

次世代地球観測衛星利用基盤技術の 研究開発の概要 (終了時評価)

平成30年10月15日

経済産業省製造産業局宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

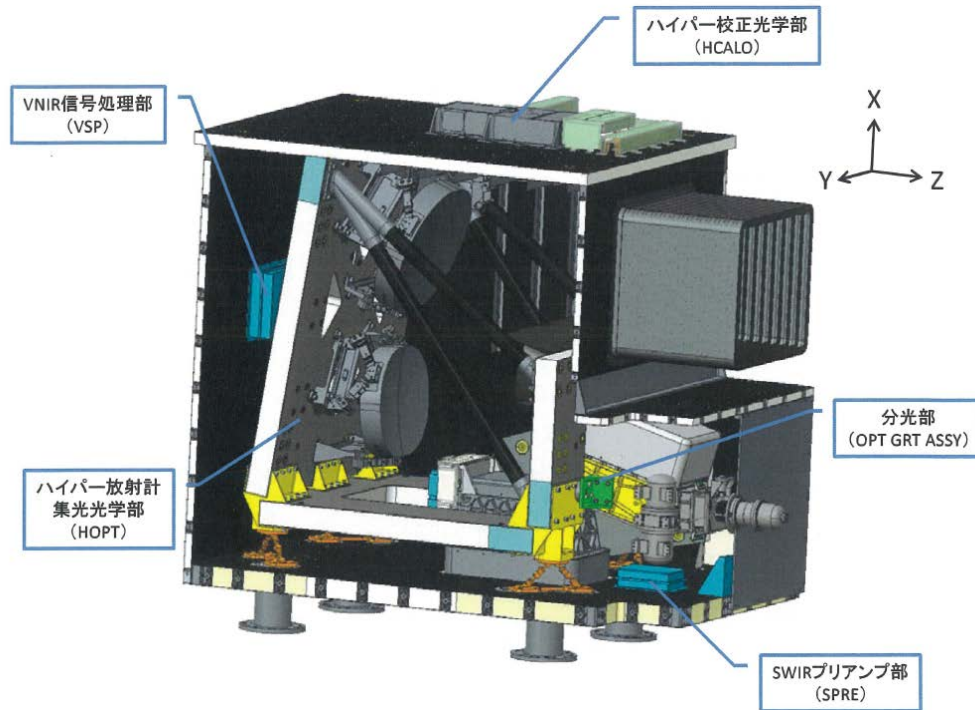
目 次

1. 事業の概要
2. 事業アウトカム
3. 事業アウトプット
4. 当省(国)が実施することの必要性
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制等
7. 費用対効果
8. 中間評価の結果

1. 事業の概要

概 要	本事業では、宇宙機搭載するハイパースペクトルセンサの①校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発、②長期および短期の観測計画の策定に係る研究開発、③高度利用に係る研究開発を実施した。
実施期間	平成18年度～平成29年度（12年間）
実施形態	委託・請負
予算総額	43.52億円 （平成27年度：3.06億円 平成28年度：3.06億円 平成29年度：2.5億円）
実 施 者	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 国立研究開発法人産業技術総合研究所
プロジェクト リーダー	岩崎 晃 東京大学先端科学技術研究センター（教授）

1. 事業の概要



項目		性能
幾何性能	分解能	20m × 31m(Nadir)
	観測幅	20km
波長性能	バンド数	185 VNIR:57 SWIR:128
	波長範囲	0.4 - 2.5μm VNIR:0.4-0.97 SWIR:0.9-2.5
	分解能	10nm (VNIR) 12.5nm (SWIR)
SN比		≥ 450 @620nm ≥ 300 @2100nm
ポインティング		Cross track ±5° (TBD)
取得頻度		15分/周回程度

ハイパースペクトルセンサ:

地球表面の物質が放射あるいは反射する電磁波のスペクトルを“連続して高い波長分解能で”観測できる最新型のセンサ

実施内容:

- ① 校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発
- ② 観測計画の策定に係る研究開発
- ③ ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発

2. 事業アウトカム

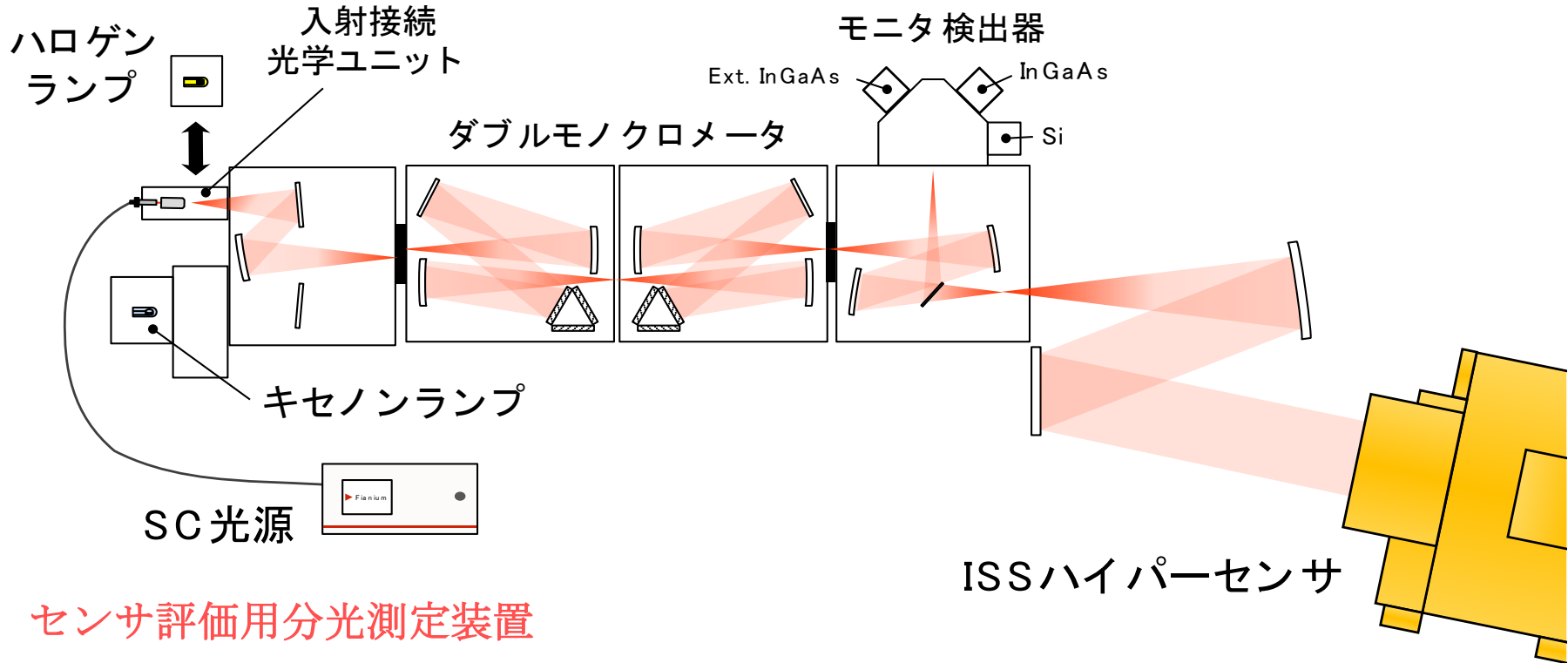
事業アウトカム指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
【指標】 以下により将来的にハイパースペクトルデータによるリモートセンシングの実利用が推進されること ①石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋の7分野の高度利用に係る研究開発の成果を、宇宙機に搭載したハイパースペクトルセンサを用いて実証する。 ②ハイパースペクトルセンサデータの利用拡大に向けた研究公募50件を運用する。 【指標設定の根拠】 エネルギー・資源の安定供給のためには、石油資源や金属資源の安定的な確保は重要な課題であり、資源探査に必要な上質かつ即時性のある情報を他国に先駆けて入手することが求められている。また、地球規模での気候変動や生物多様性の消失といった環境問題への対応や、食糧需要の増大にともなう農地の荒廃化や輸入作物の高騰化への対応など、我が国をとりまく様々な問題に対処していくことが求められている。	(事業開始時)事業アウト プット指標を達成する	なし
	(中間評価時(H20))事業アウ トプット指標を達成する	事業アウトプット指標を達成した
	(中間評価時(H23))事業アウ トプット指標を達成する	事業アウトプット指標を達成した
	(中間評価時(H26))事業アウ トプット指標を達成する	事業アウトプット指標を達成した
	(事業終了時(H29))事業アウ トプット指標を達成する	事業アウトプット指標を達成した
	(事業目的達成時(H33)) 宇宙機に搭載したハイ パースペクトルセンサに より、データの高度利用 が実証されること。	事業の開始時から終了時までに実施してきた7分野(石油資源、金属資源、森林、防災、農業、環境、海洋)の高度利用に係る研究開発の成果を宇宙機において実証し、また利用拡大に向けた研究公募を運用することにより、将来ハイパースペクトルデータによるリモートセンシングの実利用の推進が期待される。

3. 1 事業アウトプット(校正技術及びデータ処理アルゴリズムの研究開発)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
事業アウトプット: HISUIデータの利用実証を実施し、そして実用化を推進するためには、HISUIの従来のセンサには無い光学系歪み等に対して、適切に校正を施し、高品質なHISUIデータを提供する必要がある。このため、HISUIデータを想定した、校正・補正処理手法を開発する。	(事業開始時) 校正・補正処理手法の検討を開始する。	校正・補正処理手法の検討を開始した。
	(中間評価時 (H26)) 打上前室内校正、代替校正、相互校正のそれぞれの既存技術評価を行い、各校正の改良技術を開発する。補正処理のためのアルゴリズムを開発する。	打上前室内校正、代替校正、相互校正のそれぞれの既存技術評価を行い、各校正の改良技術を開発した。補正処理のためのアルゴリズムを開発した。
	(事業終了時 (H29)) HISUIが搭載される衛星を考慮して、各校正手法および補正処理のためのアルゴリズムを開発する。	ISS搭載のHISUIを前提として、各校正手法および補正処理のためのアルゴリズムを開発した。
	(事業目的達成時) データの高度利用を実証するために、HISUIデータを校正し高品質なデータを提供する。	—

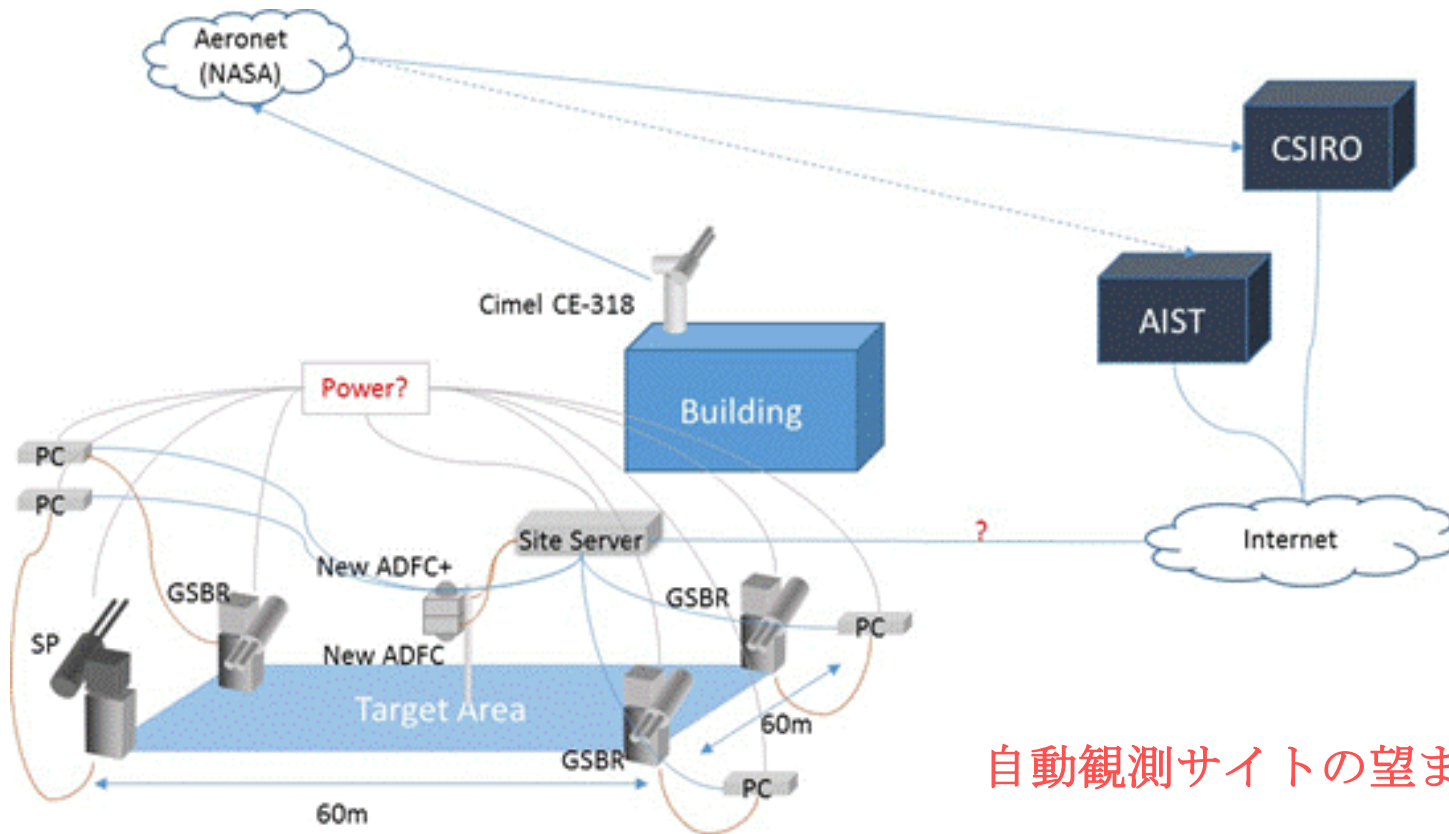
3. 1. 1 打上前室内校正および内部光源校正

- 打上前室内校正は、打ち上げ前に実験室において既知の光源を受光することにより、センサから出力されるデータを校正する手法
- 内部光源校正は、機器に搭載した内部光源から受光することにより校正する手法



3. 1. 2 代替校正

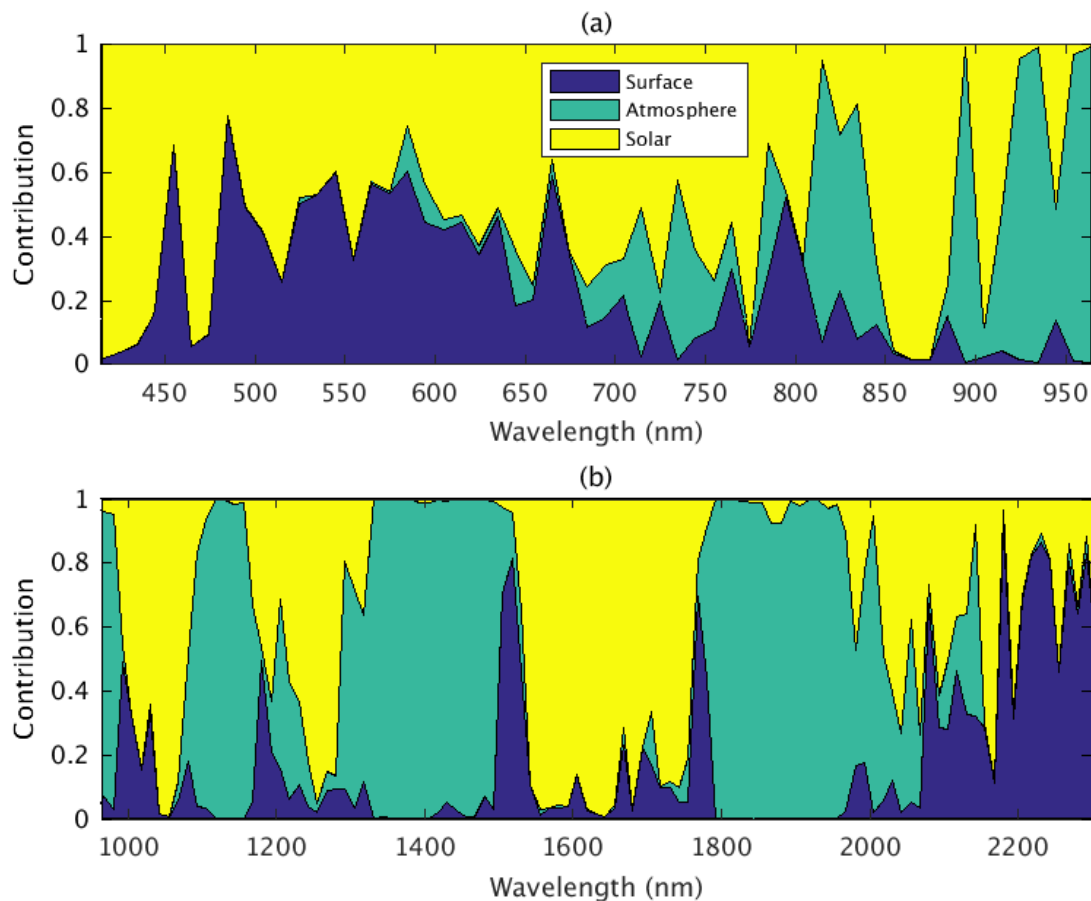
代替校正は、地上で測定した地表および大気等のパラメータからセンサが本来観測している物理量を計算し、実際に宇宙機で観測された物理量と比較することで校正する手法



自動観測サイトの望ましい形

3. 1. 3 相互校正

相互校正は、宇宙機搭載センサと、リファレンスとなる品質管理された衛星センサとの感度変化を相対的に補正する手法

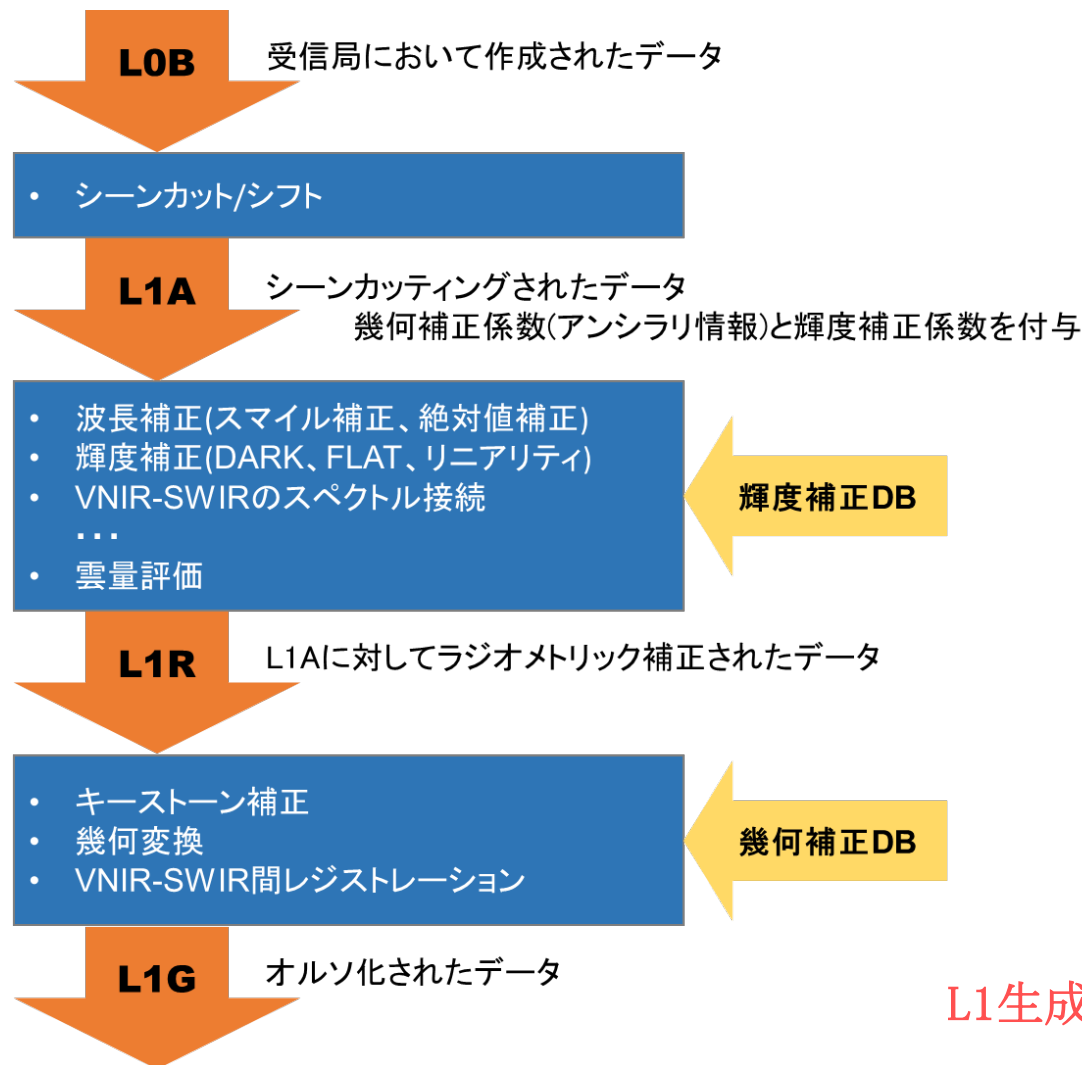


(上) 可視近赤外波長域における太陽照度モデル、大気、地表面に関する変数の不確かさの総合的な不確かさに対する寄与率

(下) 短波長赤外域における寄与率の結果

3. 1. 4 L1处理

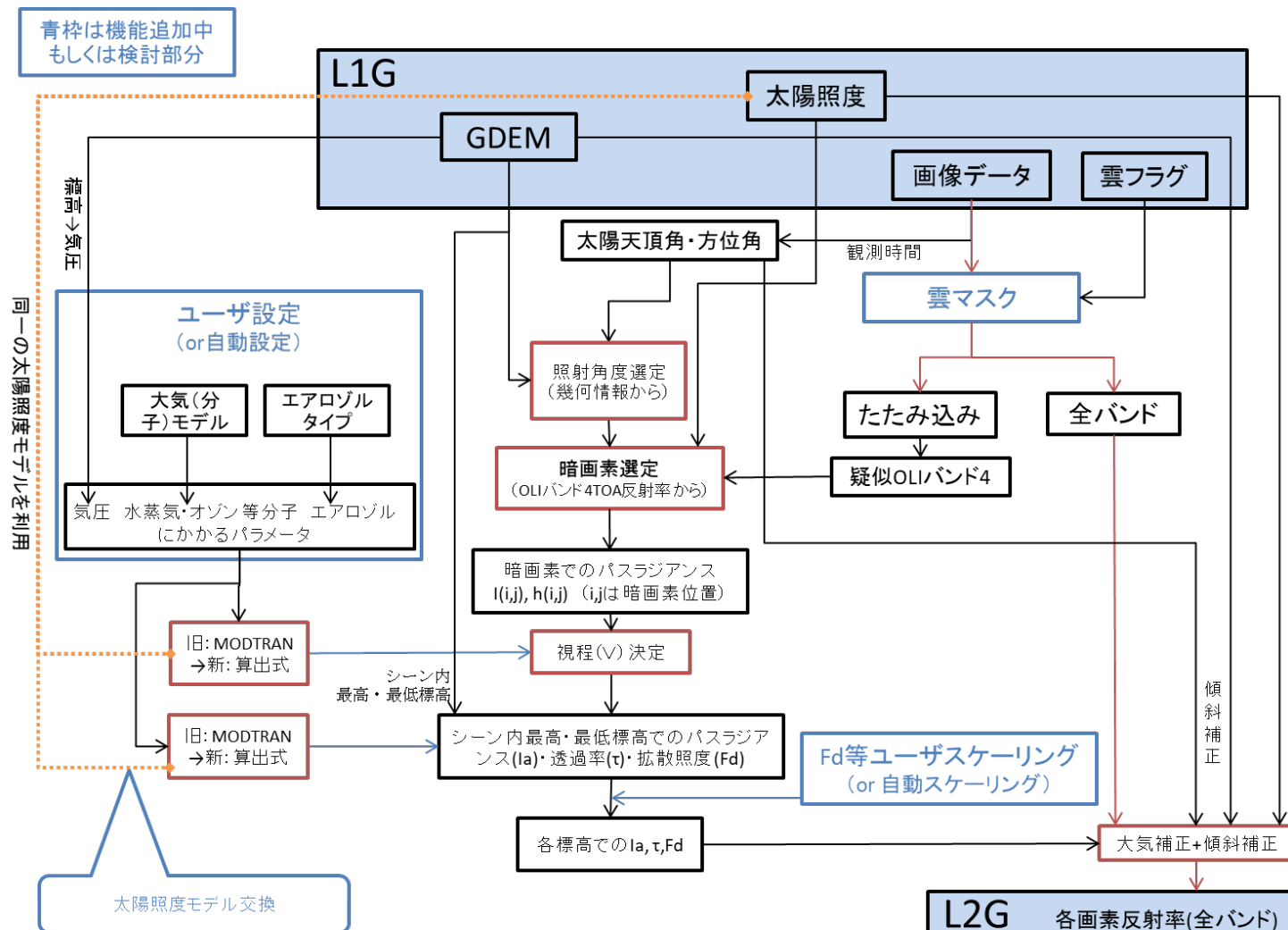
L1処理は、宇宙機搭載センサのデータ品質を維持するため、検出器の素子の出力を均一化し、かつ絶対値を補正する処理



L1生成アルゴリズムの処理手順

3. 1. 5 大気補正処理

大気補正処理は、画像から大気による散乱・吸収の影響を除去し、地表面反射率を得るための処理



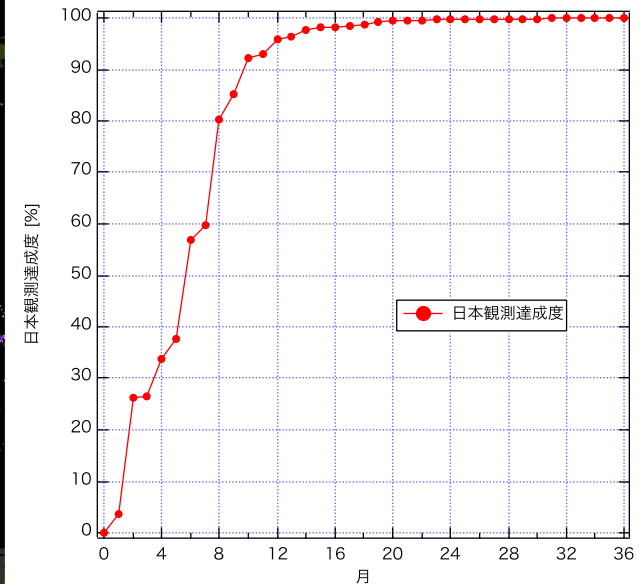
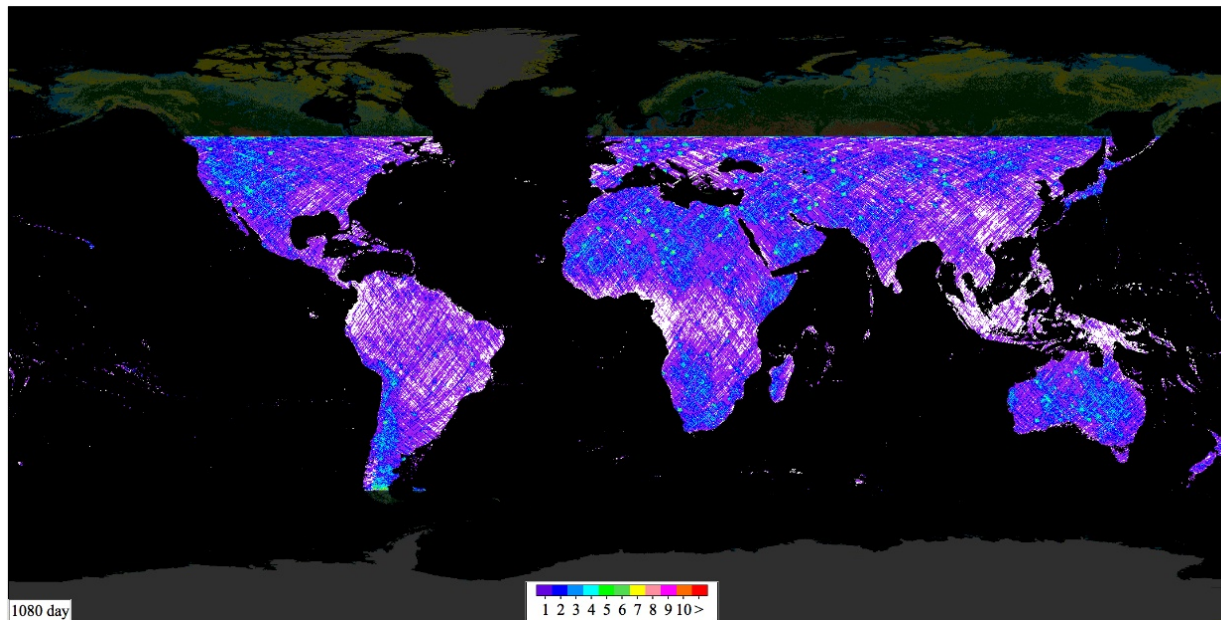
大気補正処理フロー概要

3. 2 事業アウトプット(観測計画の策定に係る研究開発)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
事業アウトプット: HISUIデータの利用実証においては、主目的である石油資源探査の他、多様な分野への応用可能性を利用実証するため、各分野での利用実証に適切な地域の観測データを取得することが必要である。また利用実証後の実利用を推進するためには、可能な限り多くの観測データを取得することが必要である。これらを実現するために、衛星の地球周回軌道やダウンリンク・レート等の観測制約を踏まえつつ、観測効率の最大化を実現する観測計画策定手法を開発する。	(事業開始時) 長期観測計画および短期観測計画の検討を開始する。	長期観測計画および短期観測計画の検討を開始した。
	(中間評価時 (H26)) 長期観測計画の最適化に必要な長期観測シミュレーションソフトウェアを完成する。長期観測シミュレーションを実施し、様々な条件による長期観測状況への影響を把握する。短期観測計画の作成アルゴリズムを開発する。	長期観測シミュレーションソフトウェアを完成させた。長期観測シミュレーションを実施し、様々な条件による長期観測状況への影響を把握した。短期観測計画の作成アルゴリズムを開発した。
	(事業終了時 (H29)) HISUIが搭載される衛星を考慮して、長期観測計画策定方針の策定および短期観測計画の作成アルゴリズムの開発を実施する。	HISUIがISSに搭載されることを前提とした上で、その仕様に踏まえた長期観測計画策定方針の策定および短期観測計画の作成アルゴリズムの開発を実施した。
	(事業目的達成時) データの高度利用を実証するために、HISUIの長期観測計画を達成する。	—

3. 2. 1 長期観測計画の策定

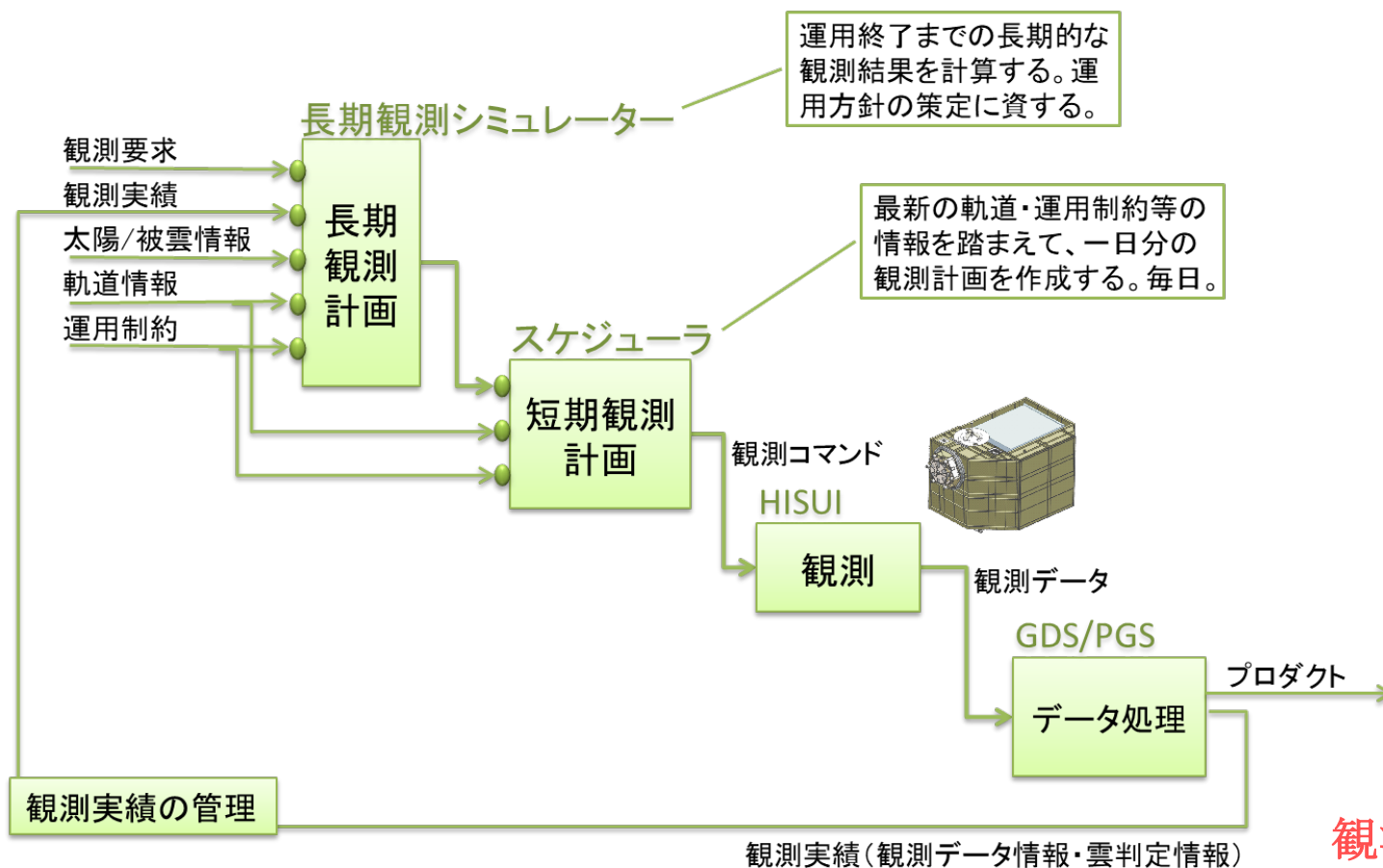
ハイパースペクトルデータの活用が想定される分野において、運用期間全体を通じて成果を最大化するため、長期観測シミュレーションツールを開発し、観測計画を最適化



3年間での観測回数。白色は被雲により観測に成功しなかった場所

3. 2. 2 短期観測計画の策定

観測状況・被雲状況・センサの制約状況・ISSの軌道など、多くの状況変化に合わせて観測の数日前に観測対象地域を確定し、観測を実施する上で必要な情報を自動作成するシステムの開発



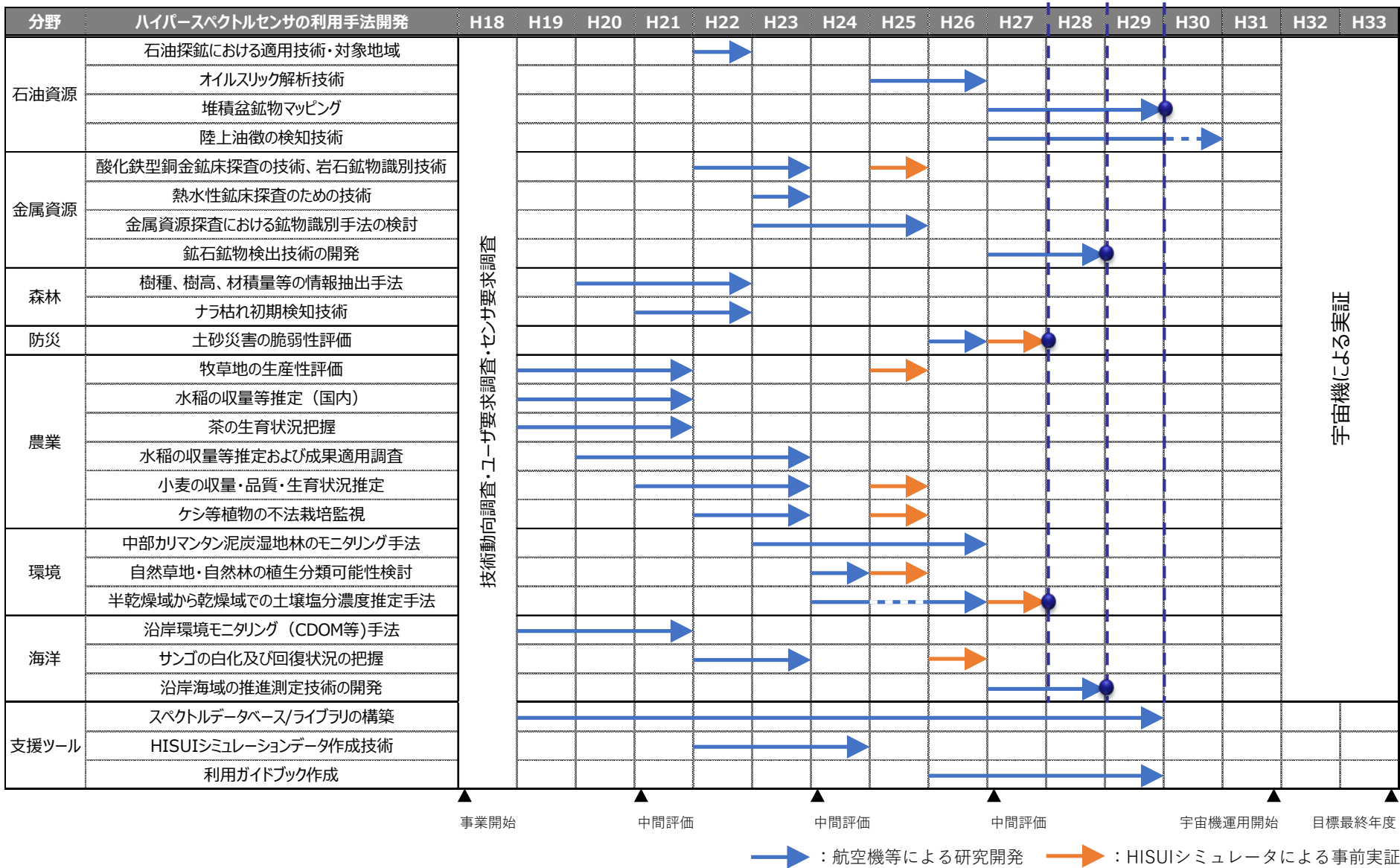
観測計画の運用方針

3.3 事業アウトプット(ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
事業アウトプット： ①事業アウトカムで挙げた7分野における利用技術開発、およびハイパースペクトルセンサ・データの利用を支援するツールの開発を実施する。 ②研究開発内容にかかる論文および学会における発表を実施する。 7分野における研究テーマは、ハイパースペクトルセンサに関する技術動向調査、ユーザ要求調査、およびセンサ要求調査の結果を踏まえて設定した。また、事業開始後も調査を継続して行い、社会情勢の変化や技術の進歩に合わせて新規の研究テーマを設定した。	(事業開始時) 技術動向調査、ユーザ要求調査、センサ要求調査を踏まえて、高度利用に係る研究開発を開始する。	なし
	(中間評価時 (H20)) 高度利用に係る研究開発、および支援ツールの整備を開始する。	森林分野で1件、農業分野で4件、海洋分野で1件の研究開発を開始した。また、支援ツールであるスペクトルデータベース/ライブラリの構築を開始した。
	(中間評価時 (H22)) 高度利用に係る研究開発、および支援ツールの整備を継続して行う。	石油資源分野の1件、森林分野の2件、農業分野の2件、海洋分野の1件の研究開発を完了した。また、支援ツールであるスペクトルデータベース/ライブラリの構築を継続して行うとともに、HISUIシミュレーションデータ作成技術の開発を開始した。
	(中間評価時 (H26)) 高度利用に係る研究開発、および支援ツールの整備を継続して行う。また、HISUIシミュレーションデータを用いた事前実証を行う。	石油資源分野で1件、金属資源分野で3件、農業分野で4件、環境分野で2件、海洋分野で1件の研究開発を完了した。さらに、既に完了している7つのテーマに対してHISUIシミュレーションデータを用いた事前実証を行った。また、支援ツールであるスペクトルデータベース/ライブラリの構築を継続して行うとともに、利用ガイドブックの作成を開始した。
	(事業終了時 (H29)) 高度利用に係る研究開発、および支援ツールの整備を完了する。	石油資源分野で1件、金属資源分野で1件、防災分野で1件、環境分野で1件、海洋分野で1件の研究開発を完了した。また、支援ツールであるスペクトルデータベース/ライブラリの構築と利用ガイドブックの作成を完了した。
	(事業目的達成時) 高度利用に係る研究開発の宇宙実証を完了する。	なし

3. 3. 1 研究開発内容

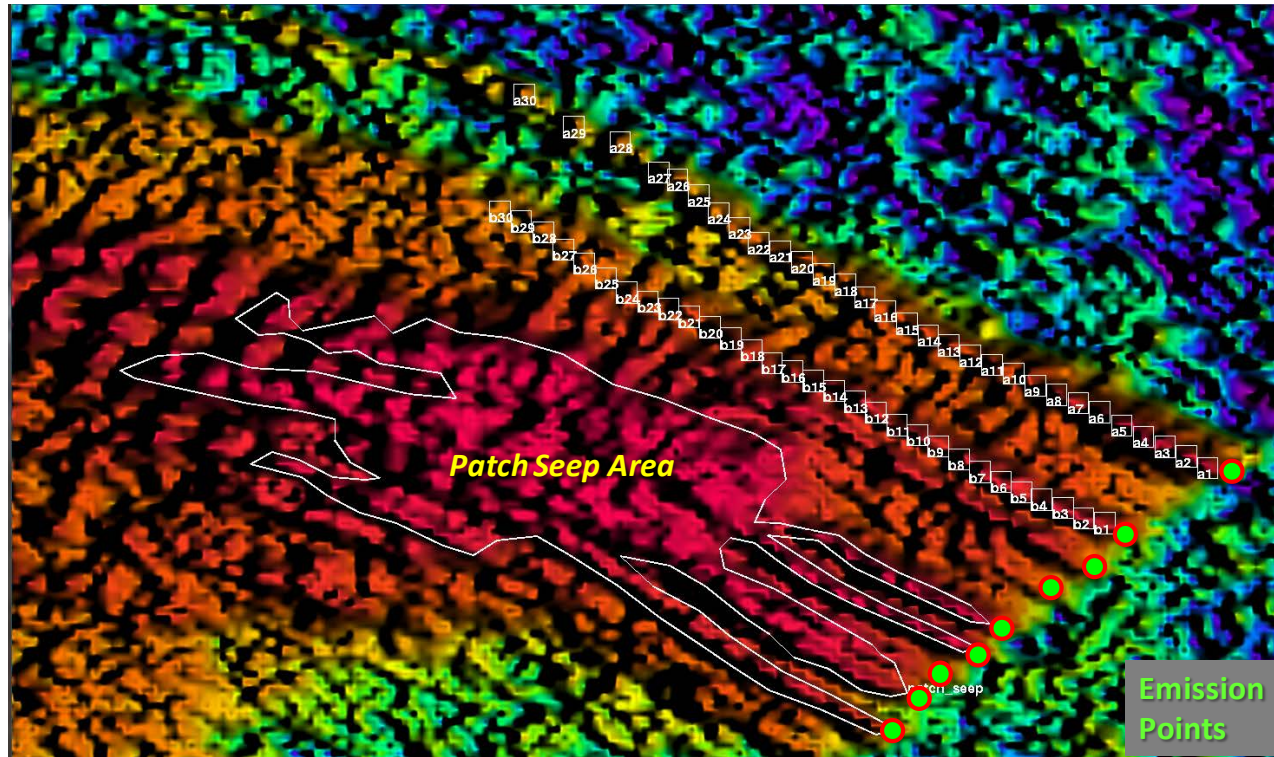
2件完了
2件完了
1件完了



ハイパースペクトルセンサの高度利用に係る研究開発7分野と、各分野で実施した研究テーマの年表。* 支援ツールの整備状況も含む。

3. 3. 2 石油資源分野

海域における油膜（オイルスリック）のマッピング手法を開発した事例



Offshore oil field



滲出点からの距離によって可視近赤外域の輝度値が変化することを利用し、滲出点を特定する

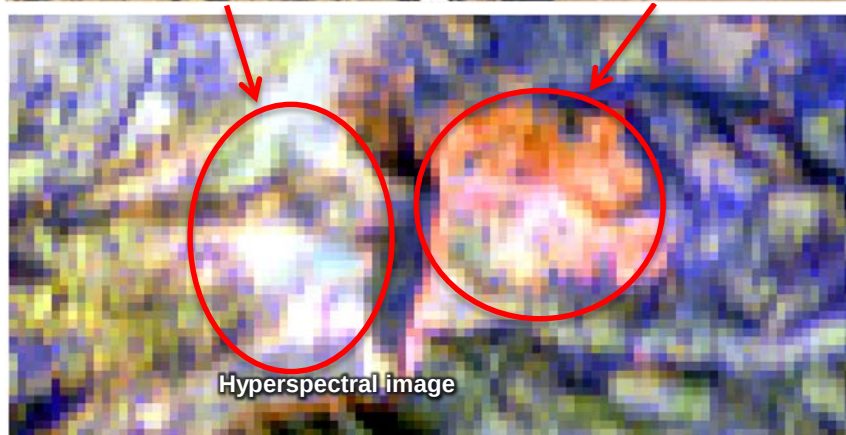
3. 3. 3 金属資源分野

鉱物の抽出事例

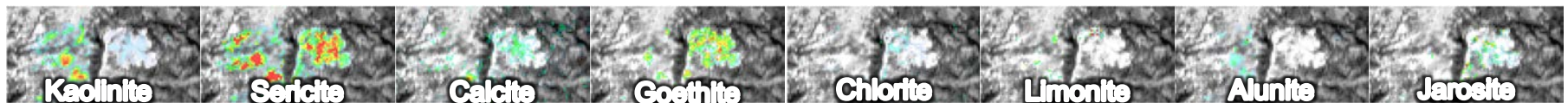
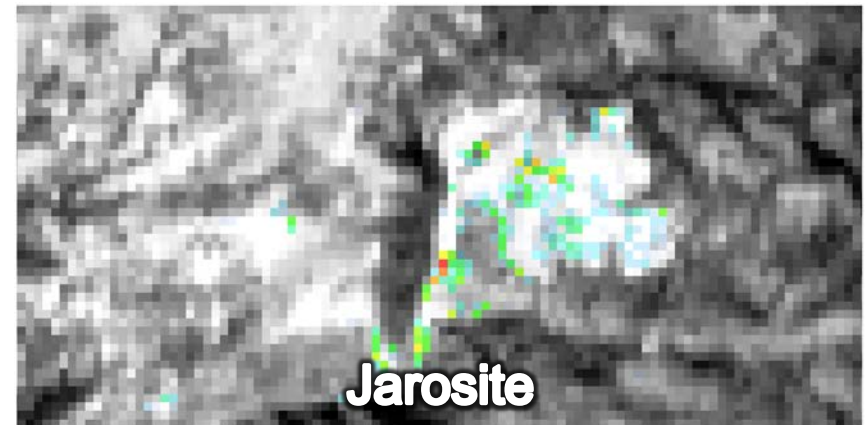
Alteration zone on the west side



Alteration zone on the east side



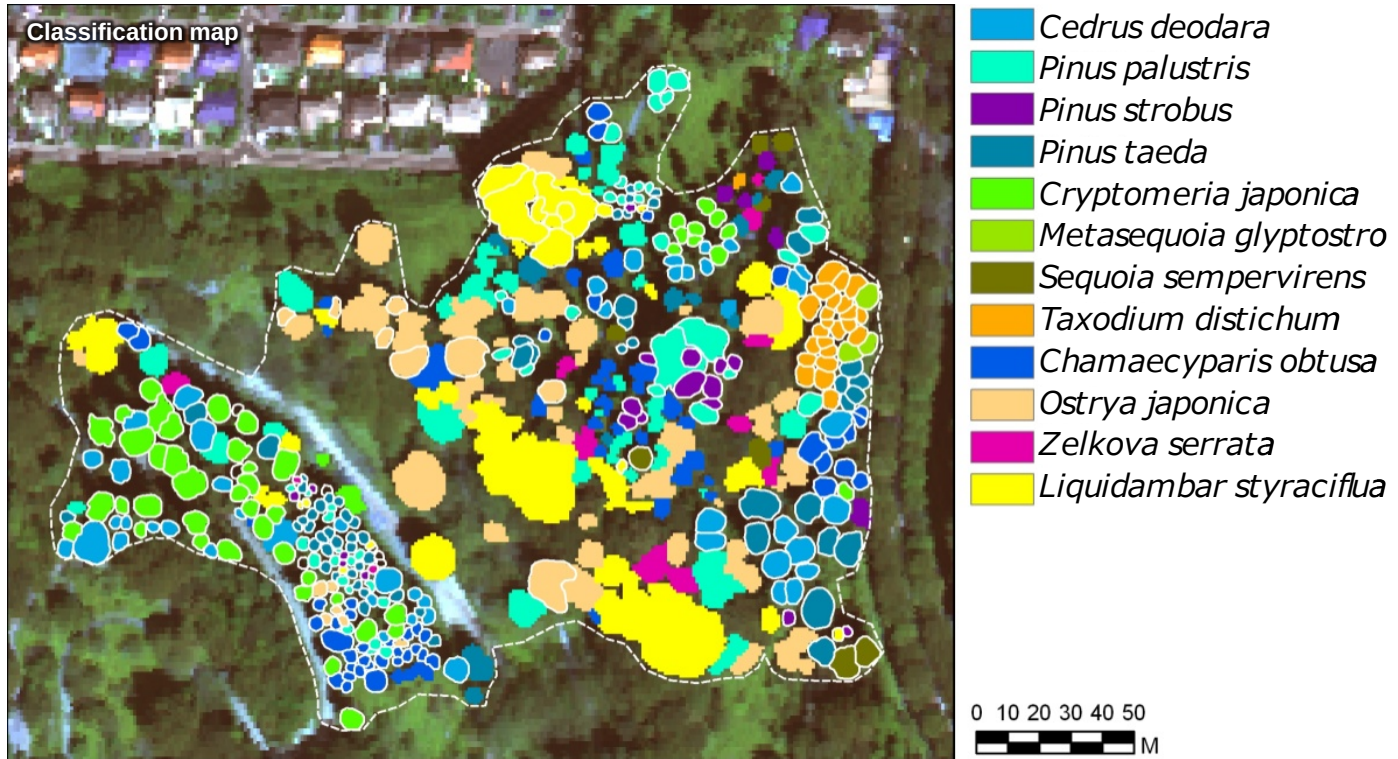
Identification for more than
8 rocks & minerals!



既知の鉱物に“ユニークな吸収ピーク位置”と“スペクトル波形の相関”を総合的に評価して、鉱物の種類と特定する

3. 3. 4 森林分野

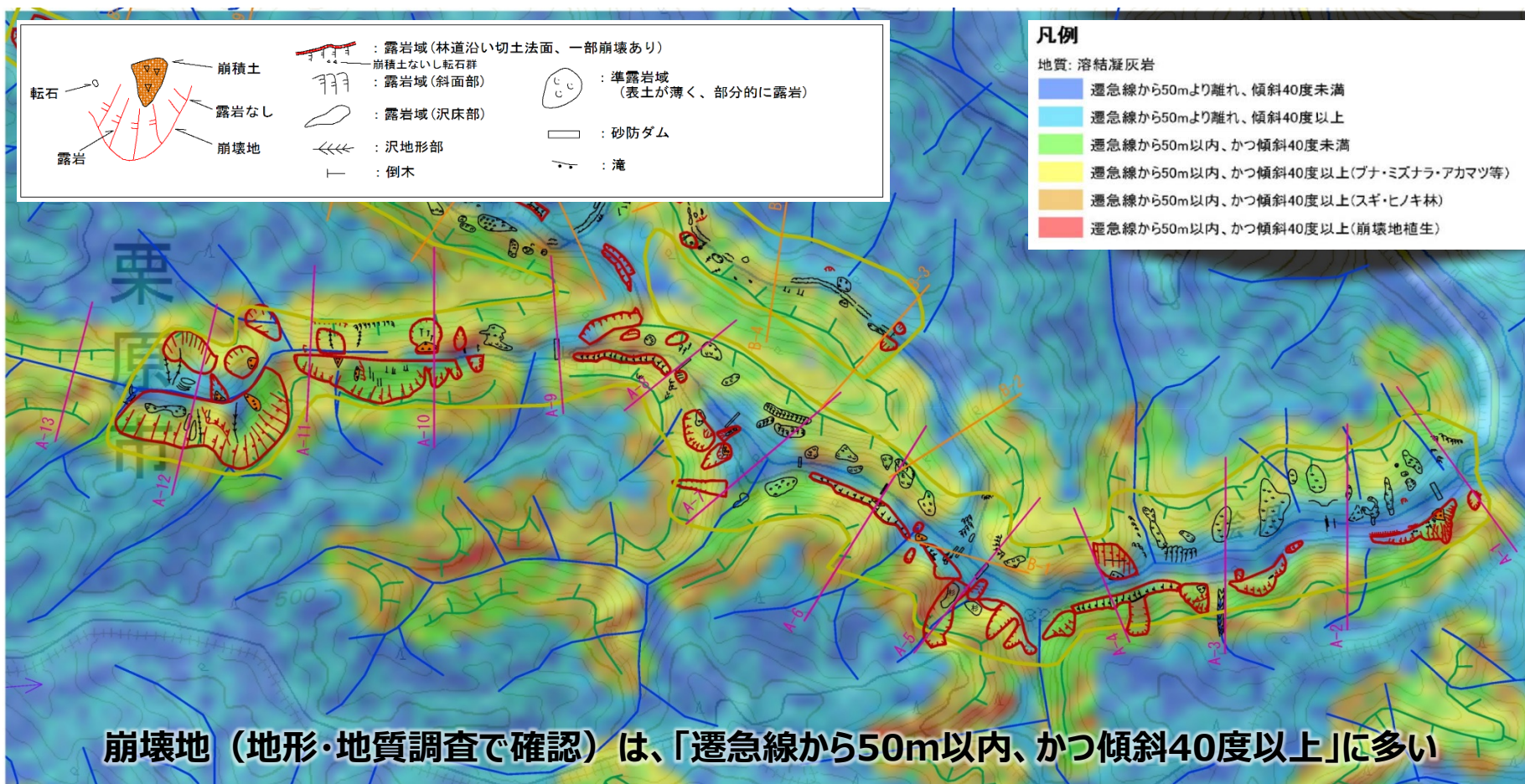
様々な樹種の分類図を作成した事例



既知の樹種のスペクトル波形と、各ピクセルのスペクトル波形の類似度を調べて、樹種を分類する

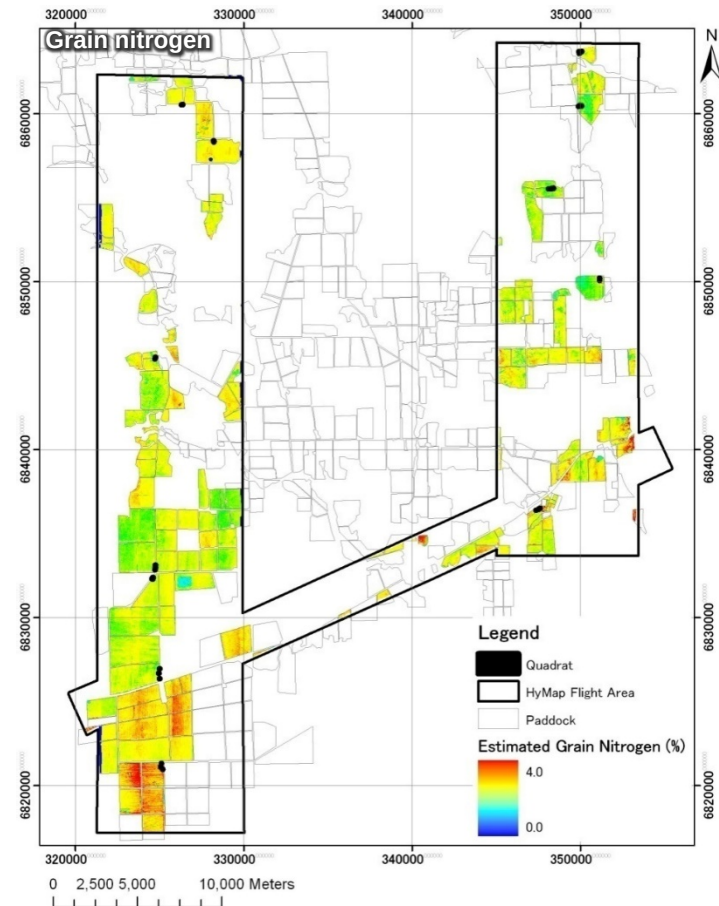
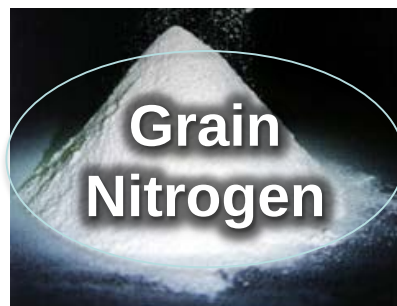
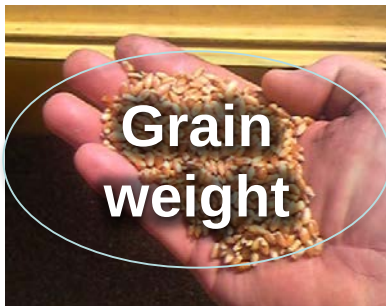
3. 3. 5 防災分野

表層崩壊危険度マップの作成事例



3. 3. 6 農業分野

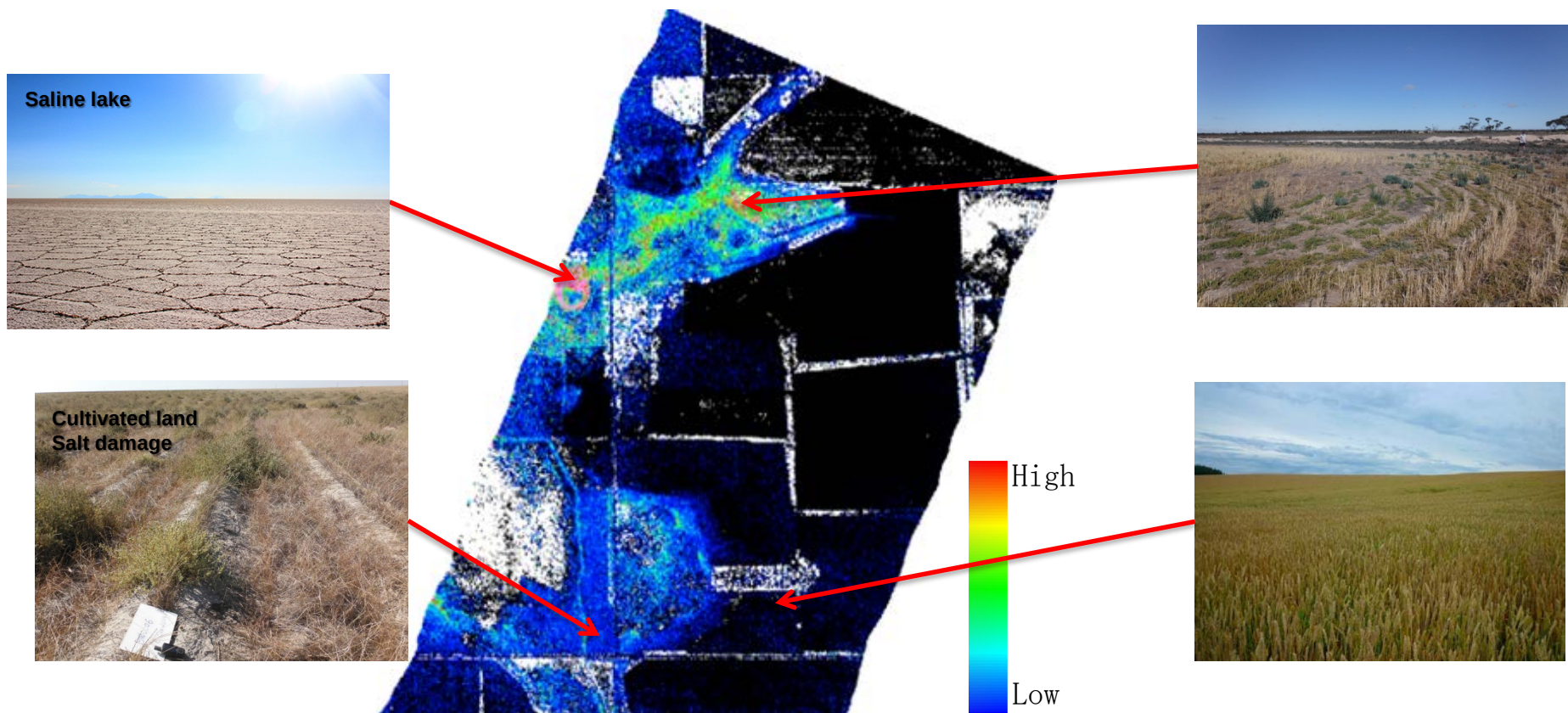
小麦の作付分類、および収量と品質の推定結果の事例



現地で実測した小麦の収量や品質を、ハイパースペクトルデータによる多変量解析で推定する

3. 3. 7 環境分野

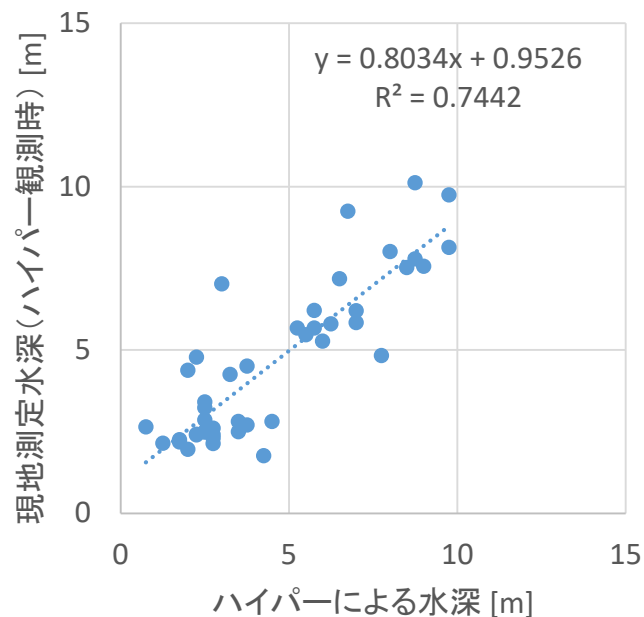
土壌塩害推定マップの作成事例



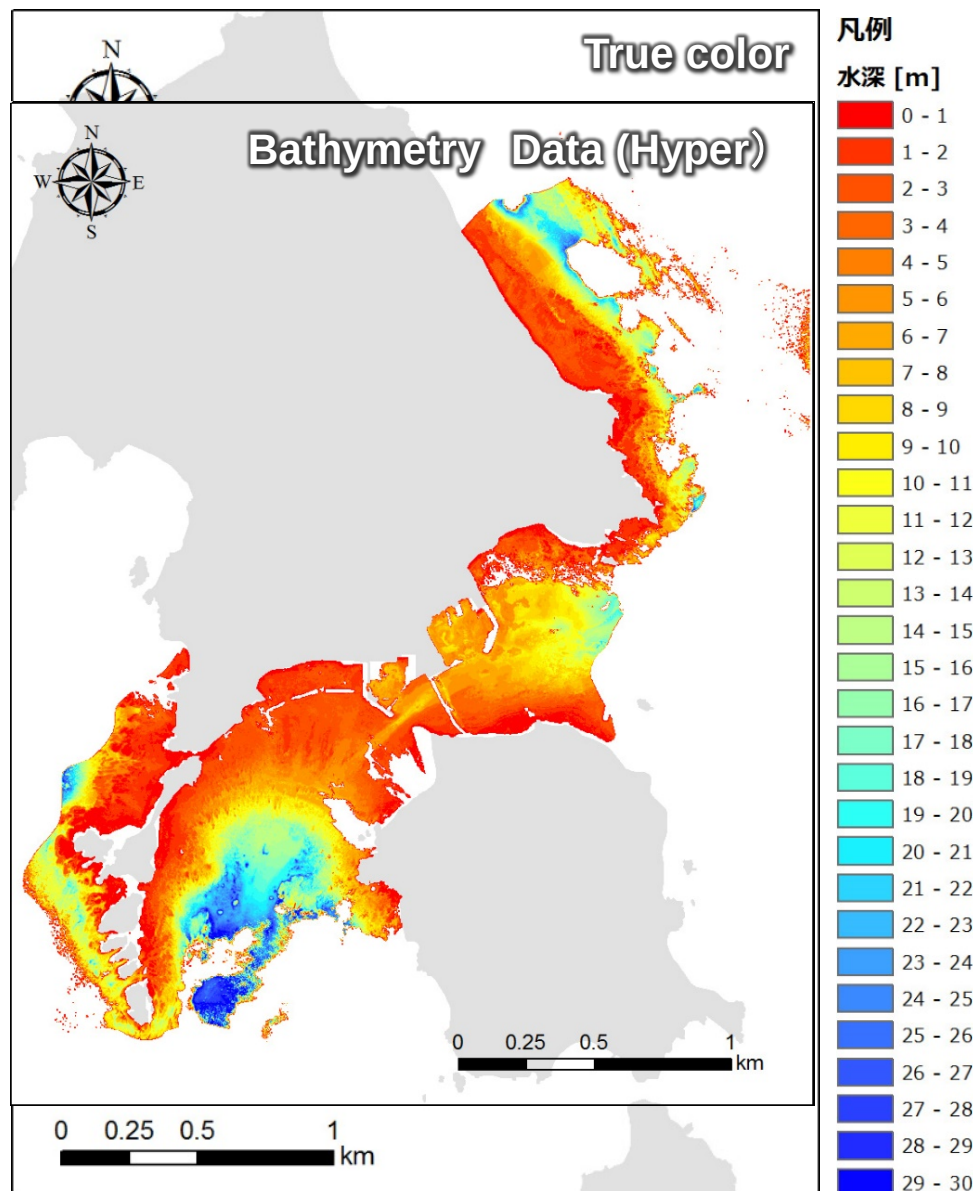
反射率の差分値と塩分濃度の相関を計算し、最も相関の高かった波長の組み合わせを使って塩分濃度を推定する

3. 3. 8 海洋分野

沿岸海域の水深分布の作成事例



反射率の実測値と放射伝達理論に基づくシミュレーション値をスペクトルマッチングして水深を推定する



3. 3. 9 研究開発内容にかかる論文および学会発表

論文および学会等における発表件数

平成29年度:10件(目標8件)、平成28年度:9件(目標8件)、平成27年度:14件(目標14件)

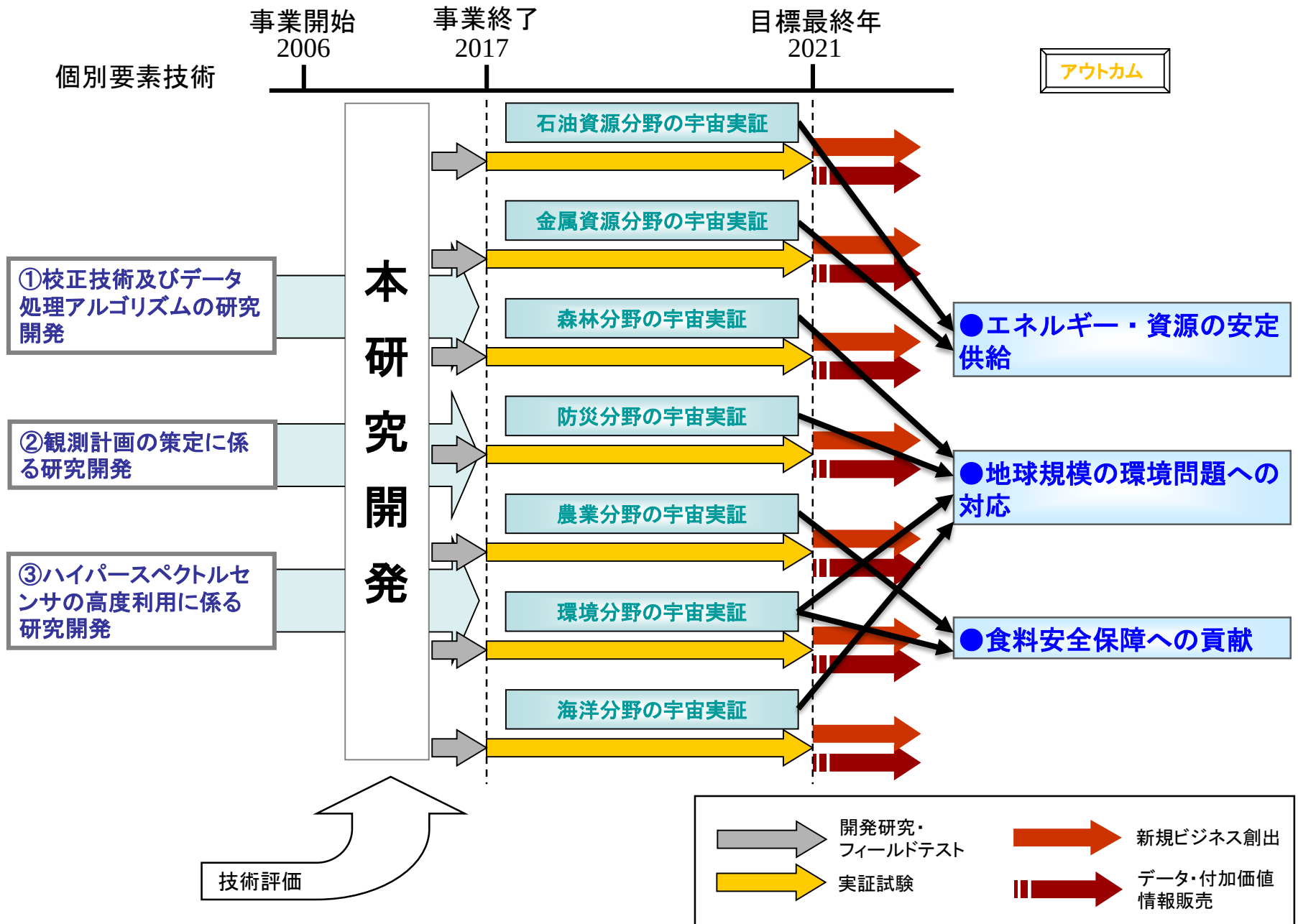
1	H27.5	KIT空間情報プロジェクト平成27年度第1回空間情報セミナー「農業・環境分野におけるリモートセンシングの活用事例」
2	H27.5	(社)日本写真測量学会 平成27年度年次学術講演会「航空機ハイパースペクトルデータを用いた被度推定モデルにおける水中消散指数比の信頼性評価」
3	H27.5	IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 8, NO. 5, pp. 2177-2187「Hyperspectral Tree Species Classification of Japanese Complex Mixed Forest With the Aid of Lidar Data」
4	H27.6	WHISPERS2015「Bottom-type Classification in coral reef using hyperspectral bottom index imagery」
5	H27.6	WHISPERS2015「DETECTION OF LARGE POINT SOURCES OF CAR- BON DIOXIDE BY A SATELLITE HYPERSPECTRAL CAMERA」
6	H27.6	WHISPERS2015「DISCRIMINATION OF PEAT SWAMP FOREST TYPES WITH HYPERSPECTRAL DATA」
7	H27.6	WHISPERS2015「CONSTRUCTION OF HIGH SPECTRAL RESOLUTION REFLECTANCE DATABASE」
8	H27.7	IGARSS2015「Mapping of soil salinity using an airborne hyperspectral sensor in western australia」
9	H27.7	IGARSS2015「Detector anomaly detection and stripe correction of hyperspectral data」
10	H27.7	IGARSS2015「Assessment of HISUI radiometric performance using vicarious calibration and cross-calibration」
11	H27.11	日本リモートセンシング学会 第57回(平成27年度秋季)「UAV搭載ハイパースペクトルセンサによる農地観測」
12	H27.11	日本リモートセンシング学会 第57回(平成27年度秋季)「HISUIプロジェクトの概要」
13	H28.1	日本リモートセンシング学会誌「ハイパースペクトルデータを用いたサンゴ礁底質被度推定手法の提案」
14	H28.1	International Workshop on Vegetation Lidar and Application from Space「Hyperspectral Imager Suite (HISUI) Synergy between Vegetation Lidar and Imaging Spectrometer Onboard ISS」
1	H28.5	日本惑星科学会2016年春季大会「国際宇宙ステーションからのハイパースペクトル撮像」
2	H28.5	日本写真測量学会 平成28年度年次学術講演会「牧草生育状況におけるハイパースペクトルデータの有効波長帯の検討」
3	H28.6	47th ASTER Science Team Meeting「Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」
4	H28.6	47th ASTER Science Team Meeting「ISS HISUI radiometric calibration/validation plan using in-situ automated instruments」
5	H28.7	ISPRS2016「BATHYMETRY MAPPING USING HYPERSPECTRAL DATA: A CASE STUDY OF YAMADA BAY, NORTHEAST JAPAN」
6	H28.7	IGARSS2016「CURRENT STATUS OF HYPERSPECTRAL IMAGER SUITE (HISUI)」
7	H28.7	IGARSS2016「AN OVERVIEW OF ISS HISUI HYPERSPECTRAL IMAGER RADIOMETRIC CALIBRATION」
8	H28.9	SPIE Remote Sensing 2016「CASE STUDIES FOR OBSERVATION PLANNING ALGORITHM OF A JAPANESE SPACEBORNE SENSOR: HYPERSPECTRAL IMAGER SUITE (HISUI)」
9	H28.11	日本リモートセンシング学会 第59回(平成28年度秋季)「HISUIプロジェクトの概要」
1	H29.5	ISRSE-37「Current status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI) onboard International Space Station (ISS)」
2	H29.5	ISRS2017「Estimation of water depths from hyperspectral imagery in Yamada Bay, Northern Japan」
3	H29.6	第31回ISTS国際宇宙展示会
4	H29.6	48th ASTER Science Team Meeting「Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」
5	H29.7	IGARSS2017「CURRENT STATUS OF HYPERSPECTRAL IMAGER SUITE (HISUI)」
6	H29.9	CeRES共同利用研究会「国際宇宙ステーション搭載ハイパースペクトルセンサHISUI プロジェクト」
7	H29.9	SPIE Remote Sensing 2016「Observation planning algorithm of a Japanese space-borne sensor: Hyperspectral Imager Suite (HISUI) onboard International Space Station (ISS) as platform」
8	H29.10	HyspIRI Science & Application Workshop「CASE STUDIES FOR OBSERVATION PLANNING ALGORITHM OF A JAPANESE SPACEBORNE SENSOR: HYPERSPECTRAL IMAGER SUITE (HISUI)」
9	H29.11	日本リモートセンシング学会 第59回(平成28年度秋季)「HISUIプロジェクトの概要」
10	H30.3	電子情報通信学会総合大会「ハイパースペクトルデータの農業利用に関する研究～事例紹介～」

4. 当省(国)が実施することの必要性

本事業は以下の①～⑤の全てを満たすため、当省(国)において、当該事業を実施することが必要である。

- ① 多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合
- ② 環境問題への先進的対応等、民間企業では市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合
- ③ 標準の策定、データベース整備等知的基盤の形成に資する研究開発の場合
- ④ 国の関与により異分野連携、産学官連携等が進展し、研究開発活動に新たな付加価値が見込まれる場合
- ⑤ その他、科学技術的価値となる卓越性、先導性を有しているなど、国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



5. 1 想定ユーザ

プロバイダ
プラットフォーム等

データ解析・付加価値処理企業
資源探鉱会社・航測会社・コンサルタント会社等

利用者
国内外の政府機関/民間企業・国際機関等

データプロダクト

付加価値情報・サービス

購入・利用

ハイパー
スペクトル
データ
プロダクト

185バンド画
像データ

地質・鉱物

地質分布図・鉱物分布図・石油油徴抽出図
地球科学総合研究所・JX金属探開・三菱マテリアルテクノ・ジオテクノス・住鉱資源開発・JOGMEC

森林・植生

樹種・森林健全状況・病虫害等被害・湿地植生・・・等の分布図
アジア航測・三菱総合研究所・NEC・地球科学総合研究所

農作物

牧草収量品質・小麦収量品質・水稻収量品質生育状況・茶葉適摘時期・違法栽培農作物・病虫害等被害・・・等の分布図
国際航業・アジア航測・パスコ・三菱総合研究所

土壌

土壌塩分濃度分布図
インフォサーブ

水域

沿岸海水深分布図・サンゴ生育状況分布図・水質分布図
アジア航測

石油資源分野

石油資源関連省庁・JOGMEC・JAPEX・INPEX・MOECO・JX

金属資源分野

金属資源関連省庁・JOGMEC・三菱マテリアル・住友金属鉱山・三井金属鉱業・日鉄鉱業・DOWA・JX

森林分野

森林関係省庁・自治体

防災分野

防災関連省庁・自治体

農業分野

農業食料関連省庁・国際機関・NGO・大規模農家・農業関連団体

環境分野

国際連合・気候変動関連省庁・NGO・CO2排出権取引関連企業・生物多様性関連機関・企業の社会貢献活動

海洋分野

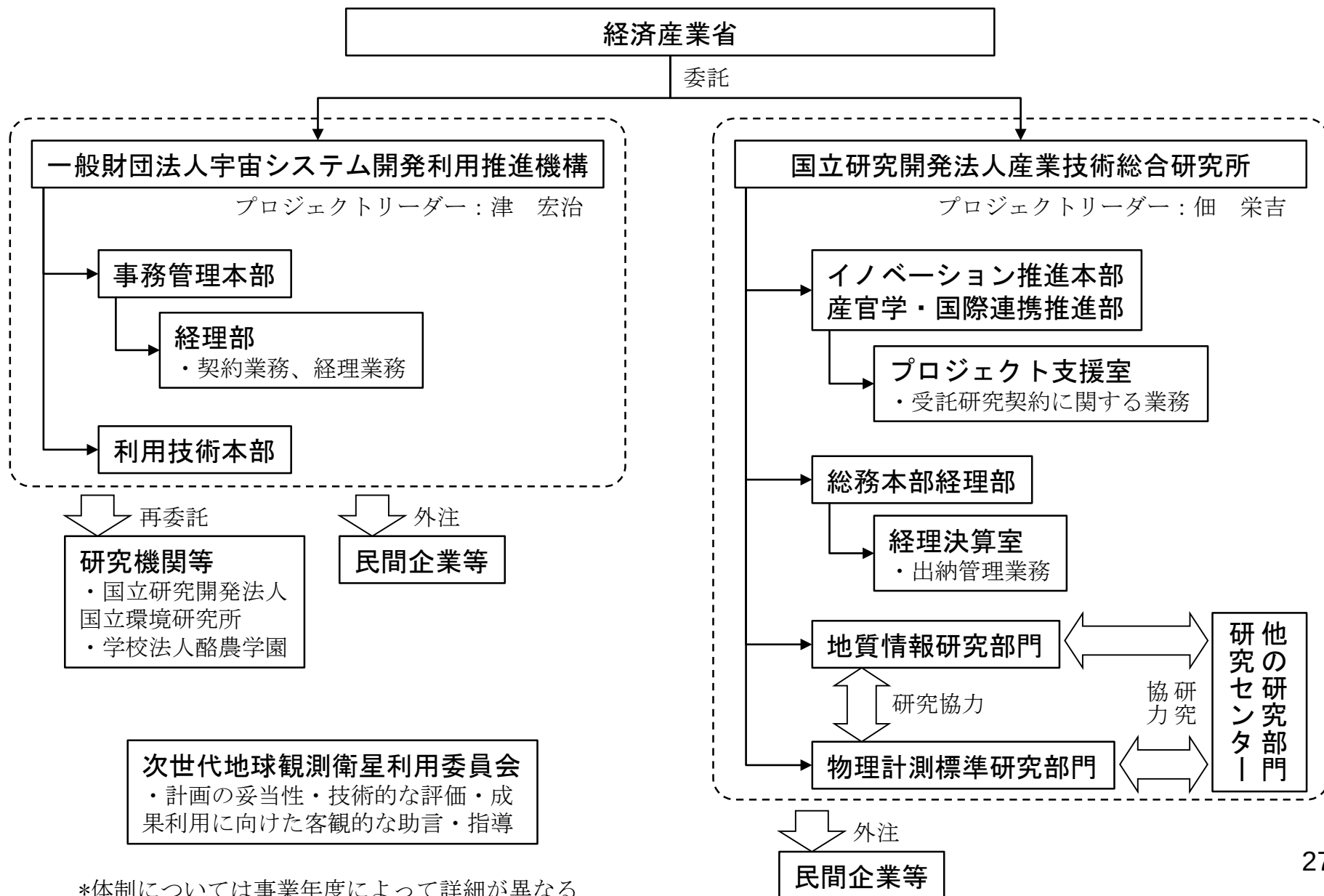
海上保安庁・防衛省・漁業関連団体

警察関連省庁・警察関連国際機関

その他

その他

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等



*体制については事業年度によって詳細が異なる

7. 費用対効果

利用分野	データ利用による節約効果
1. USDA Risk Management Agency	over \$100 million
2. U.S. Government Mapping	over \$100 million
3. Monitoring Consumptive Agricultural Water Use	\$20 - \$80 million
4. Monitoring Global Security	\$70 million
5. Landsat Support for Fire Management	\$28 - \$30 million
6. Forest Fragmentation Detection	over \$5 million
7. Forest Change Detection	over \$5 million
8. World Agriculture Supply and Demand Estimates	over \$3 - \$5 million
9. Vineyard Management and Water Conservation	\$3-5 million/year
10. Flood Mitigation Mapping	over \$4.5 million
11. National Agricultural Commodities Mapping	over \$4 million
12. Waterfowl Habitat Mapping and Monitoring	\$1.9 million/year
13. Coastal Change Analysis Program	\$1.5 million
14. Forest Health Monitoring	\$1.25 million
15. NGA Global Shoreline	over \$90 million (one time)
16. Wildfire Risk Assessment	\$25-50 million (one time)

引用資料: National Geospatial Advisory Committee - Landsat Advisory Group1

The Value Proposition for Landsat Applications - 2014 Update

<https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/december-2014/ngac-landsat-economic-value-paper-2014-update.pdf>

アメリカの地球観測衛星Landsatの経済効果分析。利用分野別の経費の節約効果

8. 中間評価の結果

- 人工衛星の高分解能化や高頻度観測、その高精度かつ高速な運用・処理・解析に資する技術の開発についての検討が必要
 - 今後のリモートセンシング衛星に関わる研究開発に当たっては、これまでに培われた技術を継承・活用し、その技術を発展させるものとなるよう、検討しながら取り組んでいく。
- 輸出が期待される国々のニーズに即した技術の開発についても検討することが重要
 - 輸出が期待される国々・ユーザのニーズに即した研究開発について検討していく。