

# 宇宙分野報告

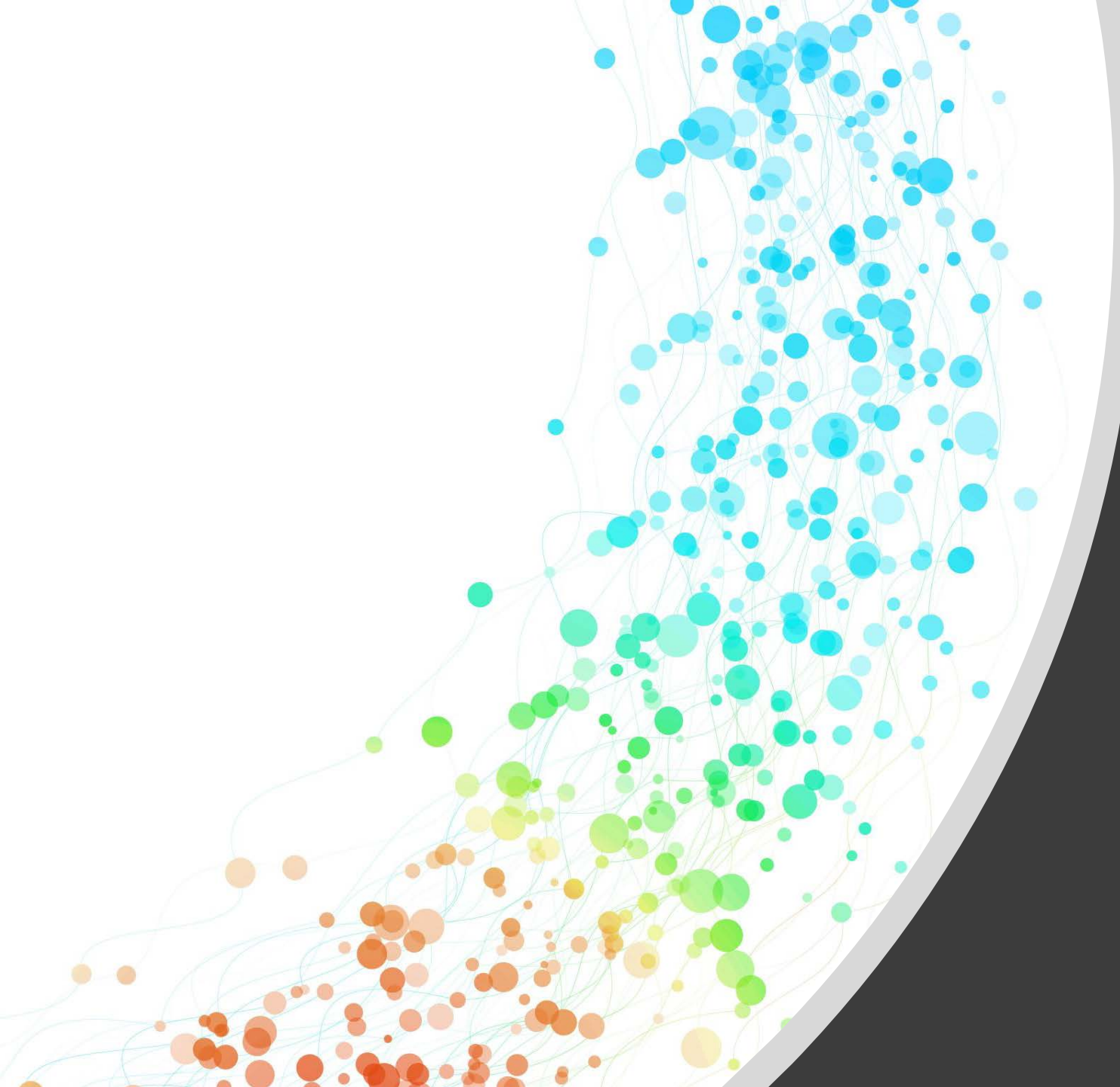
令和3・4年度内閣府委託事業

「我が国が戦略的に育てるべき安全・安心の確保に係る重要技術等の検討業務」

令和5年3月28日

プロジェクト・マネージャー

鈴木 一人 東京大学公共政策大学院教授



「我が国が戦略的に育てるべき安全・安心  
の確保に係る重要技術等の検討業務」

# 宇宙深堀調査

東京大学公共政策大学院 教授

公益財団法人 国際文化会館 地経学研究所長

鈴木一人

# 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

- 宇宙からの安全保障
  - 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)
  - 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る
    - 米中露：グローバルな関心と運用
    - 日欧印：領域防衛や平和維持活動などが中心
    - 新興国・途上国：強い関心を持たない
  - ウクライナはもともと宇宙からの安全保障に強い関心を持っておらず、自らの防衛宇宙システムを持っていなかった

# 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

- 戦闘領域としての宇宙
  - 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
  - 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
  - 物理的に衛星を破壊することで大量のデブリが発生
  - より懸念されているのは非物理的な衛星攻撃
    - ジャミング
    - スプーフィング
    - ダズリング
    - サイバー攻撃によるハッキング
  - 途上国や大学、民間企業などの新たな参入
    - 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

# 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

- なぜ宇宙戦にならなかったのか
  - 紛争において優勢を獲得するためには宇宙戦から始めるのがセオリー
  - ロシアは2021年11月にASAT実験を実施
- 宇宙における抑止
  - 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
  - しかし、これは「衛星一機撃墜された場合、相手の衛星一機を撃墜する」といった形の報復による「懲罰的抑止」ではない
  - 衛星に対する攻撃に対して、あらゆる手段を使っての報復という形の懲罰的抑止
  - 衛星に対する攻撃は第三次世界大戦を引き起こす恐れ

# 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

- 「打ち上げ国」を巡る問題
  - 宇宙条約では、衛星には「打ち上げ国」の管轄権が及ぶ
  - 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」
  - 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国が施設打ち上げ国、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
  - 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
  - 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
  - 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

# 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

- 非物理的な攻撃としてのサイバー攻撃
  - 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への攻撃
  - 米軍も利用しているViasatに対する攻撃
- 近年の動向
  - ソフトウェア定義型衛星 (SDS)
  - 商業ベンチャー企業が多数搭乗し、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
- サードパーティ問題
  - 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
- 「サプライチェーン脆弱性」問題
  - 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

# 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

- 宇宙アセットを持たないウクライナの宇宙利用
  - 2014年のクリミア半島の占拠以降、アメリカをはじめとする西側諸国によって訓練
- Starlink
  - アゾフスターリ製鉄所の包囲戦
  - 「戦場のUber」と言われるGIS Artaに必要な情報を提供
  - しかし、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
- GPS
  - 一般向けのP-codeと軍が使用するM-code→ウクライナはP-codeのみ
  - ウクライナとロシアの国境地帯でGPSのジャミング信号
- 商業衛星画像
  - ウクライナ軍のみならずメディアや専門家も戦場の状況をコンスタントに観察することが可能となった



# 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

- 商業衛星の軍事利用の問題点
  - 史上初の「商業宇宙戦争」
  - 相手の軍事的能力を引き下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
  - 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
    - どの国家が民間企業の活動に責任を持つのかがはっきりしない
  - 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
  - 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可能性

# 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

- ウクライナ侵攻からの教訓
  - サイバー攻撃への対抗
    - 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
  - GPSに対する妨害電波への対抗
    - 準天頂衛星に搭載されている公共信号を使うことを検討
    - 受信機能の強化と電子戦の能力の向上
  - 独自のコンステレーションか商業サービスの利用か
    - 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
    - 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
  - 衛星画像取得にかかる能力
    - 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が必要

# 衛星コンステレーションの能力

- Planet

- Dove衛星：約4m分解能
- SkySat：分解能50cm
- 次世代衛星群Pelican：分解能30cm, 同一地点を最大12回撮像可能(中緯度は30回)
- 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
- 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

# ユースケースと衛星利用★

- 関心地点の発見と監視（災害等）
  - まず広域を監視して発災個所を特定する手段が必要
  - ALOS-3やALOS-4のような広域監視能力は、こうした場合に必須
  - しかし機数（観測頻度）が限られるため、広域観測と高頻度観測（小型衛星コンステレーション）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
  - 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、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（平時の情報を蓄積する必要がある）
  - 衛星観測データから情報化技術の研究を推進するべき

# ユースケースと衛星利用★

- 関心対象の発見と監視（海洋状況把握：MDA等）
  - 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
  - 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
  - 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
  - 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

# ユースケースと衛星利用★

- 関心地点の監視 (防災)
  - 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
  - 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、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

# ユースケースと衛星利用★

- 平時の情報収集(テロ・災害等の脅威への対応)
  - 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
  - 商業衛星では平時の高・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)
  - 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

# ユースケースと衛星利用

- 政府の広域衛星、高分解能衛星、小型衛星（多数機）の組合せ

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（秘匿性の高いもの）、民間企業	安全保障。特に高い分解能、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。



# 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

- データの共有

- 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

- 分析リソースの共有

- 衛星情報の分析は各府省庁の専門の分析部門（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
- 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<sup>15</sup>

# 商用衛星による衛星監視能力の運用、分析・利用

- 衛星観測データからユーザが必要とする情報へ
  - 現業機関や自治体の多くは衛星画像解析体制を組むことが難しい
  - 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
  - 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
  - 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

# 提言

- 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。
  - 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
  - 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
  - 平時から秘匿性の高い情報だけでなく、秘匿性の低い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
  - 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

# 提言

- 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
  - 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

# 提言

- 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
  - 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）

# 提言

- 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。
  - 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。
  - 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
  - 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

- 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
  - 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
    - 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
    - 海洋の安全保障に係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
    - 我が国のMDA（センターの性質により安全保障、科学、民生等）に必要な衛星情報に関するニーズをまとめ、宇宙（衛星）側に的確、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
    - 同盟国・同志国、さらに多国間との連携において、適切な対応機関となる

# 提言

- 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）
  - 整備すべき手段
    - 広域SAR
    - 狭域/高頻度SAR
    - 広域周回光学（水深推定含む）
    - 小型光学
    - 静止光学
    - AIS/VDES
    - 電波監視
    - マイクロ放射計
    - 海面高度計
    - 塩分濃度
    - マルチスペクトル



# 提言

- 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
  - 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
  - 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