

大型・小型衛星の連携による スマートタスキングの構想書

～日本版バーチャルコンステレーションの構築に向けて～

2024年7月

【本資料にかかる情報】

著者： 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)、
株式会社 QPS 研究所、株式会社スペースシフト、三菱電機株式会社

執筆担当

- ・3.2 項、3.4 項、4 章(1)、5 項(2)、7.1 項：三菱電機株式会社が執筆
- ・3.5 項：JAXA・株式会社スペースシフトが執筆
- ・7.2 項：株式会社スペースシフトが執筆
- ・上記以外は、共同執筆

コピーライトポリシー

本文書に係る著作権は上記著者に帰属します。

ただし、各著者が単独で執筆した部分に係る著作権は、上記執筆担当に記載の著者に帰属します。

謝辞

本書の作成に当たり、以下の企業・機関から本書に対して貴重なご意見を頂きました。

深く感謝申し上げます。

- ・株式会社 Synspective
- ・国立研究開発法人防災科学技術研究所
- ・さくらインターネット株式会社

目次

1. エグゼクティブサマリ.....	4
2. はじめに.....	7
2.1. なぜ衛星間コンステレーション連携が重要か？.....	7
2.2. コンステ共創プログラムの経緯.....	8
2.3. 本文書の目的と対象.....	9
3. スマートタスキングの概要.....	10
3.1. スマートタスキングの定義.....	10
3.2. スマートタスキングに期待する効果.....	11
3.3. スマートタスキングによるメリット.....	13
3.4. スマートタスキングが持つべき特長.....	14
3.5. スマートタスキングに関する事例.....	16
4. スマートタスキングが活躍する主なユースケース.....	20
5. スマートタスキングを適用した場合の観測能力向上効果の見積もり.....	27
6. 実現に必要なアーキテクチャ.....	42
7. スマートタスキングシステムに関する検討結果.....	44
7.1. 全体システムに関する検討.....	44
7.1.1. システム構成.....	44
7.1.2. スマートタスキングの特長を実現するための各種システムのあるべき姿.....	46
7.1.3. 外部 I/F 要件.....	47
7.1.4. タスキングシステムにおける課題.....	52
7.2. 高次データ解析システムに関する検討.....	53
7.2.1. システム構成.....	53
7.2.2. データ取得部.....	54
7.2.3. 高次データ解析部.....	55
7.2.4. AOI 生成部.....	56
7.2.5. 配信部.....	57
7.2.6. 外部 I/F 要件.....	58
7.2.7. 高次データ解析における課題.....	59
8. 今後の実現に向けた提言.....	61

1. エグゼクティブサマリ

(1) スマートタスキングの概要・目的

本文書で定義するスマートタスキングとは、衛星への観測要求や観測分担の決定等を、部分的または全体的に自動化(スマート化)することにより、複数衛星による効果的・効率的な連携観測を実現する衛星タスキングシステムの総称である。

スマートタスキングは、①各衛星の特徴や状態、配置を考慮した上で観測リソースを最適に配分する「リソースの最適配分」、②ユーザ(ここでは、観測データの利用者を指す)の関心領域の絞り込みによるピンポイントを対象とした観測の実現、また、観測要求および観測実行の自動化を促す「Tip & Cue」、③異なるセンサや観測方向・入射角を組み合わせた観測を実現することにより、高度なデータ利用を発展させる「複数衛星/センサによる混合観測」の3つを主な目的としている。

(2) スマートタスキングに期待する効果

従来の衛星画像利用において、ユーザが観測要求を行ってからデータを受信するまでには以下の4つの課題が挙げられる。

- ① ユーザが衛星性能・制約等を把握していないために衛星事業者が観測要求を拒否した場合の、再要求繰り返しのユーザ負担が大きい
- ② 高頻度観測・広域観測などの高度な要求は1つの衛星事業者では実現不可となる可能性がある
- ③ 高頻度観測・広域観測などの高度な要求を実現させるため、複数の衛星事業者の衛星性能・制約を理解し、非常に複雑な観測要求の管理を行う場合のユーザ負担が大きい
- ④ 大規模災害発生時、政府による災害対策用観測要求が他のユーザの観測要求と競合し観測されない可能性がある

各衛星事業者が保有する衛星性能と状況を把握しているスマートタスキングによって、上記の課題は解決可能となる。

①はスマートタスキングがユーザへ代替衛星事業者を迅速に提案することで解決する。スマートタスキングはユーザの高度な要求を理解したうえで最適な観測要求の立案とその実現に向けた適切な管理を実施可能であるため、専門知識を持ち合わせていないユーザでも簡単に高度な要求を実現できるようになり、②・③も解決する。スマートタスキングは観測リソースの最適な配分・管理が可能であり、④の解決にも適している。

(3) スマートタスキングによるメリット

スマートタスキングは、ユーザ側と衛星運用側のそれぞれにメリットをもたらす。複雑なタスキング処理の自動化は観測レイテンシを低減させ、観測要求の簡素化・自動化はユーザの負担となっていた観測検討やデータ注文および管理の手間を大幅に軽減する。タスキングの最適化によって、遊休の観測リソースや同一箇所への観測の重複等の削減及び希望する観測時刻やレイテンシで観測結果が得られない状況等が解消されれば、より多くのユーザへ低い運用コストでサービスを提供可能である。スマートタスキングを適用した場合の観測能力向上効果について、令和6年能登半島地震をモデルケースとした観測取得性のシミュレーションにより、各衛星の適切な分担によって効率良く被災地域を網羅できることを示した(図 1-1)。

さらに、Tip & Cue によってユーザは必要とする情報を手に入れやすくなり、また、衛星事業者は観測リソースの有効活用ができるためユーザの希望するデータを効率的に収集できる。そのため、各衛星のリソースや利点を組み合わせることで、迅速な情報提供や効率性・確実性の高い情報収集サービスの実現が可能となり、提供価値を向上することができる。

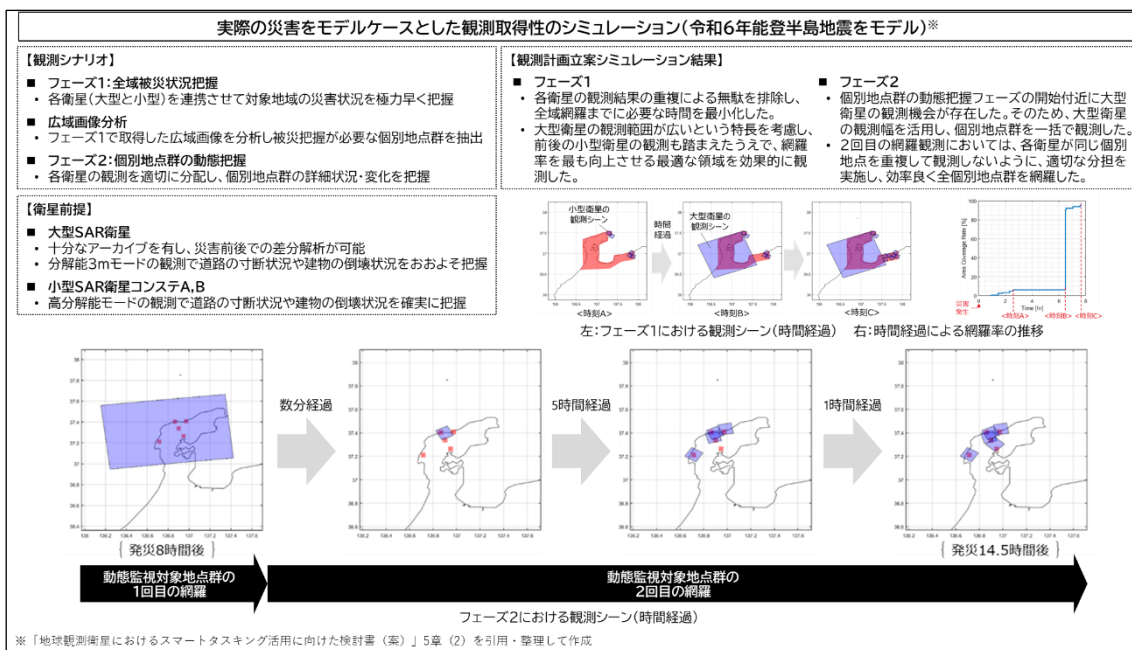


図 1-1 観測取得性のシミュレーション

(4) スマートタスキングが持つべき特長

スマートタスキングが期待される効果(メリット)を発揮するためには、以下の事項が必要とされる。

- 特長 1: 好きな時刻、位置、種類の画像を要求されたレイテンシで提供可能であること
- 特長 2: 最適性及び確実性の高い観測要求の提案が可能であること
- 特長 3: 災害時などにおける衛星リソースの最大最適活用が可能であること

(5) 主なユースケース

スマートタスキングが活躍するユースケースとしては、災害対応、地殻・地盤変動、インフラ監視、森林、海洋状況把握、農業、人間活動などが考えられる。災害発災直後、想定される被災地域あるいは重要施設を全て網羅できるような観測をしたり、観測対象地域(関心領域)の特定や定常的な観測による変化の検出により、特定の地域(領域)に対して自動的に高頻度観測を行ったりする。

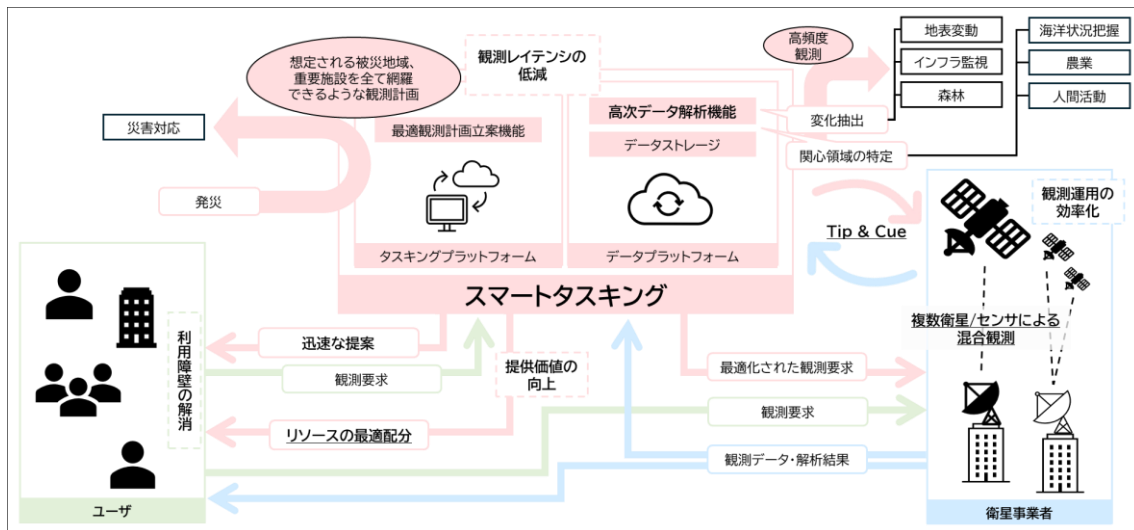


図 1-2 スマートタスキング

2. はじめに

2.1. なぜ衛星間コンステレーション連携が重要か？

昨今、民間企業による複数機の小型(数百 kg)の地球観測衛星によるコンステレーション(以降、小型コンステと呼ぶ)の構築が進み、災害状況把握や環境モニタリング、安全保障などへの活用が期待されている。一方、宇宙航空研究開発機構(JAXA)では、災害や気候変動などのモニタリングを目的として主に千 kg 以上の大型衛星を研究開発してきており、この運用を継続している。これら小型コンステと大型衛星は衛星サイズや機数、搭載可能センサなどのシステム制約が異なるため、ユーザに提供できる観測画像の性能(精度、広域性、頻度、即応性、取得可能な情報の違いなど)は優劣があり、これらは互いに相補的である。例えば、大型衛星は、広域の大量の画像を取得できるが、機数が限られるため観測の即応性は小型コンステに比べると低い。一方、小型コンステは、多数の衛星により即応性を高めることができるが、画像のカバー範囲は大型衛星に比べて狭くなる。したがって、小型コンステと大型衛星の両者を効果的に連携させることができれば、小型コンステのみ、大型衛星のみ、あるいは一つの運用機関のみでは限界があったユーザニーズに応えることができるようになり、さらには未開拓の新しい利用価値を生み出すことができる可能性がある。

2.2. コンステ共創プログラムの経緯

以上のような背景から、2021年12月に改訂された宇宙基本計画工程表において、以下が明記された(※2023年12月現在でも同様の記載は継続)。

「衛星コンステレーションによる革新的衛星観測ミッション共創プログラムにて、高分解能・広域観測に優れる政府の大型衛星と、観測頻度に優れる民間の小型衛星コンステレーションを組み合わせ、安保・防災等に資する、官民共同の観測衛星コンステレーションを構築するために必要な複数衛星の制御最適化等の研究開発に取り組む。」

これを踏まえ、JAXAでは、新たなJAXA・民間連携コンステレーションミッションの創出に向けて「衛星コンステレーションによる革新的衛星観測ミッション共創プログラム」(以下、「コンステ共創P」という。)を2022年4月から開始した。

コンステ共創Pでは、官民連携コンステレーションの創出に必要な研究開発を実施し、民間企業との共創活動にて新規ビジネスの事業化検討を民間の共創活動で行うことを目的としている。JAXAは、2022年7月～8月に、官民連携コンステレーションによるビジネスの事業化アイデアの募集(公募)を実施し、提案者との覚書を締結後、事業コンセプト共創活動を開始した(<https://aerospacebiz.jaxa.jp/topics/news/koubo-20230308/>)。2023年度は下記3社と活動を実施した。

- 株式会社 QPS 研究所： 広域観測が可能な JAXA 衛星と高分解能・高画質な自社衛星との連携観測による事業アイデア等の検討
- 株式会社スペースシフト： 複数の高解像度衛星データの組み合わせによる SAR 衛星での効率的な観測促進、及び高性能 AI 解析による SAR 衛星データを活用した事業の検討
- 三菱電機株式会社： 広域・高精度の大型衛星と、時間分解能に優れる民間小型衛星の最適な連携を、一元的に実施するプラットフォーム事業の検討

これらコンステ共創Pの各検討を進める中、JAXA および各社で共通に認識するゴールとして、以下が明確になった。

“現状の様々なユーザーニーズおよびその将来の拡大に対応するためには、複数の衛星が協調してスピーディーかつ効率的に観測ができる仕組みが必要であり、その実現のためには、「スマートタスキング」技術の研究開発およびシステムやデータの基盤整備が重要である。”

各社との検討では、この「スマートタスキング」が必要とされるユーザーニーズやユースケースはどのようなものがあるか、この仕組みを実現するためにはどのようなシステムアーキテクチャが必要となり、研究開発や解決を図るべき課題にはどのようなものがあるか、などについて議論を深めた。

2.3. 本文書の目的と対象

本文書では、上記の小型コンステと大型衛星の連携のためのスマートタスキングについて、地球観測衛星データのユーザやサービス提供者、運用や開発の担当者などに広く周知し、共通理解を構築する一助とするため、コンステ共創 P の検討で整理された「スマートタスキング」の定義、効果、システムアーキテクチャ案、実現に向けた課題を紹介する。

本文書の対象は、SAR 衛星間の連携、特にコンステ共創 P で対象としている政府の大型 L バンド SAR 衛星 (ALOS-2 および ALOS-4) と民間の小型 X バンド SAR 衛星コンステレーションの間の連携とする。なお、今回は考慮していないが、光学センサなどの他の種類の衛星や、衛星-地上センサ間の連携に対しても、同様のフレームワークや考察が適用できる部分がある。

3. スマートタスキングの概要

3.1. スマートタスキングの定義

本文書で定義するスマートタスキングとは、衛星への観測要求や観測分担の決定等を部分的または全体的に自動化(スマート化)することにより、複数衛星による効果的・効率的な連携観測を実現する衛星タスキングシステムの総称である。

スマートタスキングの目的として、主に以下の3つがある。

1つ目は、「リソースの最適配分」である。観測要求から最短時間での観測実施など、ユーザの要求するレイテンシや頻度を満たした観測を実現することを目的とし、各衛星の特徴(観測幅、分解能、センサの種類等)や状態(姿勢、軌道等)、配置を考慮したうえで観測リソースを最適に配分するタスキングシステムを実装する。

2つ目は、「Tip & Cue」である。Tip & Cueは直前の衛星観測結果や地上でのイベント(各種災害、人間活動など)に基づき、衛星に観測要求“Tip”と観測“Cue”が実行されるタスキング手法の名称であり、ユーザの関心領域の絞り込みによるピンポイントを対象とした観測の実現、また、観測要求および観測実施の自動化を促す。

3つ目は、「複数衛星/センサによる混合観測型」である。異なる波長帯のセンサや、観測方向・入射角を組み合わせた観測を実現することにより、3次元解析をはじめとした高度なデータ利用を発展させることが可能となる。スマートタスキングのシステムは確立されたものではなく、これらの単一もしくは複数の目的に応じて、最適な形態をとる必要がある。

想定されるスマートタスキングの事例として、Tip & Cueを兼ね備えたスマートタスキングの場合では、災害などが発生した際、大型衛星による広範囲の観測結果により検知された異常箇所の情報をもとに、小型の高分解能衛星への観測要求および局所的な観測が実行される。

3.2. スマートタスキングに期待する効果

従来の衛星画像利用において、ユーザが画像を要求(観測要求)してから実際に観測結果(画像データ)を受領するまでの流れにおける課題は、主に4つ挙げられる。

1つ目は、ユーザが衛星性能・制約等を把握していないために、ユーザの観測要求が衛星事業者側に拒否されてしまう際に発生する、再要求の繰り返しによるユーザ負担の大きさである。

2つ目は、仮にユーザがある衛星事業者に対して優先利用権を持ち、かつ衛星性能・制約を理解し使いこなしたとしても、ある地点を高頻度に観測したいという高度な要求(または広域を短時間にて網羅観測したいという高度な要求)は1つの衛星事業者の衛星コンステレーションでは実現できないことである。

3つ目は、2つ目の課題の対策として高度な要求を複数の衛星事業者に分担して依頼する場合において、ユーザは複数の衛星事業者の衛星性能・制約を理解し、非常に複雑な観測要求の管理(観測不可のときの代替観測の再検討含む)を行う必要があるため、結果的にユーザ負担が非常に大きくなることである。

4つ目は、大規模災害発生時において、政府による災害対策用の確実に実現したい観測要求が、他のユーザの観測要求と競合し観測されないことである。

上記4つの課題は、いずれもユーザと衛星事業者の双方の状況を理解し、専門知識を持って最適な観測要求の立案を実施する仕組み・役割が存在しないことに起因した課題であると言える。

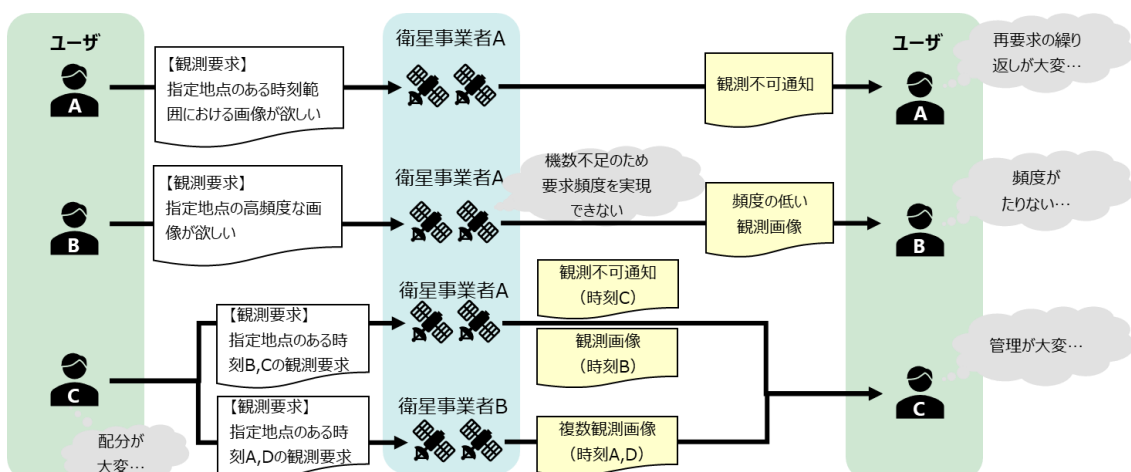


図 3.2-1 従来の衛星利用による画像取得の流れと課題

そこで、図 3.2-2 に示すように、ユーザと衛星事業者間のインタフェースを支援する新たな仕組みとしてスマートタスキングを構築することにより、課題を解決することが可能となる。

1 つ目の課題に対しては、ユーザと衛星事業者の間を仲介するスマートタスキングが衛星事業者から各衛星事業者が保有する衛星性能(観測幅、分解能、動力性能等)や既存の観測計画の情報を収集・解析することで、ユーザへの代替衛星事業者の迅速な提案が可能となり、観測再要求作業におけるユーザ負担の軽減が可能となる。

2・3 つ目の課題に対しては、スマートタスキングが、複数の衛星事業者の性能と状況を把握したうえでユーザの高度な要求(高頻度観測や広域観測)を理解し、最適な観測要求の立案とその観測要求の実現に向けた適切な管理を実施することで、専門知識を持ち合わせていないユーザでも簡単に高度な要求を実現できる。

4 つ目の課題に対しては、スマートタスキングがユーザと衛星事業者の間を仲介し観測リソースを最適に配分・管理することで、他ユーザの観測要求も考慮しつつ、政府による災害対策用の観測要求を確実に実現させることが可能となる。

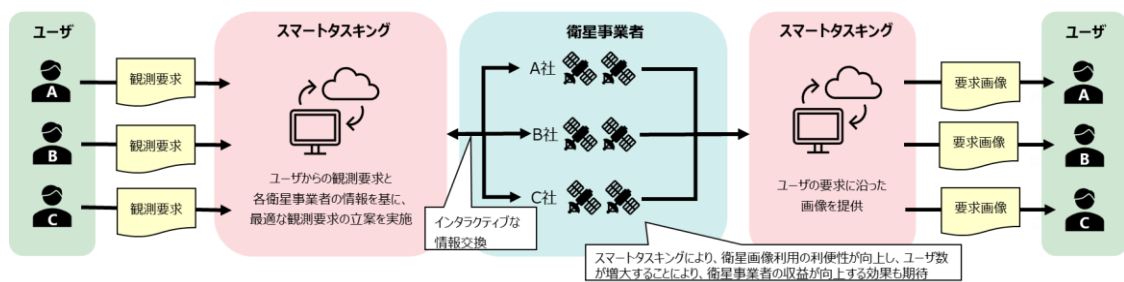


図 3.2-2 スマートタスキングに期待する効果

3.3. スマートタスキングによるメリット

スマートタスキングの実装により、ユーザ側と衛星運用側のそれぞれに様々なメリット(図3.3-1)が想定される。

1 つ目は「観測レイテンシの低減」である。複数衛星で連携した密な観測、および連携時に発生する複雑なタスキング処理の自動化により、単独の大型衛星や小型衛星コンステレーションに比べ、観測レイテンシを低減することにつながる。

2 つ目は「ユーザ利用障壁の解消」である。複数の衛星事業者間で統合化されたシステムの開発による観測採択率の向上や観測要求の簡素化・自動化により、これまでユーザの負担となっていた再要求の繰り返しや高度な観測要求の検討、データの注文および管理の手間を大幅に軽減することが可能である。

3 つ目は「観測運用の効率化」である。タスキングの最適化による観測リソースの有効活用によって、運用者は多くのユーザへサービスを提供することが可能となる。また、マニュアルでの運用に比べて運用コストの低減にもつながる。

最後は「提供価値の向上」である。Tip & Cue により、ユーザは必要とする情報が手に入りやすくなるとともに、衛星事業者はユーザの希望するデータを効率的に収集する。また、各衛星のリソースや利点を組み合わせることにより、政府による災害対策用の観測を含め、迅速な情報提供や効率性・確実性の高い情報収集サービスを実現することが可能となる。

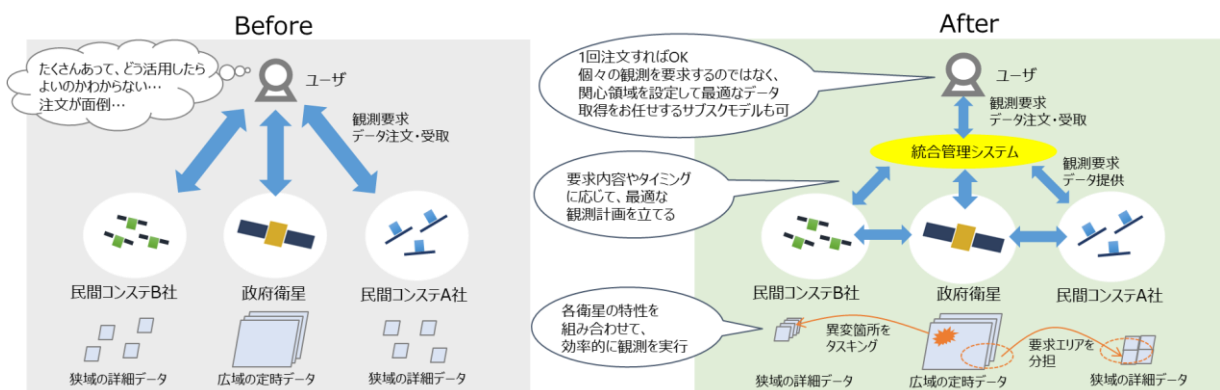


図 3.3-1 スマートタスキングによるメリット

3.4. スマートタスキングが持つべき特長

スマートタスキングが持つべき特長を以下に示す。これらの特長はスマートタスキングが期待される効果(メリット)を発揮するために必要な事項も考慮し設定した。

なお、以下の特長は、スマートタスキングにて利用できる衛星の基数や衛星性能が十分である場合を前提とした記載としている。

特長 1:好きな時刻、位置、種類の画像を要求された鮮度(レイテンシ)で提供可能である

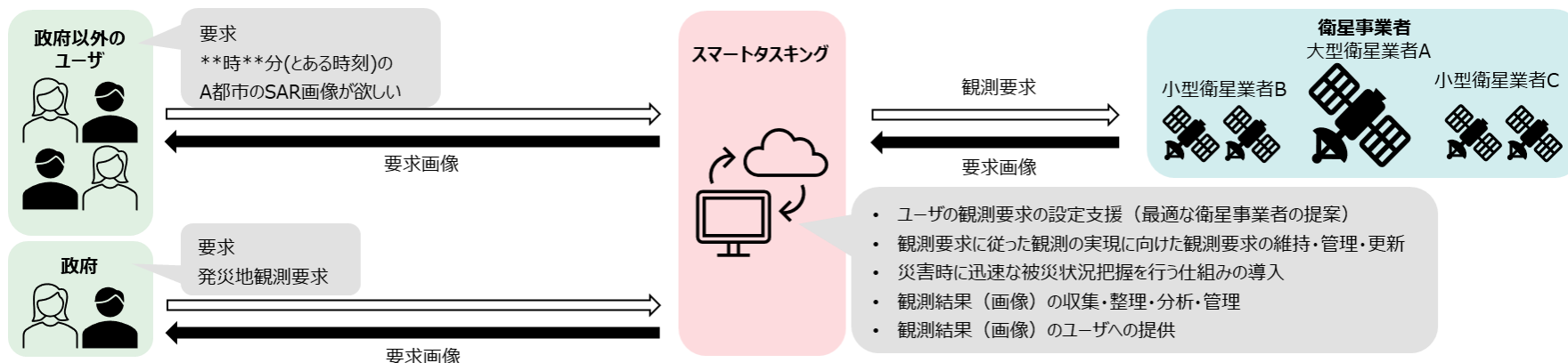
ユーザは、単に指定した位置の画像を入手できれば良いわけではなく、希望する時刻範囲内、および希望の鮮度(レイテンシ)でその画像を入手することが重要となる場合がある(特に災害対応観測の場合を想定)。そのため、スマートタスキングにおいてはユーザが観測領域だけでなく観測時刻範囲やレイテンシ要求範囲も指定できるようにするとともに、スマートタスキングはその要求を満たした観測機会の提案、観測結果の提供を行う。

特長 2:最適性及び確実性の高い観測要求の提案が可能である

ユーザ視点においては、観測要求の最適性及び観測要求が確実に衛星事業者に受諾され、観測が実行される確実性が重要である。スマートタスキングは登録されている全衛星の衛星性能/衛星制約、軌道情報(観測機会)とともに各衛星の既存の観測計画を把握し、観測計画立案にて考慮することで、各衛星の観測機会を最大限活用しつつ確実性の高い観測要求を提案する。

特長 3:災害時などにおける衛星リソースの最大最適活用が可能である

災害発生時においては、広域予測被災地の中のどの地点が被災しており詳細観測が必要であるかが不透明な場合がある。そのため、スマートタスキングにおいては、広域予測被災地の全体網羅観測後に画像データを分析し、詳細観測(または動態把握)が必要な観測地点群を抽出し、ユーザに提案(Tip & Cue)することで、遊休の観測リソースや同一箇所への観測の重複等を削減し、詳細観測(または動態把握)が必要な地点の効率的な観測を可能にする。



運用コンセプト

特長 1

好きな時刻、位置、種類の画像を要求された鮮度（レイテンシ）で提供可能である
ユーザが、好きな時刻の好きな位置の好きな種類の画像及び、画像提供までのレイテンシを要求でき、要求の条件で画像データの提供が可能である。

特長 2

最適性及び確実性の高い観測要求の提案が可能である
登録されている衛星の観測機会検索機能や撮像模擬用情報等を基に、エンドユーザが要求するレイテンシを満足できる観測機会の条件等、最適性及び確実性の高い観測要求の提案が可能である。

特長 3

災害時などにおける衛星リソースの最大最適活用が可能である
災害時など、既存の衛星リソースを最大限活用する事で、迅速に広域な被災地域の把握を行い、画像分析により動態把握が必要な優先地域を抽出し、最適な観測要求の立案が可能である。

図 3.4-1 スマートタスキングの特長

3.5. スマートタスキングに関する事例

スマートタスキングに関連する事例として、近年、民間主体で進む小型衛星コンステレーションにおける取組を紹介する。

① ICEYE(小型 SAR)– CHORUS & Sentinel-1 (大型 SAR)

カナダ MDA 社ではフィンランドの ICEYE 社と連携し「Tip & Cue」でのスマートタスキングを実現するとしている。MDA 社は RADARSAT-2 の後継計画として、2025 年に打上げ予定¹の CHORUS という X バンドと C バンドの SAR 衛星 2 機からなるコンステレーションの構築²を計画している。MDA 社は CHORUS の C バンド SAR 衛星を開発し、X バンド衛星には ICEYE 社の小型 SAR 衛星が用いられる³。2 機の衛星は X バンド SAR 衛星が C バンド SAR 衛星を追従する形で同じ軌道に投入され、C バンド SAR 衛星が広域を撮像し、X バンド SAR 衛星がより高分解能で詳細を撮像する。この CHORUS による「Tip & Cue」は主に船舶監視を主な用途として想定している。

また、冰山監視を対象とし、Sentinel-1 とのスマートタスキングを想定した実証実験も行っている。実験では、中解像度で広範囲を観測可能な Sentinel-1 による冰山の検出結果をもとに、より高分解能で観測可能な ICEYE 社に対して Tip & Cue を実行し、小さな冰山や流氷の詳細な把握を可能としている⁴。

¹ <https://jp.reuters.com/article/idUSKBN31P1RD/>

² <https://www.iceye.com/press/press-releases/mda-and-iceye-sign-agreement-to-integrate-x-band-sar-satellite-into-mda-chorus-constellation>

³ <https://spacenews.com/iceye-to-provide-satellite-for-mda-radar-constellation/>

⁴ <https://www.iceye.com/blog/tip-and-cue-technique-for-efficient-near-real-time-satellite-monitoring-of-moving-objects>

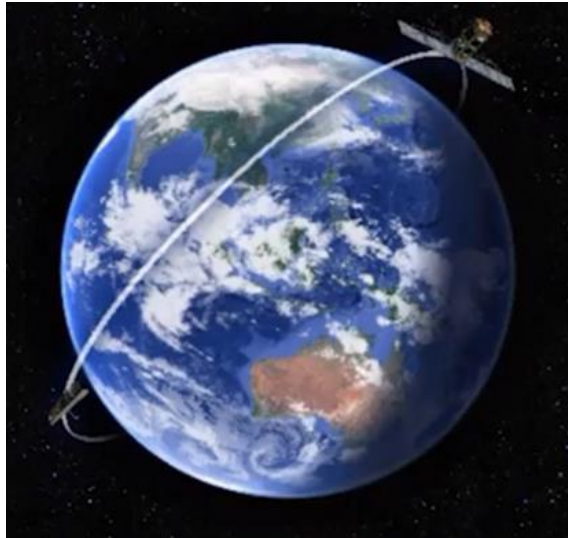


図 3.5-1 CHORUS のイメージ

(出典:<https://www.eoportal.org/satellite-missions/chorus#eop-quick-facts-section>)

② Planet (光学)

100 機以上の光学衛星からなるコンステレーションを運用している米 Planet 社でも、「Tip & Cue」でのスマートタスキングを実現している。比較的分解能な数百機の光学衛星群 PlanetDove の観測データから得られた解析結果を基に、同じく同社が運用している高分解能光学衛星の SkySat にタスキングを行うことが可能⁵である。SkySat は現在 21 機のコンステレーションとなっており、さらに後継衛星 Pelican とあわせて 32 機のコンステレーションとする⁶としており、最大級の「Tip & Cue」コンステレーションである。

⁵ <https://news.satnews.com/2022/04/25/nex-gen-satellite-announced-by-planet/>

⁶ <https://www.planet.com/pulse/our-next-generation-satellite-constellation-pelican-is-expected-to-deliver-very-high-resolution-and-rapid-revist-capabilities/>



Tip & Cue オペレーション

Planet Dove衛星の撮像画像により得られたデータの分析結果(Tip)を踏まえ、高解像度のSkySat衛星に対しタスキングオーダー(Cue)を出すインターフェースを開発中。

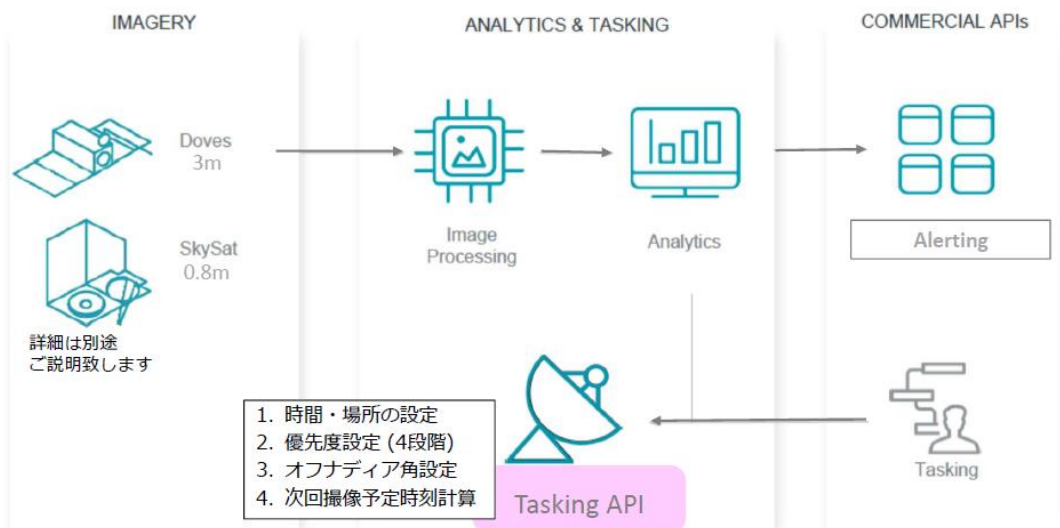


図 3.5-2 Planet 社の Tip&Que アーキテクチャ

(出典)https://www.jsprs.jp/pdf/GEXPO18_shibuya.pdf

(参考)<https://www.planet.com/products/hi-res-monitoring/>

<https://www.planet.com/pulse/new-space-opportunities-supplying-the-future-of-tip-and-cue-strategies/>

<https://spacenews.com/planet-explore-2020/>

③ Skylight (AIS) – Maxar (光学)

米非営利研究機関 Allen Institute for AI (AI2)が提供している IUU(Illegal, Unreported and Unregulated)漁船のモニタリングサービス Skylight は、米 Maxar 社と連携して「Tip & Cue」でのスマートタスキングを実現している。この Skylight の場合、Tip 時の情報は衛星からの情報だけでなく AIS データ等の他の分析結果が用いられる。Skylight は AIS データから 2 隻の船舶の海上での遭遇等を検知し、こうしたアラート情報をユーザに提供しているが、そのアラート情報に基づいて自動的に Maxar 社の運用する光学衛星群にタスキングを行うシステムを有している。同社は Skylight を用いた「Tip&Que」について、2022 年にトライアルを実施しており、ア

ラートによって生成された Tip により 34%の Maxar 社の光学衛星による観測に成功している⁷。



図 3.5-3 Skylight のイメージ

(出典:<https://www.skylight.global/news/tip-and-cue>)

④ Spire – BlackSky(光学)

アメリカの民間地球観測業者である Spire Global 社と BlackSky Technology 社は互いの衛星をスマートタスキング的に連携し、リアルタイムに世界中の船舶を自動的に検知、識別、追跡できる商用利用可能な海洋管理サービス「Marine Custody Service(MCS)」を開発した。MCS では Spire 社の電波監視衛星コンステレーション(100 機以上)が違法船舶を含む海上の船舶の位置を検出し、検出結果をもとに BlackSky 社の光学衛星コンステレーションへ自動的に Tip&Cue が実行される。観測画像へは AI を用いた解析も実行され、対象とする船舶の特徴や行動の監視が可能となる⁸。

⁷ <https://www.skylight.global/news/tip-and-cue>

⁸ <https://ir.spire.com/news-events/press-releases/detail/168/spire-global-and-blacksky-partner-to-provide-real-time>

4. スマートタスキングが活躍する主なユースケース

スマートタスキングが活躍する主なユースケースの一覧を表 4-1 及び図 4-1 に示す。ここでは、災害対応、地殻・地盤変動、インフラ監視、森林、海洋状況把握、農業、人間活動の 7 分野にユースケースを分類し、各利用例においてスマートタスキングによる効果を検討した。検討の結果、各分野・利用例に応じて、スマートタスキングの効果は下記 2 つに大別される。

- (1) 災害発災直後に、想定される被災地域、あるいは重要施設を全て網羅できるような観測を行う。
- (2) 観測対象地域(関心領域)の特定や定常的な観測による変化の検出により、特定の地域(領域)に対して自動的に観測頻度を上げて、集中的に観測する。

表 4-1 ユースケース一覧

分野	利用例	スマートタスキングによる効果
災害対応	被災地域の観測	発災直後に、 <u>想定される被災地域、あるいは重要施設を全て網羅できる</u> ような観測を行う。
	浸水被害発生状況の把握	緊急観測により <u>被害地域を特定し、被害地域に対して自動的に観測頻度を上げて、集中的に観測する。</u>
地表変動	地盤沈下、火山活動に伴う地表の膨張や収縮、地すべり地形や土砂崩壊地の変位	定常的に観測を行い、 <u>変化が検出されたら、自動的に観測頻度を上げて、集中的に観測する。</u>
インフラ監視	大型建造物や道路などの変位	
森林	違法伐採	
海洋状況把握	広域の船舶航行状況把握、特定船舶の動静把握	定常的な観測により関心領域を特定し、 <u>その関心領域に対して自動的に観測頻度を上げて、集中的に観測する。</u>
農業	遊休農地把握、農作物育成状況把握	
人間活動	車の移動(渋滞監視、駐車状況)	

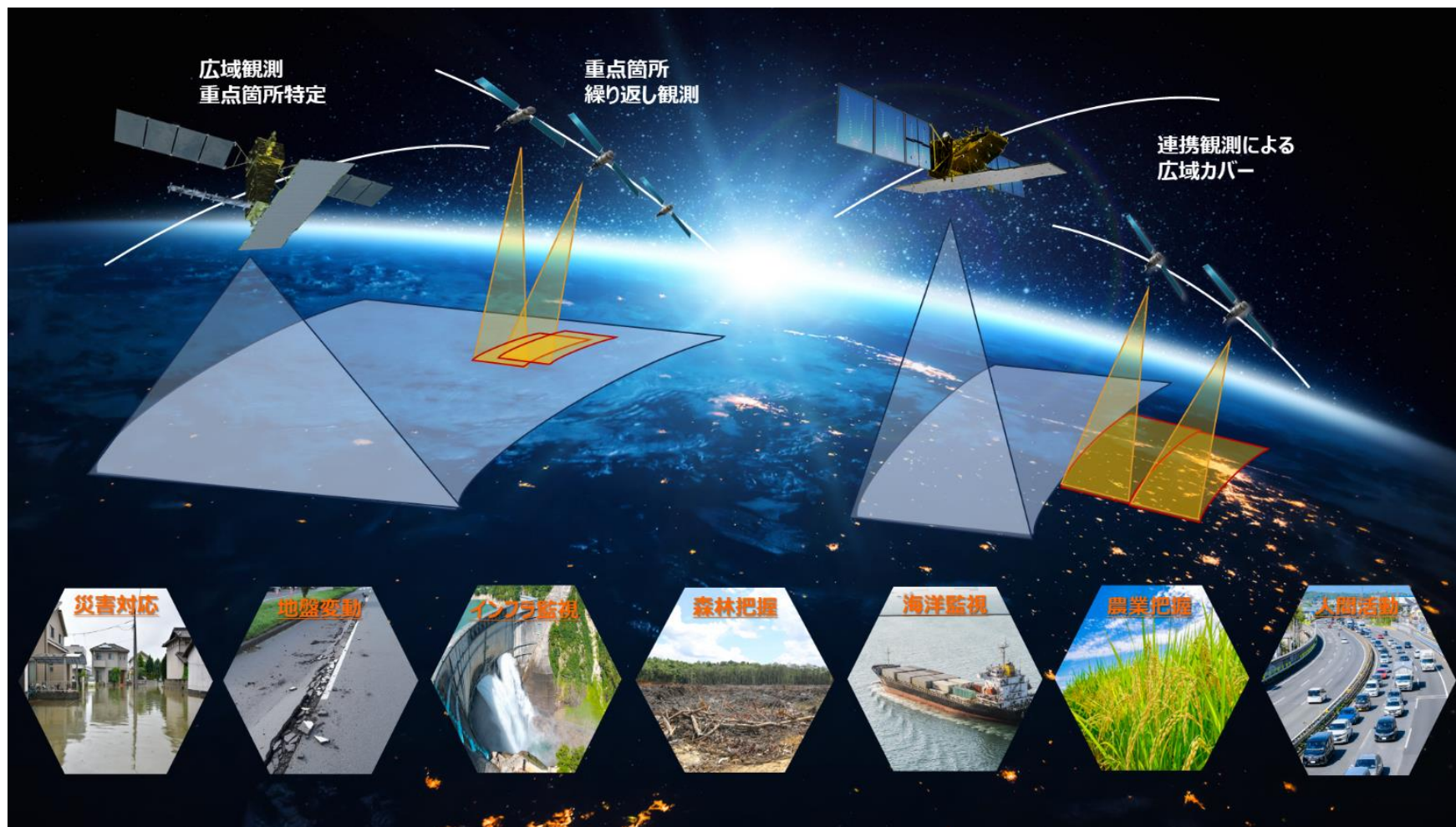


図 4-1 スマートタスキングにおける観測イメージとユースケース

前述するユースケースのうち、災害対応および地表変動・インフラ変位監視を例として、詳細な利用シナリオを以下に説明する。

(1) 災害対応

災害発生時は、まず災害による被災状況(津波被害状況や、土砂崩れ状況、道路寸断情報)を迅速に把握する必要があり、その後、さらなる詳細観測や注視を必要とする地域を継続的にモニタする必要がある。発災直後から図 4-2 に示すミッションを実施することを求められる。

そこで、発災時の被災状況の把握を 2 つのフェーズに分類し、それぞれのフェーズにてスマートタスキングを用いた運用内容とその効果について以下の通り検討した。図 4-2 にその運用フローを示す。

フェーズ 1 として、まず全域災害状況把握を実施する。被災したことが確認された地点群について、詳細な被害状況の把握(余震による被害拡大の把握含む)が必要となる。そこで、フェーズ 1 の観測結果を分析し、特に動態監視が必要な個別地点群を抽出した後、フェーズ 2 にて個別地点群の高頻度観測を実施する。スマートタスキングを利用した場合、フェーズ 1 においては、大型衛星の広域観測能を最大限活用するとともに、小型衛星を含めた全衛星を連帯させ、各衛星の観測範囲の重複が少ない最適な観測計画を立案することで、全域被災状況の把握に必要な時間を最小化することが可能である。

フェーズ 1 の観測後の分析では観測結果を基に画像解析を行い、分析結果(動態把握が必要な個別地点群情報)を観測立案機能に迅速に提供することで、フェーズ 1 からフェーズ 2 への移行時間を短縮する。

フェーズ 2 においては、分析結果(動態把握が必要な個別地点群情報)を基に、各衛星の性能・特徴を考慮したうえで被災地点に対する観測計画を適切に分担・連帯を実施させることによって、個別地点群の各地点を効率よく高頻度に網羅することが可能である。スマートタスキングは全ての衛星の性能と観測機会を把握しているため、シーンとニーズに応じた使い分けができる。例えば、個別地点群の中で数点を超高頻度観測地点群として設定し、残りを高頻度観測地点群として設定することで、地点ごとに観測頻度に差を設けることも可能である。

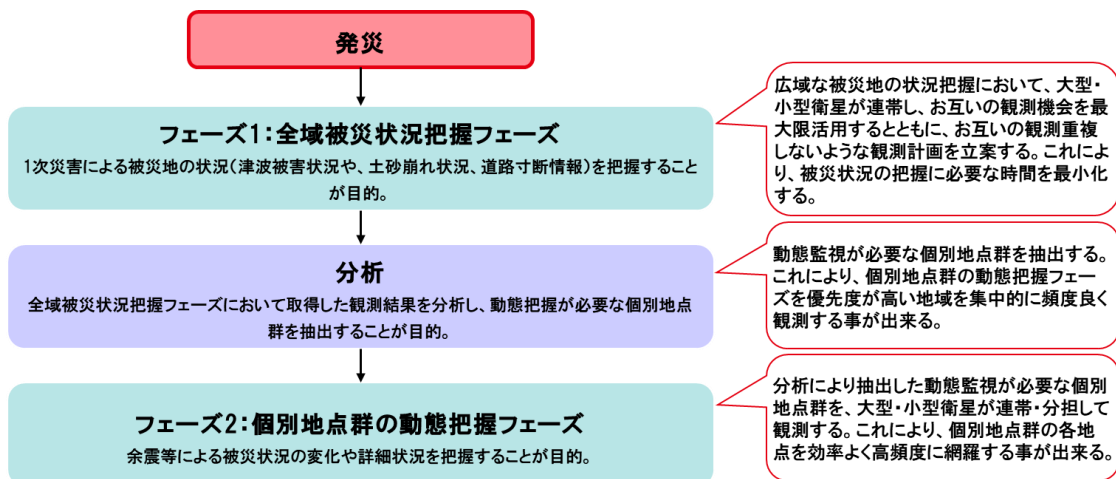


図 4-2 災害時におけるスマートタスキングによる運用フロー

(2) 地表変動やインフラ変位の監視

地震や火山活動、地すべり、地盤沈下などに伴う地表変動や、建物や施設などの構造物の変位は、主に現場での測量や点検によって監視が行われている。昨今の国土強靱化の推進や労働人口減少への方策として、より効果的・効率的な方法が求められている。

SAR 衛星による観測は、近年の軌道決定・制御の高精度化や観測の高頻度化により、干渉 SAR 時系列解析によって地表変動を数 cm～数 mm オーダで計測ができるようになり、地表変動やインフラ変位の監視への活用が期待されている。ALOS-2 ではすでに火山活動やインフラ変位の監視に観測データが活用されており、ALOS-4 ではさらに観測頻度を年 20 回程度(概ね 2 週間おき)に増加させることで、より高精度かつ定常的に広域の計測を実現できるようにし、広く現場に活用することを目標としている。また、空間分解能は下がるが、欧州の Sentinel-1(C バンド SAR の大型衛星)や、米印の NISAR(L/S バンド SAR の大型衛星)でも、数日～十数日おきの広域観測が行われ、ALOS-4 と同様に干渉 SAR 時系列解析が可能である。これら大型衛星による観測によって、ユーザは地表の変位を面的にくまなく、定期的に把握できるようになることが期待される。大型衛星による定期監視の一例として、国土地理院による ALOS-2 干渉 SAR 時系列解析に基づく日本全土の地盤変動分布図、欧州連合 Copernicus プログラムによる European Ground Motion Service などがある(図 4-3)。民間企業でも顧客の要求に合わせて同様のサービスが提供されている。

この定期的なモニタリングによって、例えば変位速度が急に上がるなどの異変を検知した場合、現場ではさらに時空間的に詳細な計測が一定期間必要とされる。これには、特定箇所を集中して高頻度(数時間～数日おき)で観測が可能な小型 X バンド SAR 衛星コンステレーションが有用である。スマートタスキングを活用して、大型衛星による観測データ解析結果から異変を自動的に検出し、ユーザ要望に沿って適切なタイミングで小型衛星の観測をタスキングすることができれば、異変の分析や追跡の精度が上がり、ユーザの分析や観測注文の手間も削減

される。小型コンステの運用事業者も、ニーズが確実に予測できる情報量の高い観測を選別して実行することができ、取得可能データ量や観測機会の制約から生じる観測リソースを有効活用することができる。また、この異変検知箇所の集中観測を ALOS-2 あるいは ALOS-4 で行おうとする場合、ビーム走査や姿勢ポインティングによって特定箇所の観測頻度を上げることになるが、1~2 機では小型コンステの観測頻度には及ばない上、これを実施する代わりに他の地域の定期監視を中断しなければならない。小型コンステとの連携ができれば、この中断を避け、多くのユーザへ情報提供を継続することができる。

図 4-3 に、以上のユースケース・アクティビティの概要を示す。この例では、ユーザからタスキングサービスに対して事前に、要求エリア情報と、定期監視によって変化を検出する閾値、検出した場合のアクション(例:最短 1 時間おきに 1 週間程度継続監視、等)などの要望を提示しておく。その後、サービス提供側は、平時は定期的な観測結果を送付するが、もし変化を検出した場合には事前設定に基づいて次の観測を立案してユーザ側に提案、ユーザが実行の承認を行う仕組みとしている。

また、ALOS-2 や ALOS-4 などの大型衛星は、極軌道からほぼ東西方向に向けて観測を行うため、観測方向とほぼ直交する地表変動の南北方向成分に対する感度が低く、現場で必要とされる東西・南北・上下の 3 次元方向全てに対して十分な精度が得られないという課題がある。また、同様の理由で、斜面やダムなどの観測では南北方向に向く対象の精度の高い計測が難しい。ここで、小型コンステを活用し、多様な方向から観測ができれば、課題を解決できる可能性がある。

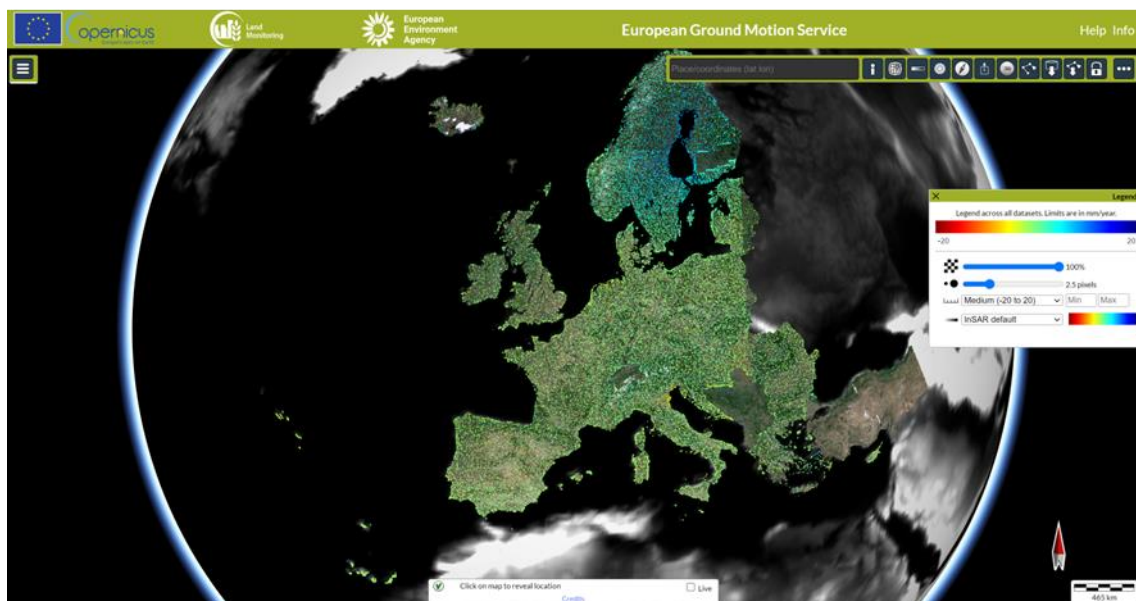
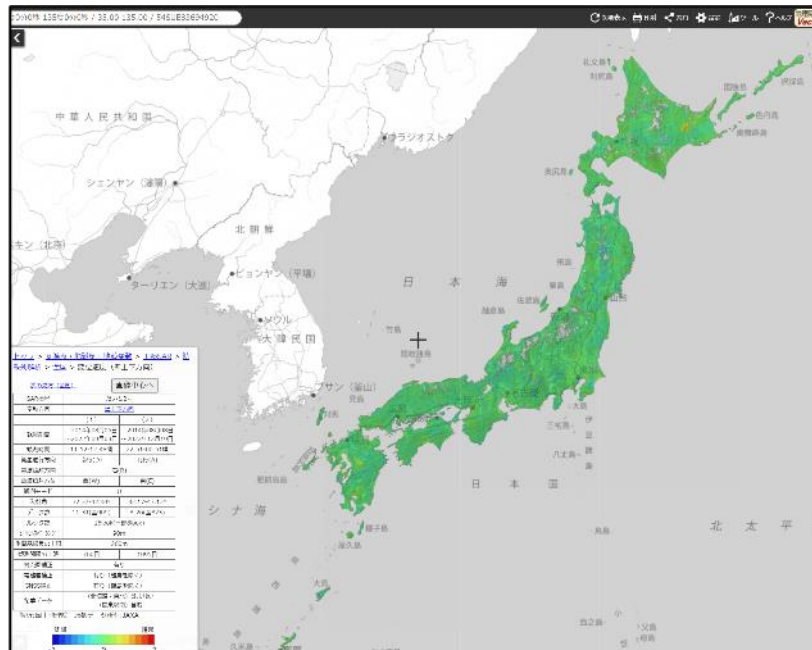


図 4-3 大型衛星による地表変動の定常観測サービス例

(上)国土地理院による全国時系列解析結果(ALOS-2 の観測データを利用)

(下)欧州連合 Copernicus による European Ground Motion Service(Sentinel-1 の観測データを利用)

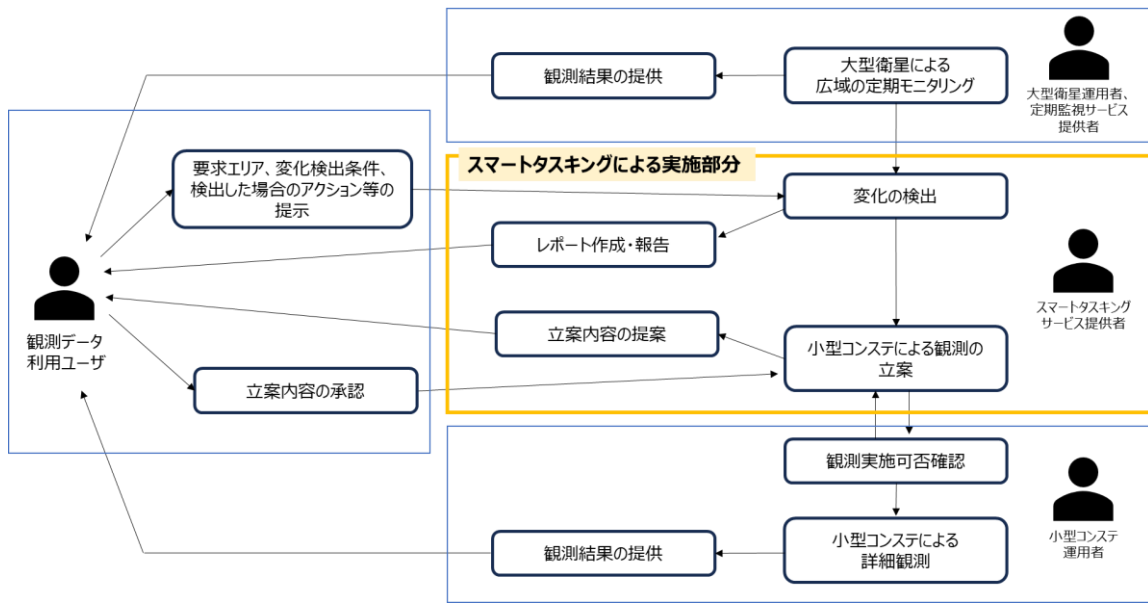


図 4-4 地表変動監視におけるユースケース概要

5. スマートタスキングを適用した場合の観測能力向上効果の見積もり

ALOS-2/4 や民間の小型衛星コンステレーションによってどのような観測能力が実現できるか、これを定量的に把握することは、スマートタスキングの実現によってどのような利用が見込めるかを実現性高く検討するために重要である。また、期待されるユースケースを実現するために、衛星観測技術や地上処理技術において解決すべき課題を見通すためにも必要な情報となる。

本章では、(1)将来の衛星群による観測頻度・レイテンシ(=観測や画像提供までの待ち時間)や観測カバレッジについての概算、(2)実際の災害をモデルケースとした観測取得性のシミュレーションについて紹介する。

(1) 将来の衛星群による観測頻度・レイテンシおよび観測カバレッジについて

スマートタスキングを考えるうえで観測能力として重要になるのは、同一地点に対する観測頻度やレイテンシ、SAR 観測の周波数や空間分解能、観測幅、偏波などの観測仕様、入射角などの観測幾何条件が挙げられる。例えば観測レイテンシは、災害時の情報収集において衛星を活用するかどうかを判断するための重要な前提条件になる。観測仕様や幾何条件は、所望する解析が適用できるかどうかを知るために必要な条件である。ここでは、スマートタスキング検討の前提とすべき観測能力を明らかにすることを目的とし、観測頻度・レイテンシについて解析した結果を紹介する。

解析において、衛星観測・運用の前提条件を定める必要があるが、今後の開発進展やプロジェクト計画の変更などによって変わり得るため、確実な予測を立てることが難しい。そのため、ここでは一例として、以下のケースを想定する。軌道設定等の条件は、表 5-1 に示す。

- ・ 大型衛星は、ALOS-2/4 相当の衛星が 2 機同時運用されている。
- ・ 小型 SAR 衛星コンステレーションは、国内の民間企業が開発運用する 2 つのシステムの目標機数が全数運用されている。

表 5-1 想定する衛星観測条件

	大型 SAR 衛星 (ALOS-2, ALOS-4)	小型 SAR 衛星 コンステレーション (極軌道)	小型 SAR 衛星 コンステレーション (傾斜軌道)
機数	2	30	36
軌道種別	太陽同期 極軌道	太陽同期 極軌道	傾斜軌道
軌道面の数	1	6	4
観測可能な 入射角範囲	8~70 度	15~45 度 (オフナディア角)	15~50 度 (オフナディア角)
観測方向	左右選択可能	左右選択可能	左右選択可能
ノミナル観測幅	50 km (ALOS-2) 100~200 km (ALOS-4)	10-30 km (ノミナル 20 km)	7 km
備考	ALOS-4 は、ALOS-2 と同じ軌道面内とし、後方に 103 度の位相差をつけて配置。	国内 Synspec 社による Strix 衛星の軌道および観測仕様を参考とした (Obata et al., 2021, Synspec 社ウェブサイト)	国内 iQPS 社による QPS-SAR 衛星の軌道および観測仕様を参考とした (QPS ウェブサイト)。

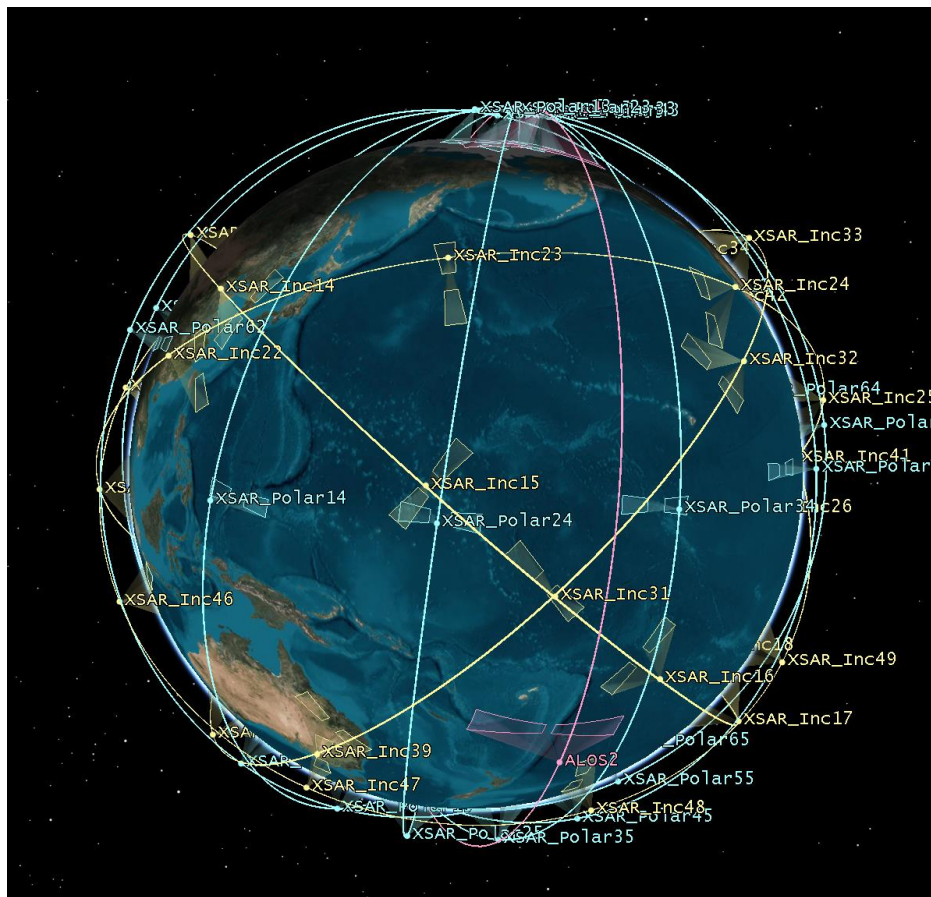


図 5-1 本解析で前提とする各衛星の軌道配置

観測頻度・レイテンシは、ユーザが必要とするエリアの大きさを考慮しつつ、必要なニーズが満たされるかどうかを評価する必要がある。これはユースケースによって様々であり、自然災害では規模に応じて 1000 km 以上(南海トラフ地震級の大地震を想定)に及ぶ可能性があり、特定の建造物や農地など観測対象があらかじめ定まっている場合には数 km~数十 km 程度に絞られる。

この運用イメージとして、2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震の観測事例がわかりやすい。防災科学技術研究所が運用する防災クロスビュー: bosaiXview にて各衛星の観測画像が公開されており、その画像を図 5-2 に示す。ALOS-2 は観測幅 50 km の観測が可能であり、能登半島の多くの部分を一度にカバーしている。QPS 研究所による小型 SAR 衛星は、スポットライトモードと呼ばれる、電波を観測対象に集中させることによって高分解能を得る観測を行っている。ただし観測幅は限られ、1 回の観測では 7 km 四方程度しかカバーされないため、被害のある市街域などに観測が集中している。Synspective による観測は、ALOS-2 と同じストリップマップモードと呼ばれる観測方式であり、衛星進行方向に連続して観測が可能である。観測幅は 20 km 程度となっており、複数回の観測で能登半島をカバーしている。なお、小型 SAR 衛星の観測はそれぞれ運用中の 1 機によるものであり、今後整備が進み、さらなる観測範囲の拡大が期待される。

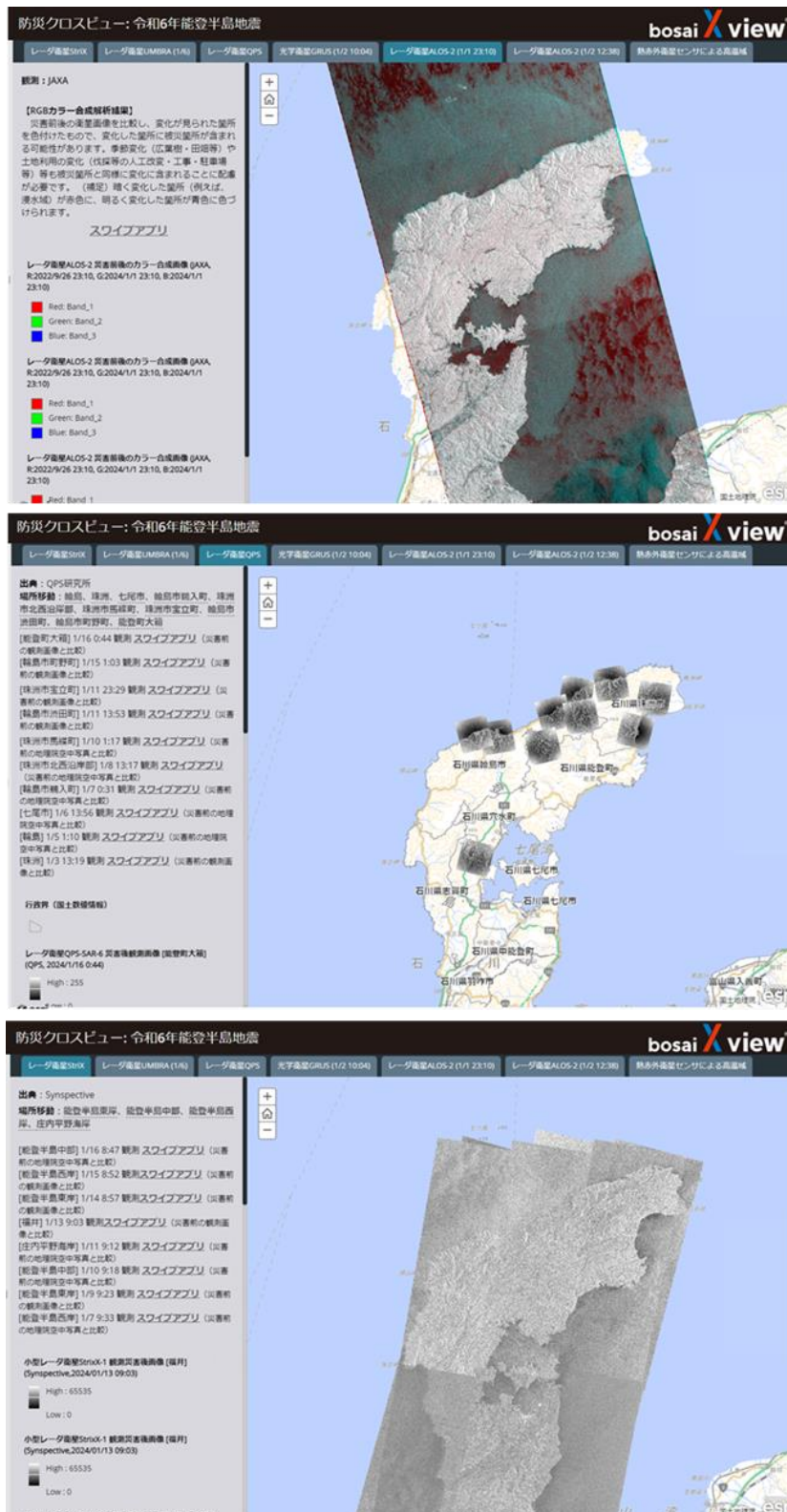


図 5-2 令和 6 年能登半島地震に対する各衛星の観測画像

上図：ALOS-2(JAXA)、中図：QPS-SAR-6(QPS 研究所)、下図：Strix-1(Synspec)
 (防災科学技術研究所が運用する防災クロスビュー：bosaiXview による)

ユーザの要求エリアが1回の観測幅に収まる大きさ(～数 km レベル)である場合について、東京中心部のある1地点において観測機会を計算した結果を図5-3に示す。大型衛星は概ね12時間おき(現地時刻12時/24時)に観測機会があり、小型コンステは10分～3時間おきという頻度で観測機会がある。対象とするエリアが小さい場合には、大型衛星は即応性が低く、小型コンステが有効であることがわかる。

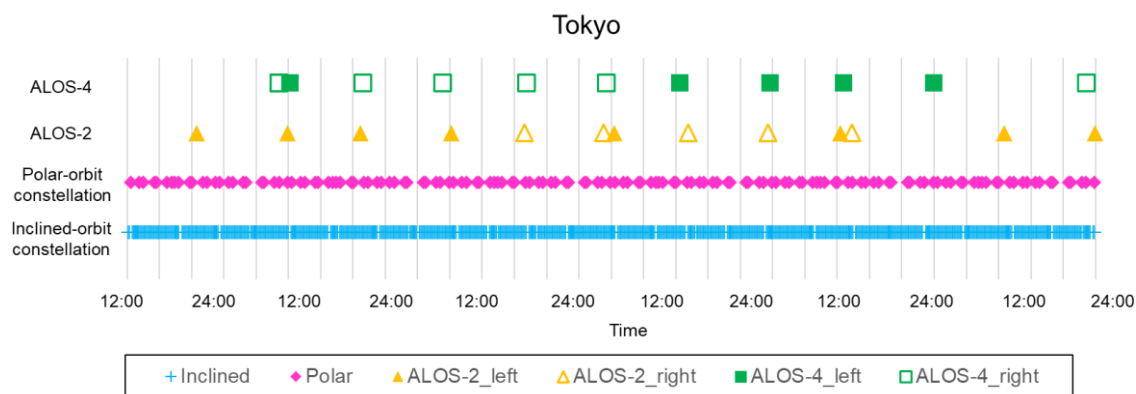


図 5-3 東京中心部のある1地点における観測機会
(極軌道 = Polar-orbit、傾斜軌道 = Inclined-orbit)

表 5-2 各観測機会までのレイテンシ比較

	任意の時間から 観測機会までの レイテンシ		3時間以内に カバーできる範囲
	平均	最大	
大型衛星(ALOS-2/4)	5.5 時間	13.0 時間	0～250 km 幅程度(*1)
小型コンステ(極軌道, 30 機)	1.0 時間	2.4 時間	～60 km 幅程度
小型コンステ(傾斜軌道, 36 機)	0.2 時間	0.4 時間	～100 km 幅程度

(*1) 高分解能モードの場合。観測機会が無い場合は 0 km 幅となる。

次に、ユーザの要求エリアが小型コンステの1回の観測幅よりも大きい場合(数十 km～1000km レベル)について考察する。この場合、前述の能登半島地震の事例の通り、複数の観測機会を組み合わせ、要求エリアをカバーする運用が想定される。ただしここでは計算の簡単化のために、それぞれの観測でのカバー範囲が重複しないと仮定している(実際にはこのようなことはなく考慮が必要であるが、カバレッジとして最も良い条件として計算を行った。なお、後述の(2)のシミュレーションでは観測の配置が考慮されている。)。このとき、3時間以内にとどの程度のカバレッジが確保できるか、東京中心部周辺を一例に計算した結果を前述表5-2の右列に示す。この結果、大型衛星によって広域をカバーできる効果は大きく、さらに複数衛星

を組み合わせることにより広範囲に対応できることがわかる。一方、南海トラフ地震級の 1000 km を 3 時間以内でカバーすることは今回の衛星条件では不可能であり、レイテンシ要求を緩和するか、さらに衛星の数を増やして観測機会を高める必要があることがわかる。

以上の結果をまとめると、(1)小型コンステは観測頻度・レイテンシに優れ、数時間以内での観測を可能とするが、その観測対象は数 km~20 km 幅の範囲内に絞る必要がある、(2)それ以上の広域を対象とする場合、大型衛星との組み合わせが効果的である、(3) ただし南海トラフ地震などで想定される 1000 km に及ぶ被災エリアを 3 時間以内でカバーするには、現状想定される大型衛星および小型コンステの機数では不可能であるためさらなる増強が必要である、と結論づけられる。また、この大型衛星と小型コンステの相補的な特性を活かし、大型衛星での定期的な観測の後に、観測するエリアを絞り、小型コンステで集中的に観測を行う、という利用方法が有効であると考えられる。

今回の解析では、冒頭に示した通り多くの仮定を置いており、実際には、必要なユースケースに対してより詳細に解析を行う必要がある。特に考慮すべき点として、今回は、すべての衛星の観測機会が利用できることを仮定しており、さらに、観測要求を送るための時間や観測データを地上へ伝送する時間は考慮していない。小型衛星では 1 周回あたりの最大観測時間も限られる。観測入射角も利用可能な最大範囲を使う前提としており、画像の利用方法によっては、適切な入射角に絞る必要がある。実際の運用ではこれらによって制約が生じ、今回の解析結果よりも低い性能となる可能性がある。また、小型コンステは機数によって能力が大きく左右される。今回は一定の機数を仮定したが、整備途中段階や維持保守の中で機数が増減する場合には、政府の大型衛星や小型コンステ間の連携による補完効果はより有効に働き、ユーザは安定したサービスを継続的に受けられることになり、スマートタスキングの有用性はより一層高くなると考えられる。

(2)実際の災害をモデルケースとした観測取得性のシミュレーション

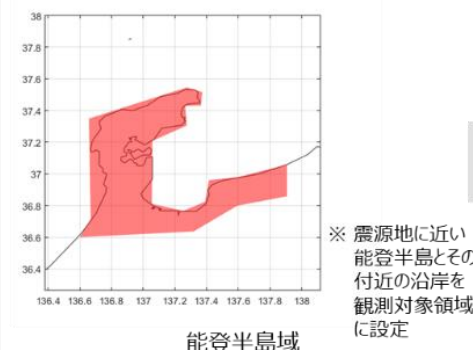
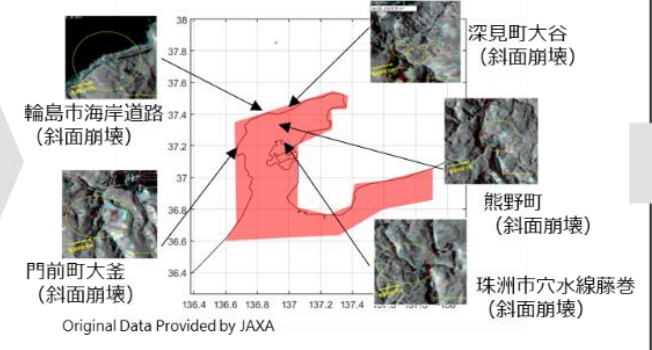
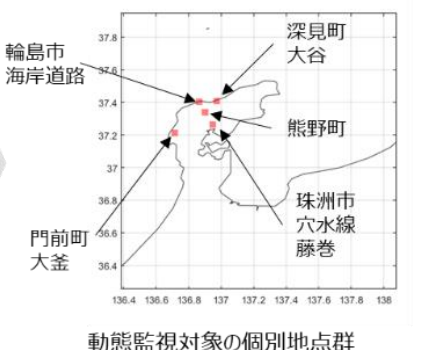
① 観測シナリオ

2024/1/1 16:06(JST)に発生した能登半島地震をモデルとし、地震発生直後から以下に示すミッションを実施することを想定する。ミッションは表 5-3 の通り、4 章のユースケース(1)災害対応で述べた 2 つのフェーズで観測されることを想定する。

② 衛星前提

本検討において、観測計画の前提とした衛星を表 5-4 に示す。

表 5-3 観測シナリオ前提(能登半島地震モデル)

フェーズ	フェーズ1：全域被災状況把握	広域画像分析	フェーズ2：個別地点群の動態把握
期間	開始 発災日時 2024/1/1 16:06 (JST)	—	能登半島の網羅完了日時
終了	能登半島の網羅完了日時	—	動態監視対象地点群を2回網羅完了する日時
観測対象領域	 <p>能登半島域</p> <p>※ 震源地に近い能登半島とその付近の沿岸を観測対象領域に設定</p>	 <p>Original Data Provided by JAXA</p>	 <p>動態監視対象の個別地点群</p>
概要	各衛星（大型と小型）を連携させ、1次災害による対象地域の状況（津波被害、土砂崩れ、道路寸断情報等）を極力早く把握。	フェーズ1において取得した広域画像を分析し、被災把握（動態把握）が必要な個別地点群を抽出。	広域画像分析結果に基づき、各衛星の観測を適切に分配し、個別地点群の詳細状況・変化を把握。

※ 当社が参画している戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期「スマート防災ネットワークの構築」サブ課題A「災害情報の広域かつ瞬時把握・共有」の取り纏め機関である防災科学技術研究所に、本ページの令和6年能登半島地震についての推定結果を提供した。解析にあたりALOS-2データは、JAXA（宇宙航空研究開発機構）の「ALOSシリーズOpen and Freeデータ（https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/alos_open_and_free_j.htm）」より提供を受けた。

表 5-4 衛星前提

LN	衛星名 または コンステ名	機数	観測性能	軌道情報	備考
1	大型SAR衛星	1	<ul style="list-style-type: none"> ・観測幅：100km ・分解能：3×3m ・オフナディア角：7.3°～58.8° 	<ul style="list-style-type: none"> ・軌道の種類：太陽同期準回帰軌道 ・軌道高度：628km ・軌道傾斜角：97.9° ・昇交点経度：353.29°E ・軌道面配置：1面（LST12時） 	大型SAR衛星は十分なアーカイブを有しており、災害前後での差分解析が可能であるため、分解能3mモードにおいて、道路の寸断状況や、建物の倒壊状況などの把握が可能。
2	小型SAR衛星 コンステA （傾斜軌道）	6	<ul style="list-style-type: none"> ・観測幅：10×10km ・分解能：0.5×0.5m ・オフナディア角：15°～50° 	<ul style="list-style-type: none"> ・軌道の種類：傾斜軌道コンステ ・軌道高度：570km程度 ・軌道傾斜角：50° ・軌道面数：2面 ・軌道面内の衛星数：3機 	高分解能モードによる観測により道路の寸断状況や、建物の倒壊状況などを確実に把握。
3	小型SAR衛星 コンステB （太陽同期軌道）	6	<ul style="list-style-type: none"> ・観測幅：10×10km ・分解能：0.5×0.5m ・オフナディア角：15°～50° 	<ul style="list-style-type: none"> ・軌道の種類：太陽同期軌道コンステ ・軌道高度：560km程度 ・軌道傾斜角：98° ・軌道面数：2面 ・軌道面内の衛星数：3機 	高分解能モードによる観測により道路の寸断状況や、建物の倒壊状況などを確実に把握。

③ 観測計画立案シミュレーション結果

スマートタスキングでは、各衛星事業者の保有する衛星(大型衛星と小型衛星)の性能や観測機会(軌道)を把握しているため、要求や状況に応じて、最適な衛星コンステ観測計画立案(重要施設の最優先観測や、領域全体の最短網羅観測など)が可能である。

本項ではその一例として、上記①にて定義した観測シナリオに応じて、以下に示す方針に基づいた観測計画の立案を実施した。

- ・ フェーズ 1: 全域被災状況把握フェーズ
各衛星(大型衛星と小型衛星)を連帯させて、能登半島全域の観測が可能な限り早く完了するような観測計画を立案する。
特に、全域の観測完了時刻の最速化という観点においては、個別の衛星で独自に(他の衛星の観測計画を考慮せずに)観測計画を立案した場合、特定の被災領域を重複して観測する可能性が高いが、本計画においては、各衛星の軌道パスや観測可能領域、観測域上空の通過タイミングなどを考慮し、最終的な各衛星の観測結果の重複が少なくなるような観測計画を立案することで、全域を最速で網羅する。
- ・ フェーズ 2: 個別地点群の動態把握フェーズ
フェーズ 1 において取得した広域画像を分析することで、被災把握(動態把握)が必要な個別地点群を抽出し、個別地点群の動態把握のための観測計画を立案する。立案においては、各衛星(大型衛星と小型衛星)を連帯させて、動態監視対象の個別地点群を高頻度に繰り返し観測するような観測計画とする。
特に、複数地点の効率的な観測のために、衛星の性能などを考慮したうえで、各衛星が同じ個別地点を重複して観測しないよう適切に分担させるとともに、観測範囲が広い衛星に関しては、一度の観測でなるべく多くの地点を網羅できるような観測領域を決定する。

各フェーズにおけるシミュレーション結果を以降に示す。

【フェーズ 1: 全域被災状況把握フェーズにおける観測計画立案結果】

スマートタスキングを適用し、能登半島全域の観測が可能な限り早く完了するように、各衛星を連帯させた場合の結果と効果を以下に示す。

本シミュレーションにおいては、図 5-4 の通り、発災時刻と大型衛星の観測時刻の関係から、発災から数時間までの間においては、小型衛星により対象領域の一部を迅速に観測した。

なお、スマートタスキングにおいては大型衛星の観測機会を把握しているため、小型衛星はそれを考慮して大型衛星では観測しない領域(観測すると非効率な領域)を観測する計画を採用することで、各衛星の観測結果の重複等を排除し、全域網羅までに必要な時間を最小化した。

また、大型衛星の、観測機会は限定されるが観測範囲が広いという特長を考慮し、前後の小型衛星の観測も踏まえたうえで、網羅率を最も向上させる最適な領域を効果的に観測した。結果、図 5-5 の通り、一度の観測で網羅率を約 85%向上させることが可能となる。

なお、今回のケースにおいては、大型衛星の観測は発災から約 6 時間後となるが、これは発災直後の観測までの所要時間が発災時刻と衛星の軌道面の位置(軌道面の昇交点通過地方時 LST)に依存するためである。本ケースのように 1 機の大型衛星を LST12 時(0 時)に配置した場合においては、発災時刻との差が 6 時間程度となる。そのため、LST12 時(0 時)とは異なる LST に別の衛星を配置することで、発災時刻に依存しない安定的で大領域の観測につながり、全域被災状況把握フェーズの時間短縮に有効である。

以上より、大型衛星と小型衛星を連帯させることにより、お互いの観測機会を最大限活用した重複しない観測計画を立案することができ、全域被災状況の把握に必要な時間を最小化することが可能である。

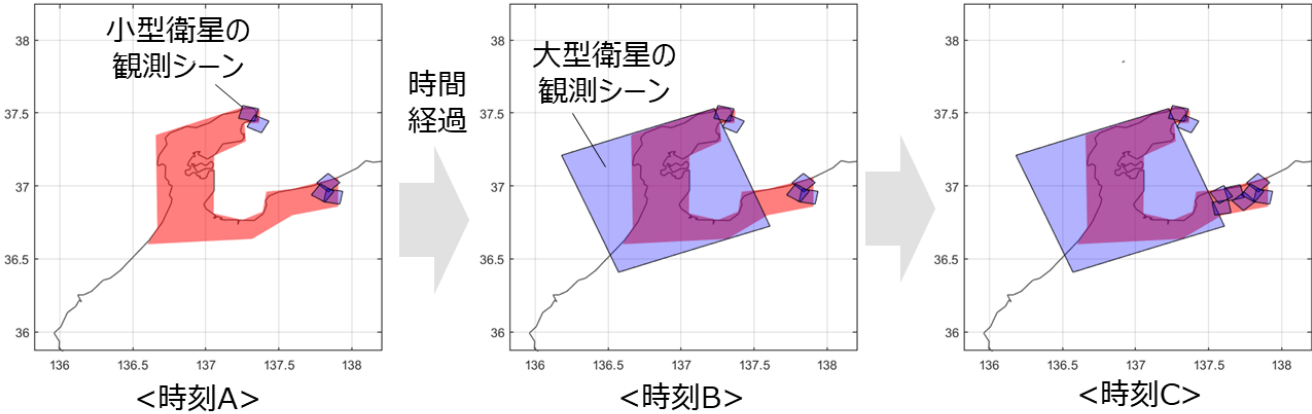


図 5-4 観測シーン(時間経過)

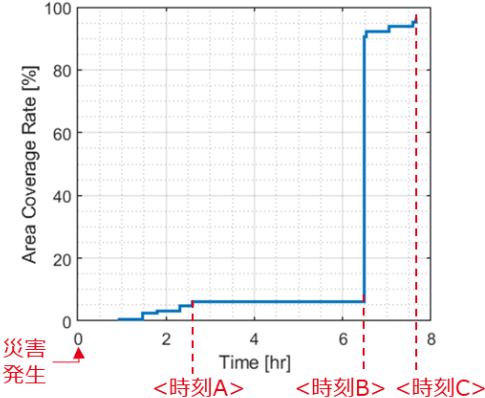


図 5-5 時間経過による網羅率の推移

【フェーズ 2： 個別地点群の動態把握フェーズにおける観測計画立案結果】

スマートタスキングを適用し、動態監視対象の個別地点群を高頻度に繰り返し観測するように各衛星を連帯させた場合の結果と効果を以下に示す。

本シミュレーションにおいては、図 5-6 の通り、個別地点群の動態把握フェーズの開始付近（日本時間の 0 時付近）においては、大型衛星の観測機会が存在した。そのため、大型衛星の観測幅を活用し、個別地点群を一括で観測した。

また、大型衛星の観測完了後においては、高頻度観測を継続するため、2 回目の網羅観測を開始した。2 回目の網羅観測においては、各衛星が同じ個別地点を重複して観測しないように、適切な分担を実施し、効率良く全個別地点群を網羅した。

なお、本ケースでは個別地点群をすべて均等に網羅してから 2 回目の個別地点群の網羅観測を開始しているが、スマートタスキングは全ての衛星の衛星性能と観測機会を把握しているため、例えば、要求に応じて、個別地点群の中で数点を超高頻度観測地点群として設定し、残りを高頻度観測地点群として設定することで、地点ごとの観測頻度に差を設けることも可能である。

以上に示すように、大型衛星と小型衛星の特徴を考慮したうえで適切な分担・連帯を実施させることによって、個別地点群を効率よく高頻度に網羅することが可能となる。

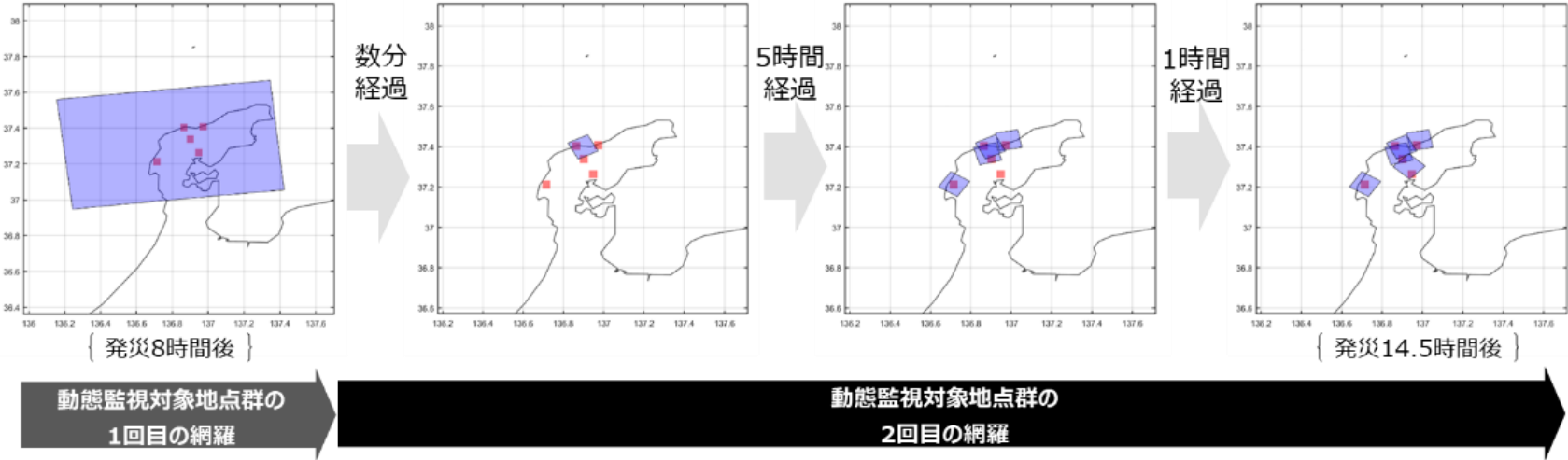


図 5-6 観測シーン(時間経過)

④ シミュレーション結果のまとめ

本項では、スマートタスキングを災害対応に適用した場合の効果検討を行い、「全域被災状況把握」と「個別地点群の動態把握」の2フェーズを想定したシミュレーションを実施した。

【フェーズ1: 全域被災状況把握フェーズ】

大型衛星と小型衛星を連帯させることにより、お互いの観測機会を最大限活用した観測領域が重複しないような観測計画を立案することができ、全域被災状況の把握に必要な時間を最小化する結果を得た。

【フェーズ2: 個別地点群の動態把握フェーズ】

大型衛星と小型衛星の特徴を考慮したうえで適切な分担・連帯を実施させることによって、個別地点群を効率よく高頻度に網羅する結果を得た。

以上より、スマートタスキングシステムにより複数の衛星の性能・制約・観測機会の全体を把握・管理することで、遊休の観測リソースや同一箇所への観測の重複等の無い全体最適な観測を実施することができ、大規模災害発生時において、衛星の広域性の特長を最大限活用し、迅速かつ詳細な状況を効率的に把握することができることを確認した。

なお、本項で示した解析ユースケースは一例であり、要求に応じて異なる要素を最適化する観測計画の立案(例えば、全域被災情報把握の中で、重要施設を先に観測したい等の要求への対応)も可能である。

6. 実現に必要なアーキテクチャ

スマートタスキングを実現するには、各衛星の特徴(観測幅、分解能、センサの種類等)や状態(姿勢、軌道等)、配置を考慮したうえで観測要求を自動で最適配分するタスキングプラットフォーム及び観測データからユーザの関心領域を特定する高次データ解析機能が必要である。

スマートタスキングのアーキテクチャ案を図 6-1 に示す。スマートタスキングでは、ユーザからの観測要求(地上でのイベント(各種災害、人間活動など)含む)及び大型衛星・小型コンステによる定常的な観測結果をトリガーとし、双方の衛星を連携させて観測を行う。以下、2 通りを例にして、処理フローの流れについて述べる。

(1) 発災直後に、想定される被災地域や重要施設を全て網羅できるような観測を行う場合

- ① ユーザが、タスキングプラットフォームに観測要求を行う。
- ② タスキングプラットフォームは、予め各衛星事業者から衛星の情報(リソース等)を入手し、最適な観測計画を立案し、各衛星事業者に観測要求を送信する。
- ③ 各衛星事業者(大型衛星及び小型コンステ)は、タスキングプラットフォームから受信した観測要求を基に観測を順次実施し、観測データをタスキングプラットフォームに送信する。
- ④ タスキングプラットフォームは各衛星から受信した観測データをユーザに送信する

(2) ある観測結果に基づいて、次の観測を行う Tip & Cue を行う場合

- ① ユーザは、大型衛星・小型コンステに対する観測要求やアーカイブデータの検索を行う。
- ② データストレージは、大型衛星・小型コンステが行う定常的な観測や緊急観測の観測データ、または、アーカイブデータを高次データ解析処理に送信する。
- ③ 高次データ解析処理は次に観測すべき関心領域を特定し、その解析結果(観測データ含む)をユーザに送信すると共に、AOI(Area of Interest)情報をタスキングプラットフォームに送信する。
- ④ タスキングプラットフォームは、各衛星事業者から衛星の情報(リソース等)を入手し、次の観測計画を立案し、大型衛星または小型コンステに観測要求を送信する。
- ⑤ 大型衛星または小型コンステは、タスキングプラットフォームから受信した観測要求を基に観測を実施し、観測データをタスキングプラットフォームに送信する。
- ⑥ タスキングプラットフォームは、観測データを高次データ解析処理に送信した後、解析結果をユーザに送信する。

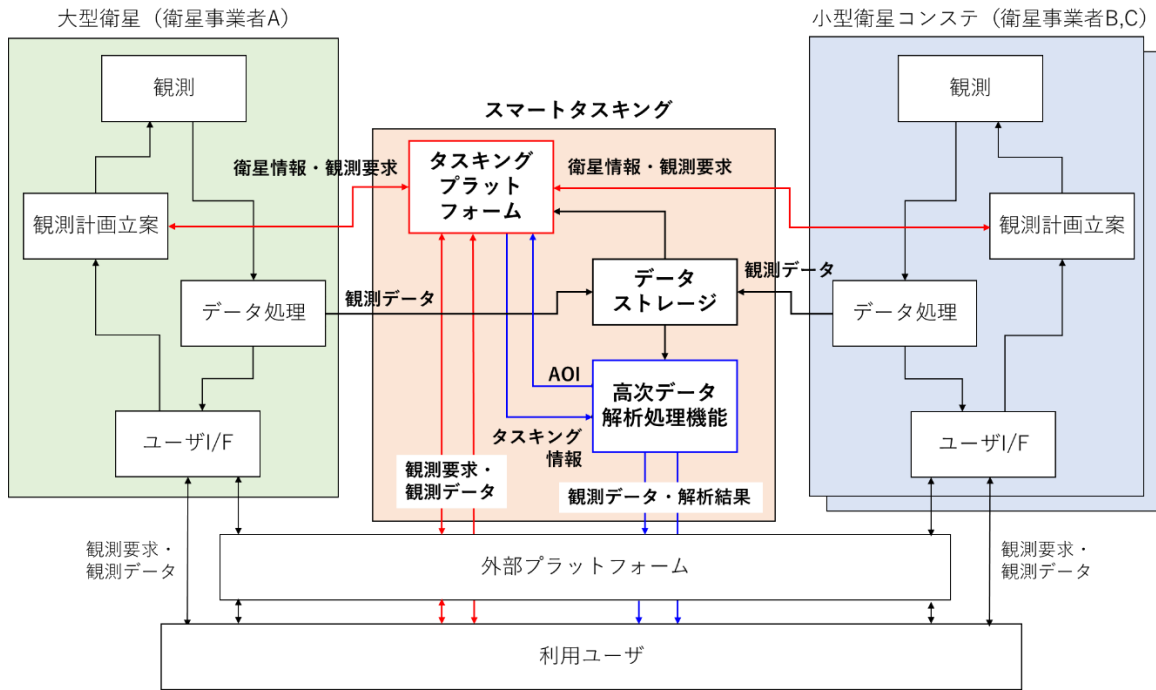


図 6-1 スマートタスキングにおけるアーキテクチャ案

7. スマートタスキングシステムに関する検討結果

本章では、スマートタスキングを実現するうえで各社が検討した個別のシステムや実装に向けた課題について整理する。

7.1. 全体システムに関する検討

三菱電機株式会社は「リソースの最低配分」を目的とし、ユーザと衛星事業者間の IF に着目したスマートタスキングシステムについて検討を行った。

7.1.1. システム構成

本文書で定義するスマートタスキングのシステム構成図を図 7.1.1-1 に示す。

スマートタスキングは、ユーザと複数の衛星事業者(大型衛星:衛星事業者 A、小型コンステ:衛星事業者 B,C)間のインタフェースシステムとして構築する想定である。

スマートタスキングは、外部とのインタフェース(対ユーザ、及び対衛星事業者)、データ保管用のデータプラットフォーム、及びタスキングプラットフォームから構成され、タスキングプラットフォームにてデータユーザからの要求を基に最適な観測計画を立案する。

また、衛星事業者から提供された観測結果(画像データ)を解析し次回以降の観測計画にフィードバックすることにより、スマートタスキングのメリットである「提供価値の向上」及び「観測運用の効率化」の向上や、観測条件を考慮したより視認性の高い観測が可能となる。データ解析処理の詳細については、7.2 項を参照されたい。

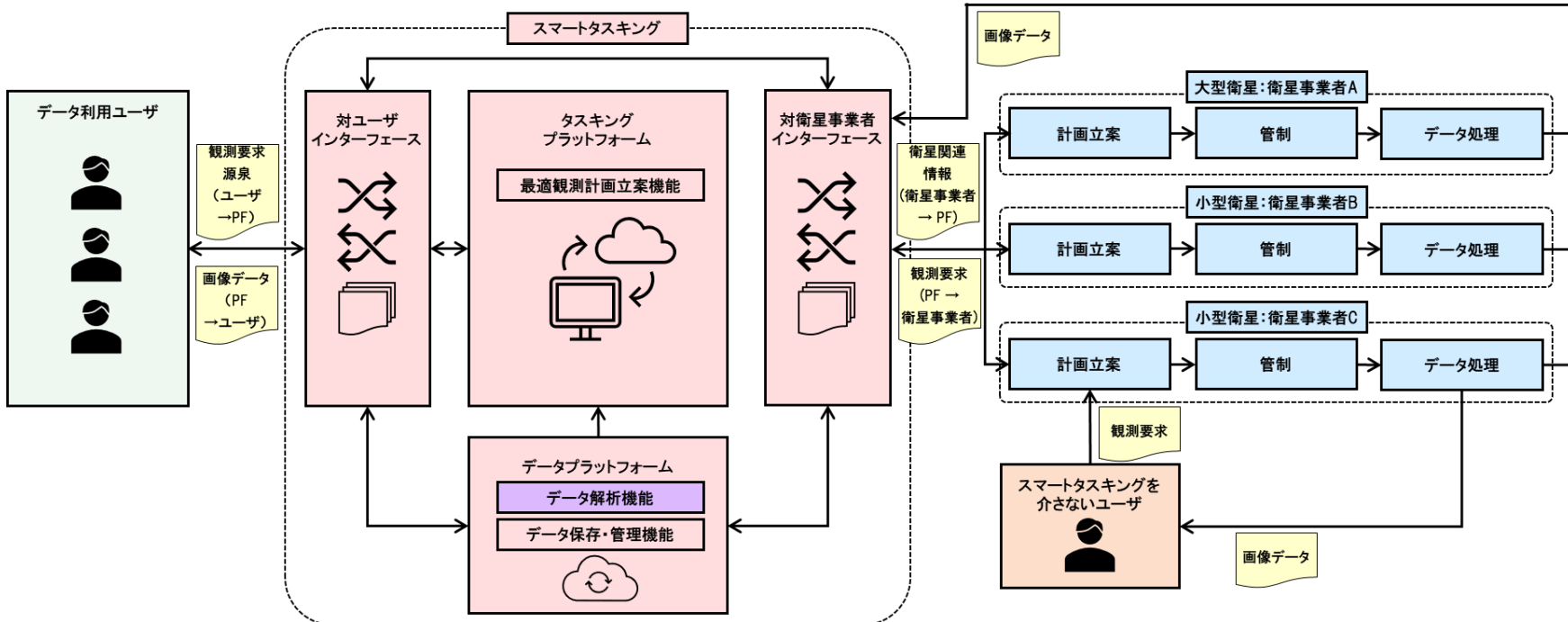


図 7.1.1-1 スマートタスキングのシステム構成図

7.1.2. スマートタスキングの特長を実現するための各種システムのあるべき姿

3.4 項で述べた“スマートタスキング導入による特長(効果)”を最大限発揮するためには、スマートタスキングと各衛星事業者が連帯することが肝要である。そこで、スマートタスキングがその特長を最大限発揮するためのあるべき姿(各衛星事業者との間に持つべき機能と対応案)を表 7.1.2-1 に示す。

表 7.1.2-1 各種システムのあるべき姿

機能名	内容	特長 1	特長 2	特長 3	対応	
					スマート タスキング	衛星 事業者
観測要求受付機能	エンドユーザからの観測要求(どの地域を、どの時刻範囲で、どの程度のレイテンシで)を受け付け、該当する衛星事業者に観測要求(伝送含む)を送付し、衛星事業者からの結果をエンドユーザに提供すること。	●			●	
最適観測計画立案機能	エンドユーザ全体の観測要求が満足できるように、衛星事業者側から受け取った観測計画立案用情報を基に、衛星に対して最適なタスキングを実施すること。	●	●	●	●	
観測機会検索機能	登録されている衛星の観測機会検索機能を有すること。	●	●		●	
撮像模擬機能	登録されている衛星の高精度な撮像模擬を実施できること。	●	●		●	
観測計画立案用情報保存・管理機能	衛星事業者側から受け取った観測計画立案時に必要な情報(撮像模擬用情報、軌道歴情報、観測可能時間スロット情報、伝送計画情報等)を、保存及び管理すること。	●	●		●	
撮像模擬情報提供機能	衛星の撮像模擬に必要な情報をスマートタスキングシステムに提供すること。	●	●			●
観測可能時間スロット情報提供機能	衛星の最新の観測可能な空き時間(スロット)をスマートタスキングシステムに提供すること。	●	●			●
伝送計画情報提供機能	衛星の伝送計画(アップリンクとダウンリンク)をスマートタスキングシステムに提供すること。	●	●			●
軌道歴情報提供機能	衛星の軌道歴をスマートタスキングシステムに提供すること。	●	●			●
観測結果の保存・管理・提供・解析機能	衛星事業者からの観測結果(画像データ)を保存・管理し、エンドユーザに提供し、観測結果(画像データ)の解析結果は最適観測計画立案機能に提供すること。	●			●	

※各特長の詳細は 3.4 項に記載

特長 1:好きな時刻の好きな位置の好きな種類の画像を要求された鮮度(レイテンシ)で提供できるプラットフォーム

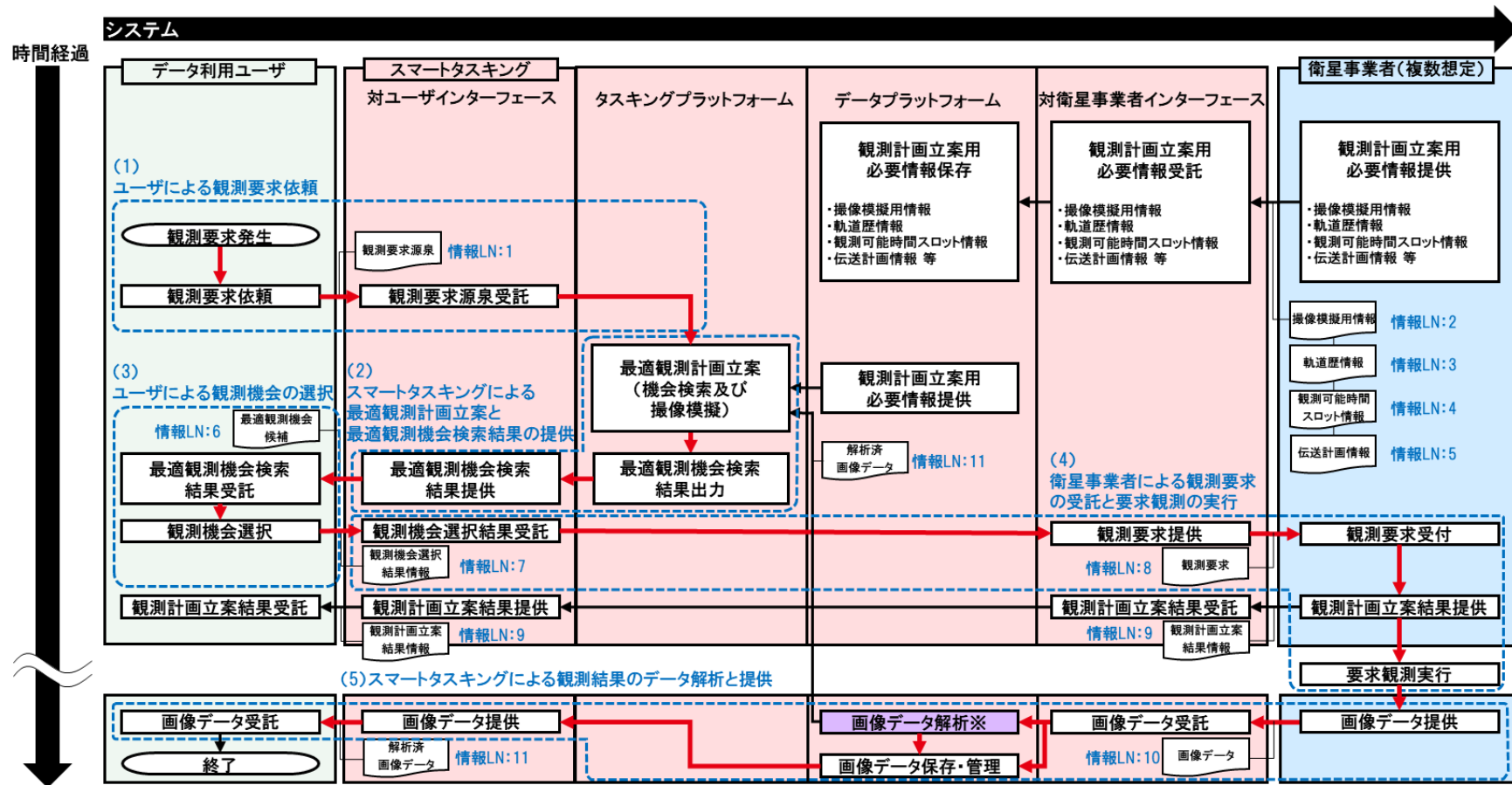
特長 2:最適性及び確実性の高い観測要求の提案

特長 3:災害時などにおける衛星リソースの最大最適活用

7.1.3. 外部 I/F 要件

スマートタスキングの処理フローを図 7.1.3-1 に示す。また、図 7.1.3-1 に示した処理フローにおける情報インタフェースを、表 7.1.3-1 に示す。なお、本処理フロー及び、情報インタフェースはスマートタスキングの特長を発揮するために現時点で想定する構成案である。

図中(1)～(5)の処理フローに関する説明を以降に記載する。



※画像データ解析処理の詳細については、7.2 項を参照されたい。

図 7.1.3-1 スマートタスキングの処理フロー案

表 7.1.3-1 スマートタスキングの処理フローにおける情報インタフェース案

LN	情報	インタフェース項目	インタフェース方向
1	観測要求源泉	<ul style="list-style-type: none"> ・要求観測地点範囲 ・要求画像種類 ・要求観測時刻範囲 ・要求レイテンシ ・要求観測頻度 	ユーザ → スマートタスキング
2	撮像模擬用情報	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易模擬情報（観測可能時間の上限、観測間に必要なインターバル等） ※より精密に模擬観測を行いたい場合はその他情報（アジリティ関連情報）をインタフェースすることも考慮 	衛星事業者 → スマートタスキング
3	軌道歴情報	<ul style="list-style-type: none"> ・各衛星事業者の軌道歴源泉情報 	衛星事業者 → スマートタスキング
4	観測可能時間スロット情報	<ul style="list-style-type: none"> ・各衛星事業者の最新の観測可能な空き時間（スロット）情報 	衛星事業者 → スマートタスキング
5	伝送計画情報	<ul style="list-style-type: none"> ・各衛星事業者のコマンドのアップリンクおよび、ミッションデータのダウンリンク計画情報 	衛星事業者 → スマートタスキング
6	最適観測機会候補	<ul style="list-style-type: none"> ・観測要求源泉情報を複数の観測条件に分割し作成した、観測機会候補。 各観測機会に含まれる情報(案)は以下の通り。 -観測中心地点情報 -観測中心時刻情報 -補助情報(当該観測の観測範囲/レイテンシ/衛星事業者情報など) 	スマートタスキング → ユーザ
7	観測機会選択結果情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザが選択した観測機会に含まれる情報(案)は以下の通り。 -観測中心地点情報 -観測中心時刻情報 -補助情報(当該観測の観測範囲/レイテンシ/衛星事業者情報など) 	ユーザ → スマートタスキング
8	観測要求	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザが選択した観測機会を基に衛星事業者に提供される観測要求。 観測要求に含まれる情報(案)は以下の通り。 -観測中心地点情報 -観測開始時刻情報 -観測時間情報 	スマートタスキング → 衛星事業者
9	観測計画立案結果情報	<ul style="list-style-type: none"> ・各衛星事業者の観測要求に対する観測計画立案結果情報(案) -観測中心地点情報 -観測中心時刻情報 -補助情報(当該観測の観測範囲/レイテンシ) 	衛星事業者 → スマートタスキング スマートタスキング → ユーザ
10	画像データ	<ul style="list-style-type: none"> ・要求観測によって得られた観測結果。 	衛星事業者 → スマートタスキング スマートタスキング → ユーザ
11	解析済画像データ	<ul style="list-style-type: none"> ・観測結果をスマートタスキングが解析した結果。 	スマートタスキング内 (データプラットフォーム → タスキングプラットフォーム) スマートタスキング → ユーザ

(1) ユーザによる観測要求依頼

ユーザが観測要求(観測領域、観測時間範囲、レイテンシ、画像種類、頻度)をスマートタスキング内の対ユーザインタフェース部に入力することでスマートタスキングが開始する。事前に各衛星事業者から最新の観測計画立案用情報(撮像模擬用情報、軌道歴情報、観測可能時間スロット情報、伝送計画情報等)を収集しデータプラットフォームに保存することで、立案ごとに情報収集する時間を削減しタスキング処理の高速化を実現する。

(2) スマートタスキングによる最適観測計画立案と最適観測機会検索結果の提供

対ユーザインタフェース部に入力された観測要求をタスキングプラットフォームの最適観測計画立案部へ出力することで、最適観測計画の立案が開始する。観測計画立案部では、衛星特性・能力を最大限活用した最適観測計画の立案が行われ、立案終了後は、対ユーザインタフェース部を介して最適観測機会検索結果がユーザに提供される。タスキングプラットフォームが必要に応じて複数の検索結果をユーザへ提供する事で、ユーザはよりニーズに則した観測機会を選択することも可能となる。

(3) ユーザによる観測機会の選択

ユーザは提供された検索結果の中から、観測機会を選択・決定する。ユーザが観測機会を選択する際は、各観測機会と結びつけられた衛星事業者情報も同時参照可能とする。衛星事業者情報として現時点で想定できる画像データ提供日時やコスト等を含めることで、ユーザは自身のニーズに合った観測機会を選択することが出来る。ユーザの観測要求依頼から最適観測機会候補提供までの所要時間を極力短時間となるようにすることで、ユーザの時間的負担を軽減する。

(4) 衛星事業者による観測要求の受託と要求観測の実行

衛星事業者はスマートタスキングを介してユーザからの観測要求を受託し、要求観測を実行する。要求観測による画像データがダウンリンクされた後は、スマートタスキングを介してユーザへ画像データを提供する。衛星事業者は要求観測の実行前に最終的な観測可否を判断し、ユーザへ結果を提供する。ここで基本的に観測要求が受託される仕組み(ルール含む)作りが重要となる。

(5) スマートタスキングによる観測結果のデータ解析と提供

ダウンリンクされた画像データを対衛星事業者インタフェース部が衛星事業者から受託した後、データプラットフォーム部が画像データの解析・保存を行う。そして、対ユーザインタフェース部を介してユーザに画像データを提供すると、スマートタスキングは処理を終了する。

なお、解析された画像データをユーザだけでなくスマートタスキング内部のタスキングプラットフォームにもフィードバックすることで、次回以降のより最適性及び確実性の高い観測要求の提案が可能となる。

特に 4.1 項に示す災害対応においては、この処理フローに従うことでフェーズ 1 の広域被災地観測結果をデータプラットフォーム部がシームレスに分析し、被災把握(動態把握)が必要な個別地点群を迅速に抽出することが可能となる。そのうえで、抽出結果がタスキングプラットフォームに直接フィードバックされることにより、フェーズ 2 の動態監視対象の個別地点群を高頻度に繰り返し観測するような観測計画を迅速に立案することが可能となる。

画像データ解析処理の詳細については、7.2 項を参照されたい。

7.1.4. タスキングシステムにおける課題

スマートタスキングをより効率的なシステムにするための考慮事項(課題)は表 7.1.4-1 の通りであり、ユーザ、スマートタスキング、衛星事業者が連携したシステム構築、運用フローの策定が重要である。

表 7.1.4-1 スマートタスキングをより効率的なシステムにするための考慮事項(課題)

LN	考慮事項(課題)	内容	対応		
			ユーザ	スマートタスキング	衛星事業者
1	各衛星事業者の衛星性能及び、観測機会を最大限活かすシステム作り	スマートタスキングプラットフォームにて効率的な観測計画立案が実施できるように、関連する情報(撮像模擬用情報、軌道歴情報、観測可能時間スロット情報、伝送計画情報等)を衛星事業者から提供いただく必要があり、その内容とインタフェース方法について調整が必要である。		●	●
		各衛星の特性・能力を考慮し、観測計画を最適化するアルゴリズムをスマートタスキングに具備することが必要である。		●	
2	災害発生時等において、ユーザの緊急観測要求依頼が迅速に衛星事業者側から受託されるシステム作り	ユーザの観測要求を少ないイタレーションで実現するための運用フロー、データインタフェースの調整が必要である。	●	●	●
		災害時において緊急対応用観測を優先的に実施し、データ提供を迅速かつ効率的に実施するための仕組み・ルール作り*が必要である。 ※衛星事業者が元々計画していた既存の観測計画のキャンセルによる災害対応用観測の優先実施の要否については別途議論が必要である。	●	●	●

7.2. 高次データ解析システムに関する検討

株式会社スペースシフトは、「Tip & Cue」において重要となる高次データ解析システム(図 6.1 参照)について検討を行った。高次データ解析について本項では、「観測された衛星データより、何等かの目的に沿った情報抽出を行う解析」とする。例として、浸水被害発生状況の把握を目的とした場合、衛星データから浸水域を抽出する処理が高次データ解析に相当する。

7.2.1. システム構成

高次データ解析の全体像を図 7.2.1-1 に示す。高次データ解析処理は「データ取得部」「高次データ解析部」「AOI(Area of Interest)生成部」「配信部」の大きく 4 つの処理部から構成される。高次データ解析処理においては、これら 4 つの処理部が連携することで一連の処理がなされる。まず、「データ取得部」において解析対象のデータの取得が行われ、次に「高次データ解析部」で取得したデータに対して解析処理が実行される。そして「AOI 生成部」では必要に応じ、解析結果から衛星タスキングに資する AOI 情報が生成される。

次項以降ではこれら各処理部について詳細を述べる。なお高次データ解析処理を行うためには、地上システムに含まれるデータストレージとタスキングプラットフォーム及び防災インタフェースシステム等の外部プラットフォームとの連携が必要である。これら外部 I/F については 7.2.6 で述べる。

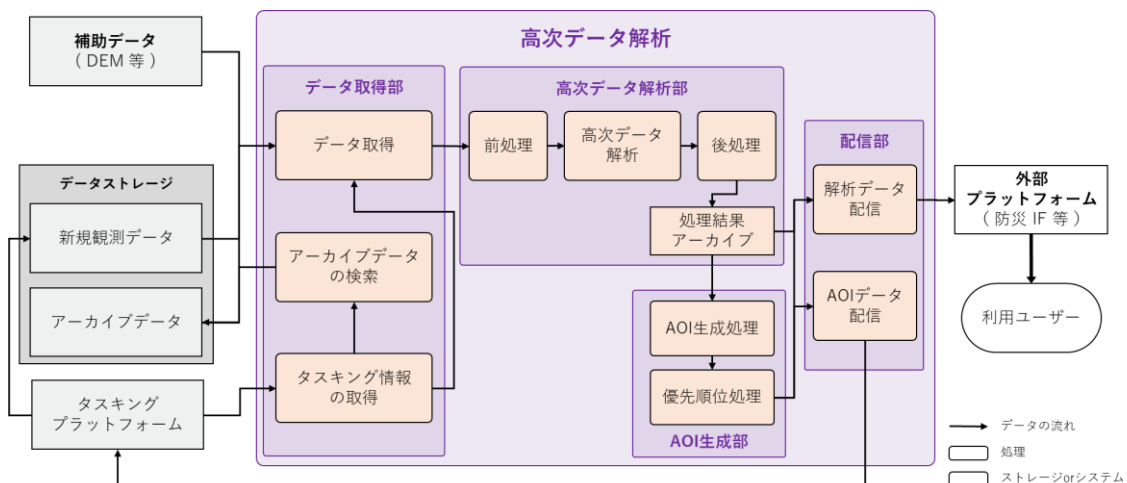


図 7.2.1-1 高次データ解析処理の全体イメージ

7.2.2. データ取得部

データ取得部においては表 7.2.2-1 に示す 3 つの処理を想定している。データ取得部ではデータを取得することがその役割である。データ取得の際に新規観測データを用いることを想定すると、タスキング情報の取得や、後の処理アルゴリズムによってはアーカイブデータの取得が必要となるため、これらの情報の取得も想定している。

表 7.2.2-1 データ取得部の処理とその内容

処理	処理内容
タスキング情報の取得	タスキングが発生した際に、その詳細情報の取得を行う。このタスキングに関する情報は、本データ取得部の「データ取得」にてタスキングによる観測の実施後にデータを取得するために用いられる。
アーカイブデータの検索	高次データ解析部の解析アルゴリズム次第ではアーカイブデータの検索が必要となるため、このデータの検索を行う。検索結果から自動的に最適な取得対象のアーカイブデータを選定も行う。
データ取得	対象の衛星データの格納が確認され次第、データの取得を行う。加えて高次データ解析や AOI 生成部で用いるアルゴリズム次第で必要な DEM 等の補助データの取得も行う。

7.2.3. 高次データ解析部

高次データ解析部においては表 7.2.3-1 を想定している。高次データ解析部においては、解析処理を行うことがその役割であるが、そのために必要な前処理及び後処理、また処理結果のアーカイブを行う。

表 7.2.3-1 高次データ解析部の処理とその内容

処理	処理内容
前処理	取得したデータに対して、解析に必要な前処理を行う。アルゴリズム次第ではあるが、例えば座標変換や衛星データの変換(後方散乱係数等への変換)、深層学習アルゴリズムを用いるためのグリッドデータの生成等が想定される。
高次データ解析	前処理を行ったデータに対して目的に沿ったアルゴリズムで処理を行う。例えば浸水被害発生状況の把握の場合、衛星データから浸水域を抽出する処理自体がこの処理に相当する。
後処理	解析結果をユーザに提供可能な形に変換を行う。例えば、アルゴリズムによってはグリッドデータでの出力となるため、モザイク処理等により地理情報を含んだ GIS データフォーマットに変換する処理等が想定される。
処理結果アーカイブ	後処理で処理した結果のアーカイブを行う。

7.2.4. AOI 生成部

AOI 生成部においては表 7.2.4-1 の 2 つの処理を通して、高次解析結果から新たなタスキングの生成を行うために必要なデータ(タスキング範囲, AOI)を生成することを想定する。

表 7.2.4-1 タスキング生成部の処理とその内容

処理	処理内容
AOI 生成処理	高次解析データから AOI の生成を行う。例えば浸水域が高次解析によって抽出された場合、人口密集地のデータ等を用いて比較的深刻な浸水被害が発生しているエリアのみを抽出する。
優先順位処理	AOI 生成処理結果から複数の AOI を取得した場合、観測リソースの状況から、全てをタスキング対象エリアとして指定することが難しいことが想定される。そのため生成した AOI の優先順位付けを行う。例えば浸水域で AOI が生成された際には、AOI エリア内での人口を推定し、その人口が多い順で優先順位を付与することが考えられる。

7.2.5. 配信部

配信部においては表 7.2.5-1 の 2 つの要素を想定している。それぞれ地上システムやユーザへの提供環境に処理結果を配信することを想定する。なお「配信」としているが、必ずしも Push 型の配信だけでなく、提供環境のクライアント側からデータを取得するような Pull 型の配信も想定される。

表 7.2.5-1 配信部の処理とその内容

処理	処理内容
解析データ配信	高次解析データの配信を行う。
AOI 配信	生成した AOI の配信を行う。

7.2.6. 外部 I/F 要件

前項までに述べた高次データ解析は他のシステムとの連携が必要となるため、表 7.2.6-1 に外部システムとの I/F について示す。高次データ解析からの出力は主に配信部からの出力を想定するが、入力については各処理部で適宜必要となる場合が想定される。

表 7.2.6-1 高次データ解析と連携が必要な外部 I/F

外部 I/F	高次データ解析への入力	高次データ解析からの出力
地上システム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新規観測(タスキング)に関する情報 ・ アーカイブデータに関する情報 ・ 解析対象データ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 優先順位付き AOI データ
補助データ 関連システム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補助データ(DEM 等) 	—
外部 プラットフォーム	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高次データ解析結果

7.2.7. 高次データ解析における課題

高次データ解析における課題を表 7.2.7-1 に示す。

表 7.2.7-1 高次データ解析における課題

項目	課題
全般	<ul style="list-style-type: none"> 各高次データ解析処理で固有の部分(目的等によって異なる部分)は、高次データ解析部およびAOI生成部である。様々なサービスプロバイダによる高次データ解析部の将来の発展性を考えれば、データ取得部および配信部については共通的に利用できる環境があることが望ましい。
データ取得部	<ul style="list-style-type: none"> 衛星によって取得方法が異なる場合には取得処理の開発コストが都度かかるため、異なる衛星データを同様の処理で取得できる環境が必要である。
高次データ解析部	<ul style="list-style-type: none"> アルゴリズム次第では開発時点で大量のデータが必要であり、また、高次データ解析部に相応の計算環境が必要となる。 目的に沿ったアルゴリズムの利用シナリオを想定しておく必要がある。
AOI生成部	<ul style="list-style-type: none"> 生成するAOIに優先順位をつけることを想定しているが、ユーザによっては優先順位が異なる場合があり、個別に優先順位付けについて検討する必要がある。
配信部	<ul style="list-style-type: none"> 配信するシステム次第では個別にI/Fを調整する必要がある。

表 7.2.7-1 において、特に重要な高次データ解析部及びAOI生成部に係る課題について、以下に詳細を示す。

まず、高次データ解析部は、高次データ解析システムの重要な部分である。特に「目的に沿ったアルゴリズムの利用シナリオを想定しておく必要がある。」という課題について、より具体的には以下が想定される。

・利用状況を想定したアルゴリズム開発

深層学習等のアルゴリズム開発の場合、実際に取得される衛星データの観測条件を想定した開発を行う必要がある。例えば浸水被害においては、緊急観測によってデータが取得される場合がある。この際にオフナディア角等の観測条件が浸水域検知アルゴリズムの想定と異なる場合には、浸水域検知性能が大幅に下がる可能性が高い。このため、あらかじめ現実的な解析条件を具体的に想定することが重要である。

・誤検知等の低減方法

衛星データから情報抽出を行うアルゴリズムは、様々な研究開発が進行しているものの、誤検知や未検知等の不完全な解析結果となることが多く、根本的な解決が困難な場合がある。例えば SAR 衛星を用いた浸水域検知アルゴリズムにおいて、発災後の衛星観測時に大雨が降っていた場合には、その観測原理から解析時には浸水による鏡面反射域の中で浸水域を検知することから、実際に浸水していない領域を浸水域として誤検知する可能性が高い。このため、浸水被害の人命への影響の大きい都市部の領域のみを検出対象として、山域等をマスキングするなどの後処理を行うことで誤検知を低減することが重要となるが、こうした処理を行うためには事前に解析結果の利用シナリオを具体的に想定しておく必要がある。

加えて、次の衛星観測の対象範囲が決定される等、具体的な意思決定に直接関与することから「AOI 生成部」も重要である。表 7.2.7-1 では優先順位付けについて言及しているが、具体的には以下の課題がある。

・AOI の優先順位の決定方法

優先順位はユーザ毎に異なる。例えば浸水災害を想定した場合、保険会社であれば都市部の被害が重要であり、農業事業者であれば農地被害が重要である。これらユーザ毎に異なる重要度を統一的に判断しなければ優先順位の決定は困難である。

・AOI 優先順位決定のための解析

上記優先順位を決定するためには、衛星データの解析結果から更に異なるデータを組み合わせる解析が必要になる場合が想定される。例えば浸水災害の際に人口密集地への被害を優先順位の基準とした場合、人口密集地と衛星から得られる浸水域を組み合わせる被害状況を評価するようなアルゴリズムが必要になる。

・大量の解析結果の解釈

小型衛星が増えるトレンドにあることから、スマートタスキングシステムが整備されると、衛星データ自体の増加に伴って解析結果自体も指数関数的に増加することが予想される。これまでない大量の解析結果をどのように解釈し、AOI の決定を含め、如何に意思決定に役立てるかといった解釈性の向上も近い将来、課題となることが予想される。

8. 今後の実現に向けた提言

本文書では、今後も構築が進む民間企業による複数機の小型地球観測衛星コンステレーションと政府の大型衛星による効果的・効率的な連携観測を実現するタスキングシステムについて、その概要や効果の見積り、また、スマートタスキングの効果が期待されるユースケースについてまとめた。さらに、スマートタスキングを実現するために必要なアーキテクチャ及び実現に向けた課題について示した。

3章のメリットや4章のユースケースで示した通り、スマートタスキングの実現により、現在、地球観測衛星が大きな役割を担っている災害対応に限らず、森林・農地把握・インフラ監視・人間活動等、平時にも活用の幅が広がる。これは、ユーザにとっての価値創出にとどまらず、事業者側にとっても、これまで開拓出来ていなかった平時の潜在的なユーザを対象とした事業拡大のきっかけを与えるものである。

スマートタスキングの技術的な深掘りや具体的な適用可能性など、実現に向けての詳細な検討事項は多く存在するが、ここでは、スマートタスキングの実現に向けて特に重要となる3つのキーメッセージを提言する。

1. 競争から共創

スマートタスキングの実現に向けては、各衛星のタスキングに関わる情報の提供・共有など、これまで競合関係であった事業者間でも協力と連携が不可欠である。一方で、これは競争活動を止め、公共事業的なサービスを促す提言ではない。それぞれの事業者がメリットを享受しながらも、全体の事業規模を拡大させていくようなWin-Winの関係を築くことが出来なければ、スマートタスキングを実現・持続させていくことは困難である。新たな事業価値を「共創」という前提の下、スマートタスキングの実現に取り組むことが重要である。

例えば、観測要求などのインタフェースについて、各衛星事業者でそれぞれ仕様は異なっているのが現状であるが、利用の拡大のためには、ユーザ側から見たときに統一的なインタフェースとすることが望ましい。そのためにはインタフェース仕様として標準を定めるか、各社の仕様を共有できる仕組みが必要である。また、国内海外問わず多くの衛星事業者が参加することがユーザ側にとってはメリットであり、タスキングシステムは参加しやすいインタフェース仕様とすることも重要である。

2. 多様なステークホルダーの存在

既存の衛星事業者や関連機関に限らず、多様なステークホルダー間で連携し、それぞれの独自の視点や技術を活かしたシステム・サービスを構築することで、より広い分野を対象とした、ユーザおよび事業者の両方にとって価値の高いスマートタスキングを実現することができる。これは、多角的な視点や技術を取り入れるという観点から、スマートタスキングの実現に向けて残る多くの技術的課題を解決するうえでも重要な要素である。

3. 実現に向けた枠組み

多種多様な関係機関の下、一つのシステムを構築するスマートタスキングにおいて、これらの各主体をまとめ上げる枠組みの存在は重要である。その存在はユースケースで示した各分野によって異なる可能性もあり、どの枠組みで、誰が主体となって進めていくのかを最初に明確化しておくことが重要である。この際、新規の枠組みの立上げに限らず、既存の枠組み(防災インタフェースシステム等)が積極的に参画する姿勢が重要である。特に、国家インフラとしての利用を考慮したユースケースの場合は、我が国としての利用用途に応じた適切なシステムとすることが求められることから、官民共同で枠組み・体制について明確化していくことが重要となる。また、ユースケースによっては、個別ビジネスへの適用を考慮し、官と連携しながら民間を巻き込んだ取り組み・体制も重要である。

スマートタスキングを事業として捉えた場合、現段階では、発災時だけでなく平時も含めた明確な市場規模を見積ることは難しい。そのため、システム構築・運用・維持などに係る費用負担を民間出資、もしくは関係機関によるアンカーテナンシーとするのかなど、枠組みならびに主体者の検討と共に議論することが重要である。

近年の急激に拡大する宇宙産業の中、地球観測衛星の分野が取り残されることなく発展し、今後世界的に必要不可欠な社会インフラとなるうえでスマートタスキングが大きな役割を果たすことは間違いない。ぜひ、次世代の衛星サービスであるスマートタスキングの導入に向けた議論の種として、本文書を活用していただきたい。