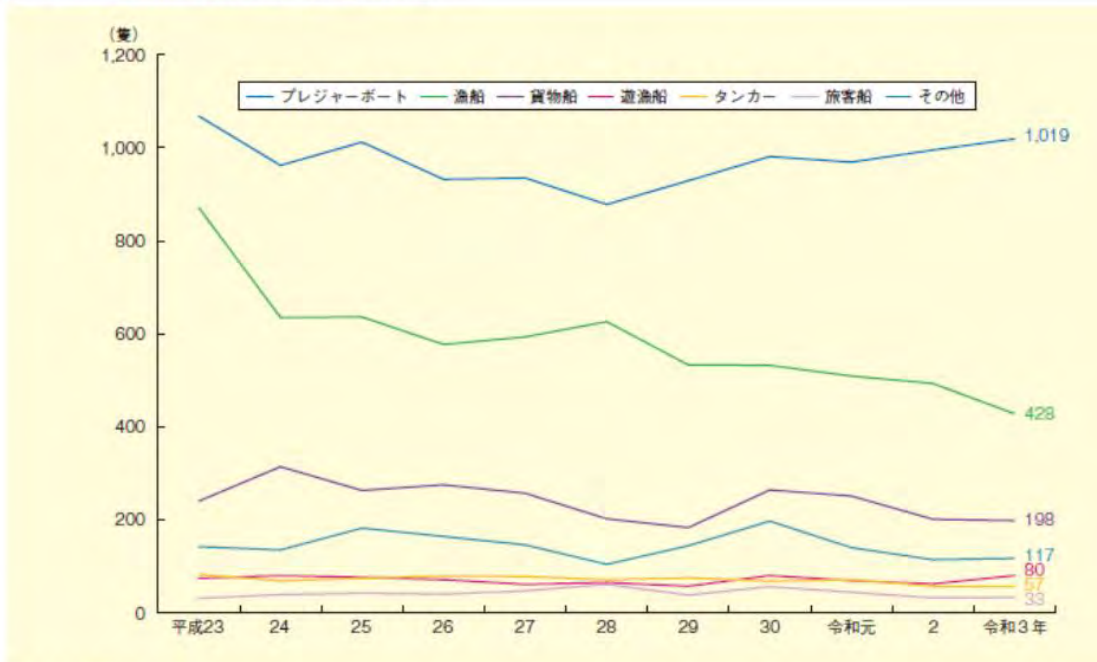
旅客船は船の規模に限らず全てのサイズでとなっているが、国際航に従事するものが対象となっている。そのため、日本の沿岸域のみを航行する船舶については、500総トン未満であればAIS搭載義務がない。

令和4年交通安全白書にある「我が国の船舶種類別の船舶事故隻数の推移」（図3-17）では、発生事故の殆どがプレジャーボートや漁船である。

また、水産庁の漁船漁業の安全対策の強化に関する資料（平成28年11月24日）（図3-18）では、漁船事故の約3割を占める衝突事故について、見張り不十分など人為的要因によるものが9割以上であること、人為的要因の事故回避のためのAISの普及率が漁船全体では1.6%程度に留まっていることが示されている。資料にある通り水産庁や関連省庁（海上保安庁等）による普及促進活動が行われているが、我が国小型船舶は、AIS信号だけを見ても見落とすことになる。

なお、中国漁船についてはAIS搭載が普及しており（中国版GPS「北斗」と中国漁船の項で紹介する）、日本周辺海域の外国漁船についてAIS情報は重要なものとなる。

▶ 第2-2図 船舶種類別の船舶事故隻数の推移



注：海上保安庁資料による。

図 3-17 船舶種類別の船舶事故隻数の推移<sup>7</sup>

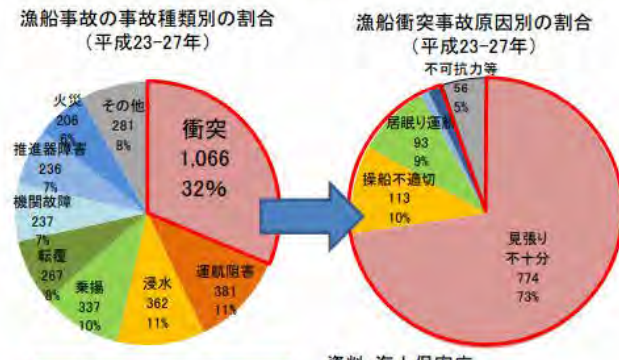
<sup>7</sup> [https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r04kou\\_haku/zenbun/genkyo/h2/h2s1.html](https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r04kou_haku/zenbun/genkyo/h2/h2s1.html)



### Ⅲ. 漁船の安全対策の強化 〈①漁船事故の防止: AISの普及〉

- 漁船事故を事故種類別で見ると、衝突事故が全体の約3割を占め、このうち見張り不十分など人為的要因によるものが9割以上を占めている。
- 人為的要因による事故を回避するためのAISの漁船への普及率は、漁船全体では1.6%程度に留まっている。

AIS (Automatic Identification System: 船舶自動識別装置) とは、船舶の位置、針路、速力等の安全に関する情報を、自動的に送受信するシステム。



資料:海上保安庁

#### AISの普及率

	H26年	H27年	H28年	
漁船	AIS搭載隻数	313	445	1,289
	漁船隻数	※	※	※
	AIS普及率	0.38%	0.55%	1.58%
一般船舶	AIS搭載隻数	2,556	2,847	3,128
	一般船舶隻数	5,408	5,437	5,380
	AIS普及率	47.26%	52.36%	58.14%

※漁船隻数は漁業センサスH25年(2013年)による過去1年間に漁業経営体(海上作業従事日数が30日未満の個人経営体は除く。)が漁業生産のために使用した動力漁船数  
 ○AISの搭載隻数は総務省資料、一般船舶隻数は国土交通省資料による  
 ○一般船舶は貨物、油送、自動車、その他専用船  
 ○船舶のうち、内航船の500トン以上、外航船の300トン以上は搭載が義務化されている

#### 今後の方向性

- 関係省庁と連携してAISの普及促進のための周知啓発活動を実施するとともに、低利融資制度資金の活用により利用促進を図る。
- データを収集し、AIS設置漁船と設置していない漁船の事故率に有意差があるか検証する。
- AIS搭載義務の拡大について、国土交通省において検討中であり、その結論を踏まえ、漁業者に周知・指導する。

図 3-18 漁船漁業の安全対策の強化に関する資料

#### 漁船事故の防止: AIS 普及

漁船事故を事故種類別で見ると、衝突事故が全体の約3割を占め、このうち見張り不十分など人為的要因によるものが9割以上を占めている。

人為的要因による事故を回避するためのAISの漁船への普及率は、漁船全体では1.6%程度に留まっている。

#### 3.1.5. DES (次世代 AIS)

衛星AISに関する民間商用サービスは他国が先行しているが、今後我が国において期待できるものとして次世代AISと呼ばれている、VDES (VHF Data Exchange System) の概要とその衛星利用について触れる。

#### VDES の概要について

海洋での船舶の通信は1979年より長く主にインマルサットにより提供されてきた。しかしながら、インターネット接続などデータ量の増大に必ずしも対応できておらず(384kbps程度)、また海域によっては利用が禁止されている国があるなど、見直しの機運が高まっている<sup>8</sup>。

そのため、いくつかの代替システムが検討、提案されている。一つにはAISシステムを発展させ、衛星利用を視野にASM(メッセージ)、VDE(双方向通信)機能を加えたVDES規格である。VDESの双方向通信速度は現状300kbps程度とさほど早くはないが、現状のAISシステムを置換していくことで展開しやすい利点が多い。まだ議論がなされている状況ではあるが有望な候補である。

以下、総務省総合通信基盤局電波部資料「VHFデータ交換システム(VDES)について」を用いて説明する<sup>9</sup>。VDESとはVHF帯を用いたデータ交換システムであり、AIS、ASM、地上VDE、衛星

<sup>8</sup> 渡辺、笹川平和財団OPRI. Retrieved from: [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000726354.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000726354.pdf)  
<sup>9</sup> 総務省北海道総合通信局. 「衛星を活用したVHFデータ交換システム(VDES)の導入による海上無線通信の高

VDE をまとめたものとして扱っている（図 3-13）。

AIS は船舶の基本的な情報に加え、任意のメッセージを送ることもでき、これは「ASM」と呼ばれている。海上での VHF 帯の通信は、入出港時の通信や船舶間通話に広く利用されているが、このような海上の VHF 帯での通信となる「地上 VDE」と、さらに船舶-衛星間の通信である「衛星 VDE」を全てまとめて、「VDES」となる。

これにより、図 3-19 右下のように海上の様々な船舶が通信可能、また離れた船舶間も衛星を介して通信可能となる他、データ伝送速度も AIS より改善される。

## VHFデータ交換システムの概要

1

### VHFデータ交換システム (VDES : VHF Data Exchange System)

- ・地上で用いるVHFデータ交換（地上VDE：全世界的に用いられているVDEチャンネル）、低軌道衛星によるVHFデータ交換（衛星VDE）、AIS（船舶自動識別装置）及びASM（AISを応用したメッセージ交換）をまとめてVHFデータ交換システム（VDES）として扱っている

#### VDES = AIS + ASM + 地上VDE + 衛星VDE

データ伝送速度	AIS :	9.6 kbps
	ASM :	19.2 kbps
	VDE :	最大307.2 kbps

- ・国際航路標識協会（IALA）が中心となってVDESを開発。
- \* VDESという呼称は、2012年12月に東京で開催された海上保安庁主催「次世代AIS国際標準化のためのワークショップ」において、日本からの提案が採用された。
- \* IALAガイドライン「VHF Data Exchange System (VDES) Overview 1117」にVDESに関する詳細な記載がある。

<http://www.iala-aism.org/product/vhd-data-exchange-system-vdes-overview-1117/>

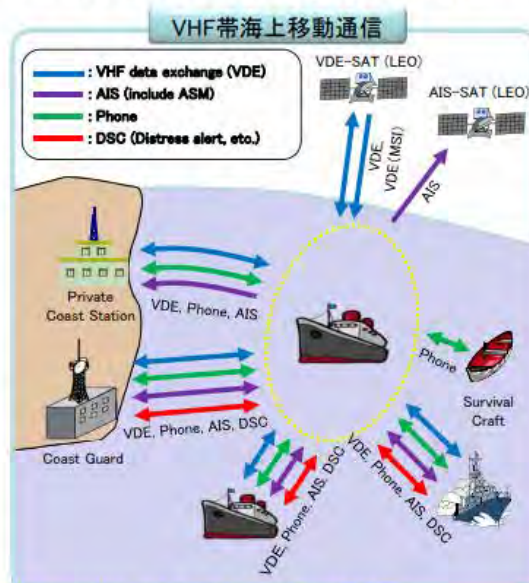


図 3-19 VHF データ交換システム (VDE) の概要

また、補足のため現行 AIS、地上 VDES（衛星を含まないもの）、衛星 VDES を比較したものを図 3-20<sup>10</sup>に示す。

度化に向けた調査検討会資料」. Retrieved from: [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000726352.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000726352.pdf)

<sup>10</sup> 笹川平和財団海洋政策研究所資料「2020年度衛星VDESに関する委員会報告書総合版」Retrieved from: [https://www.spf.org/global-data/opri/op\\_20210601\\_vdes.pdf](https://www.spf.org/global-data/opri/op_20210601_vdes.pdf)



## 現行AIS v.s. 地上VDES v.s. 衛星VDESの比較一覧

	現行AIS	地上VDES	衛星VDES
機能	自船の位置・船速・針路・船名・貨物情報を定期的に送信(不特定多数に)。	ASM(特定目的にメッセージ送信)+VDE(双方向通信)機能を付加。	ASM(特定船舶間通信)+VDE(洋上双方向通信網)+Sat(遠方通信)機能を付加。航行安全情報の放送を受信可能。
通信距離	近くの船舶間(洋上で約20Km) 衛星AIS(受信のみ)は全球	同左。海保はほぼ領海内をカバーと推察	遠距離(領海外でも可能) (半径約2,000Km)
通信区域	海上どこでも可能	同左	同左 (イリジウム、インマルサットは利用禁止国がある)
装備が容易か	1~2mの無指向性アンテナでOK。AIS装置はWi-Fi通信可能な物もあり扱い容易。	同左	同左 (インマルサット、スーパーバード等は追尾アンテナが必要のため場所を選ぶ)
費用(装置代)	数10万円~約200万円	未定(同左程度と推察)	同左
費用(通信費)	無料 (但し、衛星AISは有料)	同左(但し、アプリ利用費用は未定)	衛星費用負担は未定。 民間ビジネスモデルにより無償化を検討可能

図 3-20 AIS と VDES の比較

衛星 VDES については、公益財団法人笹川平和財団海洋政策研究所が設置した衛星 VDES 委員会により報告書及び「衛星 VDES に関する提言～海洋デジタル化時代に向けて～」が作成、公開されている<sup>11</sup>。提言は、提言 1「衛星 VDES に関する我が国ビジョンの検討」、提言 2「国際貢献の推進」、提言 3「関連技術の研究開発及び事業化の推進」、提言 4「海洋デジタル時代の人材育成」からなる。

また、2022 年 10 月には衛星 VDES の社会実装を進める衛星 VDES コンソーシアム<sup>12</sup>が設立された(公益財団法人笹川平和財団海洋政策研究所、株式会社 IHI、商船三井テクノトレード株式会社、古野電気株式会社、株式会社アークエッジ・スペース、株式会社東洋信号通信社、日本無線株式会社、三井物産株式会社による)。

なお同コンソーシアム資料「衛星 VDES コンソーシアム」の概要<sup>13</sup> から、衛星 VDES の有力な利用シーン・ニーズ(基本)と、衛星 VDES を利用した MDA の強化に関する説明を図 3-21 に抜粋する。

<sup>11</sup> 公益財団法人笹川平和財団海洋政策研究所。「衛星 VDES に関する提言～海洋デジタル化時代に向けて～」。  
Retrieved from: [https://www.spf.org/global-data/opri/op\\_20220819\\_vdes\\_brief.pdf](https://www.spf.org/global-data/opri/op_20220819_vdes_brief.pdf)

<sup>12</sup> VDES コンソーシアム。Retrieved from: <https://vdes.jp/>

<sup>13</sup> VDES コンソーシアム。「衛星 VDES コンソーシアム」。Retrieved from: [https://www.spf.org/global-data/SatelliteVDES\\_consortium\\_20221020\\_J.pdf](https://www.spf.org/global-data/SatelliteVDES_consortium_20221020_J.pdf)

## 衛星VDESの有力な利用シーン・ニーズ(基本)

- 1) **協調航法による安心・安全の強化**  
 特定船舶とメッセージ交換(全二重通信)による、より簡便・確実な情報交換  
 自動運航船における周辺船舶との航法計算機による連絡調整など、「協調航法」への発展
- 2) **海洋状況把握(MDA)拡張認識機能**  
 広範の海洋状況(先行船舶の航路情報・沖合海域の混雑度・海流データ・漁場予測データ等)の把握・共有による効率化
- 3) **航行警報情報の配信**  
 航行警報情報(漁網位置・流木・浅瀬の情報等)の共有・放送の促進
- 4) **衛星VDES導入による危険航行警告**  
 遠隔での第三者監視による、座礁・衝突等の危険に対する警報の発信(事故防止)  
 自動運航船におけるバックアップ回線としての利用
- 5) **船舶(デジタルシップ)のエンジン等の監視**  
 デジタルシップ(船舶搭載計算機がエッジコンピュータとして船体やエンジン等の監視を行う想定)における地上支援時の臨時回線として利用
- 6) **AISの課題解決へ利用**  
 AISの課題(データ受信不可地域の存在・停波による動静把握不能・データの欺瞞等)を解決  
 通信混雑の緩和(AISの32倍の帯域)
- 7) **位置証明に利用**  
 周回衛星から衛星直下位置に固有の「コード」を送信することによる位置証明(漁獲魚等の産地証明等)に利用
- 8) **海運ビジネス向けデジタルインフラに利用**  
 入港管理に利用  
 海運管理から荷主・小売りまでの階層のデジタル化に利用(荷物追跡等に利用し新たな高付加価値ビジネスへ発展)
- 9) **漁船同士の業務通信、留守宅との連絡に利用**

7

## 衛星VDESを利用したMDA能力の強化

**海洋状況情報の共有**

- 各船舶が取得したAIS情報、レーダー画像、障害物情報等を、VDESを利用し先行船(他船)と情報を共有しながら運航可能に
- 沿岸海洋局が衛星経由で半径約2,000kmの海域情報を収集しデュアルユースMDAに利用

AIS/レーダー受信範囲(半径約20~40km)

各船舶取得データを集約

航路

VDES衛星

MDA情報共有

日本の領海情報図 出典:海上保安庁ホームページより

①EEZ面積は世界第6位の海洋国家。(保有船舶量は世界第二位。我国の貿易に占める海上貨物99.6%)

②東経165度以西、北緯17度以北が、日米SAR協定の捜索区域

海運航行警報(DINOCAP-IC)協定(中国は、日本の責任領域。太平洋からインド洋に跨っている)

出典:衛星データ利用促進懇話会(第4回)資料(廣田忠一、平成29年7月12日、於:自民党本部)

➢ 中国は北斗の双方向通信を利用して、約7万隻の漁船の統制(含、海洋ビッグデータ処理)を実施中。北欧他では、米国情報以外に独自の情報を獲得したい動きがある。

➢ 次世代AIS(VDES)の本格導入が海外で検討されており、超小型衛星コンステレーションにより、実海域に於ける船舶観測データを伝送する事で、デュアルユースMDA情報を現在利用の情報に付加が可能となる。

- > 米国は海運業を保有しないため我国から情報提供(Give)可能になる。
- > 我国は海洋国家であり、インド太平洋・北米航路で多数の支配船を保有し、世界航行警報(NAVAREA-XI)海域は日本が区域調整国(責任国)である等の優位性がある。

9

図 3-21 衛星 VDES の有力な利用シーン・ニーズ (基本)、衛星 VDES を利用した MDA の強化

衛星 VDES を利用した MDA の強化では、船舶が取得した AIS 情報、レーダ画像、障害物情報等を先行船(他船)と情報共有しながら運行可能となるメリットを伝えている。先に示した Spire 社の Dynamic AIS™ サービスが船舶で受信した周辺船舶の AIS のみであるところ、さらにレーダ画像も共有することができれば、AIS 非発出船(AIS 発信が義務となっていない軍艦や、人為的に AIS を発信しない船舶等)の情報収集にも活用できるだろう。

なお、図 3-22 では中国の北斗の例について言及している。AIS の項とやや外れる内容となるが、衛星と MDA で重要なものと考え、AIS 説明の最後に北斗と漁船の通信について補足する。



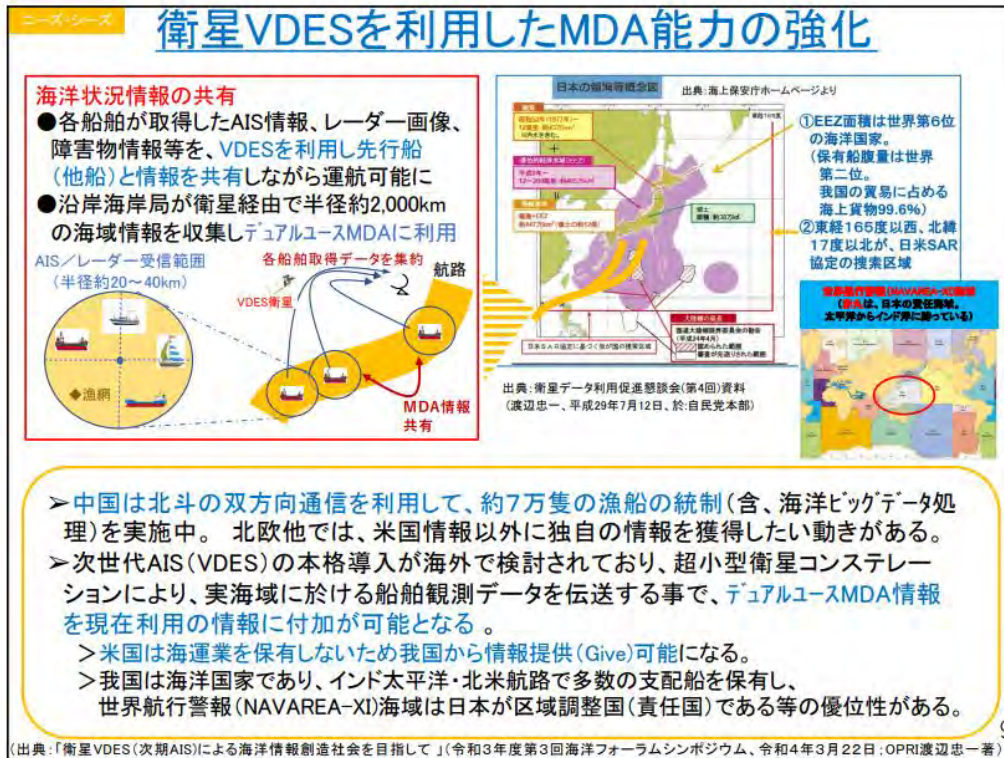


図 3-22 衛星 VDES を利用した MDA 強化 (中国北斗の例)

さらに、株式会社アークエッジ・スペース(衛星 VDES コンソーシアム設立メンバー)が、経済産業省「超小型衛星コンステレーション技術開発実証事業」によって開発される衛星バスシステムを活用し、VDES 衛星の実証機を 2023 年度に開発、2024 年までに軌道上での実証運用を目指す旨を発表している<sup>14</sup>。

加えて、経済安全保障重要技術育成プログラムとして「船舶向け通信衛星コンステレーションによる海洋状況把握技術の開発・実証」が NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)を通じて実施者の公募が行われている<sup>15</sup>。(元となる「船舶向け通信衛星コンステレーションによる海洋状況把握技術の開発・実証」に関する研究開発構想では、以下のような構想が示されている。

- 1) 日本 EEZ 内での宇宙実証(2027 年度まで)  
衛星を 5 機ずつ、段階的に 2 軌道面に打ち上げ、VDES 機能のほか、電波発信源の位置特定機能の性能評価を行う。この際、日本 EEZ 内での実証時間を 1 日あたり 2 時間以上(連続 1 時間以上×2 回)実施できるような軌道配置を考える
- 2) VDES 衛星コンステレーションの宇宙実証(2029 年度まで)  
海外の VDES 衛星、地上局とも接続することで全地球において VDES 機能の性能評価を行う。

このように、2027 年度までに 10 機の衛星が上がれば、また前出の 2 機を加えれば、我が国の AIS 衛星による全球での船舶情報収集能力が向上する。

なお、研究構想の最終目標としての VDES 衛星は次の通りとなっている。

- ・重量: 50kg 以下、寿命: 4 年、
- ・電波観測: L, S, X 及び K バンドの信号が受信可能※ 1

<sup>14</sup> 株式会社アークエッジ・スペース。「超小型衛星コンステレーション技術開発実証事業」. Retrieved from: [https://arkedgespace.com/news/2021-10-08\\_vdes](https://arkedgespace.com/news/2021-10-08_vdes).

<sup>15</sup> 新エネルギー・産業技術総合開発機構。「船舶向け通信衛星コンステレーションによる海洋状況把握技術の開発・実証」. Retrieved from: [https://www.nedo.go.jp/koubo/SM2\\_100001\\_00034.html](https://www.nedo.go.jp/koubo/SM2_100001_00034.html)



船舶識別分解能：1km以下※1

- ・（※1 研究開発開始時の想定であり、詳細はシステム設計で決定する）

また、AIS 信号を発信していない船舶の位置や動静把握、AIS 情報の偽装「スプーフィング（なりすまし）」の対応のため、AIS 以外の電波を監視できることや、複数のアンテナで受信した電波信号データから発信源を特定する機能についても求めており、VDES に加え、事項で説明する衛星による電波監視への実用化が期待される。

### 3.1.6. 衛星 VDES の課題

主な課題として2点を挙げる。

#### ①船舶への VDES 搭載の促進

後述の中国の例と比べ、日本の漁船等の AIS 搭載率は高くない。隻数の多い漁船等が VDES 装置を自ら搭載するための魅力あるサービスや、インセンティブが必要であろう。衛星 VDES コンソーシアムではそのようなキラーコンテンツを検討することが紹介されている。

#### ②衛星から海上（地上）への送信を許可しない国々

再び、総務省総合通信基盤局電波部資料<sup>16</sup>から抜粋して紹介すると、海上移動衛星業務（宇宙から地球、洋上）の使用は、関係国の合意を得る規定となっている。この関係国とは、アゼルバイジャン共和国、ベラルーシ共和国、中華人民共和国、大韓民国、キューバ、ロシア連邦、シリア・アラブ共和国、北朝鮮、南アフリカ共和国及びベトナム社会主義共和国である。

衛星 VDES はグローバルなサービスが指向されていると認識しているが、中国、ロシア、韓国、北朝鮮といった我が国周辺国が多いことは、我が国が日本周辺でサービスを行う上で注意すべき課題であろう。

## 2019年世界無線通信会議(WRC-19)の結果 議題1.9.2「VDES衛星コンポーネントの導入」

3

### <概要>

RR 付録第18号に記載されたVHF帯における海上での移動通信に係る周波数利用の規定について、VDESの衛星での利用のために、船舶自動識別装置（AIS）、アプリケーション特定メッセージ（ASM）、地上でのVDES利用、同帯域及び隣接帯域の既存業務に対し追加の制約を課すことなく、海上移動衛星業務の周波数分配及び規制条項について検討するもの。

### 【WRC-19の結果】

- ・RR付録第18号が改定され、国際VHFのチャンネル表のVDES周波数で衛星VDE（VDESの衛星コンポーネント）の運用が認められた。
- ・RR第5条の周波数分配表に、157.1875-157.3375MHz帯及び161.7875-161.9375MHz帯の海上移動衛星業務が新たに二次分配された。また、脚注第5.228AB号及び第5.228AC号が追加され、この周波数帯の海上移動衛星業務（地球から宇宙）及び海上移動衛星業務（宇宙から地球）の使用はRR付録第18号に従い運用される非静止衛星システムに限ること、また、当該周波数帯の海上移動衛星業務（宇宙から地球）の使用はRR第9.21号に従い、関係国\*の合意を得ることが規定された。
- ・脚注第5.208A号及び第5.208B号並びに決議第739(WRC-15)表1-2が改定され、上記周波数帯の使用において、電波天文業務を保護することが規定された。
- ・RR付録第18号のチャンネル表及び注m)、mm)、w)、wa)、ww)、x)、xx)、z)、zx)及びzz)の変更や削除（議題9.2関連の期限見直しなどを含む）が行われた。

\*アゼルバイジャン共和国、ベラルーシ共和国、中華人民共和国、大韓民国、キューバ、ロシア連邦、シリア・アラブ共和国、北朝鮮、南アフリカ共和国及びベトナム社会主義共和国

図 3-23 世界無線通信会議の結果

<sup>16</sup> 総務省総合通信基盤局電波部資料。「VHF データ交換システム（VDES）について」。Retrieved from: [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000726352.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000726352.pdf)

なお、2023年2月24日に実施された衛星 VDES 国際フォーラム<sup>17</sup>でも本件が話題となった。欧州の衛星 VDES ベンチャー企業である Sternula 社 CEO の MOLTSSEN 氏はこれに対する質問を受け、これらの国々が許可しない場合でも、衛星側の工夫として、送信を切る、アンテナの方向を変えろといったことでも対応が可能と回答していたが、衛星運用を含めシンプルな VDES サービスの構築のために、これら国々の了解が得られるに越したことはない。

経済安全保障重要技術育成プログラムの「船舶向け通信衛星コンステレーションによる海洋状況把握技術の開発・実証」では、衛星 VDES と電波監視の両方の技術を求めている。

### 3.2. 中国では漁船と GPS 衛星「北斗」の通信から〈補論〉

我が国の全球測位衛星システム (GNSS: Global Navigation Satellite System) である、みちびき (準天頂) 衛星システムは 2018 年 11 月、4 機体制でサービスが開始されており、さらに 7 機体制構築に向けた開発、整備が進んでいる。内閣府のみちびきウェブサイト<sup>18</sup>では、みちびきに関する技術情報や、対応する地上製品、利用サービスといった情報が分かりやすく紹介されている。同サイトでは各国の測位衛星: GPS (米国)、GLONASS (ロシア)、BeiDou (中国)、Galileo (欧州)、みちびき (日本)、NAVIC (インド) の最新情報<sup>19</sup> も紹介されている。

ここでは、中国の GNSS 「北斗」 (BeiDou) について取り上げる。

北斗は、通常の GNSS 機能である位置情報を把握するためのシステムであるとともに、対応端末からの信号を受信する機能を有し、北斗対応の端末と北斗 (衛星) 間の双方向通信が可能といった特徴を有している。中国国内では漢字を 1000 文字まで、世界のその他の地域では漢字 40 文字までを送受信できる。2008 年の汶川地震では、救助隊が北斗端末のショートメッセージ機能を使った情報連絡を行っている<sup>20</sup>。

中国は漁業のスマート化を AIS、VMS、GNSS (北斗) といった技術を用いて進めている。漁船の位置、漁獲量等が迅速に把握、報告されるようになってきている。国際的な批判されている IUU 漁業への対応と PR されているが、別の視点もある。我が国周辺海域の安全に関する情報として重要な内容であるため、以下に 2 つのレポートを紹介する。

AIS、VMS、GNSS 技術と漁民への報奨金等のインセンティブにより、漁民に特定の行動をとらせることが可能となったことが、九州大学の益尾知佐子准教授による (公財) 日本国際問題研究所に研究レポート「中国の漁業改革の国際的影響」で述べられている<sup>21</sup>。以下にポイントを抜粋する。

- 1) 中国ではスマート漁業の構築が進められ、2018 年 4 月には、「全国沿海漁港建設計画 (2018-2025 年)」が発表された。
- 2) 計画の技術的な目玉は、漁船の自動識別システム (AIS) の導入。漁港の出入り口などに自動認識装置をつけ、漁船の出入港手続きを完全に自動管理する。政府は各漁船の寄港先を (基本的に) 1ヶ所に限定し、母港でのみ水揚げを許可する。中国では各漁船の漁獲内容や水揚げに関する統計の整備が遅れていたが、以後は漁港の各所にカメラや計量器が設置され、人やモノの動きを電子管理することになった。
- 3) 港で捕捉された情報は、共産党の管理下の海洋ビッグデータとして利用・管理されることになった。その鍵となるのが、「北斗」の技術である。
- 4) 多くの国の VMS が 4 時間に一度の頻度のところ、中国の全遠洋漁船の VMS 装置は毎時一回、当局に自動的に信号を発信。警告通報機能も備え、操業漁船の無許可海域への接近を防ぐ。
- 5) 各漁船の遠洋操業日誌の報告率は、2019 年末に 100%に達した。

<sup>17</sup> [https://www.spf.org/global-data/20230224\\_VDES\\_speakers.pdf](https://www.spf.org/global-data/20230224_VDES_speakers.pdf)

<sup>18</sup> みちびき. <https://qzss.go.jp/>

<sup>19</sup> みちびき. 「各国の測位衛星」 <https://qzss.go.jp/technical/satellites/index.html>

<sup>20</sup> 国立研究開発法人科学技術振興機構. 「Science Portal China: 人々の生活に大きな影響を与える衛星測位システム・北斗」. Retrieved from: [https://spc.jst.go.jp/news/200604/topic\\_3\\_02.html](https://spc.jst.go.jp/news/200604/topic_3_02.html)

<sup>21</sup> 益尾知佐子. 「中国の漁業改革の国際的影響」 Retrieved from: (<https://www.jiia.or.jp/research-report/post-94.html>)

- 6) 当局は漁民の行動を細かく制御できるようになった。VMS の燃料補助金支給機能を用い、漁民への報奨金等のインセンティブをつけ、漁民に特定の行動をとるよう命じることができる。

また、ロイターの記事は、中国の漁民の軍事訓練や助成金について、関係者へのインタビューを行い、次のように報じられている<sup>22</sup>。

- 1) 中国は南シナ海への漁船団の高性能化を進めており、軍事訓練や助成金、燃料等の支援を行っている。
- 2) 訓練には、海上演習や外国船舶に関する情報収集、そして「中国の主権を守ること」などが含まれている。海上演習も行う訓練で、政府は漁師に参加費を支払う。
- 3) 政府は助成金で、木製ではなく、鋼鉄製で重量のある船舶の使用を奨励。
- 4) 一部の漁船には小型の武器が搭載されている。

(参考)

・ 中国の漁船は AIS 搭載が進んでいる。

世界各地での中国船による IUU 漁業が批判されているが、実は中国の漁船は AIS 搭載が進んでいる。中国交通運輸部が建設した中国 AIS システムは 10 年間にわたる建設と発展を経て、すでに中国の全沿岸水域と内陸河川のハイレベル航路をカバーした。AIS 端末は 2012 年 7 月 1 日までに全国 13 万 4 千隻の船舶に設置される予定<sup>23</sup>。

また、中国では AIS の利用が進んだためか、船舶搭載用であった AIS 装置を漁具（漁網の付いたブイ）に設置するとの事例もある。漁具に設置された AIS も図 3-24 のように紹介されている。本来の AIS の利用目的から外れるが（問題がないわけではない）、漁業者は網を入れた場所を簡単に探索でき、付近を航行する船舶は漁具を船と思って避航し、漁具が守られることになること紹介されている<sup>24</sup>。



図 3-24 漁具に設置された AIS

(参考) 衛星コンステレーション、軌道上プラットフォーム (HAPS) による通信  
高速のネットワーク化を求め、米国スペース X 社による Starlink など低軌道通信衛星コンス

<sup>22</sup> ロイター. 「アングル：中国が「漁船団」に軍事訓練、南シナ海へ派遣」（2016 年 5 月 2 日）. Retrieved from: (<https://jp.reuters.com/article/angle-china-fishing-boats-idJPKCNOXT0FB>)

<sup>23</sup> 国立研究開発法人科学技術振興機構. 「Science Portal China. 中国の漁船、衝突防止や通信に役立つ AIS 端末搭載」. (2012 年 6 月 1 日) Retrieved from: [https://spc.jst.go.jp/news/120601/topic\\_5\\_01.html](https://spc.jst.go.jp/news/120601/topic_5_01.html)

<sup>24</sup> 松本 浩文准. 「【特集】 漁船の安全対策と 海難防止の取り組み：AIS を利用した漁船の避航と漁具の識別」. 日本海難防止協会 海と安全 NO.587 Retrieved from: [https://www.nikkaibo.or.jp/pdf/587\\_2020.pdf](https://www.nikkaibo.or.jp/pdf/587_2020.pdf)

テレシヨンの船舶サービス適用も商用化されつつある<sup>25</sup>。国内においてはNTT/JAXAがIOWN構想の検討を行っている。静止衛星/低軌道光通信衛星コンステレーションなど重層化した信頼性の高いシステム構想となっている<sup>26</sup>。Starlinkなども最終的には複数高度のコンステレーションを組み合わせ、複数周波数を用いた多層システムを目指している。

抗堪性なども考慮した場合、このような多層化重層化したシステムが単一ノード(衛星等)の攻撃に対して耐性が高く、また複数のルーティングを持てることから通信速度の安定化に対しても優位であることはインターネットの例で明らかであり、最終的に海洋を含めた安定高速通信環境の確保という意味においてはこれらの大型システムが望まれる。

しかしながら、IOWNもまだ構想中であり、ユースケースにより、コストや通信速度、抗堪性などとパラメータとした全体通信システムの最適化は変わってくることから、今後もこれらについて利用議論および技術的実現性検討動向に注視する必要がある。

---

<sup>25</sup> 商船三井. <https://www.mol.co.jp/pr/2022/22140.html>

<sup>26</sup> JAXA. [https://www.jaxa.jp/press/2019/11/20191105a\\_j.html](https://www.jaxa.jp/press/2019/11/20191105a_j.html)

## 1.4. 電波監視

### <利点>

船舶からは、周囲の他船把握のための船舶レーダ、通信のための電波が送信されており、これを衛星で受信することで、およその位置を把握可能である。AIS 信号が送信されない、得られない船舶の把握に有効となる。AIS 同様に、広域な範囲を一度に観測可能である。また、受信した電波の情報から船舶の絞り込み（電波指紋）等といった技術も存在する。

### <課題>

AIS のように位置情報を含まないため、船舶の正確な位置の把握は難しい。衛星での受信が前提となっていないため、受信した情報の取り扱いには特に注意が必要と思われる。なお、海外では受信した電波からの船舶位置情報（船舶名、位置）が有償サービスとして提供されているが、より詳細な信号の情報は輸出規制の対象となっている。

### <状況>

海外の民間サービスとして、米国の Hawley360、フランス Unseenlabs、ルクセンブルクの Kleos といった企業が専用衛星を打上げ、情報提供サービスを行っている。

Hawley360 と Kleos は、3 機、または 4 機を一組とする構成で運用し、船舶等の電波発信源の位置推定精度を高めている。一方の Unseenlabs は 1 機ずつを軌道に配置することで、（同じ機数であれば）観測頻度が高く、もしくは安価な情報提供サービスを PR している（また、1 機の衛星から電波源の推定位置を高める技術開発も行っている）。

電波発信源の位置推定精度（どこまで絞り込めるか）は、複数機を 1 セットとした衛星では概ね 1 km、1 機ずつの構成は概ね 10 km レベルのようである。そのため、利用したい海域の船舶密集度や（距離の近い船舶を識別したいか）、利用用途に応じどこまでの精度を求めるかによる選択が有効であろう。

なお、Hawley360 は米国は ITAR 規制（輸出）を受けるところ、欧州の Unseenlabs、Kleos は輸出規制が少ないことも PR している



## 1.5. SAR (合成開口レーダ、Synthetic Aperture Radar)

<利点>

人工衛星からマイクロ波を送信し、対象物からの反射を観測するため、太陽光を必要とせずに洋上の船舶からの反射情報を得ることができる。そのため、曇天時、夜間を含め、観測不能となることが少なく、安定した観測が可能である。AIS 信号を送信しない等の船舶も漏れなく観測できる。

複数の観測モードが利用でき、目的に応じて広域を観測すること（分解能は低くなる、広域の船舶の検出に有効）、狭域で分解能を高く観測すること（関心のある海域において、1 隻ごとの船舶の形状等を細かく観測するのに有効）といった使い方ができる。



図 3-25 合成開口レーダ (SAR) 衛星による船舶の観測原理

観測モード(分解能 / 観測幅)	
高分解能	3m~10m / 50km or 70km
広域観測	100m / 350km or 490km
スポットライト	1~3m/25km

図 3-26 SAR 衛星の観測モード例 (ALOS-2 は、) 観測目的に応じた観測モードの選択が可能。

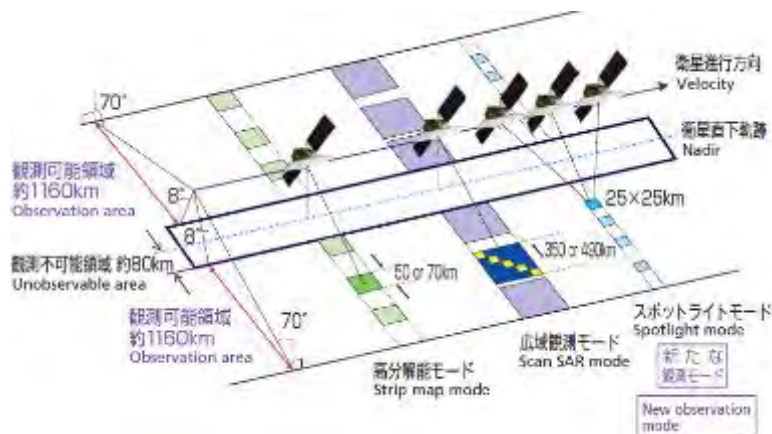


図 3-27 ALOS-2 観測モードのイメージ

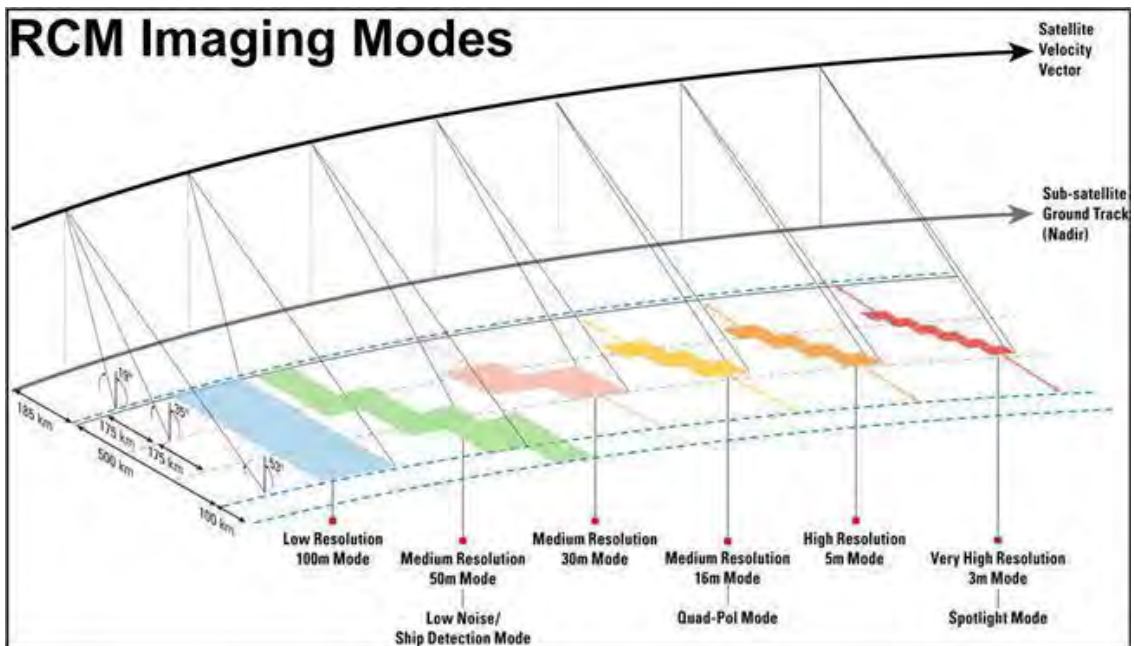


図 3-28 カナダの SAR 衛星 RCM の観測モードのイメージ<sup>27</sup>

<課題>

光学衛星情報と比べると判読性、直感的な理解のしやすさの点で劣る。ごく小型の船舶、木造船や FRP 船はマイクロ波の反射が小さいため、検出できないこともある。多くの電力を必要とするため、衛星ごとに連続的に観測可能な時間が限られている。各国の宇宙開発機関が運用する SAR 衛星は観測可能時間が長く（日本の ALOS-2 では連続観測時間が 48 分）、広域の情報を得やすいのに対し、民間商用 SAR 衛星は連続観測可能時間が短く（ドイツの TerraSAR-X では 3 分）、代わりに機数を増やしニーズの高い場所をポイント的に頻度高く観測することに向いている。）

ALOS-2 などにおいて、小型に比べて連続観測時間が長いものの、広大な領海などをすべて観測してデータをダウンロードすることはデータ量上不可能な運用となっている。そのため、軌道上において船舶などを検知し、周囲部分についての観測データを下ろすことで MDA をすすめる研究がなされている。

<その他（用いるマイクロ波の違い）>

SAR 衛星では用いるマイクロ波の種類（波長、周波数）に応じ、観測される画像の特徴が異なる。JAXA の SAR 衛星は L バンドを用いている。一方で商用衛星は X バンドが多く用いられている。

L バンドは陸域の観測では樹木等を透過し、その下の地表面や、地表の存在物を観測することに向いている。海域観測では海面の状態に不敏感であるため、波立った海面からの反射を船舶と誤検知しにくい特徴がある。

X バンドは分解能が高い画像が得られるため、L バンドで広域の船舶分布やおおよそのサイズを観測し、さらに必要な船、場所に対し X バンドの商用衛星で詳細な形状を観測するといった組合せの利用が考えられる。商用の X バンド衛星は多数機コンステレーションも進み、観測サービスが得られやすくなっており、特定の場所を高頻度で観測できることも利点となる。

<sup>27</sup> <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/technical-features/characteristics.asp>

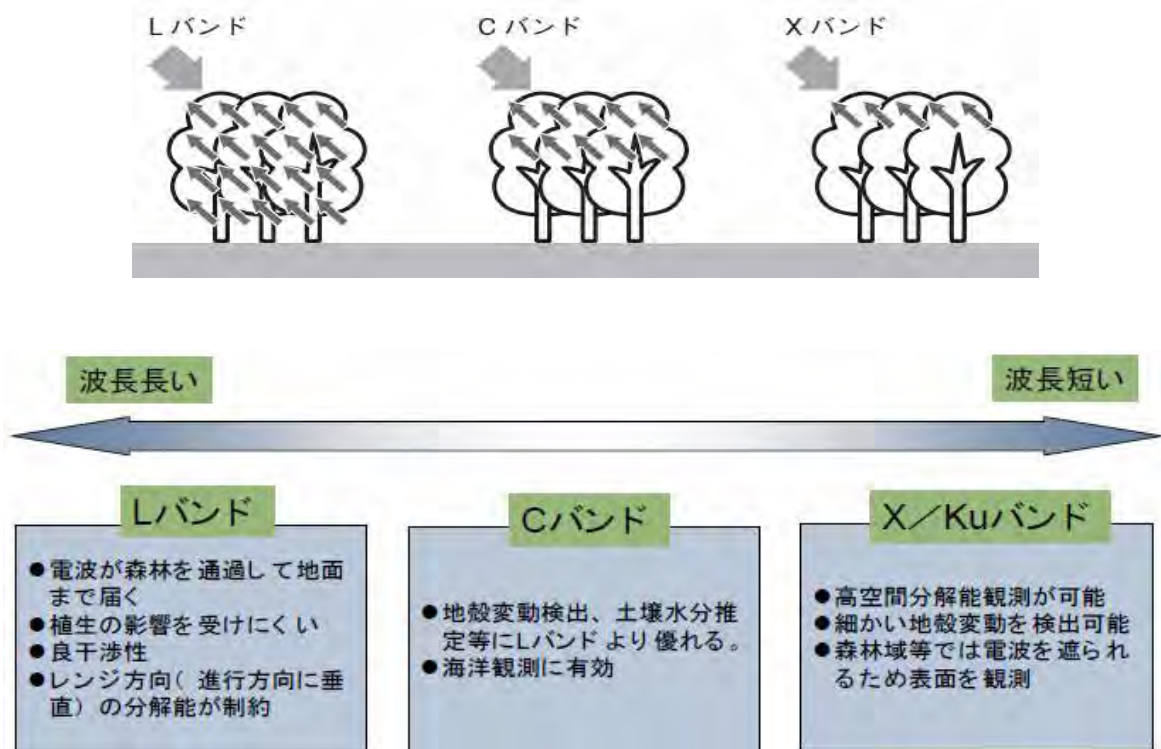


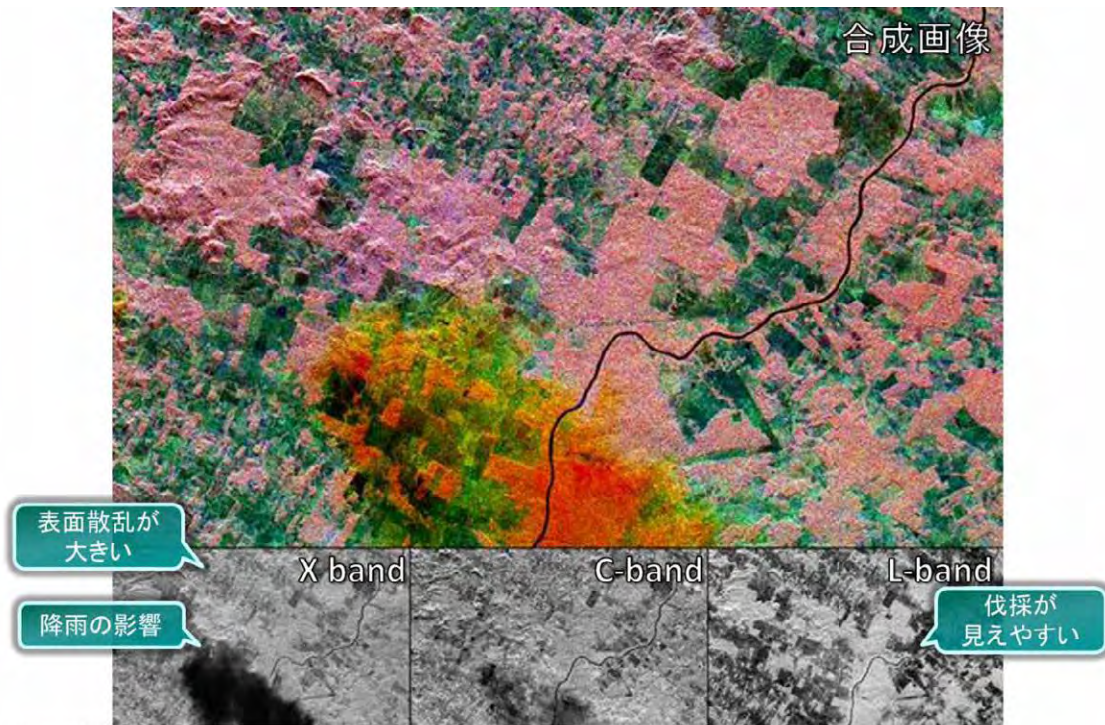
図 3-29 周波数毎の特徴

スペースシャトル エンデバー号に搭載された合成開口レーダによって撮像されたブラジルの熱帯雨林の画像である。LバンドおよびCバンドを観測するNASA/JPLによるSAR-C（米国のSARミッションの三代目、A, B, CのC）と、Xバンドを観測するDLR（ドイツ航空宇宙センター）/ASI（イタリア宇宙機関）によるX-SARによって得られた3バンドのレーダ画像である。

図に説明を加えているが、Xバンドは画面中央が黒くなっている。これは強雨の影響であり、Cバンドでもその影響が弱いものが見られている。これに対し、Lバンド画像では強雨の影響を受けずに陸域の状態が確認しやすい。（なお、この性質を利用してXバンドでは降雨の推定にも応用できると示唆されている。）

洋上の船舶監視の場合、Lバンドは強雨の影響を受けにくく、天候に対し安定した観測手段と言える。





Credit: NASA/JPL <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01821>

図 3-30 合成画像の例<sup>28</sup>

項目		SIR-C Spaceborne Imaging Radar-C	X-SAR X-band Synthetic Aperture Radar
サイズ	メインアンテナ	12.0m×3.5m	12.0m×0.5m
	船外アンテナ	8.1m×0.9m	6m×0.4m
観測周波数		5.3GHz (Cバンド)	9.6GHz (Xバンド)
波長		5.8cm	3.1cm
解像度	水平方向	30m	30m
	垂直方向	16m	16m
観測高度		233km	233km
観測幅		225km *2	50km
偏波 *1		HH,HV,VH,VV	VV
オフナディア角		23~63° *2	52°

\*1 : HH (Horizontal transmit,Horizontal receive);水平偏波にて送受信  
 HV (Horizontal transmit,Vertical receive);水平偏波にて送信、垂直偏波にて受信  
 VH (Vertical transmit,Horizontal receive);垂直偏波にて送信、水平偏波にて受信

<sup>28</sup> NASA/JPL. <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01821>

図 3-31 SIR-C、X-SAR の主要諸元<sup>29</sup>

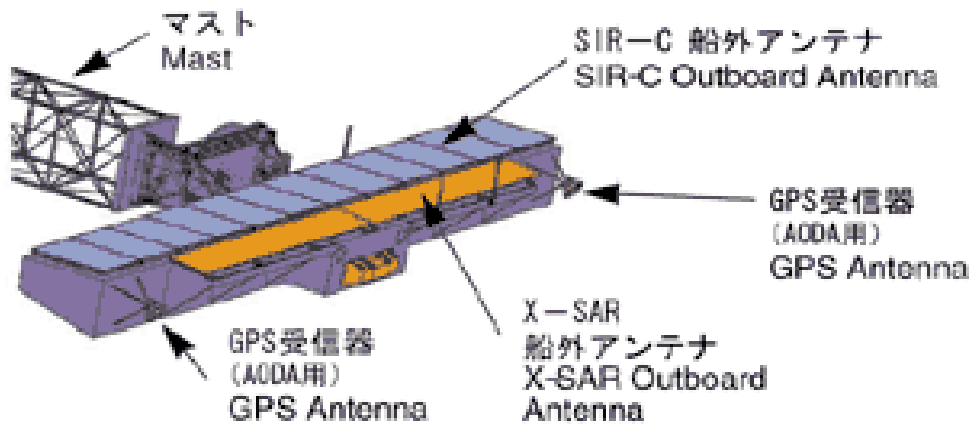


図 3-32 SIR-C、X-SAR の搭載構成<sup>30</sup>

<偏波観測について>

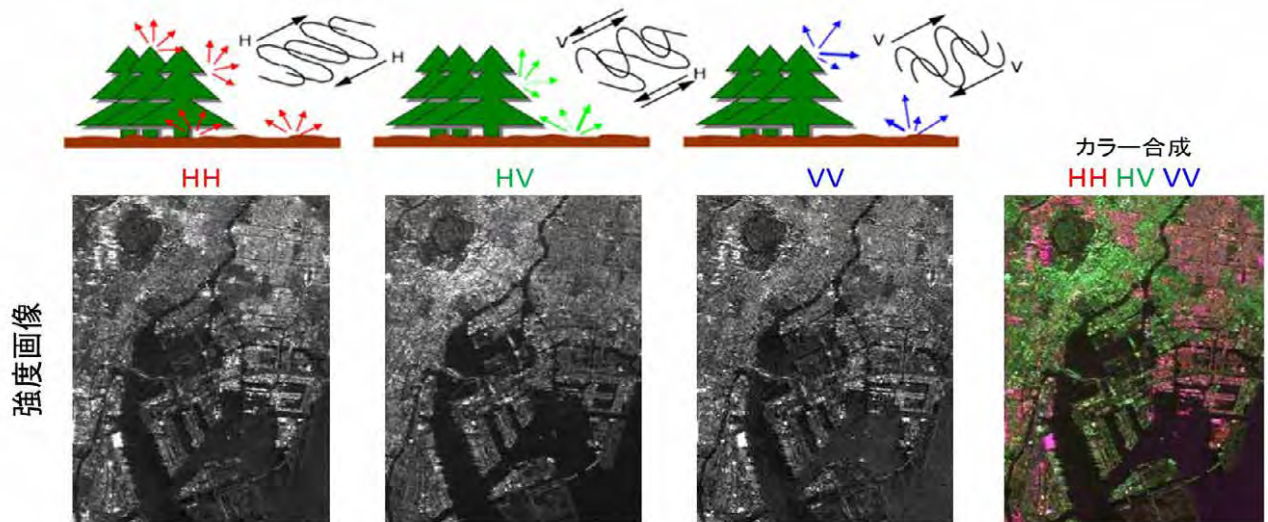
電波は進行方向に垂直な面に振動する横波であり、特定の方向に波の振動が偏る「偏波」という特性をもつ。電波が対象物から反射される際に、反射する対象物の種類によって偏波の特性が変化することがある。

SAR 衛星では、地上物による偏波の変化を捉えるため、水平に振動する直線偏波 (H) と垂直に振動する直線偏波 (V) を、送信と受信の際に切り替えて観測している。送信、受信の組合せで、送受信とも H のものを HH、V で送受信するものを VV、そして送信と受信で H と V を切り替えるものを HV (VH) と呼んでいる。それぞれの特徴は次のとおりである。

HH：透過性が強い。正対する建物や木からの 2 回反射や、電線などの水平な構造の反射が強い。

HV：森林や建物の反射が相対的に強い。

VV：透過性がやや強い。正対する建物や木からの二回反射、垂直な構造からの反射が強い。



ALOS PALSAR フルポラリメトリ画像(東京)

図 3-33 フルポラリメトリ画像

<洋上の船舶観測における偏波について>

<sup>29</sup> JAXA. 「SRTM とは」. [https://iss.jaxa.jp/shuttle/flight/sts99/mis\\_srtm.html](https://iss.jaxa.jp/shuttle/flight/sts99/mis_srtm.html)

<sup>30</sup> Ibid.

海面状態ではなく、船舶を対象とした観測の場合、観測した SAR 画像は船舶のみが明るく際立ち（画像中の光点として船舶を識別できる）、海面は暗い方が便利である。

日本周辺海域等、広域な海域を観測する際は、できるだけ観測幅の広い ScanSAR（広域観測）モードが適しているが、より高分解能な狭域の観測と比べると、SAR 画像の分解能が低下する。そのため、電波を反射しにくい船（小型の船、材質が繊維強化プラスチック FRP や木造のもの）の検出漏れに注意を要する。加えて風が強く海面が荒れる際は、海面からの反射が増え（画像全体が明るくなる）、船舶からの反射が埋もれやすい。

このような中での船舶を対象とした SAR 広域観測では、HV モードの観測が有効である。HV モードでは、船舶からの反射はある程度強く、海面の反射を下げるることができる。その事例として、日本海を観測した ALOS-2 画像と、そこから検出した船舶位置を図 3-34 に示す。

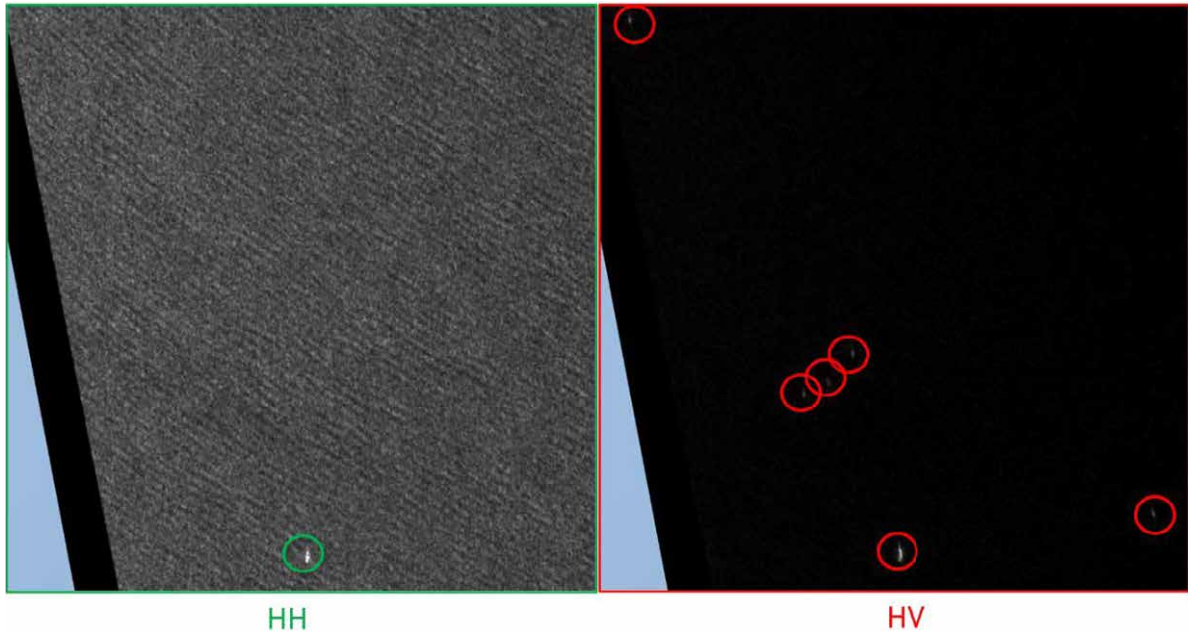


図 3-34 日本海における SAR 観測画像例 船舶が抽出された場所を丸で示している  
左：HH モード、右：HV モード

HH モードでは海面全体が明るくなり、図中で検出された船舶は 1 隻（反射が強いもの）のみであった。これに対し HV モードでは海面全体が暗い中、反射が小さい船舶を捉えられている。

また、図 3-35 は沿岸域の SAR 画像であるが、SAR 観測画像特有の事象として、海面に対し反射が強い陸域がゴーストのように海面に映り込むことがある。海面に陸域のパターンが重なっているが、HV モード（左下）ではその影響が比較的小さくなっている。



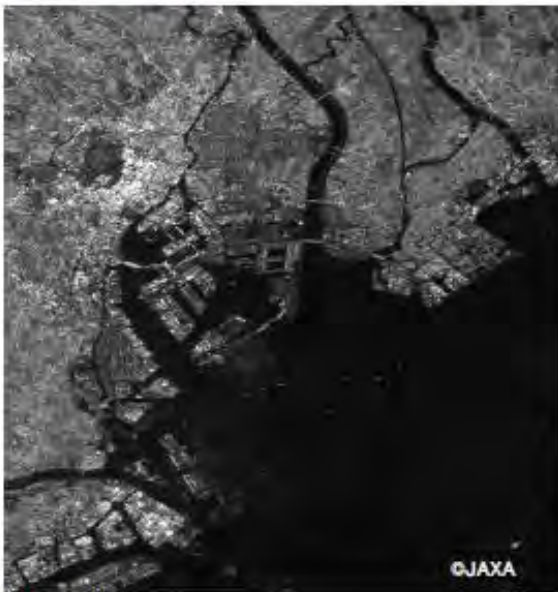
偏波画像の例



擬似カラー画像



HH画像(赤)



HV画像(緑)



VV画像(青)



衛星: ALOS-2
観測日時: 2015/10/11 14:37
分解能: 6m
オフナディア角: 34.9°
偏波: HH+HV+VH+VV

図 3-35 沿岸（港湾）での SAR 観測画像例

<合成開口レーダ衛星「だいち2号」(ALOS-2)について>

「だいち2号」(ALOS-2)の前号機となる陸域観測衛星「だいち」(ALOS; 初号機)はLバンド合成開口レーダ(SAR)と光学センサを搭載し、2006年1月24日に打ち上げられた。名称のとおり陸域を主に観測し、地図の更新や森林の違法伐採の検知、さらに災害状況の把握に用いられ、2011年の東日本大震災で400シーンの観測を実施した後、2011年5月12日に運用を停止した。海洋においても、海水や油の流出、さらに海上の風や波といった利用技術の開発や検証も行われた。

「だいち」のLバンドSAR観測を発展的に引き継ぎ、「だいち2号」は2014年5月24日に打ち上げられた。「だいち2号」は地表面変化を「だいち」より正確に観測できること等により、山体変化による火山活動の把握利用や、災害状況把握(特に災害前後での変化)の利用が大きく進んだ。加えて、前述のAIS受信機(SPAISE2)で得られる情報とあわせ、海上船舶の把握に向けた観測データ解析技術開発が行われた。

図3-36に合成開口レーダ(SAR)による船舶観測の概念を示す。衛星から照射した電波の反射を観測することで、船舶の存在位置が分かる。AIS等の信号発出に関係なく観測ができ、昼夜や天候を問わず観測できる特長がある。また、選択する観測モード(分解能)により、船舶のサイズや形状の特徴を観測することができる。

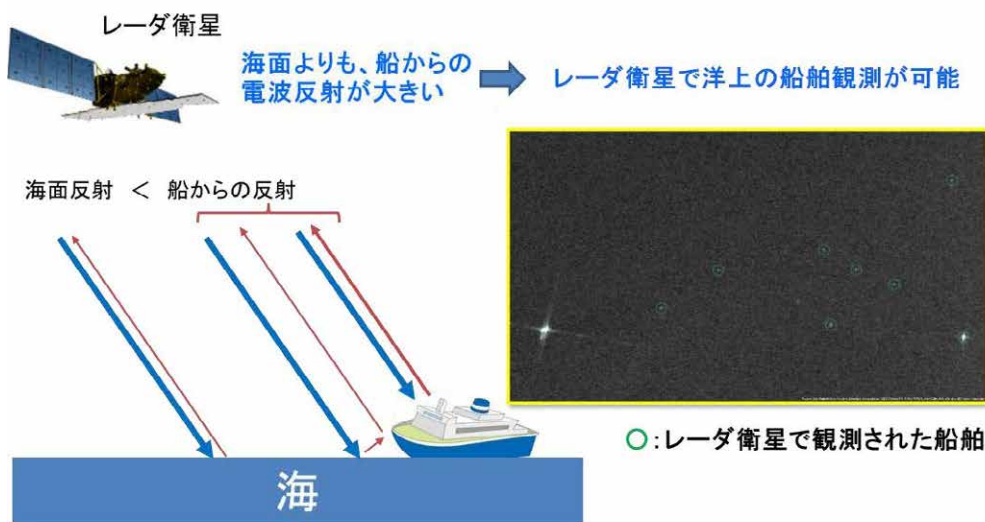


図3-36 合成開口レーダによる船舶の観測原理

また、合成開口レーダ衛星は通常、複数の観測モードを有する。各モードの分解能と観測幅は相反するものであり、観測対象、目的に応じて選択する(その他、偏波モードも選択可能)。「だいち2号」の観測モードを図3-37および図3-38に示す。

観測モード(分解能 / 観測幅)	
高分解能	3m~10m / 50km or 70km
広域観測	100m / 350km or 490km
スポットライト	1~3m / 25km

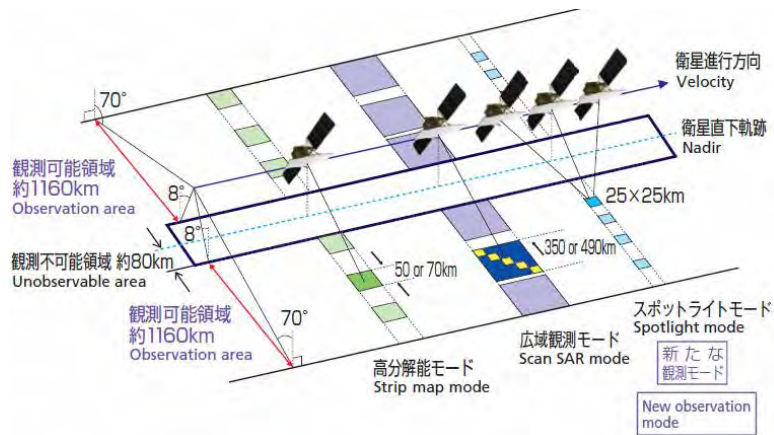


図 3-37 「だいち 2 号」の主たる SAR 観測モード<sup>31</sup>

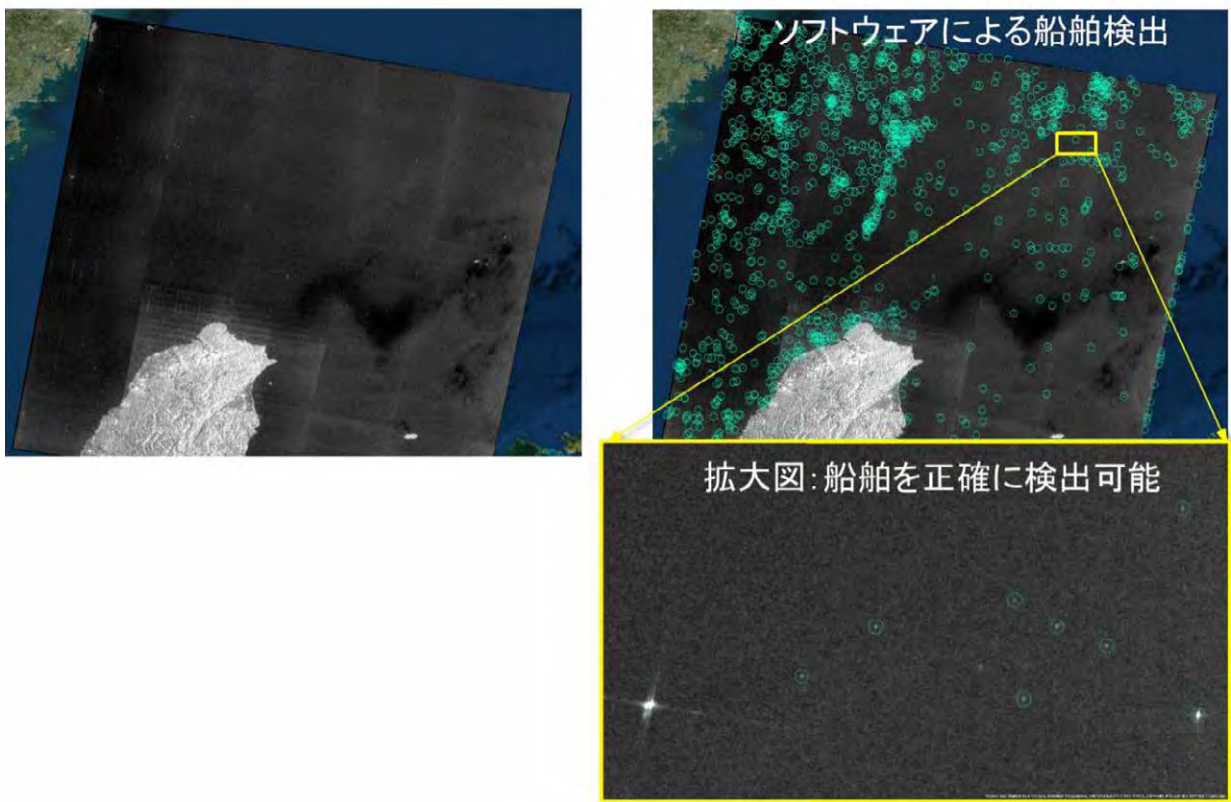


図 3-38 「だいち 2 号」による広域観測 (350 km 幅) 画像例

左上は東シナ海の画像であるが、台湾の北部等の陸域が見えるだけである。これを船舶検出用のソフトウェアによって船舶の位置を丸く囲ったものが右上の画像である。さらに拡大した図も下に載せるが、船舶を正確に検出可能である。「だいち 2 号」は 350 km 幅といった広域の観測が可能であるが、手作業により船舶を見つけるのは現実的でなく、解析ソフトウェアにより自動検出することが一般的となっている。

また、観測幅は狭くなるものの、高分解能モードやスポットライトモードはより分解能の高い観測画像が得られる。これら画像からは、船舶の大きさや、船舶の形状や反射の特徴から船舶の種類等を分析することが可能である。JAXA では SAR 画像からの船舶分析の高速化を目指し

<sup>31</sup> ALOS 解析研究プロジェクト 「ALOS-2 プロジェクト/PALSAR-2」 Retrieved from <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/about/jpalsar2.htm>



た機械学習技術の研究も行っているが、やはり観測モード（分解能）により解析できる情報が異なり、また観測モード別の学習が必要となっている。将来、異なる衛星で観測された SAR 画像を用いる場合は、（共通的に利用できる部分もあるが）衛星ごとに分けた学習も必要となることも課題である。

その他、「だいち 2 号」を通じて得られた SAR 衛星による船舶観測における知見、課題を以下に紹介する。

#### 洋上の船舶の把握には、広域観測が非常に重要

船舶は移動する観測対象であり、事前に位置を予測できない。また、SAR 衛星は常に地表、洋上を観測しておらず、必要な観測対象のみを事前に計画して観測する。そのため、関心の海域を広域で観測し、求める船舶が確実に観測されることが必要である。

SAR 衛星の観測幅は、各国の宇宙機関によるもの（日本、欧州、ドイツ、イタリア、カナダ）は 200 km を超える広域観測モードを有するが、商用小型衛星は最もサービスが先行している ICEYE で 100 km であり、我が国のように周辺海域が広い場合は十分と言えない。また、複数機コンステレーションは狭い領域の高頻度観測には適しているが（事業収益も得られやすく、民間衛星はそのような傾向と思われる）、広い洋上の船舶監視には適さない。異なる観測時刻で撮像された衛星画像から広域画像を合成しても、移動する船舶の位置が観測時刻によって変わってしまい、その後の分析が困難となる。地理空間情報の活用（GEOINT）では、位置を含む情報を複数レイヤーに加えていくが、海洋状況把握においては海上の船舶分布を示した大きな 1 枚図が基盤情報として重要であり、これに各種情報を加える使い方が想定される。

#### 港湾内の船舶は、狭域の観測モード（高分解能）の画像も必要

船舶は洋上か港湾内に存在する。港湾に停泊している船舶は狭い観測幅の観測モードにて、高分解能な観測が可能である。観測幅に制約がある小型衛星も活用しやすい。また、洋上と比べると船舶の揺動（揺れ）も少ないため、鮮明な観測画像が得られやすい。

各国政府が有する広域衛星では、StripMap モードでの狭域観測を行い、高分解能画像を取得することが普通だが、StripMap モードは狭域を集中して観測するため、その前後の領域が観測できなくなり、広域観測衛星のリソース負荷が大きくなる。

このような港湾内の観測は、必要な画質（分解能等）や迅速性等が満たされるのであれば、我が国も含め発展が進んでいる Xバンド小型衛星コンステレーションを活用するのが得策と思われる。

#### SAR に用いる帯域として、船舶の検出は Lバンド、形状分析は Xバンドが適する

合成開口レーダは衛星の種類ごとに用いる帯域が異なっている。「だいち」シリーズは地表面の観測に適した Lバンドを採用しているが、小型商用 SAR 衛星等で一般的な Xバンドと比べると原理的な最大空間分解能（使用する周波数帯域幅による）において不利なため、船舶 1 隻ごとの画像は Xバンド SAR よりも鮮明度が落ちやすい。一方 Lバンドは海面の状態の影響を受けにくく、海面の荒れを船舶として誤検出しにくい利点もある。（さらに Cバンド SAR は海面そのものの観測に適している等、用いるバンドで得られやすい情報の特徴が異なる。異なる帯域の SAR 観測画像を複合的に分析する試みも行われている。）

#### 観測リソースが十分でない

「だいち 2 号」は陸域（災害対策、地理情報把握等）を中心に様々な観測用途に利用されている。海洋状況把握目的の観測も「だいち」（初号機）から増やしているが、海洋以外の安全保障利用ニーズも強く、国内ニーズ全てに対応することは不可能である。加えて一定規模以上の災害発生時は災害対応観測が増えるため、海洋状況把握目的の観測はどうしても制約される。災害対応、海洋状況把握とも我が国の安全・安心を支える重要な活動であり、「だいち 2 号」もできる限りの観測対応を行っているが、手段として利用可能なものを最大限に使っている状態である。将来についてはリスク（大規模災害と海洋状況把握が同時に重要な場面等）の備えとして、必要とする情報から、十分となる観測リソース（衛星機数を含む）を考慮することも重要と思われる。

東日本大震災では、3月11日にロシア空軍の早期警戒管制（AWACS）機と見られる複数の不明機の接近に対し、航空自衛隊がスクランブル対応した件<sup>32</sup>や、3月20日過ぎには、東シナ海において海自護衛艦に対する中国公船からのヘリや小型機による異常接近もあった<sup>33</sup>との記事がある。最悪ケースとして、大規模災害時に安全保障目的の情報収集体制をどうするかを検討も必要だろう。

なお、海外の宇宙機関では SAR 衛星は複数機での運用が行われている。この内、欧州の Sentinel-1 では 2021 年 12 月 23 日以降 2 機の内 1 機（Sentinel-1B）に不具合が発生し、観測不能となった。そのような不測の事態においても、複数機での運用は観測手段が全く失われない点（抗たん性、冗長性）において有効である。

---

<sup>32</sup> 現代ビジネス. 「今年の 3.11 にロシア空軍が日本を「挑発」していた…報じられない「全容」」（2021 年 3 月 18 日）. Retrieved from: <https://gendai.media/articles/-/81198>

<sup>33</sup> ウェッジオンライン. 「東日本大震災時も自衛隊は「有事」を意識していた」（2021 年 3 月 9 日）. Retrieved from: <https://wedge.ismedia.jp/articles/-/22362>



(参考) 海外宇宙機関のレーダ衛星



図 2-39 様々な SAR 衛星 ①大型衛星：主に宇宙機関

先進国の宇宙機関が開発し、観測の広域性を特徴とする。そのため、観測面積あたりのコストが安く、国土や海上の網羅的な監視に適している。

世界的に Xバンド、Cバンドが多い。JAXA では地殻変動（地震、火山の活動評価に利用）の監視で植生を透過し、洋上の波立ちを船舶と誤検知しにくい Lバンド SAR を用いている。なお、米/印、欧州、ドイツも Lバンド SAR 衛星の開発や計画を進めている。

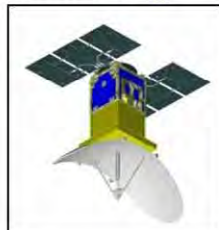
## 100～1000kg級

TECSAR (X)



Credit: Israel Aerospace Industries Ltd.

ASNARO-2 (X)



©METI

NovaSAR-S (S)



credit: SSTL, Astrium

Hisea-1 (C)



Credit: Spacety

## 10～100kg級

ICEYE (X)



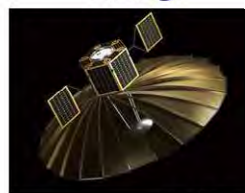
©ICEYE

Capella Space (X)



Credit: Capella Space

QPS (X)



©iQPS Inc.

XpressSAR (X)



Credit: XpressSAR

UMBRA (X)



© UMBRA

Synspective (X)



©Synspective

衛星1機あたりの  
コストが安い

(X)(C)(S)…バンド

図 2-40 様々な SAR 衛星 ②小型衛星：主に民間企業

小型衛星は民間企業（特に 100 kg 以下級はベンチャー企業が多い）によって開発、運用がされており、X バンド SAR が主体である。衛星 1 機あたりのコストが安く、大量に生産し、多数機コンステレーションを行うビジネスが多い。そのため、（需要の多い都市部等の）狭いエリアを高頻度に観測するのに適している。

海洋状況把握については港湾等に用いるのが有効である。

衛星	周波数帯	方式	分解能	観測幅	最大偏波数	地方時 (降交点通過)	連続観測 時間
ALOS-2 (日本)	L	Spotlight	$1_{(az)} \times 3_{(rg)} m$	25 km	1	12:00	48分
		Stripmap	3/6/10 m	50/50/70 km	2/4/4		
		ScanSAR	60/100 m	350/490 km	2		
RADARSAT-2 (カナダ)	C	Spotlight	1 m	20 km	1	6:00	28分
		Stripmap	3-10m	20-50km	1		
			10-30m	50-150km	2		
		ScanSAR	10-30m	25km	4		
Sentinel-1 (欧州)	C	Stripmap	5 m	80 km	2	6:00	25分 2機体制
		TOPS	$20_{(az)} \times 5_{(rg)} m$	250km	2		
			$40_{(az)} \times 20_{(rg)} m$	400km			
TerraSAR-X (ドイツ)	X	Spotlight	<1 m	10 km	1	6:00	3分 Bistatic SAR(TanDEM-X)
		Stripmap	3 m	30 km	2		
		ScanSAR	18/40m	100/270 km	1		
COSMO-SkyMed (イタリア)	X	Spotlight	1 m	10 km	1	6:00	10分 4機体制
		Stripmap	3/15 m	40/30 km	1/2		
		ScanSAR	16/30 m	100/200 km	1		

図 2-41 主な SAR 衛星の観測性能

- ALOS-2 では広い観測幅（広域観測モードで最大 490km 幅）と長い連続観測時間（最大 48 分）により、データ取得量が多い：政府系衛星（中～大型）に多い特徴。
- TerraSAR-X では少ない観測時間を効果的に割り振りユーザの要求に対応する：商用衛星（小～中型）に多い特徴。
- 各国政府の保有する SAR 衛星は偏波観測機能を有している。（船舶検出では HV が有効）

様々な処理プロダクト：複数の衛星を利用する場合は定義に注意。

- ・ 主に運用機関が提供する標準的なデータ（標準プロダクト、標準成果品などと呼ばれる）
- ・ 注意点：①一般的に干渉処理はSLCからしかできない（海洋ではあまり使用しない）  
②地図と重ねるにはオルソ画像が必要（標高差のない海では不要→ALOS-2ならL1.5でよい）
- ・ 近年ではクラウドなどの運用機関以外のプラットフォームでデータを共有することが増えている。

	Sentinel-1	ALOS-2 PALSAR-2	COSMO-SkyMed	TerraSAR-X	NISAR
L0	SAR生データ	SAR生データ	SAR生データ	SAR生データ	SAR生データ
L1相当	L1SLC SLC L1GRD グラウンドレンジ画像	L1.1 SLC L1.5 ジオコード画像、 ジオリファレンス画像 L2.1 オルソ画像 L3.1 ノイズ除去・コントラスト 強調画像	L1A SLC L1B グラウンドレンジ 画像 L1C ジオコード画像 L1D オルソ画像	L1b SSC SLC L1b MGD グラウンドレンジ 画像 L1b GEC ジオコード画像 L1b EEC オルソ画像	Level 1 SLC、強度(MLD)、 散乱行列(COV)、 干渉位相(UNW) 等 Level 2 ジオコードされた SLC(GSLC)、干渉 位相(GUNW)、散 乱行列(GCOV)
L2、 L3 相当	L2OCN 海洋プロダクト (海上風、波浪 スペクトル等)	高次プロダクト (森林分布図等)	高次プロダクト	高次プロダクト (DEM等)	Level3 物理量(バイオマ ス量、氷床変位、 地殻変動等)

図 2-42 主要な運用期間が提供する処理プロダクト

以上から、我が国周辺の海洋状況把握、特に船舶の監視に対しては、次のような姿が望ましいと言える。

- ・ 広域観測が可能な SAR 衛星を国として必要数確保する。（海上の基本図となる船舶分布を必要な頻度で得る）
- ・ 港湾等の特定エリアの観測は Xバンド民間商用衛星を活用する。（観測頻度を高められることに加え、Xバンドは船舶形状の分析に有効）

#### （参考）災害対策としての SAR 観測

災害発生の初期段階において、災害の全容（位置、範囲、規模）の把握が求められる。人工衛星の観測は、広域、遠方での観測を得意とするほか、一定の条件で撮像した過去の記録との比較により、被災域の変化抽出を行いやすい特長を有す。加えて、悪天候（水害発生時はほぼ悪天候）や夜間にあっても危険なく衛星は機能し、特にレーダ衛星は夜間、悪天候においても観測画像を得られる。ここでは平成 29 年 7 月九州北部豪雨での対応事例を紹介する。

- ・ 2017 年 7 月 5 日 18 時頃の福岡県大雨特別警報をトリガに、国交省から JAXA に ALOS-2 による緊急観測要請あり。直近の ALOS-2 観測パスは 6 日夜パス、7 日昼パスであったが、福岡県朝倉市・東峰村、大分県日田市等での被害が拡大し、悪天候でヘリ等による調査が困難とのことから、6 日夜パス以降、5 回の緊急観測を実施し、画像プロダクトを提供。
- ・ 判読による土砂移動推定箇所を情報提供し、九州地方整備局では、災害初期段階において防災ヘリが飛べない中、概略的な地すべり推定箇所の迅速な把握に有効と評価された。



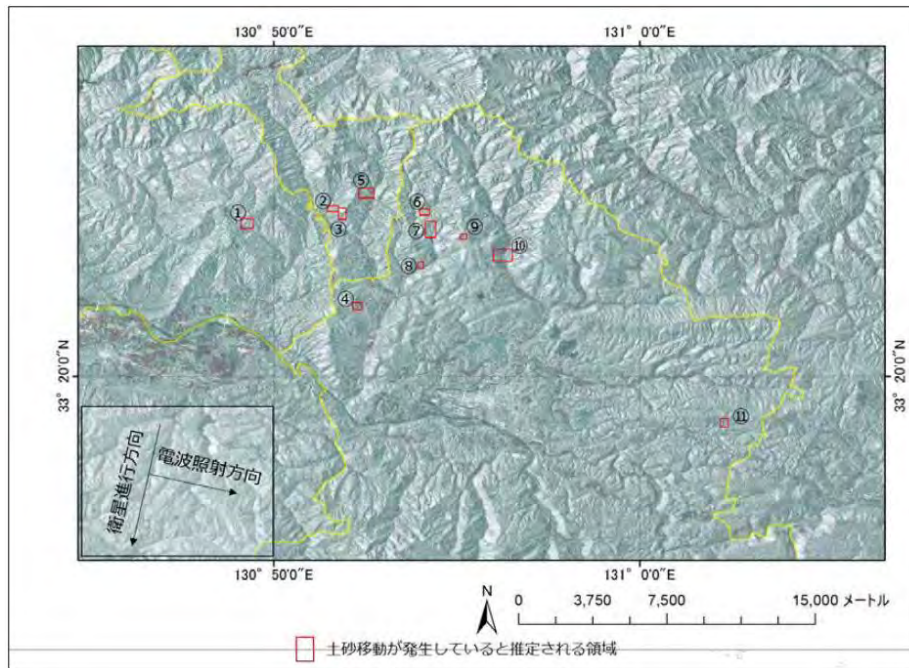


図 3-43 ALOS-2 によって推定した土砂移動位置

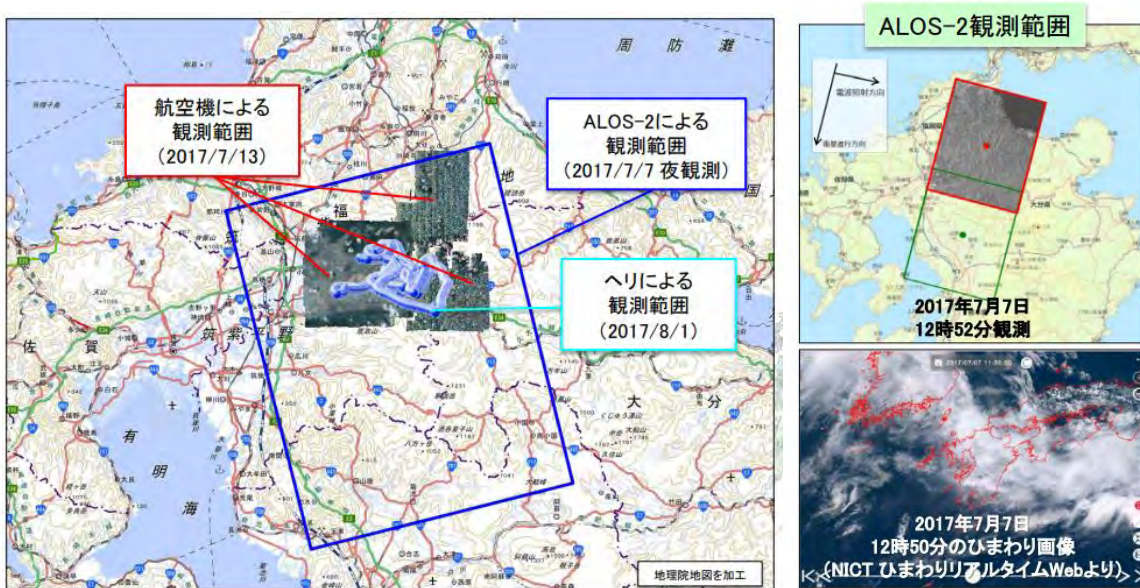


図 3-44 平成 29 年 7 月九州北部豪雨での観測の例  
 左：衛星 (ALOS-2)、航空機、ヘリコプターの観測範囲  
 右：ALOS-2 観測範囲および気象衛星ひまわり画像

図 3-44 に示すように、衛星は広域な観測が可能である。衛星で全容や概略を確認し、範囲を絞った上で、詳細な観測手段である航空機、ヘリコプターがさらに観測を行うのが効率的である。また、範囲を絞れば X バンドレーダ衛星等の商用も活用できる。

このような衛星情報の災害利用については、内閣府防災と JAXA 間で「人工衛星等を用いた災害に関する情報提供協力に係る取決め」を交わし、この下で政府防災関係機関への情報提供を行っている。加えて、国土交通省や各自治体とも協定を締結した連携を行っている (図 2-45)。

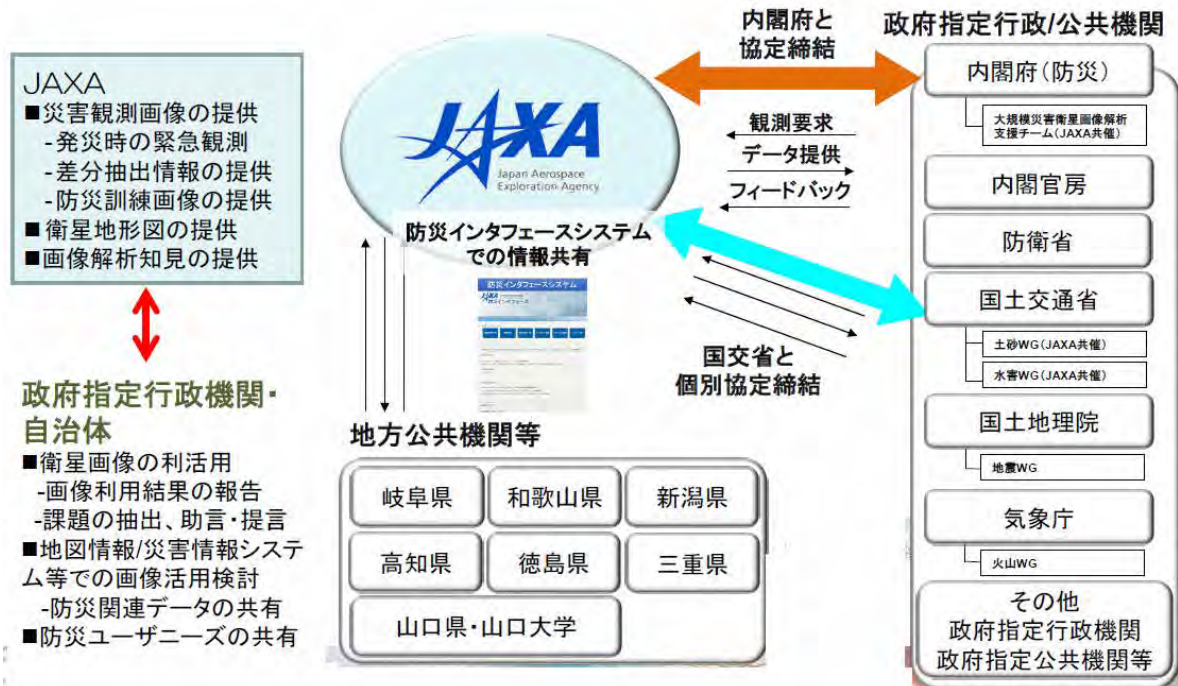


図 3-45 政府・自治体の防災関連機関と JAXA との連携体制

加えて国土交通省と JAXA との協定に基づき、水害版「衛星基礎編」、「浸水編」、土砂災害版のガイドラインが作成されている<sup>34</sup>。

<sup>34</sup> 国土交通省. 災害時における衛星画像等の活用を促進～災害時の衛星画像活用のためのガイドブックを作成～. Retrieved from: [https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03\\_hh\\_000944.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000944.html)



我が国は地震、火山噴火による災害が発生しやすい国土となっており、発災時の状況観測に加え、発災前から活動状況を把握し、リスク評価を行うことが重要となっている。図 3-46 は 2011 年の東日本大震災直後の「だいち」初号機 (ALOS) の観測によって得られた SAR 干渉画像であり、広域の地殻変動の状況を把握できる。特に変動の大きかった牡鹿半島の先端で、地表が 4m 以上東方向にずれる、もしくは沈降したことが国土地理院の解析で明らかになった。

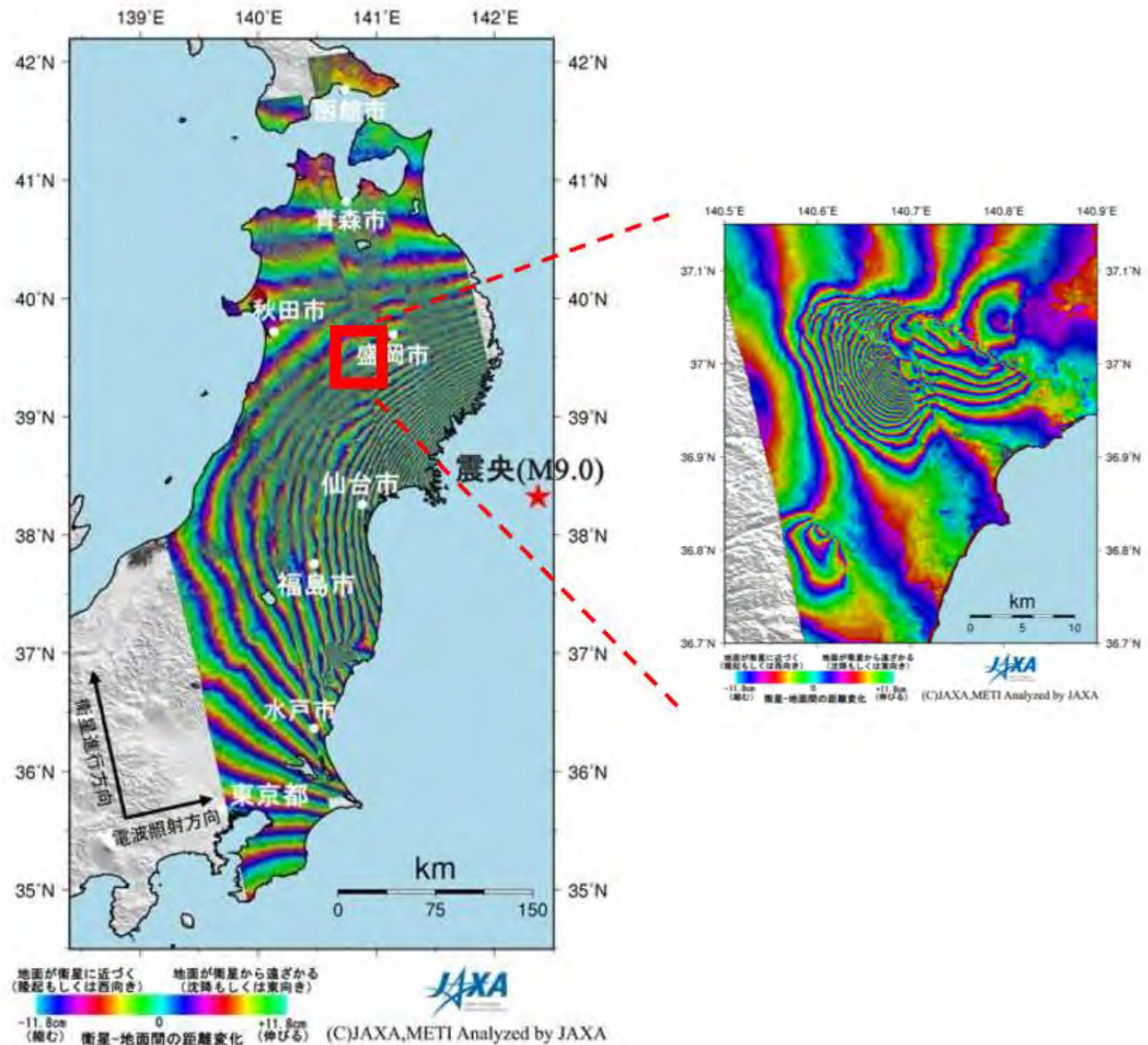


図 3-46 東日本大震災発生前後での「だいち」による干渉画像  
衛星—地表間の距離変化を示す

上の図 3-46 では盛岡市の西に不連続なラインがあるが、これは大震災後において異なる観測日時のデータを並べていることによる。時間の経過とともに余震等による地殻変動が進むため、このような不連続を生じる。衛星の観測幅が広いほど広域な地殻変動を正確に把握可能であり、東日本大震災時に観測を行った ALOS 初号機では最大 70 km 幅、現在の ALOS-2 では 350 km 幅、さらに後継となる ALOS-4 では 700 km 幅と広域化が進められている。

干渉 SAR 解析について、JAXA の解説ページ<sup>35</sup>から一部抜粋する。

<sup>35</sup> JAXA. [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img\\_up/jpal2\\_howto\\_insar.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jpal2_howto_insar.htm)

合成開口レーダ衛星では、2回の観測データの差を取ることで、地表の変位（地面がどれだけ動いたか）を測定できる。このような解析方法を干渉（かんしょう）SAR 解析（またはインターフェロメトリ、InSAR）と呼ぶ。

地震の発生前後では、地震に伴う地殻変動を面的に可視化でき、断層の位置や動きの推定、今後の地震の危険性の予測などに役立つ。火山活動では、地表の変位から地下のマグマだまりの位置や動態を推定することができ、今後の火山活動の予測に役立つことができる。そのほか、地すべりや地盤沈下にも活用が可能。

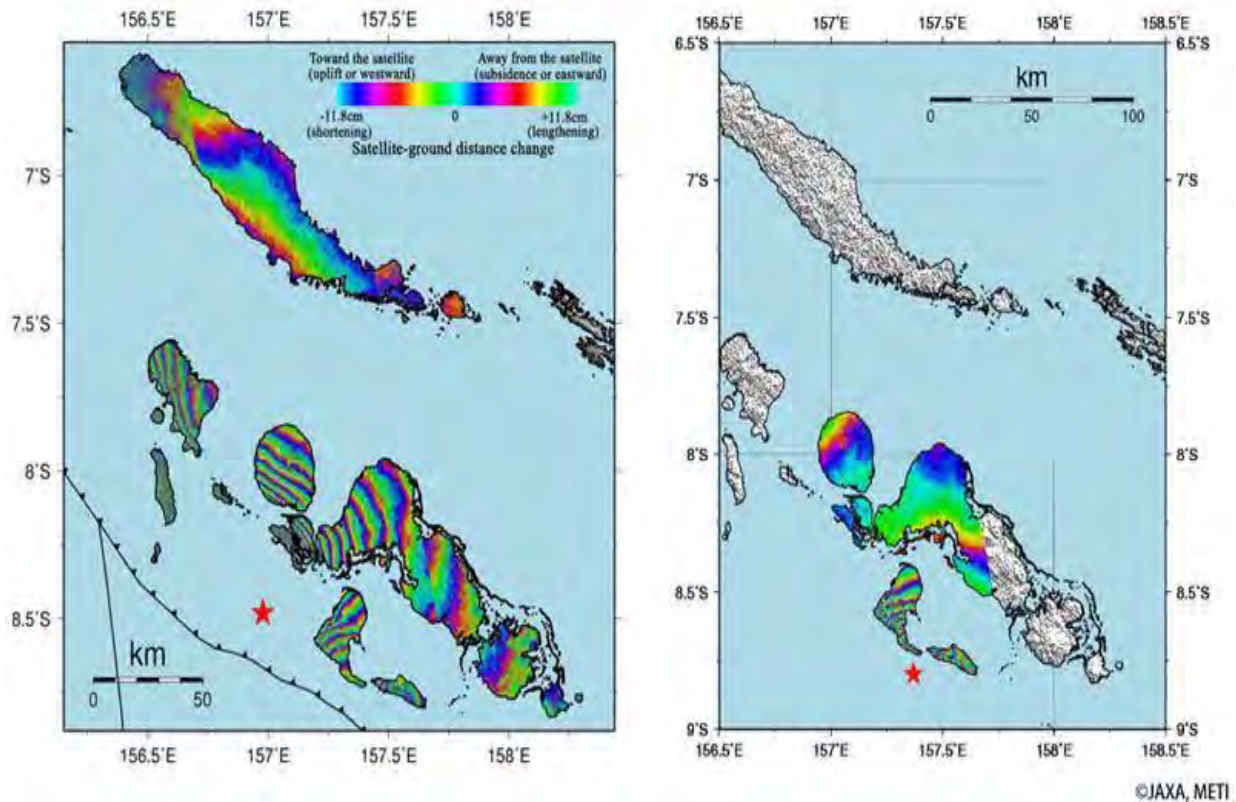


図 3-47 (左) 2007 年ソロモン諸島地震の PALSAR 干渉画像  
この解析結果から南側に未破壊領域（地震の起こりうる地域）が残っていると推定された  
図 3-48 (右) 2010 年ソロモン諸島地震の PALSAR 干渉画像  
推定されていた地域で実際に地震が発生した



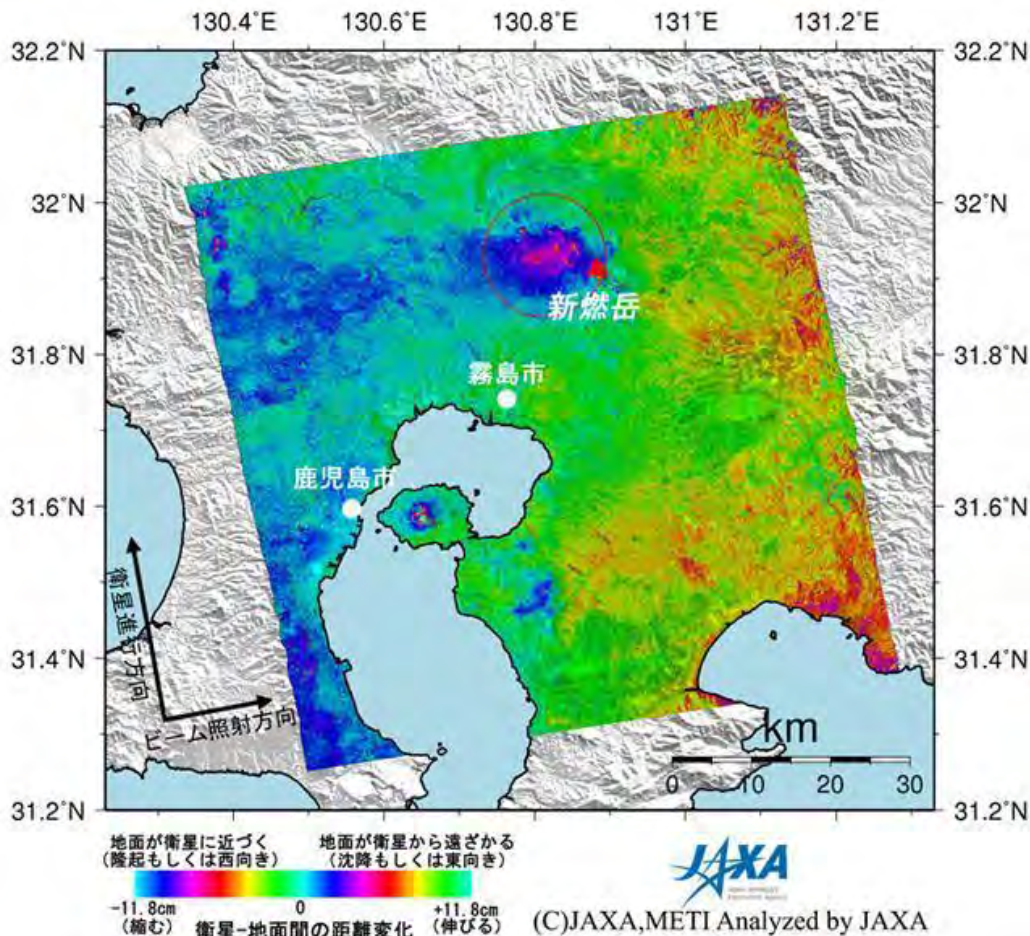


図 3-49 2011 年霧島山（新燃岳）噴火前後の PALSAR 干渉画像  
 この解析結果から、この噴火に関与したマグマ溜りが火口より西約 5km の地下にあり、  
 噴火によってその体積が減少し圧力が低下したことが推定された。

なお、国土交通省の防災業務計画 地震災害対策編<sup>36</sup>では、南海トラフ巨大地震、首都直下地震、日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震において、ヘリ・人工衛星等を活用した緊急調査で、人工衛星、SAR 観測技術を活用した緊急調査を実施する旨が記載されている。

このような SAR 干渉解析では、変動量を約 2 センチメートルの精度で計測が可能である。我が国では国土地理院による電子基準点を全国に約 20km 間隔で約 1,300 点配備し、その位置変動を毎日監視している。電子基準点では時間的に連続的な観測情報が得られるものの基準点のない場所は情報が得られない、一方で人工衛星は時間的に連続的な情報は得られないものの、面的に連続した情報を得ることができ、両者を組み合わせた解析もなされている。

SAR 干渉解析においては、比較する 2 つの観測データの条件が揃っていることが必要であるため、民間の小型 SAR 衛星で行うことは困難である。（それを行う場合には姿勢制御機能のために大型化、コスト増となるため、小型衛星のビジネスモデルに合にくい。）

加えて、商用 SAR 衛星や諸外国の宇宙機関は、L バンドと比べ波長の短い X バンド、C バンドを利用している場合が多い。我が国は国土の 67 % が森林でおおわれており、X バンドや C 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 衛星は、通商産業省と宇宙開発事業団（いずれも当時）の共同プロジェクトとして 1992 年に打ち上げられた地球資源衛星 1 号（JERS-1；ふよう 1 号：世界初のオペレーショ

<sup>36</sup> 国土交通省防災業務計画 「地震災害対策編」. Retrieved from: <https://www.mlit.go.jp/common/001303652.pdf>

ナルなLバンド SAR 衛星)、その後 ALOS シリーズとして我が国において長年開発、運用、利用されてきたものであり、災害等の利用分野を含め、日本が世界をリードしている領域である。

火山分野では火山噴火予知連絡会において、火山活動評価に必要な情報として衛星情報、特に SAR 情報が活用されている。気象庁と火山噴火予知連絡会 衛星解析グループによる「陸域観測技術衛星 2号観測データ等の利活用に関する令和3年度成果報告書」といった報告書が毎年作成されウェブサイトにて入手可能である<sup>37</sup>。同報告書から枠組みについて図 3-50 に抜粋する。JAXA では ALOS-2 に加え、海外宇宙機関間のデータ交換協力として入手するイタリア宇宙庁 (ASI) 運用の SAR 衛星 COSMO-SkyMed 画像についても、本枠組みに提供を行い、我が国の火山防災への協力を行っている。毎年度の成果については各年度の報告書を参照されたい。

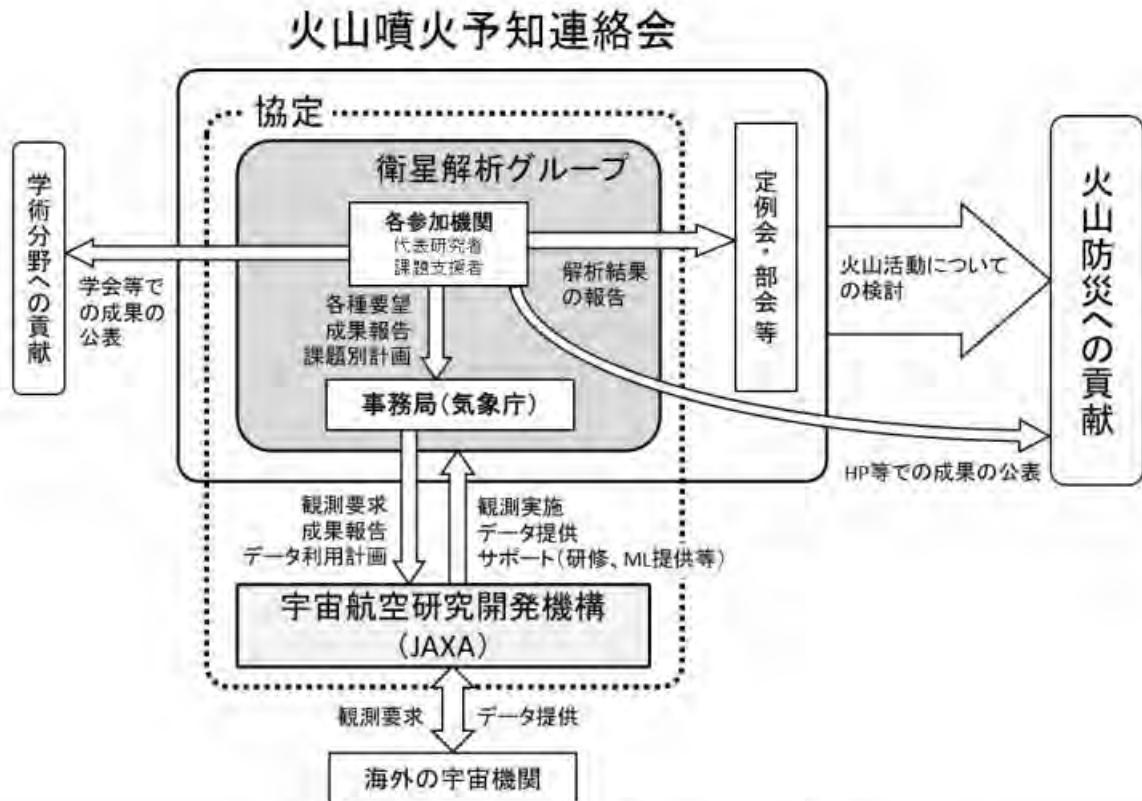


図 1 衛星データ利活用に関する枠組み

図 3-50 JAXA と気象庁、火山噴火予知連絡会との衛星データ利活用に関する枠組み

加えて、科学技術・学術審議会による地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進については、次のように記載されている<sup>38</sup>。

### Ⅲ 計画の実施内容 1 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

#### (1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

○ 気象庁、海上保安庁、国土地理院、防災科学技術研究所、産業技術総合研究所及び大学は、火山活動が活発化した場合には、火山周辺での機動的観測、航空機や無人測量船等による観測、衛星搭

<sup>37</sup> 気象庁・火山噴火予知連絡会 「衛星解析「令和3年度版：陸域観測技術衛星2号観測データ等の利活用に関する 令和3年度成果報告書」。 Retrieved from:

<https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/EISEI/202204/r03report.pdf>

<sup>38</sup> 科学技術・学術審議会. 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について(建議)」(平成20年7月17日). Retrieved from: [https://www.mext.go.jp/content/20210202-mxt\\_jishin01-000012539\\_20.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20210202-mxt_jishin01-000012539_20.pdf)



載 SAR（合成開口レーダー）などの人工衛星によるリモートセンシング技術を活用し、陸域、海域での火山観測体制の強化を図る。

2 地震・火山現象解明のための観測研究の推進 (3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

3 新たな観測技術の開発

(2) 宇宙技術等の利用の高度化

○ GPS や衛星搭載 SAR 等の宇宙技術は、地震及び火山活動を深く理解するとともにそれらの活動を的確に把握するための観測手段として重要な役割を果たしている。それらのデータを利用した解析技術の高度化を図ることにより、より高精度な測地手法の実現や様々な地震や火山活動をより高い精度で把握

するリモートセンシング手法の実現を目指す。特に、「だいち」などによる衛星観測は、国内国外の地震・火山現象の解明に有用なデータを提供しており、地球観測衛星が継続して打ち上げられることが極めて重要である。

なお、海外で発生した災害に対しても、JAXA は衛星による緊急観測を実施し、センチネルアジア、国際災害チャータといった国際的な災害協力の枠組みに迅速に提供、被災国および災害を支援する国、機関によって活用されている。加えて、海外での災害発生時は国際協力機構（JICA）にも提供し、我が国が行う緊急援助活動において支援活動や、安全の確保に利用されている。

今後の JAXA 衛星の計画

〈「だいち 4 号」（先進レーダ衛星、ALOS-4）〉

JAXA では「だいち 2 号」の後継となる「だいち 4 号」（先進レーダ衛星、ALOS-4）を開発中である。「だいち 4 号」は「だいち 2 号」で有用であった利用をさらに発展させることを目指している。船舶の観測に対しては「だいち 2 号」と同様に SAR、AIS の同時観測を行うが、課題であった①SAR 観測域の拡大、②船舶過密域における AIS 観測性能の向上に次のように取り組んでいる。これにより、特に日本海、東シナ海といった我が国として重要な海域での船舶情報把握能力の強化を目指す。

SAR 観測域の拡大

「だいち 4 号」ではデジタルビームフォーミング技術により、「だいち 2 号」の分解能を維持したまま、各観測モードの観測幅を拡大する（図 3-51）。広域観測モードでは 700 km 幅と「だいち 2 号」の 2 倍に拡大する（イメージ：図 3-52）。海上の船舶分布把握範囲を拡大させることができ、切れ目のない広範囲の船舶分布図として利用しやすい情報となる。

また、高分解能モードは 200 km 幅と 3~4 倍に拡大する。200 km の観測幅で観測できるため、洋上で移動する船舶も観測しやすく、かつ分解能も高いため、形状から船舶のサイズ、種類の分析にも役立つ。ただし各モードの観測は排他的であり、同時に 1 モードのみの選択となる。各観測モードの観測イメージを図 3-53 に示す。

観測モード（分解能）	「だいち 2 号」（ALOS-2）	「だいち 4 号」（ALOS-4）
高分解能（3m, 6m, 10m）	50 km, 70 km	200 km
広域観測（100m）	350 km, 490 km	700 km
スポットライト（1m×3m）	25 km×25 km	35 km×35 km

図 3-51 「だいち 4 号」での観測幅拡大

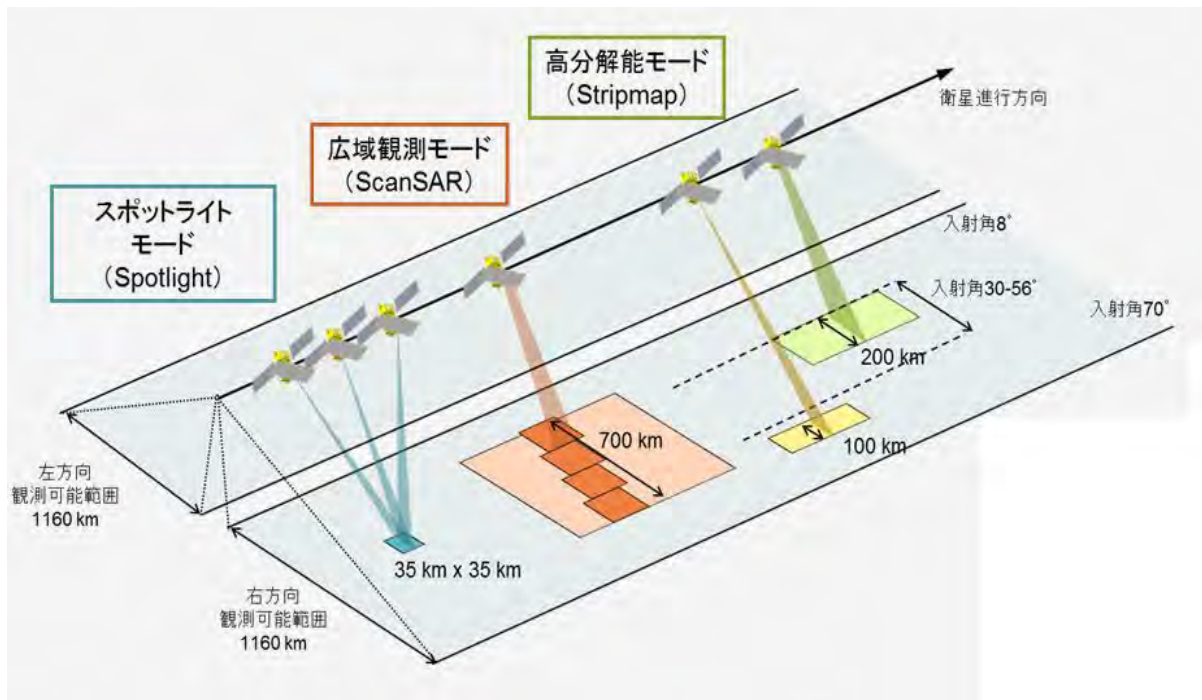


図 3-52 広域モードの拡大イメージ

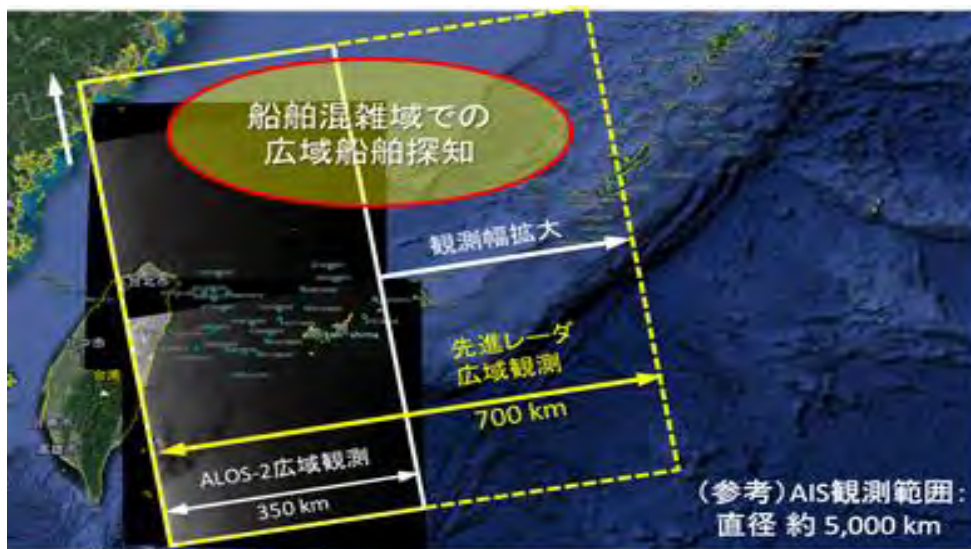


図 3-53 「だいち 4号」の観測イメージ (観測モード別)

### SAR 衛星の状況

X バンド衛星はドイツの TerraSAR-X、TanDEM-X (いずれもドイツ航空宇宙センター; DLR とアストリウム社の官民連携) や、イタリアの COSMO-SkyMed (イタリア宇宙機関 ASI と DMI の連携。防衛とのデュアルユース) といった先進国の宇宙機関と産業、または防衛関係機関との利用目的で進んでいた。

また、C バンド衛星ではカナダ宇宙庁とカナダ国防省が、RADARSAT Constellation Mission (RCM) を運用中であり、こちらもデュアルユースの SAR 衛星となっている。

最近では小型商用衛星の開発も進んでいる。フィンランドのベンチャー企業 ICEYE が先行し、2022 年 5 月には 21 機の X バンド SAR 衛星の保有に至った (多くのユーザ向けの商用、ブラジル空軍といった特定ユーザ向けの専用を合わせて)。なお 2022 年 2 月には 1 億 3,600 万ドルのシリーズ D 資金調達ラウンドを調達し (日本企業でも鹿島建設の鹿島建設の投資会社 (Kajima Ventures) や東京海上が含まれる。なお、三井物産や伊藤忠商事は以前から出資)、累計調達

額が3億400万ドル（約350億円）となった。

我が国も Synspective と QPS 研究所の2社が X バンド衛星の開発、運用、データ提供事業を行っている。

Synspective は 2022 年 1 2 月に自社 3 機目、初の商用実証機を打ち上げている。また、2023 年までに 6 機、2020 年代後半には 30 機のコンステレーション（衛星群）構築を目指す計画を発表している他、2022 年 3 月にシリーズ B ラウンドによる第三者割当増資および融資により 119 億円の大型資金を調達し、計 228 億円の資金調達となっている。

QPS 研究所は現在 2 機の衛星を軌道上に保有し、2023 年 6 月以降に Space-X での打上げ、また 2025 年以降を目標に 36 機の小型 SAR 衛星コンステレーション構築を目指す計画を発表している。2022 年 2 月シリーズ B セカンドクローズで約 10.5 億円の追加を含め、82.5 億円の累積調達額となった。

## 1.6. 光学

### <利点>

判読性に優れた画像が得られる。民間による小型衛星のサービスも進み、観測サービスを利用しやすい。

### <課題>

夜間の撮像ができない。また、雲を透過しないため、曇天時の洋上観測ができないほか、全面に雲が無い場合でも、雲と船舶の判別が難しい。そのため晴天時限定となるが、SAR では観測しにくい小型の船舶の撮像や、SAR 観測では得られない船舶の状況を確認すること、特に、SAR 画像の機械学習用の教師データとしての利用となる。

SAR 衛星同様に、狙った場所を観測することが可能である。（但し、観測する角度によって分解能が下がる、倒れこみが生じる）。高分解能光学衛星では、トレードオフ性能として観測幅が狭くならざるを得ない（例えばALOS-3において、地表面分解能0.7m、走査幅70km。cf. ALOS-4(SAR)の走査幅最大 200km）。そのため領域監視には必ずしも向かず、すでに検知された箇所について、詳細観測を行う目的が適している。

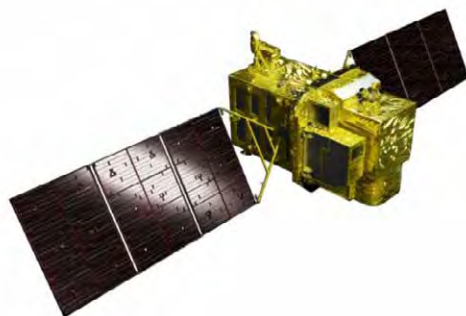


図 3-54 JAXA の光学衛星





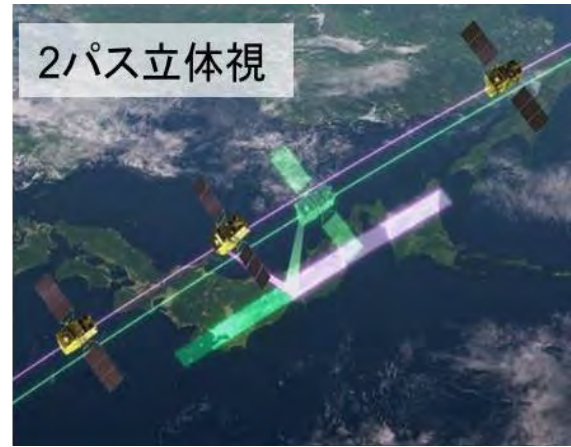
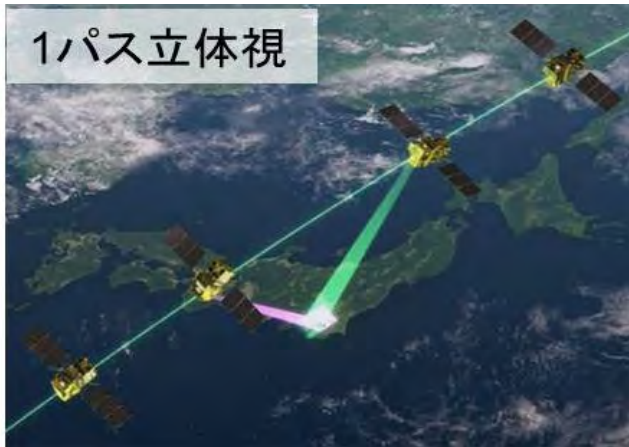


図 3-55 ALOS-3 の観測モード例  
立体視は 2 つの観測画像を合成して高さ情報を得るため等に用いる

く「だいち3号」(先進光学衛星、ALOS-3、図3-56) >

「だいち3号」(先進光学衛星、ALOS-3)は、「だいち」初号機の広い観測幅(70km)を維持しつつ、地上分解能を向上させた(白黒:0.8m)光学衛星である(図3-57)。定常的な観測を行うことでベースマップ画像を取得、蓄積することにより地理空間情報の更新に資するほか、災害発生時には発生前後の衛星画像を処理、配信することによる災害への貢献を目指す。

但し、「だいち3号」の2023年3月の打ち上げは、失敗した。

地上分解能 (直下視)	パンクロ(白黒):0.8m マルチ(カラー):3.2m
観測幅	70 km

図3-56 「だいち3号」の分解能、観測幅

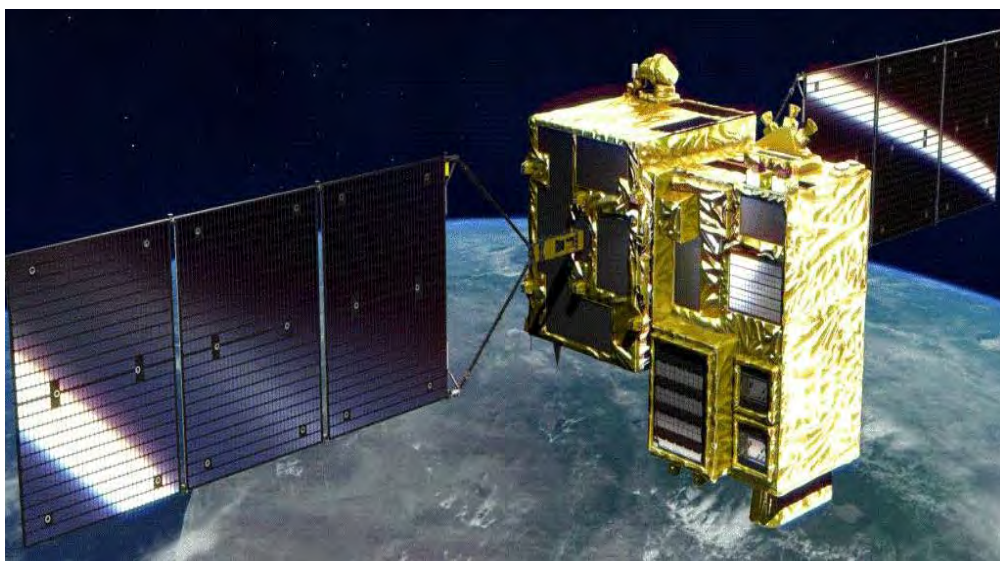


図3-57 「だいち3号」

また、「だいち」から次の2種類の観測波長帯を追加している。植物の分布や健康状態への利用が想定されるレッドエッジバンド(波長:0.69~0.74 $\mu$ m)と、水中での減衰が少なく沿岸域の利用が期待されるコースタルバンド(波長:0.40~0.45 $\mu$ m)である(図3-58)。

「だいち3号」シミュレーションデータを用いて作成、検証した波照間島の水深推定マップを図3-59に示す。この検証では、比較的透明度が高く白波が少ない清澄な海域では、最大水深20m程度の浅瀬を1.5-2m程度の誤差で水深推定ができることが分かった。

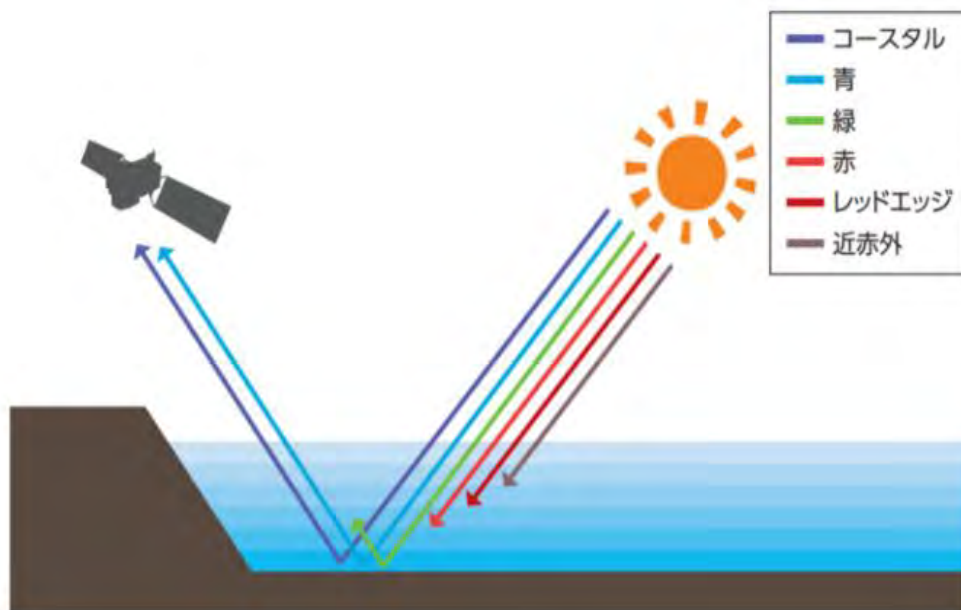


図 3-58 波長別の水中減衰イメージ

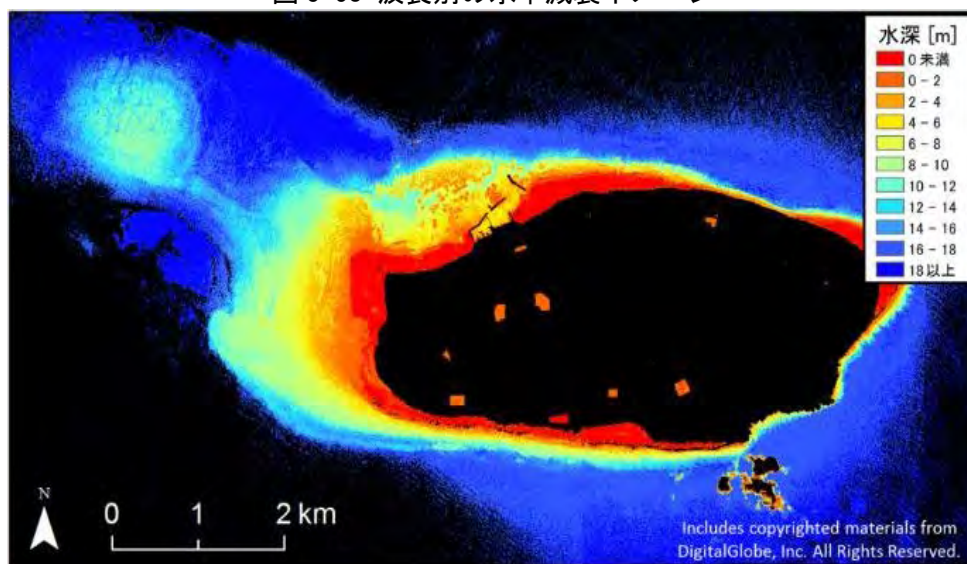


図 3-59 シミュレーションデータを用い波照間島水深推定マップ

### ＜光学衛星を用いた水深推定＞

我が国においては、海上保安庁海洋情報部が人工衛星の観測情報を用いた水深推定を実施している<sup>39</sup>。調査船によるマルチバンドソナーより精度は劣るものの、広域の海底地形に関する情報把握に有効とされている。海上保安庁海洋情報部では現在、米国の Landsat 衛星を用いた推定を行っているが、ALOS-3 を水深推定に利用する調整を、海上保安庁、JAXA 間にて行っているところである。

---

<sup>39</sup> 海上保安庁海洋情報部 小川 遥、松本良浩、山野寛之。「海洋情報部におけるリモートセンシングを用いた測深技術への取り組み」。(令和 3 年 3 月 19 日). 海洋情報部研究報告 第 59 号. Retrieved from: [https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/KENKYU/report/rhr59/rhr59\\_r\\_03.pdf](https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/KENKYU/report/rhr59/rhr59_r_03.pdf)



前述のとおり、「だいち3号」はベースマップ画像の取得を行うため、災害発生時を除き、直下視観測を基本として運用される。観測対象場所に応じて多様な観測モードを有しているがあくまで災害発生時に用いるものであり、船舶等の洋上の観測は直下視により、その周期は35日間となる。加えて海域は雲も多いことから、船舶の観測には「だいち2号」や「だいち4号」が向いている。「だいち3号」では、光学衛星画像による視認性を活かした沿岸域の観測や、海域火山活動状況の監視に有効な変色水、さらに2021年に発生した福徳岡ノ場噴火に伴う軽石等の漂流物等の観測等が、海洋状況把握分野での利用として想定される。

以下参考として、「だいち」(ALOS)により東日本大震災前後に撮影された画像(漂流物)、「しきさい」(GCOM-C)で観測された福徳岡ノ場やトンガ火山島付近で見られた変色水、福徳岡ノ場噴火に伴う軽石の例を示す(図3-60、図3-61、及び図3-62)。



図3-60 東日本大震災発生後の海上漂流物 「だいち」による撮影  
(左: 災害前2011年2月27日、右: 災害後2011年3月14日)

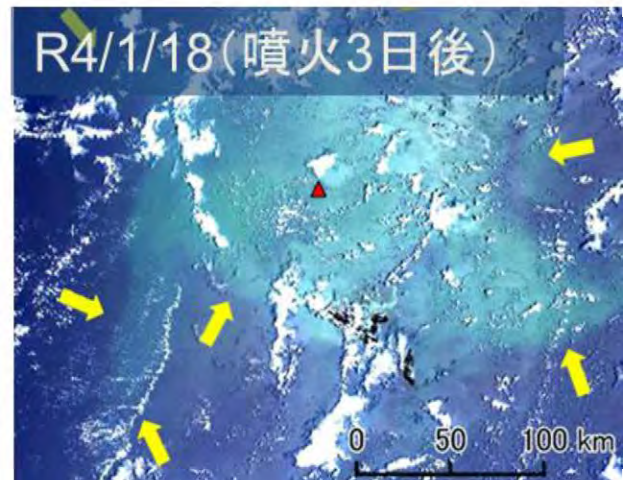
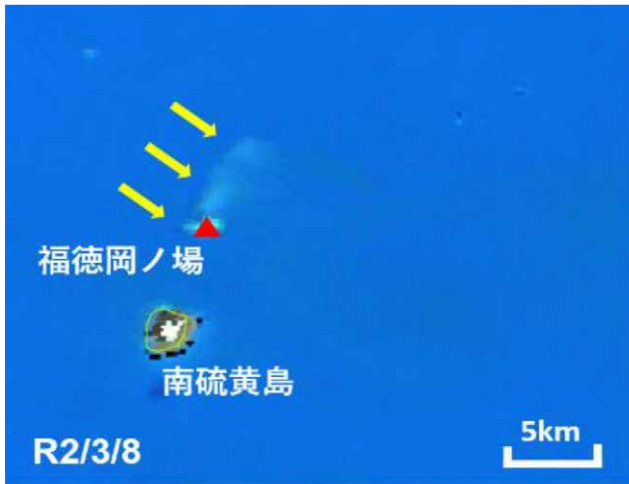


図 3-61 福德岡ノ場で噴火前に発生していた変色水（黄色矢印部分）（左）  
噴火したトンガ火山島付近の変色水（黄色矢印部分）（右）

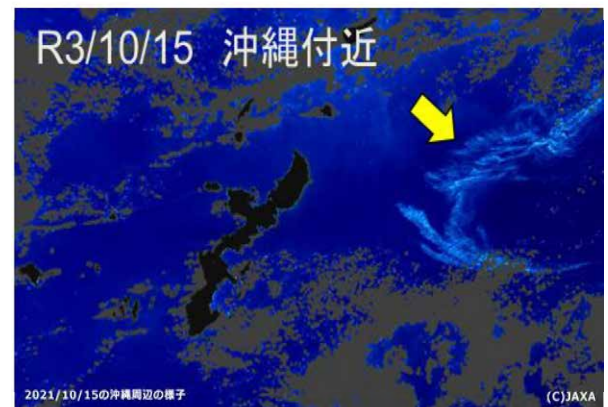
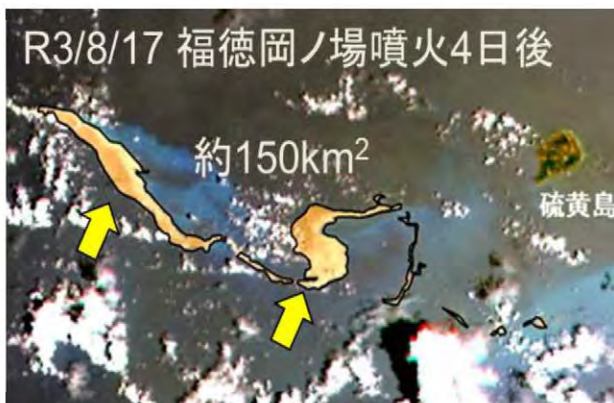


図 3-62 「しきさい」 (GCOM-C) により観測された福德岡ノ場噴火に伴う軽石  
（左）2021年8月17日（噴火4日後） （右）2021年10月沖縄周辺

光学衛星の状況：

地球観測衛星プラットフォーム AxelGlobe 事業において、カナダの NorthStar Earth & Space 社とのパートナーシップを締結<sup>40</sup>。NorthStar 社は宇宙から全ての近地球軌道をモニタリングする包括的な SSA\*（宇宙状況認識・Space Situational Awareness）サービスを提供する世界初の民間企業。今回の提携により、アクセルスペースが運用する 5 機の AxelGlobe 地球観測衛星「GRUS」を活用し、同社が進める宇宙状況認識（SSA）のための衛星撮影データを提供する。

### <静止光学衛星>

気象衛星「ひまわり」のように、赤道上の静止軌道で衛星を運用すれば、気象衛星ひまわりに代表される範囲で、任意の部分についての即時観測が実現する、離島を含む日本領土の日毎観測の他、緊急災害時には準リアル観測が可能な見込みである。JAXA では静止軌道からの光学観測システムの検討や、キーとなる要素技術の研究を実施している。静止軌道（高度約 36,000 km）のため分解能が課題となるが、大型かつ高精度な光学系技術の研究を行っており、分解能 7m および撮像要求から 30 分以内の画像配信を目指している。AIS を発信しない船舶に対しても、連続撮像による追尾、進路や速度の計測等が期待される<sup>41</sup>。

### <夜間の光学撮像>

漁船の多くは夜間に集魚灯を使って漁業活動を行う。米国の地球観測衛星 Suomi NPP 搭載の Visible/Infrared Imager and Radiometer Suite (VIIRS) では夜間光を観測しており、一般に無償で公開されており、利用可能である。VIIRS による夜間観測画像から、集魚灯の位置および光の強さが分かるため、漁船位置や漁業活動の有無（集魚灯が付いていれば漁業活動と判断）、さらに光の強さから漁船の規模を把握することができる。

我が国では水産研究・教育機構が東シナ海・北西太平洋・日本海の 3 海域について、VIIRS 夜間観測画像等を用いた漁船の解析を行っている<sup>42</sup>。また、水産研究・教育機構と研究協力を行っている国際的非営利組織 Global Fishing Watch<sup>43</sup>においても、VIIRS 夜間観測画像からの検出点が Web ブラウザで操作可能な地図上に表示され、提供されている。なお、GFW は海洋の持続可能性を目指し、世界の漁業活動の可視化に取り組んでおり、AIS、VMS (Vessel Monitoring System) 情報を用いた漁船位置等の公開や、船舶の行動パターンから漁業活動を判別するような AI 開発等を行っている。

---

<sup>40</sup> アクセルスペース. Retrieved from: <https://www.axelspace.com/ja/news/agpartnershipwithnorthstar/>

<sup>41</sup> 国立研究開発法人宇宙研究開発機構. 「静止軌道からの常時観測システム」 Retrieved from: <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/observation/observation.html>

<sup>42</sup> 笹川平和財団海洋政策研究所「IUU 漁業の撲滅にむけて ～研究機関の取り組み～」海洋政策研究所ニュースレター第 452 号（2019 年 6 月 5 日） Retrieved from [https://www.spf.org/opri/newsletter/452\\_1.html](https://www.spf.org/opri/newsletter/452_1.html)

<sup>43</sup> Global Fishing Watch <https://globalfishingwatch.org/>

標準的な利用例：GIS ソフトウェア上での表示、分析

- ・ AIS：船舶の移動方向が分かるような点（矢印）として、船舶位置を表示。AIS 信号は衛星による受信情報（主に外洋）と、地上や船舶による AIS 受信情報について、目的に応じて利用する。
- ・ SAR：関心域を撮像した SAR 画像に対し、船舶を自動的に検出処理した結果（船舶位置）を（際立たせるように）表示。
  - SAR 画像からの検出船舶、AIS 信号による船舶の両方を表示させる。AIS 信号のみでは把握できなかった船舶も、SAR 画像からの検出で補完する。また、SAR、AIS の観測時刻が近いものを用いることで、AIS の発出、非発出船を識別するほか、AIS の偽装を行う船舶を発見する。それらの船舶はより関心が高い船舶として分析対象となり得る。
- ・ 光学：関心域を撮像した光学画像を重畳表示させる。目的に応じ、SAR 同様に船舶を検出した場所を際立たせる。
- ・ VMS、電波等：AIS のように位置情報を表示する。
- ・ 海洋環境：背景画像として、分析目的に応じた海洋の情報を表示する。（風速、水温その他）

衛星で観測した情報による分析の流れ

- ・ AIS、電波、SAR 広域により、広域の船舶情報を把握。
- ・ さらに分析が必要な船舶の周辺、特に関心の高いエリアに対し、狭域・高分解能な SAR 観測を実施。

観測時の天気予報から晴天が見込める場合は光学観測を実施

- ・ 関心のある船舶について、航跡の確認、周辺の海洋状況と合わせた行動分析を行う。
- ・ AIS 等で情報が得られない船舶に対し、必要な場合は高分解能な SAR 画像もしくは光学画像により、どのような船舶かを分析する。

ユーザによる衛星観測要求から情報利用の流れ

- ・ 現在の衛星観測情報利用の流れを記載する。なお、課題を<>として付し、今後の予測や国としての情報把握に関する一案を記載する。

#### 【現在】

①SAR、光学衛星についてサービス提供者に対し撮像要求を行う。（1 か月前～数日前）

これらの衛星は常時連続的な監視は行っていない（電力、通信リソース等の制約）。

- ・ 1社のみでは十分な撮像数が確保できない場合、ユーザは、複数のサービス提供者と調整を行う。サービス提供者（運用する衛星種）によって衛星軌道が異なるため、観測機会を自ら探すか、サービス提供者に探してもらい、その上で撮像計画を決定する、といった手間がある。
- ・ 民間サービスの場合は、高額な支払いを行うユーザが優先されやすい
- ・ 各国の宇宙機関が運用する衛星も、規模の大きい災害その他、国として緊急かつ優先度の高い事態が発生した際は、調整していた計画がキャンセルとなる。必要に応じて、別のサービス提供者との調整を行うことになる（衛星機数が十分でない）

②観測されたデータを入手する。

- ・ データ入手経路がサービス提供者分必要となり、利用システムのインターフェイスが多くなる。

③データを処理し、GIS ソフトウェア上に表示する。

- ・ 観測された画像データは、ファイル形式等が異なる。
- ・ 衛星種によってデータの仕様（分解能、画質、サイズ）が変わる。分解能や画質により、船舶の検出可能サイズも異なる。また、衛星観測条件（どのような角度で観測したか、観測時の天候、特に波の状況）の影響も受けるため、使用するデータ種類に対応した処理ツールが必要。
- ・ データ間の撮像時間の差が大きい場合は、移動する船舶の同定、マッチングに手間が掛かる。



- 洋上の把握には、広域を一度に撮像した画像を用いるのが便利。

多くの衛星事業者の参入が進み、衛星情報の入手性は改善したが、各社との観測調整、形が異なる得られたデータの受信や分析に、ユーザ側の負担が掛かっている。データ種が異なる場合、長期的な評価についてもデータ種間の性能さに応じた分析も必要となる。そのため、多くの衛星を保有するサービス事業者が競争優位となる。

加えて、ワンストップサービスとして複数の衛星サービス事業者との調整をまとめる、さらに観測データをユーザが必要とする情報のレベルに応じてシンプルにまとめて提供するサービス事業が想定される。例えば、SkyFi 社ではスマートフォンで衛星画像の注文（未来の観測を含む）が通販感覚でできるサービスを開始している<sup>44</sup>。

しかしながら衛星種類によって観測画像の仕様は様々であるため、多少の品質の差の変動は支障がなく、高頻度に気軽に衛星情報を確認したいといった用途での利用に向いており、長期的な変化を把握するもの、膨大な情報を日々解析するために自動解析ツールを導入しているものなど、特に安全保障目的での利用においては課題が大きいものと思われる。（緊急時その他に迅速に情報を収集するには役立つ可能性はある）

安全保障目的といった正確かつ高度な解析を要するものについては、内閣府の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）において、海上保安庁が実施している「衛星データ等を活用した AI 分析技術開発」の事例を取り上げたい。

本件は、人工衛星による観測情報を関係省庁が迅速に利用できるよう、AI を用いて解析を行い、迅速に提供することを実証するものである。JAXA も海上保安庁に技術支援、衛星観測情報の提供といった協力を行っており、それを通じて得られた知見を述べる。

海上保安庁が各関係省庁から関心のある海上リスクの内容を集め、それに関する情報を分析するための AI ツールと、その分析結果を関係省庁間で効率的に共有・利用するための基盤となるシステムを開発する。各関係省庁は、用意された情報共有基盤を利用し、衛星の生データではなく、解析後のリスク情報を取得することができる。

この実証システムは次の点で効果的なものである。

- 独自の衛星情報利用・解析システムがなくても、衛星情報を業務利用できる。導入のハードルが低い。
- 関係省庁間で同一の情報を共有できるため、一元的な情報を元にした連携業務が可能となる。

共通機能を集約することで、効率的な開発が可能である。

JAXA でも各種衛星情報の利用促進を行っているが、利用システムもそれぞれの機関で開発することが障壁になりやすいところ、このような共通利用基盤があれば、衛星情報利用が進みやすいことを実感している。衛星情報の扱いが初めての機関では、衛星情報の利用や、そのためのシステム構築の負担が大きく、それらを解消する有効な手段となる。

なお、機密性が高い情報はこのような共通基盤に入れることは難しいだろう。そのような機関の殆どは、既に衛星情報の解析体制が整っているものと考えられるため、共通基盤から得られる情報と、独自に有する機密情報を組み合わせた利用が想定される。

「衛星データ等を活用した AI 分析技術開発」は令和 6 年度までの計画となっている。良好な結果が得られていると評価されており、令和 7 年度以降も（形を変えてでも）国として維持、発展させることが我が国の安全保障にとって重要と考える。また、衛星データの解析には専門知識が要求されるため、2、3 年といったジョブローテーションとなる組織では、担当者に大きな負担が掛かる。そのためにも専門的な組織でこれらシステム基盤を担い、関係省庁向けに情報提供されると良いだろう。

なお米国では、地理空間情報（GEOINT）を担う国家地理空間情報局（NGA）が存在し、衛星情報を始めとする様々な地理空間情報を収集、解析し、関係機関に提供しており、NGA の取り組みも参考になるとと思われる。

<sup>44</sup> （宇宙ビジネスニュース. 宙畑 2023/1/23 記事；「衛星データの撮像をスマホからリクエストできるアプリを米国のスタートアップ SkyFi がリリース【宇宙ビジネスニュース】」. Retrieved from: <https://sorabatake.jp/30602/>