

JAXA科学アドバイザー委員会/将来ミッション検討タスクチーム
衛星による将来の地球観測プログラム
～地球環境課題に対する科学と技術の実現解～

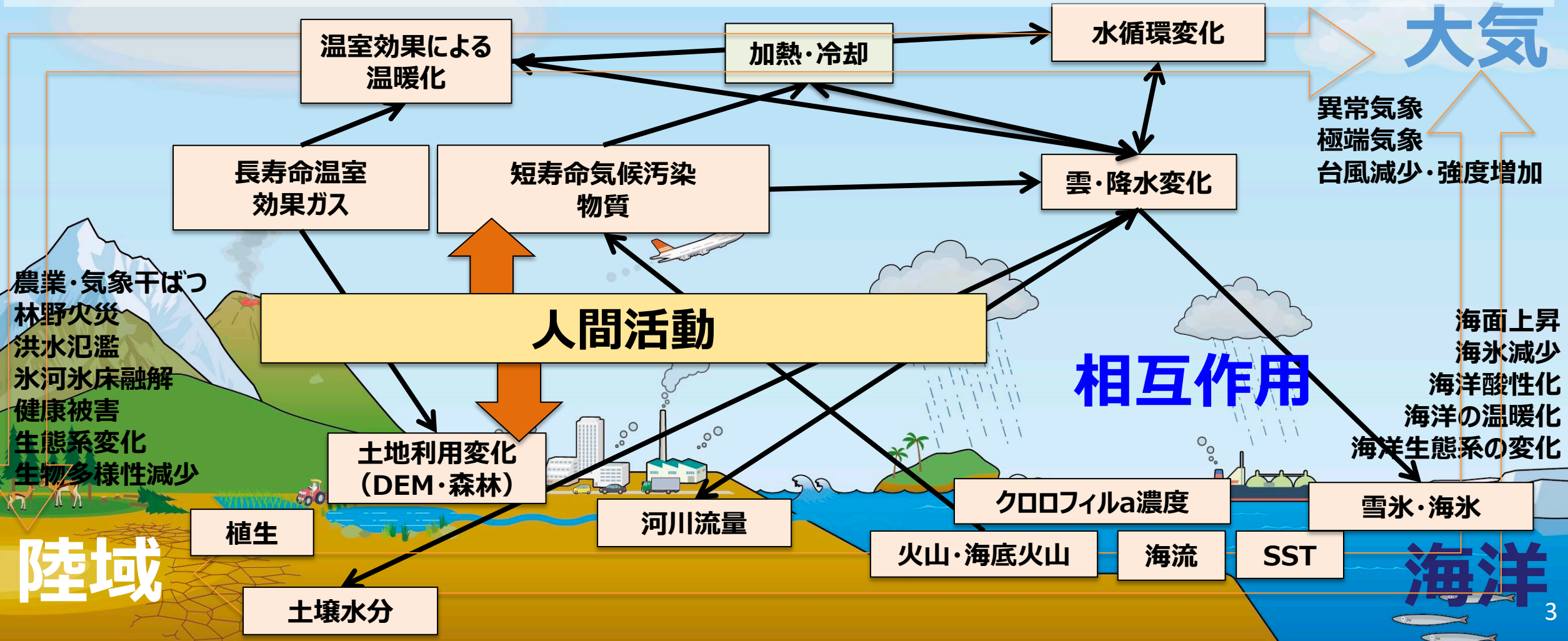
将来ミッション検討タスクチーム
2022年8月10日

20-30年先を見据えた日本が推進すべき地球観測衛星の在り方 将来ミッション検討タスクチームの設置

- 気候変動を始めとする近年の地球環境変動は人間社会に多大な影響を及ぼし、様々な課題を引き起こしているとともに、その大きな要因の一つである人間社会のあり方も問われている。
- そのような課題に対して適切な対応策を講じるためには、現状を様々な時空間スケールで正確に把握し理解することが何よりも重要であり、衛星を用いた地球観測は極めて大きな意義を持つ。
- 日本の地球観測衛星は、国内・国際社会の中において重要な役割を果たしてきており、これまでの実績を踏まえた上で我が国の中長期的な衛星地球観測のビジョンを議論し、国の施策に活かすことは極めて重要である。
- JAXA第一宇宙技術部門長の下に設置された有識者からなる**将来ミッション検討タスクチーム**は、宇宙基本計画等の国の施策に対して、中短期的に工程表の改訂の参考となり、かつJAXAが担ってきた地球観測衛星にかかる実績や経験をもとに、**20-30年先を見据えた日本が推進すべき地球観測衛星のあり方について科学的・技術的観点からの提言**を含む本報告書『**衛星による将来の地球観測プログラム**』をまとめた。

複雑な地球システムの解明に必要な衛星地球観測

- 地球システムは各圏（海洋・大気・陸域・雪氷など）や各圏間で相互作用し、複雑につながっていることから、気候変動の解明や対策には多様なモニタリングや観測が必要である。
- これらの観測には、光学からレーダ、放射計など様々なセンサによる長期にわたる衛星地球観測が求められる。



「人類が、地球との共生を図りながら、持続可能な開発を行い、幸福に暮らす。」ことを目指し、

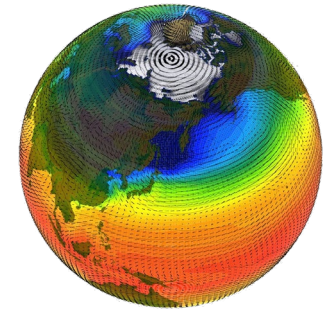
提言①：「地球デジタルツイン」への4次元情報の強化 (現実とバーチャルを衛星データにより繋ぐ)

地球観測衛星データは、デジタルツイン※において国土計画・都市計画等への利用による業務効率化や付加価値情報創出の効果、気候変動や地球環境問題に対する分析やシミュレーションへの活用が期待される。

これら気候変動への対策（緩和・適応）や頻発化・激甚化する気象災害の予測精度の向上には、**予測モデルの改良、高度化が必須**で、そのためには、**4次元情報(3次元+時間変化)**の強化が重要。

提言②：地球観測衛星計画のプログラム化

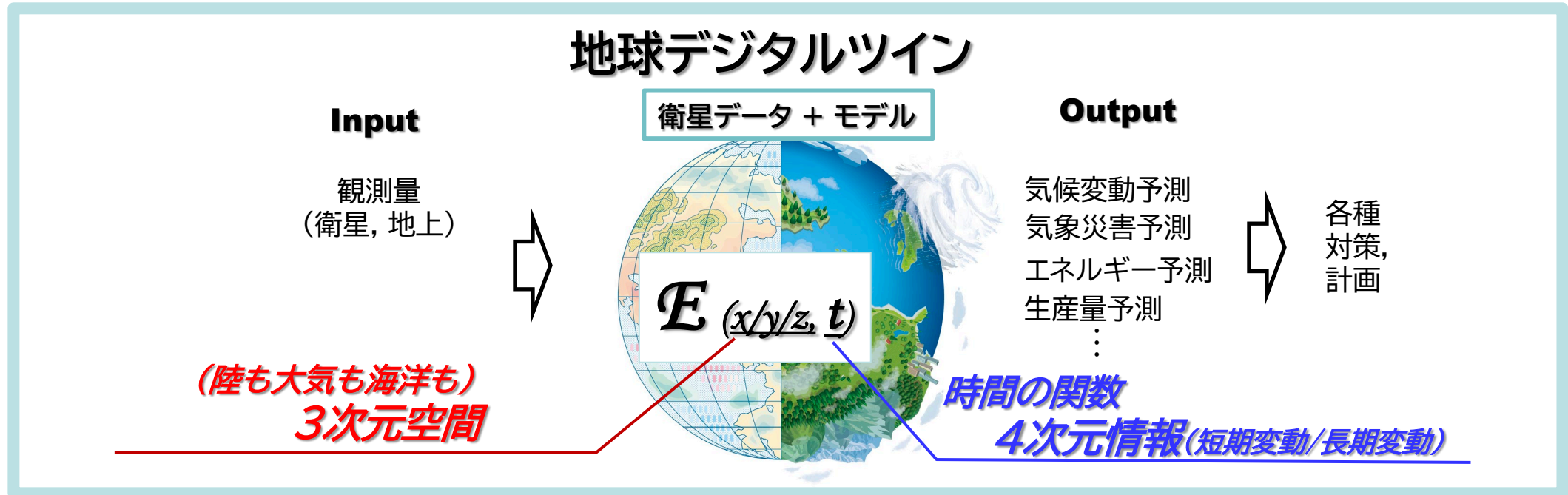
複雑な地球システムの解明に必要な衛星地球観測のためには、個々の地球観測ミッションを有機的に連携させ、総合的なシステム(System of systems)として、我が国が取り組むべき重要事項への貢献を果たすことを目指し、衛星観測に係る整備・運用・推進活動を進める衛星観測に係る戦略的・統合的なプログラム（戦略的衛星リモートセンシングプログラム（仮称））が必要である。



※デジタルツインを活用することで、リアルタイムで取得した情報をもとにサイバー空間上で現実空間の状況を把握すること、また、サイバー空間上で現実空間の分析やシミュレーションを行い、その結果を現実空間にフィードバックすることなどが可能になる。



提言①：「デジタルツイン」による4次元情報の強化



- 気候変動影響を農業をはじめ、様々な産業が受けている。
- 気候変動への対策（緩和・適応）や頻発化・激甚化する気象災害の予測精度の向上には、**予測モデルの改良、高度化が必須**で、そのためには、**4次元情報(3次元+時間変化)**の強化が重要。
- 陸や大気を問わず、鉛直情報の収集に係る新たな技術獲得をする必要があり、JAXAの3次元観測の研究開発や国内外や民間事業者等の有する衛星能力の更なる活用による**時間解像度の強化**が期待される。
- これらの衛星データやモデルで構成される**地球デジタルツイン**は、国土計画・都市計画等への利用による業務効率化や気候変動や地球環境問題に対する分析やシミュレーションへの活用が期待される。

提言②：地球観測衛星計画のプログラム化

- 科学シナリオと技術シナリオの融合による実現性や国際連携、社会情勢等を踏まえ計画案をまとめるにあたり、国家予算で実施する地球観測システム・サービスを発展し、予見性を確保するためには**プログラム化**が必要である。ここで言う「**プログラム化**」とは、個々の地球観測衛星ミッションが有機的に連携し、全体として目標を達成する形とすることであり、以下の項目を含む。
 1. ミッション個々の衛星開発を**個別ではなく繋がりをを持った計画**とすること。
 2. JAXAが研究開発を行い実証して終わりではなく、エンドユーザを明確にし、ユーザによる活用の中で、新たなニーズが生まれ、JAXAはそのニーズに技術開発で応えるという**サイクルを踏まえた計画**とすること。
 3. JAXAで閉じたプロジェクトではなく、関係各省庁や民間が担う事業や学術分野が求める科学との関係を示し、**JAXAの役割を明確化**すること。



- 頻発化・激甚化する気象災害や地震・火山噴火災害への対策は、日本における重要かつ喫緊の社会課題である。
- 気象災害への対応においては、
 - **現状**：地球観測衛星は災害を引き起こす極端現象を監視することで実態を把握するとともに、得られたデータは気象予報の初期値の作成に用いられ、予報精度の向上に貢献している。
 - **将来**：気象予測における短期の予測システムでは、気温や水蒸気、風について広域の水平分布を把握することに加えて、**鉛直プロファイル（3次元化）、さらに時間変化（4次元化）を把握することが、将来の予測の発展に重要**となる。また、衛星観測データは気象予測モデル等の改良も可能である。そのためには、不足する海洋上の台風の中心気圧や最大風速、内部構造の把握、また線状降水帯の発生メカニズムの解明に、水蒸気や風などの3次元構造の観測が必要である。
- 発災後の被災状況把握（水害・土砂災害・地震・火山噴火）では、
 - **現状**：過去の土地の基盤情報に対し、発災後の衛星による緊急観測で得られた情報をもとに前後比較し、被災状況把握に貢献している。
 - **将来**：最新の土地の基盤情報をもとに災害発生前後の比較が重要である。そのため、**高さ情報を含む地形情報（3次元化）**や、土地利用の分類を高頻度で更新することが望ましく、**観測頻度が極度に上がることで（4次元化）**、リアルタイムでのリスク上の更新や評価、被災状況把握が可能となり、人々の適切な避難や社会基盤の保守に貢献できる。

- 地球規模での多様な課題に対し、衛星地球観測はモニタリングによる地球環境の保全と利活用、および温暖化に伴う気候変動の監視と予測への貢献が可能である。

(1) 地球環境の保全と利活用

- 現状：地球環境問題に関し、水循環の把握により将来想定される水資源問題への対応や海洋資源の管理、森林や土地利用の状況変化による生態系の把握、越境する大気汚染物質の把握による対策等に活用されている。
- 将来：海の天気予報や航路把握のための空間分解能の倍増、森林バイオマス鉛直情報の取得、大気汚染における気化学プロセス解明への貢献が考えられる。

(2) 気候変動の監視

- 現状：気候変動の監視に、極端現象を含む大気・海洋・陸域・雪氷圏などの地球規模での変化抽出に多様な衛星観測が利用されている。**実用化された地球観測衛星のデータは40年以上継続しており、今やグローバルな気候変動の監視に必要不可欠な技術**となっている。
- 将来：気候変動緩和策への貢献として、パリ協定におけるGST（グローバルストックテイク）に対し、人為起源の吸排出量推定のための衛星によるCO₂とCH₄観測データや、自然起源の吸収放出量推定のためのAFOLU（農業、林業、その他の土地利用）の衛星観測データが利用される予定である。

(3) 気候変動の予測

- 現状：気候変動の予測では、大気・海洋・陸域・雪氷圏の4つのサブシステム間での変動メカニズムを解明することが重要であり、衛星観測に基づき、サブシステム間の物理過程の定量的理解と相互作用に関する適切なモデリングが進んでいる。
- 将来：数値気候モデリングの精度向上のためには、サブシステム間でのエネルギー・水・炭素のやり取りを様々な**時空間スケールで定量化する必要**がある。



【要約】 第3部 衛星地球観測が果たすべき役割の要旨

- 第2部において示された衛星地球観測の分野で日本が目指すべき成果(目標)の実現にむけ、衛星観測で目指すべき方向性とその技術的実現解を、5分野（**防災減災・公共の安全確保、水循環の把握と適応、海洋環境の保全と利活用、カーボンニュートラルへの貢献、経済安全保障**）についてそれぞれまとめた。
- 分野毎の日本の目指すべき成果(目標)達成に必要な物理量・観測情報とその要件を識別し、その実現に向けた将来的な技術的実現解の方向性を検討した。**全ての観測情報・物理量は、単独の計測手段では十分に応えることができず、様々な特性を有する衛星・センサデータを複合的に解析することで導出が可能となることを念頭に、複数計測手段での実現と、地上における統合的な解析技術・システムの必要性を検討した※。**

レーダ計測

電波放射計測

SAR計測

光学分光計測

光学放射計測・
イメージング

ライダー計測

- 更に今後、①プログラムの実現に対し分野あるいはセンサ横断的に必要となる技術、②更なる新たな価値創出に向けた挑戦的な技術、③基幹的な技術・システム（モデル連携や解析技術・システムの高度化等地上セグメントに係る技術開発や、軌道上データ処理や衛星指向管理、データ通信等高度化する衛星観測）について、識別・整理し、各分野で適切な時期に有効に活用できるよう、必要なフロントローディングやメーカを含めた開発体制の整備等、長期的・戦略的な技術開発について検討を進める必要がある。

※プログラム化の目的である各種地球観測衛星データを有機的に連携させ、総合的なシステムとして最大限の効果を得るため、JAXAの衛星のみならず、海外や国内他省庁、民間企業が整備・運用する衛星も最大限に活用しつつ必要な観測情報・物理量の実現を目指すこととした。さらに、積極的な海外・民間との連携・活用、観測情報・物理量の戦略的選択に伴う小型・低コスト化等による利用者への移管あるいは民間事業性の開拓の模索等、データ継続のための工夫をふくめ検討を行った。

「人類は、地球との共生を図りながら、持続可能な開発を行い、幸福に暮らす。」

を実現するにあたり、「複雑な地球システムを理解し、その現状や変動を把握することで、影響の緩和を目指すとともに将来を予測しながら適応」していかなければならないとして、

- 1) 相互作用する複雑な地球環境システムやそのつながり(プロセス)を把握し、
- 2) 変動する地球環境の予測能力を飛躍的に向上させるために、
- 3) 複数、多種類の衛星地球観測とその**発展的継続**が必要不可欠であり、
- 4) **地球科学の発展とともに**、ビッグデータと数値モデルを活用したデジタルツインなど次世代型の研究、社会実装が必要である。

これらを実行する上では、提言の通り、①**診断・予測能力の獲得を目指した地球デジタルツインの構築**、および②**戦略的・総合的な地球観測衛星計画のプログラム化**に期待したい。

本報告書の提言が、地球観測衛星による災害対策・国土強靱化や地球規模課題の解決などへの貢献に20-30年先の未来まで活用されることを願う。



参考資料



【参考】 報告書の目次

要約

第1部 衛星地球観測を取り巻く環境変化と課題

- 1.これまでの活動
- 2.学術会議と学術連合によるタスクフォース
- 3.JAXAにおける「衛星リモートセンシングに係るシナリオ」
- 4.文書の構成

第2部 衛星地球観測が目指す科学シナリオ

第1章. 災害対策・国土強靱化への貢献

- 1.1.災害対策にかかる衛星データ利用の考え方
- 1.2. 気象災害への備えと対応

- (1)極端現象の実況監視
- (2)気象予測のための地球観測システムへの貢献
- (3)気象予測モデル・水文モデルの検証と改良
- (4)災害対策のための基盤情報・被災状況把握

- 1.3. 地震・火山噴火災害への備えと対応

- (1)災害発生の予兆把握
- (2)被災状況把握

(続き) 第2部 衛星地球観測が目指す科学シナリオ

第2章. 地球規模課題の解決への貢献

2-1. 地球環境の保全と利活用の両立

- (1)持続的な水資源の利活用への貢献
- (2)持続的な海洋の利活用への貢献
- (3)森林をはじめとする陸域の環境にかかる現状把握及び利活用への貢献
- (4)大気汚染物質の監視と緩和策・適応策への貢献

2-2. 気候変動の監視と予測

- (1)気候変動緩和策への貢献
- (2)気候変動影響の監視
- (3)気候変動の予測精度の向上への貢献

第3章. 人間社会への貢献

- (1)農業
- (2)公衆衛生
- (3)エネルギーの安定的な確保
- (4)鉱物資源の安定的な確保



【参考】 報告書の目次

第3部. 衛星観測が果たすべき役割とその技術的実現解

1. はじめに

2. 重点的推進事業5分野の実現解

2.1 防災減災・公共の安全確保

2.1.1 分野の方向性

2.1.2 地形情報/変化 (DSM/DTM)

2.1.3 土地被覆・土地利用

2.1.4 地殻変動

2.1.5 被害状況および発災に伴う各種情報

2.1.6 統合解析技術・システム

2.2 水循環の把握と適応

2.2.1 水蒸気

2.2.2 雲・降水

2.2.3 風プロファイル、海上風速・風向

2.2.4 エアロゾル

2.2.5 SST/LST、土壌水分 (地表面蒸発散量)

2.2.6 積雪・降雪、氷河・海氷(グローバルな情報として)

2.2.7 河川・湖沼 (グローバルな情報として)

2.3 海洋環境の保全と利活用

2.3.1 SST

2.3.2 海色 (水質)

2.3.3 海氷

2.3.4 海洋デブリ、海面高度、海洋塩分

2.3.5 統合解析技術・システム

2.4 カーボンニュートラルへの貢献

2.4.1 温室効果ガス排出量の時空間的動態把握 (大気中温室効果ガス濃度の観測)

2.4.2 植物生態系の時空間的状态把握 (表層環境 (土地被覆・土地利用、沿岸環境)、バイオマス)

2.4.3 統合解析技術・システム

2.5 経済安全保障

第4部. まとめ

1. はじめに

2. 衛星地球観測におけるJAXAの役割

2.1. JAXAの役割

2.2. JAXAが取り組むべき技術開発

2.3. 持続可能な衛星開発・運用の体制

3. 地球観測衛星データの更なる普及に向けて

3.1. デジタルツインの普及と期待

3.2. 長期観測の必要性

3.3. オープンデータ

3.4. 使い勝手の向上

4. 提言

4.1. 提言①: 「地球デジタルツイン」による4次元情報の強化

4.2. 提言②: 地球観測衛星計画のプログラム化

5. 結び

付録情報

1. 執筆者

2. 衛星データプロダクト一覧

3. 参考文献



【参考】 報告書 執筆者一覧

執筆者

将来ミッション検討タスクチーム：

岩崎 俊樹（東北大学）座長
本多 嘉明（千葉大学）
増永 浩彦（名古屋大学）
高橋 暢宏（名古屋大学）
佐藤 正樹（東京大学）
六川 修一（東京大学）
岩崎 晃（東京大学）
高薮 縁（東京大学）
江淵 直人（北海道大学）
横田 達也（東洋大学）
河宮 未知生（海洋研究開発機構）
鈴木 健太郎（東京大学）
堀 雅裕（富山大学）
奈佐原 顕郎（筑波大学）
平譚 享（国立極地研究所）
芳村 圭（東京大学）
岡本 幸三（気象庁気象研究所）
橋爪 真弘（東京大学大学院）

執筆協力者：

酒井 直樹（防災科学技術）
市井 和仁（千葉大学）
小林 秀樹（海洋研究開発）
永井 信（海洋研究開発）
青木 輝夫（情報・システム研究機構 国立極地研究所）
片岡 崇人（海洋研究開発機構）
宮澤 泰正（海洋研究開発機構）
幾田 泰醇（気象庁気象研究所）
澤田 洋平（東京大学）
羽角 博康（東京大学）
弓本 桂也（九州大学）



【参考】報告書 執筆者一覧

JAXA執筆者

- 平林毅 (JAXA地球観測統括)
- 沖理子 (JAXA 地球観測研究センター)
- 早坂忠裕 (JAXA 地球観測研究センター)
- 大木真人 (JAXA 地球観測研究センター)
- 大吉慶 (JAXA 地球観測研究センター)
- 可知美佐子 (JAXA 地球観測研究センター)
- 杉田尚子 (JAXA 地球観測研究センター)
- 久保田拓志 (JAXA 地球観測研究センター)
- 田殿武雄 (JAXA 地球観測研究センター)
- 林真智 (JAXA 地球観測研究センター)
- 水上陽誠 (JAXA 地球観測研究センター)
- 村上浩 (JAXA 地球観測研究センター)
- 今井浩子 (JAXA 衛星利用運用センター)
- 松尾尚子 (JAXA 衛星利用運用センター)
- 度會英教 (JAXA 先進光学衛星プロジェクトチーム)
- 本岡毅 (JAXA 先進レーダ衛星プロジェクトチーム)
- 須藤洋志 (JAXA GOSAT-2プロジェクトチーム)
- 岡村吉彦 (JAXA GOSAT-GWプロジェクトチーム)
- 笠原希仁 (JAXA GOSAT-GWプロジェクトチーム)
- 岡田和之 (JAXA EarthCARE/CPRプロジェクトチーム)
- 今井正 (JAXA ISS搭載ライダー実証 (MOLI) プリプロジェクトチーム)