

H 次世代地球観測衛星利用基盤技術 の研究開発

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
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

H-1 事業の目的・政策的位置付け

H-1-1 事業目的

我が国の石油及び天然ガスを合わせた自主開発比率は約 20%に過ぎない。エネルギー基本計画(平成 22 年 6 月)では、これを 2030 年までに 40%以上まで引き上げることを目標としており、国内外において石油資源開発を効率的に進める必要がある。

また、平成 22 年度においては、我が国の資源確保に大きな影響を与える出来事が起こっている。メキシコ湾の大規模な海底油田事故は海底油田開発のリスクの大きさを再認識させ、中東アフリカ地域における民主化運動は今でもなお産油国及びその周辺が政情的に不安定であることを示している。さらに、東日本大震災による福島第一原発の事故により、準国産エネルギーとも言われた原発の今後の見通しが不透明である。エネルギーセキュリティの観点からは、今後も我が国の自主開発比率を高め、万が一の際に対処できる備えが必要である。

欧米のメジャーと呼ばれる大手石油会社は、衛星画像データを用いて地質構造解析を行い、鉱区選定の大きな判断材料としている。メジャーが、年間に鉱区に投資する額が 1 社当たり 150 億ドルから 200 億ドル程度なのに比べ、日本は、石油開発の中核的企業でさえ、年間数百億円程度である。原油の高騰が続いている中、メジャーは鉱区取得の取組を促進しており、従来の衛星画像データにより判別できる有望地域は少なくなりつつある。よって、日本資本の石油開発会社がメジャーに先んじて有望な鉱区を獲得するためには地質について、より詳細に解析することが可能な高性能センサの開発とセンサデータの利用技術・処理技術の開発が不可欠である。

全世界に先駆けて HISUI のセンサデータの利用技術・処理技術を確立することにより、石油埋蔵の有望地域を早期に発見し、自主開発比率を高め、我が国への石油資源の安定供給に資することが本事業の目的の一つである。

金属資源に関しても偏在性、有限性等から供給者数が限られ、非鉄メジャーによる寡占化・独占化が進みやすい特性を有しており、経済安全保障の観点及び供給構造の安定性の確保を図るため、探鉱能力を左右する探査技術の高度化・効率化を進める必要がある。

上記背景を踏まえ、本事業では宇宙から地球表面を観測する高性能センサである HISUI(Hyperspectral Imager Suite: 高性能のハイパースペクトルセンサとマルチスペクトルセンサの両センサを合わせたセンサの名称。)のセンサデータ利用技術・処理技術を開発している。HISUI の内のセンサの一つであるハイパースペクトルセンサは、世界各国で開発が実施されているところであるが、世界初の衛星搭載用実用ハイパースペクトルセンサの開発を実現した場合、そのセンサデータの利用技術・処理技術も全世界に先駆けて開発する必要がある。

また、HISUIによって得られるデータは、波長分解能が非常に高精度なものであるため資源探査分野に限らず他の利用分野でもその利用価値は高くなっている。例えば、農業分野では、食料の安定供給という観点から農作物の最適収穫時期を推定し

たり、森林分野では、植生を把握するという観点から樹種の分類をしたり、環境分野では、環境保全という観点から、天然資源物の保全状況を監視するという利用手法が考えられている。

本事業では、HISUIのセンサデータの利用技術・処理技術を確立することにより、農業分野、森林分野、環境分野においても、センサデータを有効に活用し、食糧供給の円滑化、国土保全・管理、地球規模の環境問題の解決等に資することを目的とする。

H－１－２ 政策的位置付け

次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発の政策的位置付けとしては、以下のものが挙げられる。

- ①「新成長戦略」(平成22年6月18日、閣議決定)
- ②「産業構造ビジョン2010」(平成22年6月3日、産業構造審議会産業競争力部会報告書)
- ③「宇宙基本計画」(平成21年6月2日、宇宙開発戦略本部決定)
- ④「宇宙分野における重点施策について」(平成22年5月25日、宇宙開発戦略本部決定)
- ⑤「科学技術基本政策策定の基本方針(案)」(平成22年6月16日、総合科学技術会議基本政策専門調査会)
- ⑥「エネルギー基本計画」(平成22年6月18日閣議決定)

これらの政策の中では、資源・エネルギー供給の円滑化、食糧供給の円滑化、国土保全・管理、地球規模の環境問題の解決等が目的として記載されている。また、エネルギー基本計画(平成22年6月)では、我が国の石油及び天然ガスを合わせた自主開発比率(約20%)を2030年までに40%以上まで引き上げることを目標としており、国内外において石油資源開発を効率的に進める必要がある。衛星を活用したリモートセンシング(遠隔探知)技術には、①産油国と調整を経ずに、開発の有望性に関する評価が可能、②一度に広範囲の地域の分析が可能、③立入りが困難な地域の分析が可能、等の利点がある。

上記各政策が有する課題を解決するために、HISUIのセンサデータの利用技術・処理技術の開発は非常に重要な位置付けとなっている。

また、技術戦略マップ2010(宇宙分野)においても「資源探査・開発や農林水産業などの行政での利用、国土管理や災害監視等の公共的利用など、国民・社会への貢献を主眼とする地球観測衛星分野に対しては、従来の技術開発中心から利用ニーズ主導により、衛星開発を継続的に進める必要があり、現在、陸域観測技術衛星「だいち(ALOS)」の後継機や次世代の地球観測センサであるハイパースペクトルセンサの開発が行われている。」と明示されており、ハ

ハイパースペクトルセンサのデータの利用技術・処理技術の開発は非常に重要である。

H-1-3 国の関与の必要性

ハイパースペクトルセンサから得られるデータの処理技術は、国際的に見て極めて高度な技術が要求されるために未だ研究段階であり、商業段階にはないものの、そのデータへの要望は世界的に拡大している。具体的には、従来のリモートセンシング市場における重要な購買層である資源探査会社、インテリジェンス機関、航空測量会社、地図作成会社等による活用だけでなく、環境観測・災害監視・森林観測・食糧分野等の産業利用が大幅に拡大することが期待されている。その一方で、衛星に搭載するセンサ及びそのデータの利用技術・処理技術の開発には大規模な初期投資が必要なため、民間による自主的な取組を期待することは難しい。

鉱物資源分野においては、資源価格高騰等により、資源国は豊富な資金を有し、資金面のみからのパートナーは必ずしも求めていない状況の下、我が国リモートセンシング技術は、資源国から高く評価されるとともに、一部の資源メジャーとの関係構築に発展している。鉱物資源の供給に関しては制約やリスクが大きく、市場メカニズムのみによって安定供給確保を図ることが困難である中で、国が技術開発等に積極的に支援することが必要不可欠である。

H-2 研究開発目標

H-2-1 研究開発目標

産業界の活動に不可欠なエネルギー・資源の安定供給等に対処するため、詳細な地表構成物の物性の把握が可能となり、探鉱活動をより効率的に行うための判断に資するデータを取得する最新技術の光学センサであるハイパースペクトルセンサを利活用する要望が急速に高まってきている。現在、経済産業省が開発中の HISUI (Hyperspectral Imager Suite：高性能のハイパースペクトルセンサとマルチスペクトルセンサの両センサを合わせたセンサの名称。) は、我が国のエネルギー・資源のみならず食糧の安定供給等に資する情報を得ることができるものと期待されている。しかしこれまで実用的な衛星搭載型ハイパースペクトルセンサがなかったため、十分と言えるだけの利用実績がまだ積み上げられていないのが実情である。そこで、データ利用者のニーズに**応えるべく**、これまでの利用者・研究者の意見を反映したデータ利用基盤技術を開発するとともに、高精度・高品質でユーザにとって実用可能なプロダクトの提供を可能とする地上システムに必要な技術を開発し、運用後の**速やかな**ハイパースペクトルデータ等の利用拡大を通じて「宇宙利用の拡大」に貢献することが本研究開発の目標である。

H-2-2 全体の目標設定

エネルギー・資源を始め、農業、環境、防災等の分野で、HISUI データの利用促進を図るためには、ハイパースペクトルセンサで取得されるデータの実利用化のための解析技術を開発し、運用開始までにその検証・評価を行いつつ運用後は実証することが必要である。また、HISUI データを高品質・高精度で提供するために不可欠なセンサ校正技術、ユーザにとって実用可能なプロダクトとするための各種補正を施すデータ処理技術、HISUI を最大限効率的に運用するために運用計画の最適化が可能な地上システムに必要な技術等を開発することが必要である。さらに、金属資源に関しては昨今各種金属・レアメタル（レアアース等）の供給問題が生じており、金属資源の安定供給に資するために金属資源分野におけるハイパースペクトルセンサデータの利用技術及び総合解析技術を開発することが必要である。

これらを踏まえて、全体目標を表 H-2-2-1 のように設定した。

表 H-2-2-1 全体の目標

目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
1. 実利用化のための解析技術		
HISUI データを用いて、実利用化のための解析技術を確立する。	地上計測および航空機ハイパースペクトルデータまたは HISUI シミュレーションデータを用いてハイパースペクトルデータの実利用化のための解析手法を開発する。	従来の衛星データでは得られなかった情報抽出が可能なハイパースペクトルデータを用いた、エネルギー・資源等の分野でユーザニーズに基づく実利用化のための解析技術を開発し、HISUI 運用開始までに検証・評価を行うことが必要である。
2. センサ校正・データ処理技術		
高品質・高精度でユーザの実用に資する HISUI データのプロダクトを提供可能とするために必要となるセンサ校正・データ処理・運用計画最適化等、地上システムの技術を開発する。	地上システムの概念設計を行うとともに、センサ校正・データ処理、短期観測計画作成アルゴリズム等の研究開発を進め、運用時に必要な各種計画書作成、地上システム構築等に必要仕様・設計に反映させる。また、長期運用計画策定システムを開発する。	HISUI は新しい技術のセンサであるため、高品質・高精度かつユーザが実用可能なプロダクトを継続的に提供するためにはセンサ校正、データ処理の技術開発が必要である。また、ユーザからの観測要求を満たすために最適運用計画策定システムが必要である。
3. 金属資源探査技術の研究開発		
HISUI データを金属資源探査技術に利用するために、鉱物分類を高精度化し、金属鉱床タイプに応じた解析探査技術を開発すること。	HISUI データを金属資源探査技術に利用するために、鉱物分類を高精度化し、金属鉱床タイプに応じた解析探査技術を開発すること。	ハイパースペクトルセンサにより得られるデータから、金属資源探査に有用な情報を効果的・効率的に抽出するためのハイパースペクトルデータ解析技術を開発し、金属資源探査分野における我が国の競争力確保を図ることが必要である。

H-2-3 個別要素技術の目標設定

前項の全体目標を達成するため、以下のような項目について、表 H-2-3-1 に示す個別要素技術の目標を設定した。

表 H-2-3-1 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
1. 実利用化のための解析技術			
1) 実利用化のための解析技術に共通する基盤技術	個別分野の開発手法を HISUI 運用開始前に実証することと、HISUI で観測されるデータから物質を特定するために利用するスペクトルデータベースを構築する。	HISUI シミュレータを開発すること、およびスペクトルデータベースに格納する細かな波長分解能の鉱物スペクトルライブラリを作成する。	個別分野の開発手法を HISUI 運用開始前に実証するために、HISUI シミュレーションデータを作成するシミュレータの開発が必要である。また、運用後の HISUI ハイパースペクトルデータから物質を特定するためには、鉱物等のスペクトルライブラリを整備しておく必要がある。
2) 個別分野における利用技術	エネルギー・資源分野を始め、農業、環境、防災等の幅広い分野でユーザが活用できる解析手法を確立する。	エネルギー資源分野では、海域でのオイルスリック判定や植生地域でも利用可能な探鉱手法の開発のほか、農業、環境、防災等の分野も含め手法を5事例以上開発する。	エネルギー・資源、農業、環境、防災等の分野でユーザによる具体的な実利用のニーズに応える手法開発が必要である。具体的には、資源分野のニーズとして、既存の陸域露岩地域の探鉱から、植生地域での探鉱やオイルスリック抽出への利用可能範囲の拡大、農業分野のニーズとして、国内農作物から海外農作物（小麦等）のモニタリングなど対象域の拡大、環境分野のニーズとして、農地塩害化の早期対応のために低塩分濃度土壌分布を把握や熱帯泥

			炭湿地林での温室効果ガスの排出量や炭素蓄積量を把握、防災分野のニーズとして、植生を含んだ土砂災害の脆弱性の評価。
2. センサ校正・データ処理技術			
1) 校正・データ処理技術	HISUI の仕様 に適した校正 技術を開発 し、その成果 を運用開始前 後に適用す る。 また、ユーザ にとって実用 可能なプロダ クト作成に必 要なデータ処 理技術を開発 する。	HISUI の仕様 に対し既存校 正技術の適用 評価、必要に 応じた改良技 術を開発し、 校正検証計 画および校正 システムの開 発に着手す る。 また、幾何補 正・波長補正 ・放射量補正 ・さらに、大 気補正に必要 な画像補正処 理手法を開発 し、アルゴリ ズム基準書の 作成に着手す る。	HISUI の各種 プロダクトの 品質を保証・ 高精度化させ るためには、 センサの校正 技術を確立す る必要があり 、そのため、 HISUI 打上前 および打上後 校正の信頼性 向上のための 校正技術を開 発する必要が ある。 また、HISUI のデータが有 効に活用され るためには、 放射量・幾何 的歪みの除去 や大気の影響 の除去を行い 、ユーザにと って扱いやす いデータ（プ ロダクト）に 処理すること が必要である。
2) 地上システム（運用計画システムを含む）	地上システム （全体システ ム）の概念設 計を実施す る。 長期運用計画 策定システム を開発し、長 期運用計画を 策定する。 短期観測計画 の最適可能な	地上システム （全体システ ム）の概念設 計を行う。 長期運用計画 シミュレーシ ョンツールを 開発する。 短期観測計画 の作成アルゴ リズムを開発	最適化された 観測計画に基 づき取得され たデータを処 理し、高品質 なプロダクト としてタイム リーにユーザ へ提供するた め、地上シス テム（全体シ ステム）に求 められる機能 の検討・整理 を行う必要が ある。 また、HISUI はデータ量が 膨大であるた め、運用はデ ータダウンリ ンク量に制約 される一方、 ハイパースペ クトルセンサ の観測幅は

	アルゴリズムを開発し、最適なパラメータを設定する。	する。	30kmであるため、その戦略的価値を最大限に生かすためには限られたリソースの中で、効率的にセンサを運用する必要がある。
3. 金属資源探査技術の研究開発			
1) 次世代衛星データ解析技術開発	鉱床に伴う岩石・鉱物の反射スペクトルデータを集積し、鉱物分類を高精度化するための解析技術を開発すること。	鉱床に伴う岩石・鉱物の反射スペクトルデータを集積し、鉱物分類を高精度化するための解析技術を開発すること。	ハイパースペクトルセンサにより得られるデータから、資源探査に有用な情報を効果的・効率的に抽出するためのハイパースペクトルデータ解析技術の開発を行い、金属資源探査分野における我が国の競争力確保を図る。
2) 金属鉱床タイプに応じた総合解析探査技術の開発	鉱床タイプに応じた衛星データ等による解析技術を開発すること。また、ハイパースペクトルデータ解析評価用システムを開発すること。	鉱床タイプに応じた衛星データ等による解析技術を開発すること。また、ハイパースペクトルデータ解析評価用システムを開発すること。	金属鉱床では、ベースメタルやレアメタルを産する鉱床タイプごとに固有の岩石・鉱物の産状を示すため、鉱床タイプに応じた解析技術を明らかにすることが必要である。また、ハイパースペクトルデータの高度利用のため、データ解析をサポートする解析評価用システムが必要となる。

H-3 成果、目標の達成度

H-3-1 成果

H-3-1-1 全体成果

エネルギー・資源、農業、環境、防災の各分野における実利用化のための解析技術の手法開発と、HISUI シミュレーションデータを使った実証により手法の有効性の確認・検討を行うとともに、スペクトルライブラリの整備を開始した。また、ハイパースペクトルデータ利用者に高品質・高精度で実用可能なプロダクトを継続して提供できるようにするため、センサ校正・データ処理・運用計画策定等からなる地上システムに必要な技術の開発を行った。いずれも研究開発スケジュールに沿った進捗であり、各中間目標を達成した。

H-3-1-2 個別要素技術成果

実利用化のための解析技術およびセンサ校正・データ処理技術について、平成 23～26 年度に実施した研究開発テーマの成果を要素技術ごとに示す。

(1) 実利用化のための解析技術

【背景】

個別分野における利用技術開発のためには、HISUI 運用前に開発した手法を実証する必要がある。そこで、航空機搭載型ハイパースペクトルデータから HISUI シミュレーションデータを作成する HSUI シミュレータを開発した。

また、地球観測のために得られた HISUI ハイパースペクトルデータから物質を識別する際には、様々な物質毎のスペクトルデータを参照するため、その参照されるスペクトルデータは HISUI データの波長分解能より細かく精度の良いデータであることが望ましい。そこで、ハイパースペクトルデータを用いて鉱物識別を行うと思われる鉱物種を検討・整理し、選定された鉱物のスペクトルライブラリを整備した。

以上をまとめると、平成 23～26 年度では実利用化のための解析技術に共通する基盤技術として、

- ・ HISUI シミュレータの開発
- ・ 鉱物スペクトルライブラリの整備

を行った。

【成果】

HISUI シミュレータの開発では、以下の成果を得た。

- HISUI ハイパースペクトルセンサの空間特性、波長特性、輝度特性を再現することが可能な HISUI シミュレータを開発した（図 H-3-1-2-1）。

- 大気補正アルゴリズムである MODTRAN を HISUI シミュレータに組み込むことで、様々な大気条件や入射光量の違いを再現したデータを作成した。
- 既存の航空機ハイパースペクトルセンサの反射率データから HISUI シミュレーションデータを作成し、個別分野における利用技術の研究開発の実証試験に使用した。

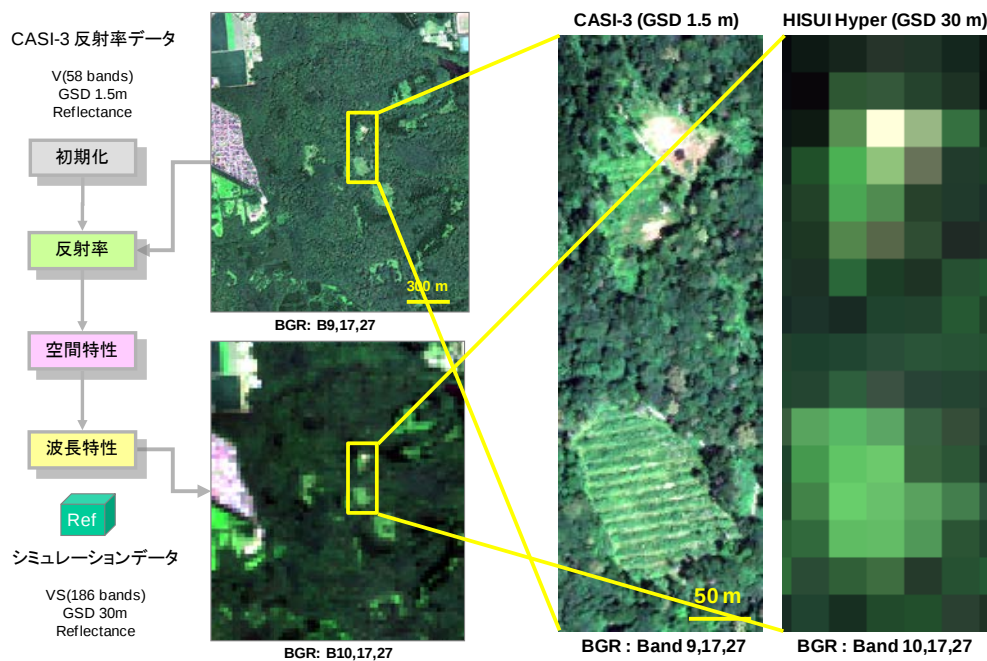


図 H-3-1-2-1 航空機搭載のハイパースペクトルデータから HISUI シミュレータにより作成した HISUI シミュレーションデータの例

また、鉱物スペクトルライブラリの整備では、以下の成果を得た。

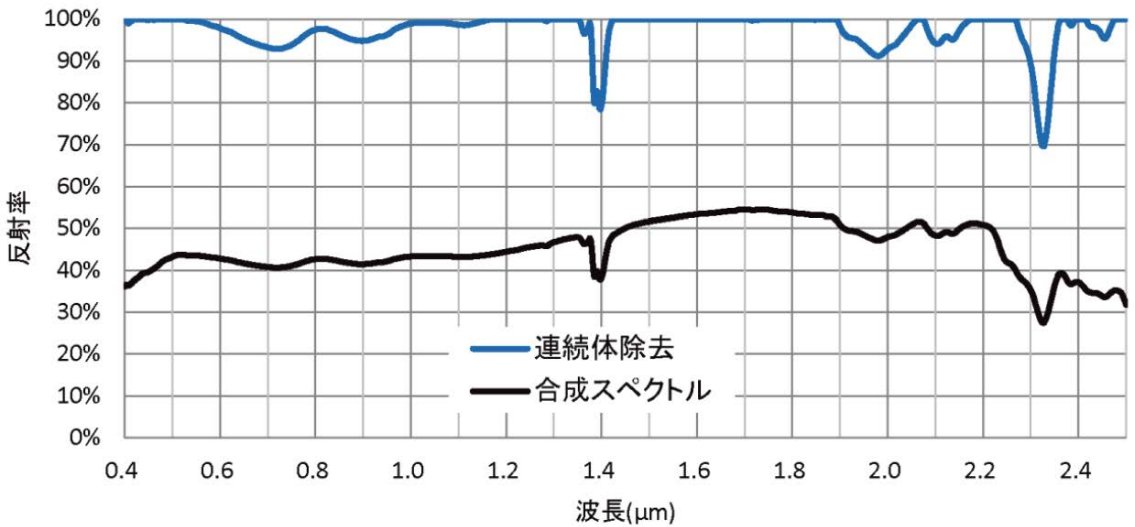
- ハイパースペクトルデータのライブラリとして整備すべき 125 鉱物、168 標本（1 鉱物が複数の標本からなる場合があるため）のスペクトルデータを整備した。
- 測定に用いたセンサの波長分解能は、 $0.4\mu\text{m}$ ～ $1.2\mu\text{m}$ の波長帯で 3nm、 $1.2\sim 2.5\mu\text{m}$ では 1～5nm であり、HISUI の波長分解能（それぞれ、10nm と 12.5nm）より細かなスペクトルデータを収集・整備した。
- スペクトルライブラリは、鉱物名、スペクトルデータ、X 線回折（XRD）チャート、蛍光 X 線分析装置（XRF）の分析値などの必要な情報を全て網羅したエクセルファイルとして作成し（表 H-3-1-2-1）、それぞれの情報はハイパーテキストのリンク先から確認できるようにした（図 H-3-1-2-2、図 H-3-1-2-3）。

表 H-3-1-2-1 エクセルファイルで作成したスペクトルライブラリ

鉱物名		標本番号	反射スペクトル (FS Pro, FT-NIR)			合成反射スペクトル および連続体除去			USGSスペクトル		XRD 分析結果	XRF等 分析結果	FT-NIR 生データ
和名	英名		塊状	粉碎	その他	塊状	粉碎	その他	生	連続体除去			
アンナイト	Annite	N14161	-	○	-	-	○	-	○	○	○	○	○
アノーサイト	Anorthite	N14178	-	○	-	-	○	-	○	○	○	-	○
直閃石	Anthophyllite	N14165	-	○	-	-	○	-	○	○	○	-	○
アンチゴライト	Antigorite	N14167	-	○	-	-	○	-	○	○	○	○	○
		N14192	-	○	-	-	○	-	○	○	○	-	○

鉱物名		アンチゴライト(Antigorite)	
組成式		$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	
結晶系		単斜晶系	
類		フィロ珪酸塩鉱物	
族または系列等		蛇紋石族	
測定標本	出所	株式会社ニチカ	
	標本番号	N14167	
	産地	京都府宮津市中ノ茶屋	
	写真		
	備考	写真:カラーチャートは長さ4cm。	
測定時の標本状態	Field Spec Pro	粉碎	
	FT-NIR	粉碎	
分析項目		XRD, XRF	
USGS標本番号		nmnh17958,nmnh96917	

図 H-3-1-2-2 標本番号のリンク先として表示される鉱物の基本情報(アンチゴライトの例)



(2) 図 H-3-1-2-3 反射スペクトルのリンク先として表示される鉱物のスペクトルデータ(アンチゴライトの例) 個別分野における利用技術

ハイパースペクトルデータに対して、エネルギー・資源、農業、環境、防災等の分野でユーザからのニーズが高かった以下の9事例について、解析手法の研究開発／打上前の事前実証を行った。

1. 海域の石油資源探査のための研究開発

海域の鉱区評価に有効とされるオイルスリックの情報をマイクロ波とは異なる視点で捉え、より確実性の高い石油滲出点を推定したいというユーザニーズがあった。

そこで、オイルスリック上の位置によるスペクトル特徴の違いから、石油滲出点の位置を推定可能な手法を開発した。

2. 熱水性鉱床探査のための高精度岩石・鉱物識別技術の研究開発

熱水性鉱床に付随する変質帯および鉱物種を衛星から直接識別したいというユーザニーズがあった。

そこで、岩石・鉱物の反射スペクトルの吸収位置と深さに注目した鉱物同定法（改良型 POSAM アルゴリズム）をもとに、熱水性鉱床探査のための高精度岩石・鉱物識別技術を開発した。

3. 酸化鉄型銅金鉱床に伴う変質帯抽出および探鉱のための研究開発

酸化鉄型銅金鉱床（酸化鉄型鉱物を主とし、硫化銅鉱物のほかコバルトやウラン、レアアースなどのレアメタルを伴う鉱床）の有望地抽出を植生が存在するような場所でも行いたいというユーザニーズがあった。

そこで、植生とミクスチャになったスペクトルから植生の影響を取り除いたスペクトルを再現する手法を開発し、酸化鉄型銅金鉱床の有望地を抽出する技術を開発した。

4. インドネシア共和国における水稻に関する研究開発

インドネシアにおいて、低コストかつ効率的に農地管理を行うため、水稻の生育段階と収量を推定したいというユーザニーズがあった。

これに対して、現地調査データが取得できる場合では、1時期に取得したハイパースペクトルデータのみから、生育段階（9段階）を約80%の精度で分類できることを示した。さらに、収量については現地の統計データと15%未満の差で予測できることを示した。

5. オーストラリアにおける小麦の生育モニタリングおよび収量・品質推定手法の研究開発

食糧安全保障の観点から、日本が多くの小麦を輸入しているオーストラリア

で小麦の収量、品質、作付状況、生育状況を推定したいというユーザニーズがあった。

そこで、ハイパースペクトルセンサによる1回の観測のみから小麦の収量、品質、生育状況、作付状況を推定する手法を開発した。

6. 不法栽培作物監視に関する研究開発

世界各国で重大な社会懸案事項となっている不法作物（ケシ）栽培地抽出のため、1時期の画像データから効率的にケシと他の作物を分類したいというユーザニーズがあった。

そこで、同じ地域に栽培されている作物の中からケシを抽出する手法を開発した。

7. 半乾燥域から乾燥域における土壌塩分濃度マッピング手法の研究開発

塩害の土地の再生計画や劣化を食い止めるため、塩害化の初期段階を検出したいというユーザニーズがあった。

そこで、様々な土壌タイプで従来のマルチスペクトルセンサよりも低い塩分濃度を推定できる手法を開発した。

8. 熱帯泥炭地での森林バイマス分布と火災跡地植生タイプ分類手法の開発

インドネシアの熱帯泥炭湿地林において、REDD+や JCM/BOCM の MRV 方法論策定に必要な情報を精度よく抽出したいというユーザニーズがあった。

そのため、熱帯泥炭湿地林の森林タイプ分類とバイオマス量の推定手法を開発し、その有用性を実証した。また、火災跡地の植生分類の手法を開発した。

9. 土砂災害（表層崩壊）の脆弱性評価のための研究開発

植生と関連付けた土砂災害の発生可能性や防災機能の評価を行いたいというユーザニーズがあった。

そこで、ハイパースペクトルデータで得られた植生情報を、従来の地形、地質情報をもとにした危険度評価マップに追加することで、“より危険な地域”を抽出できることを示すとともに、植生情報を基にして崩壊跡地候補地を抽出できることを示した。

上記9事例の中から5事例について、以下に詳細を示す。

（ア）海域の石油資源探査のための研究開発

- オイルスリック上で400nm～950nmの放射輝度が最大となる範囲を教師とし、Spectral Angle Mapper（SAM）法を適用したところ、石油滲出点からの距離と SAM のスペクトル角の変化に関連性があることが分かった（図

H-3-1-2-4)。

- 滲出点近傍ではスペクトル角は相対的に大きいですが、滲出点から離れるにつれて急激にスペクトル角は減少し、オイルスリック内での最小値に達した後、徐々に増加に転じることが明らかになった（図 H-3-1-2-4）。
- 波長が 2,337nm から 2,377nm の 5 バンドを正規化した輝度値の両端の反射強度を結ぶ直線より下の面積は、滲出点から離れるにつれて減少する傾向が認められた（図 H-3-1-2-5 の a と b）。

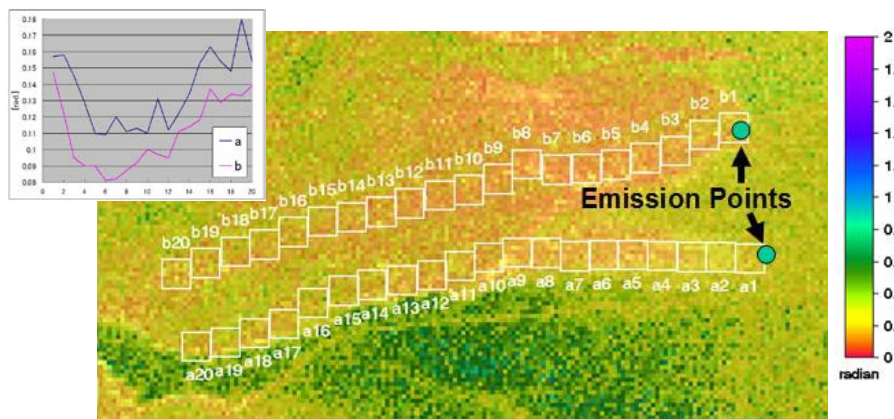


図 H-3-1-2-4 400nm～950nm のスペクトル角と滲出点からの距離の関係。左上のグラフは、横軸が算出点からの距離、縦軸がスペクトル角を表しており、a と b の折れ線は、それぞれ図の a1 から a20、b1 から b20 のスペクトル角を結んだものである。

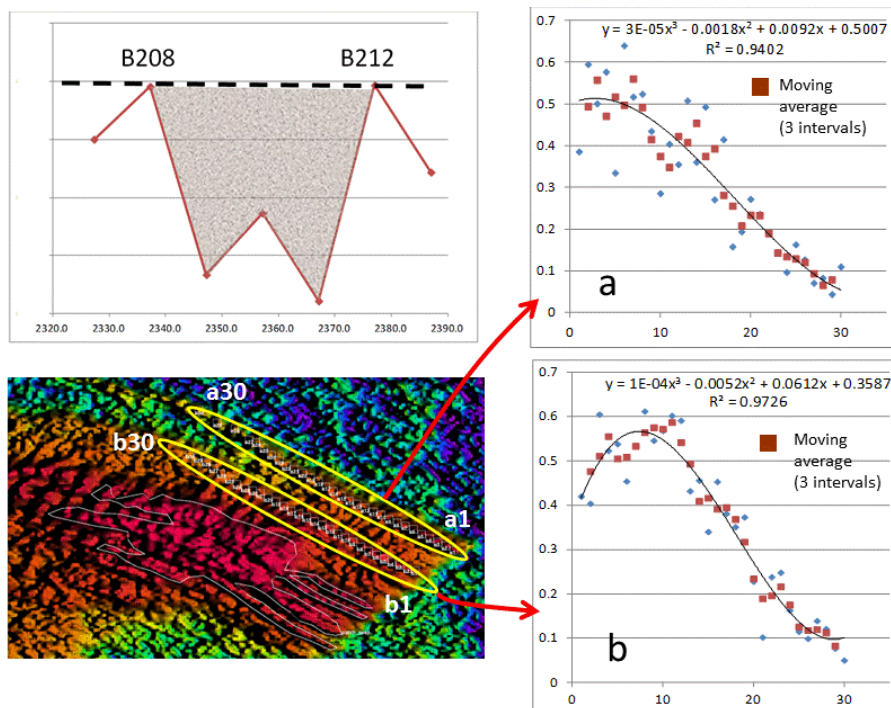


図 H-3-1-2-5 滲出点からの距離と 2,337nm (B208) から 2,377nm (B212) の 5

バンドのスペクトルパターンの変化の関係。左上図は、5 バンドを正規化した輝度値の両端の反射強度を結ぶ直線より下の面積を表し、右上 a は左下図の a1 ~a30 について、右下 b は左下図の b1~b30 についての面積変化を表す。

(イ) 酸化鉄型銅金鉱床に伴う変質帯抽出および探鉱のための研究開発

- 植生指標 (NDVI) とセルロース吸収指数 (CAI) を用いた補正により、NDVI が 0.6 までは良い土壌スペクトルの復元が可能であった (図 H-3-1-2-6)。
- 鉱物抽出手法として、吸収のピーク位置に重みを置いたアルゴリズムを開発した。
- 酸化鉄型銅金鉱床に関連する変質鉱物の抽出を試みた結果、角閃石、緑泥石、白雲母等の変質鉱物の量比の抽出が可能となり (図 H-3-1-2-7)、その結果、既存の地質図や地表踏査を実施せずとも、ハイパースペクトルデータと物理探査データを組み合わせること有望地を抽出できる可能性があることが分かった (図 H-3-1-2-8)。

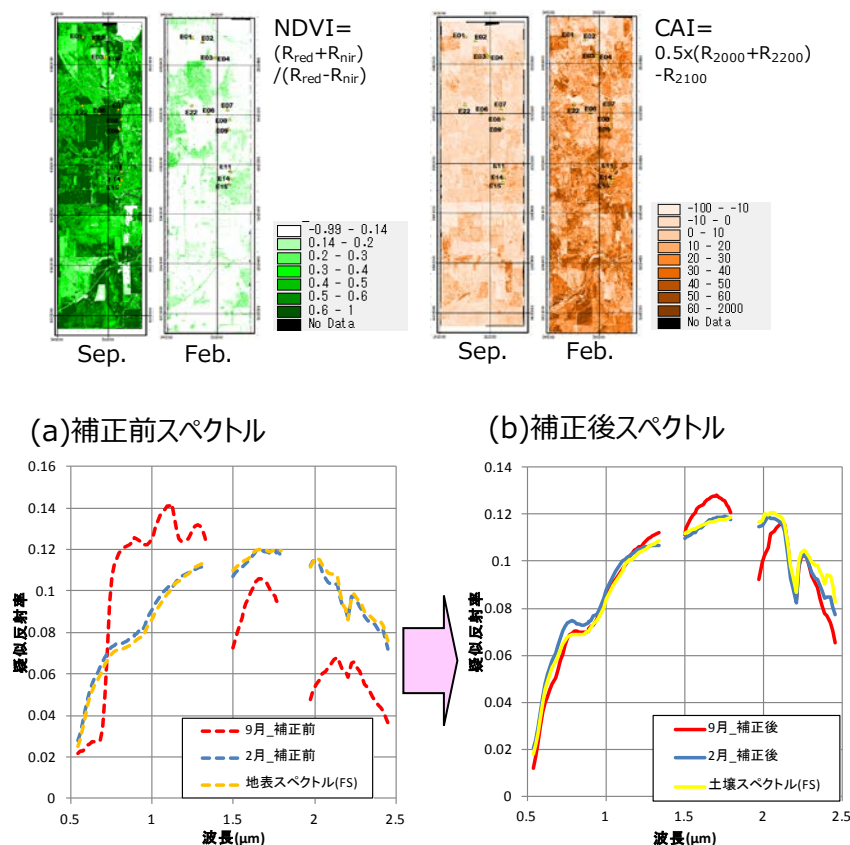


図 H-3-1-2-6 植生の影響を補正する前(a)と補正後(b)のスペクトル形状の比較。左上図と右上図は、それぞれ9月と2月の植生指数と9月と2月のセルロース吸収指数を表す。

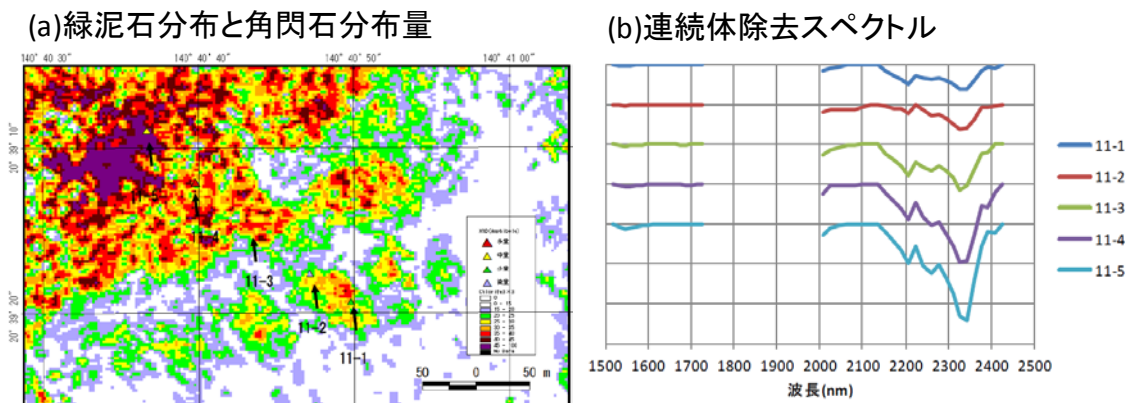


図 H-3-1-2-7 緑泥石分布推定図（左図）と現地測定のスเปクトル（右図）。左図の黒矢印で示した箇所の連続体除去スเปクトルを右図に示している（試料採取地点 11-1～11-5）。

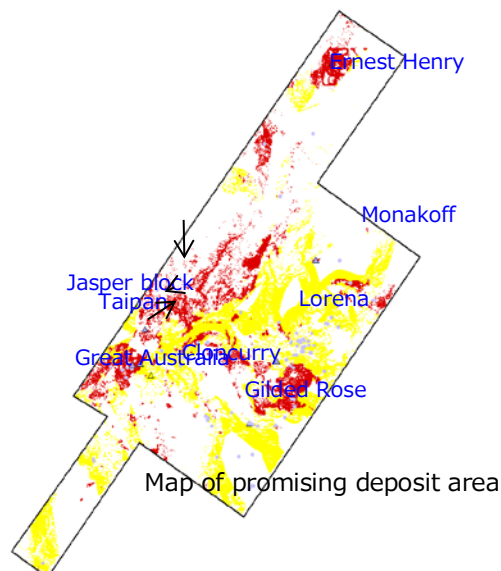


図 H-3-1-2-8 本手法を適用して作成した酸化鉄型銅金鉱床の有望地抽出図

（ウ）オーストラリアにおける小麦の生育モニタリングおよび収量・品質推定手法の研究開発

- ハイパースペクトルデータを用いることで、子実重や子実窒素含有率だけでなく、灰分や穂水分の推定も可能な手法を開発した（図 H-3-1-2-9）。
- また、小麦が栽培されている圃場を特定するための作付分類手法を開発した（全体精度 78.2%）。
- 開発した手法を利用して広域分布推定図を作成した（図 H-3-1-2-10）。
- ユーザからは、広域観測が可能な低解像度衛星から得られる情報を高精度化するための補完的な情報としてのハイパースペクトルデータへの期待が高

いことを確認した。

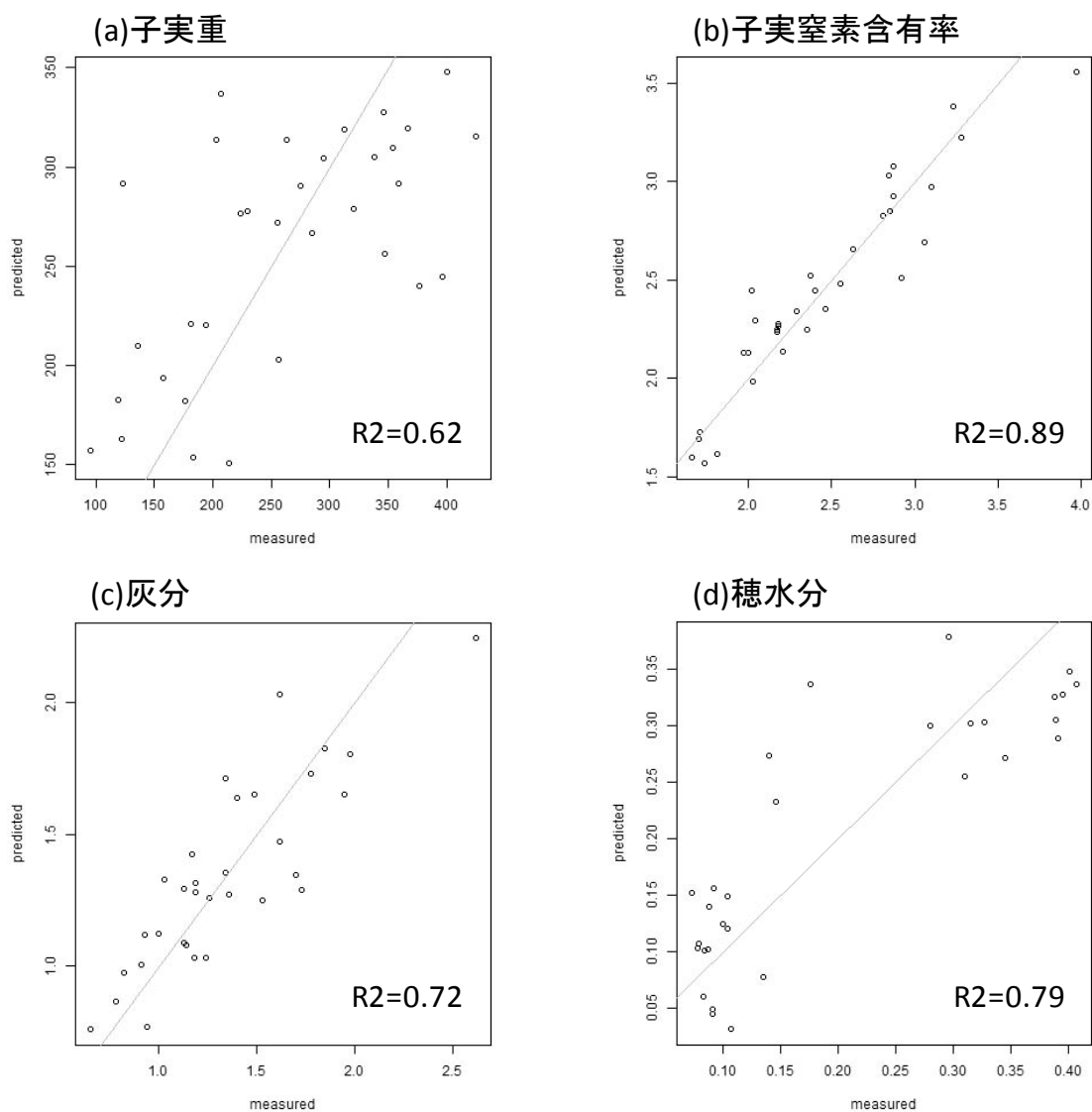


図 H-3-1-2-9 ハイパースペクトルデータによる、(a) 子実重、(b) 子実窒素含有率、(c) 灰分、(d) 穂水分の推定値と現地調査による測定値との比較。

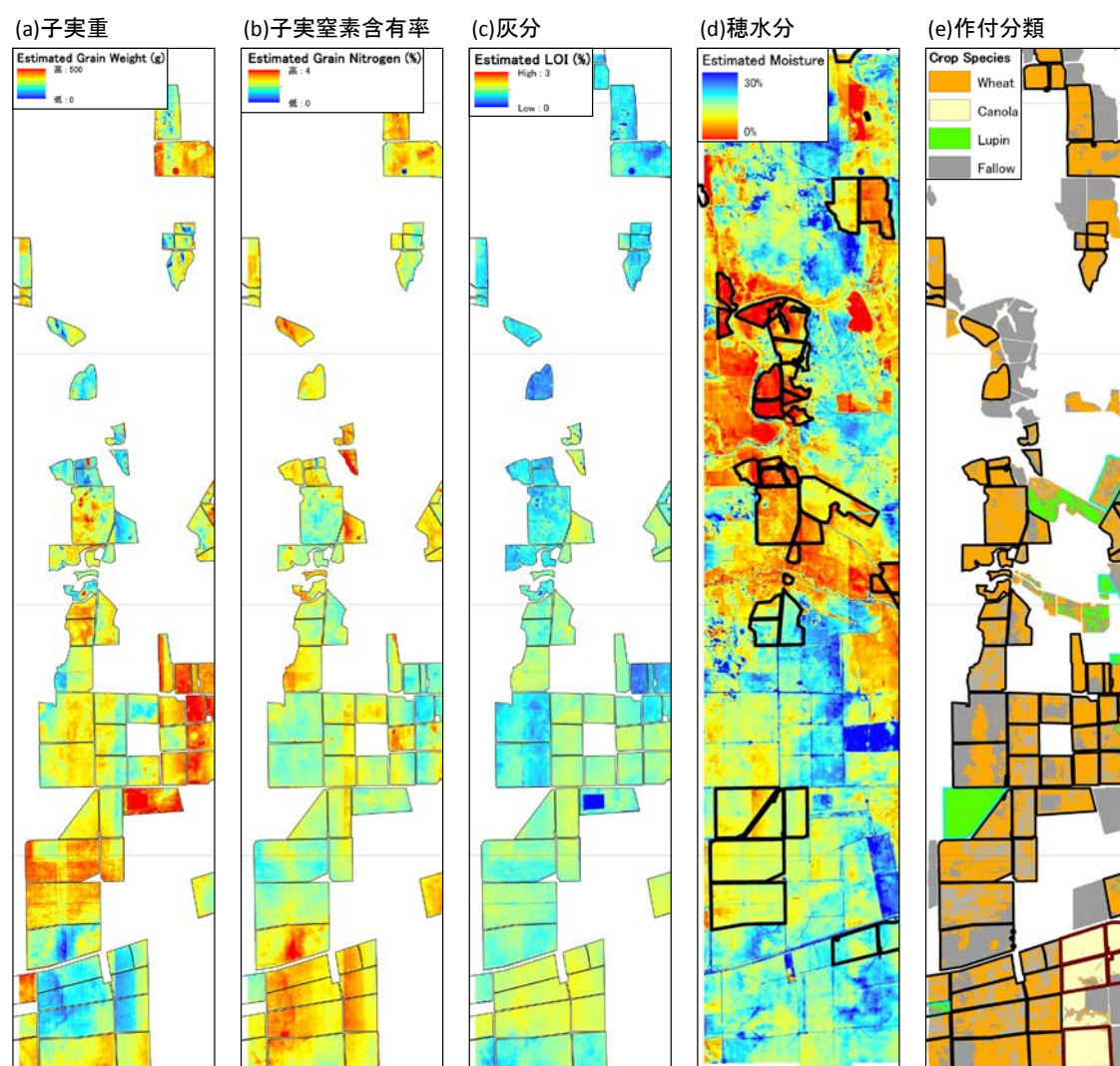


図 H-3-1-2-10 ハイパースペクトルデータによる、(a)子実重、(b)子実窒素含有率、(c)灰分、(d)穂水分、(e)作付分類の広域分布推定図。

(エ) 半乾燥域から乾燥域における土壌塩分濃度マッピング手法の研究開発

- 従来のマルチスペクトルセンサでは不可能だった、塩類集積の初期段階である 500mS/m 以下の低い土壌塩分濃度で、スペクトルとの関係式を導くことができた (図 H-3-1-2-11)。
- 携行型分光放射計 FieldSpec のデータを用いた解析の結果、15 種類の異なる土壌タイプにおいて、同一推定式により土壌塩分濃度が推定可能であることを示した。
- 航空機搭載型ハイパースペクトルセンサである HyMAP の解析結果でも、同じシーン中に異なる土壌タイプで塩類集積地域を抽出できることを示した。

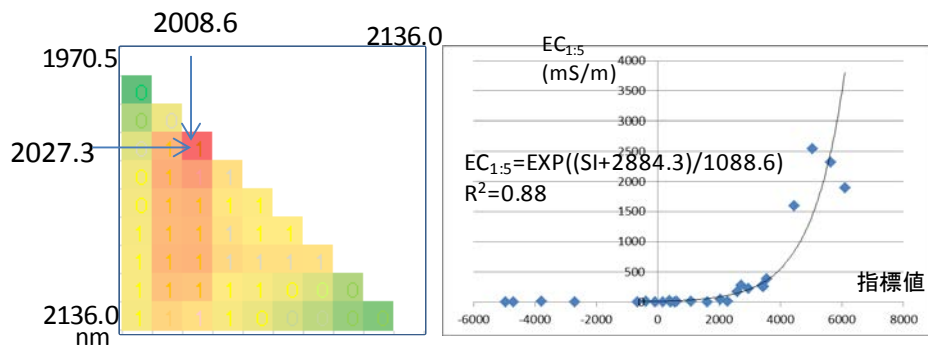
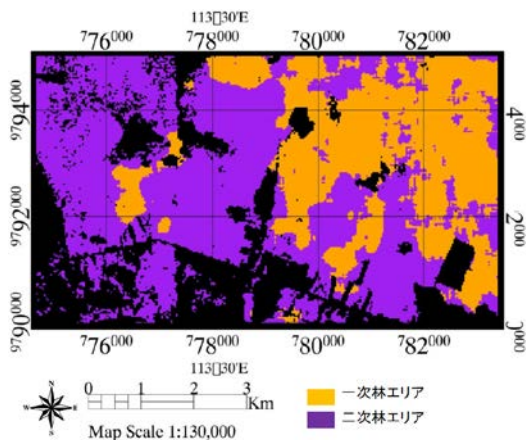


図 H-3-1-2-11 土壌塩分濃度と関係の高い波長の組合せの探索（左図）、およびこれら波長の組合せを使って作成した土壌塩分濃度推定式と推定結果。

（オ）熱帯泥炭地での森林バイオマス分布と火災跡地植生タイプ分類手法の開発

- インドネシア政府の泥炭湿地林区分に対応した一次林、二次林の分類では、平成 22 年度までに実施した HyMAP による分類結果とおおむね一致していることを確認した（図 H-3-1-2-12 の a）。
- バイオマス推定では、決定係数 0.82、推定誤差 50t/ha という高い精度で推定可能であることを示した（図 H-3-1-2-12 の b）。なお、将来 REDD+活動等の実施が想定される民間事業者からは、本研究の森林タイプ分類は極めて有効であり、バイオマス推定精度は 50t/ha の誤差であれば十分活用可能であるという評価を得た。
- Fieldspec および HyMAP を用いて、最大 6 区分の火災跡地植生タイプを推定する手法を開発し、全体精度 0.93 という高い精度を得た。また、マップ化を行った（図 H-3-1-2-13）。

(a)森林タイプ分類



(b)バイオマス分布図

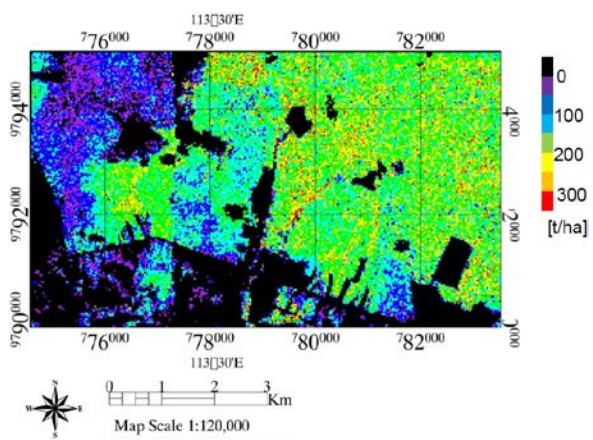


図 H-3-1-2-12 (a) 一次林と二次林の森林タイプ分類。(b) バイオマス分布の推定図

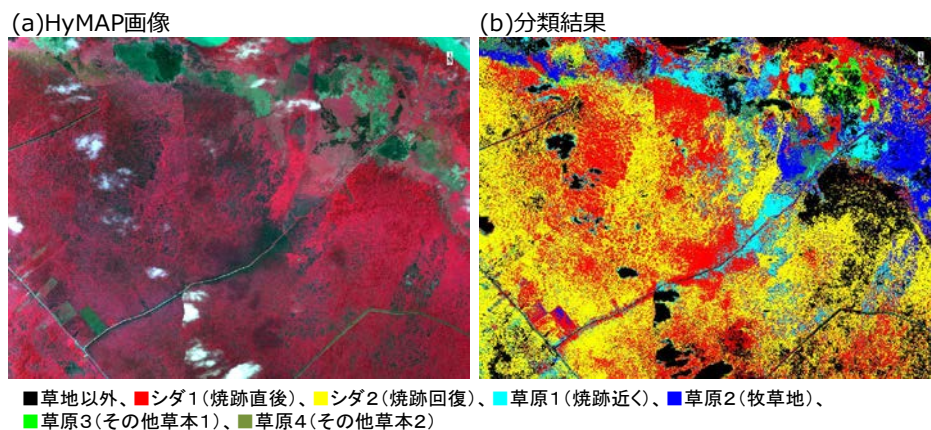


図 H-3-1-2-13 分布が限定的な草本を含めた詳細な火災跡地の植生タイプ分類結果 (a) HyMAP 画像、(b) 分類図

(3) センサ校正およびデータ処理技術

HISUI の各種プロダクトの品質を保証・高精度化させるためには、その校正技術を世界に先駆けて確立する必要がある、そのため、HISUI の打上前および打上後校正の信頼性向上のための「校正技術」を開発する必要がある。また、HISUI に対して実効的な校正を行うためには、その「校正計画」を綿密に作成する必要がある、さらに、校正にかかる意思決定を速やかに HISUI 運用に反映できる体制を整備することを目的に「校正システム」の開発を進める。

また、これら校正技術・計画・システムをベースに、放射量・幾何的歪みの除去や大気の影響の除去等を行い、ユーザにとって扱いやすい「データ処理」をすることが重要となる。HISUI によって取得される生データから、幾何補正および放射量補正を施すことによって生成されるプロダクトを L1、および、L1 プロダクトから大気補正を施すことによって生成されるプロダクトを L2 と呼び、そのアルゴリズム (および基準書)・ソフトウェアの作成・開発を進め、さらに必要に応じ、これらをシステム化する。

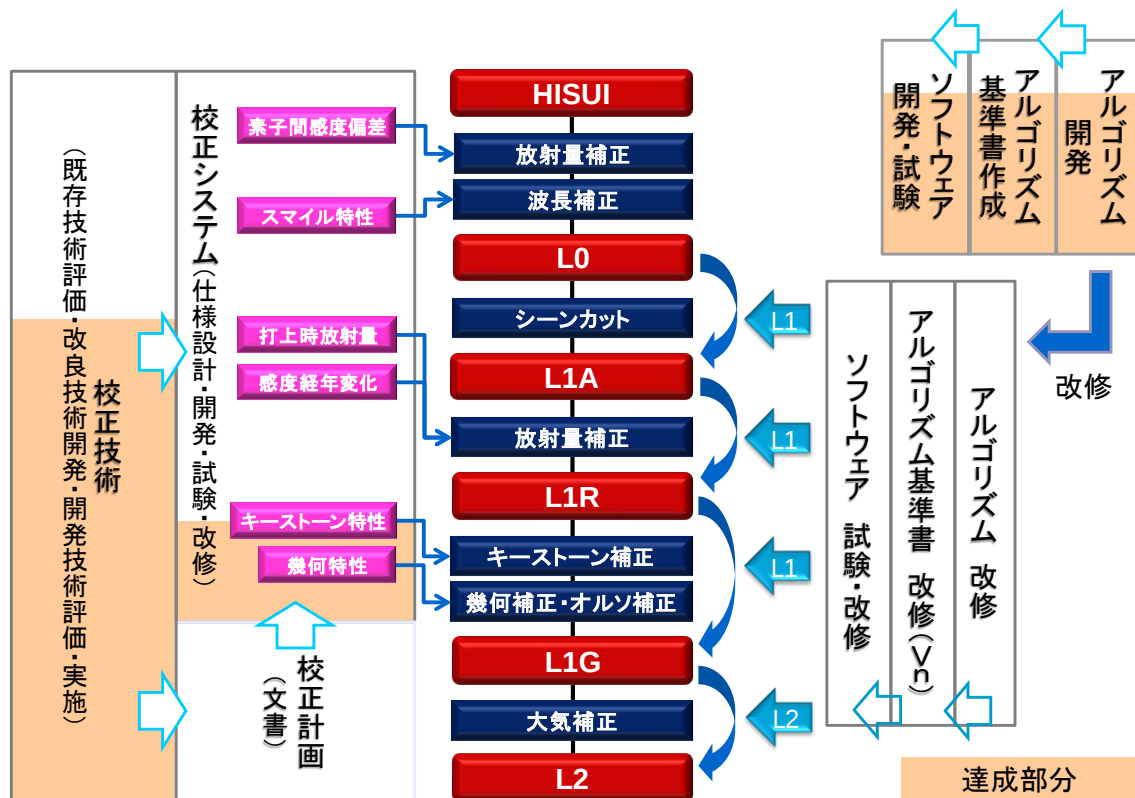


図 H-3-1-2-14 校正とデータ処理

(ア) 校正技術

- 打上前校正・代替校正・相互校正および月校正のそれぞれの既存技術評価を行い、以下の改良技術の開発に当たった。
 - 打上前校正については、相対分光応答度評価技術および絶対感度打上前校正・評価技術の開発を行った。
 - 代替校正については、南半球新規校正サイトの検討、水蒸気吸収帯での標準反射板の精度見積り、標準反射板の品質維持・高精度化に向けた技術開発を行った。
 - 相互校正については、HISUI 運用時に計画されている他のハイパースペクトルセンサ(EnMAP、PRISMA、HypIRI および NIST traceable な CLARREO、NPL traceable な TRUTHS など)の仕様・運用計画等の調査・検討を行った。また、マルチスペクトルセンサ等とハイパースペクトルセンサとの相互校正にかかる改良手法を開発した。
 - 月校正については、現在標準となっている月照度モデル ROL0 についての調査、その上で、日本が独自に整備をすすめる月面輝度データ (SELENE/SP データ) の利用可能性を検討、運用コストを抑えつつ高精度の放射量校正を実現できることを明確にした。

（イ）校正システム

- 以下の校正アーカイブシステムの開発および校正パラメータテーブル管理手順の策定に着手した。
 - 校正アーカイブシステムは、従前の衛星搭載センサ運用上の教訓に基づき、校正に用いた源泉データを確実に保守し、校正検証作業を行うツール・データ群を合わせ持つものを目指すものである。その仕様設計、特に、HISUI 標準プロダクトを作成する地上データシステム（GDS）およびセンサ機器モニタリングを行う機器実証部とのインターフェース、および、その処理手順について検討を進めた。
 - 校正パラメータテーブル管理手順の策定については、衛星センサ上でも輝度補正処理を行う HISUI の特性に最適化したラジオメトリック DB の作成を進めた。

（ウ）データ処理

- L1 作成処理のため、以下のアルゴリズム開発（およびその基準書作成）、ソフトウェア開発（および試験）を行った。
 - センサにおける幾何・波長歪補正ならびにセンサ視差補正の手法を開発した。
 - 評価モデルの特性に基づき、システム開発情報を作成した。
 - スマイル、キーストーン特性のデータベース化および補正方法の検討、その検証を行った。
 - オルソ化に必要な数値標高モデル（DEM）の評価し、オルソ化手法の比較を行った。
 - 素子間感度偏差・非線形性につき、モーメントマッチングなどの手法を用いて低減できることを示した。
 - 以上をもとに、アルゴリズム基準書の情報を収集した。
 - L1 処理ソフトウェアの開発、模擬入力データを用いた動作試験を行い、要求速度、精度を満たしていることを確認した。
- 大気補正済みプロダクト L2 の作成処理のための以下のアルゴリズム開発を行った。
 - 太陽高度、大気状態の変動にロバストな反射率推定法の開発を行った。
 - 打ち上げ後のチューニングが容易な HISUI 雲検知アルゴリズムを開発した。
 - エアロソル量推定手法の暗画素法を陸域向けに開発、標高まで考慮する手法を開発した。

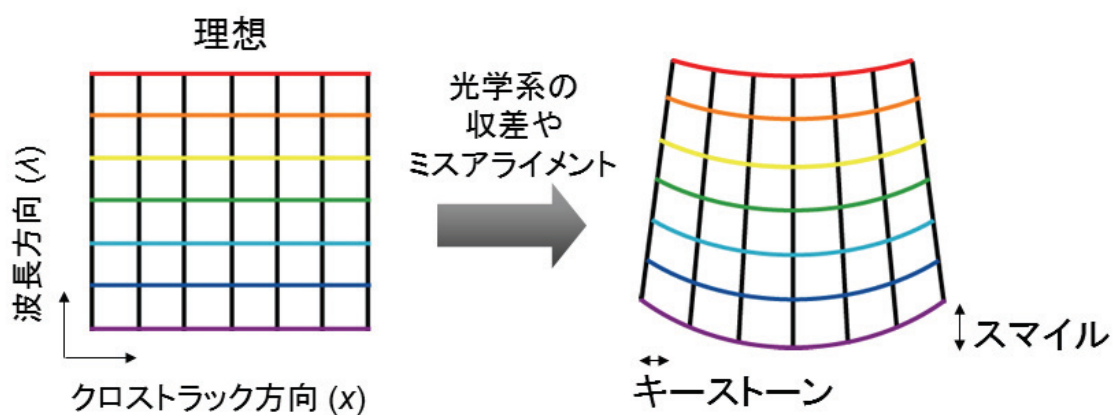


図 H-3-1-2-15 センサ光学特性：キーストーンとスマイル

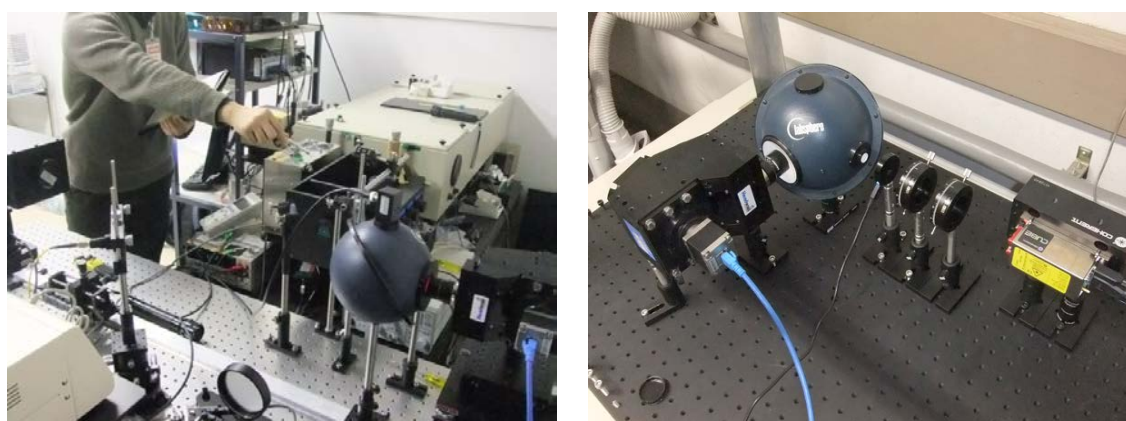


図 H-3-1-2-16 センサ光学特性の実験設備概観

左：S C利用 右：レーザ利用

(4) 地上システム（運用計画システムを含む）

ハイパースペクトル及びマルチスペクトルセンサの運用では最適化された観測計画により取得されたデータを処理し、高品質なプロダクトとしてタイムリーにユーザへ提供することが求められる。当該運用を実現するため、センサ校正・観測計画・データ処理・保存・配付の各システムから構成される地上システム（全体システム）に求められる機能の検討・整理を行った。

地上システムの機能要求項目の検討・整理においては、ASTER および PALSAR 地上データシステムの開発・運用の経験から蓄積された知見を基に、ユーザの利便性を考慮した地上システムに求められる機能を洗い出し、内容を整理した。また、国際標準に準拠した対外インターフェース、クラウドサービスの利用によるコスト効率向上等、これまで検討を行った要素技術を考慮して地上システムの概念設計書を作成した。

ハイパースペクトルセンサ等には多様な分野のユーザからデータ要求がある

ため、観測機会を最大限有効に活用して成果を着実に上げるためには、ユーザからの要望に基づいて立案された長期的な機器運用計画及び観測計画が求められる。またハイパースペクトルセンサによって得られるデータは膨大であり、得られる情報も多種多様であるため、そのデータ処理も長期的視点から立案された計画に基づいて効率的に行う必要がある。

このような状況を踏まえて、運用計画システムとしては、長期的な機器運用計画及び観測計画を策定するとともに、これらの計画に基づき、短期の観測計画を自動的に作成するアルゴリズム（短期観測計画アルゴリズム）を開発することを目的として、以下の成果を達成した。

（ア）HISUI 長期運用計画シミュレーションツールの開発およびシミュレーションの実施

平成 22 年度までに開発した長期観測シミュレーションツールの基礎部分に対して、ユーザニーズに基づく観測対象地域や観測条件、およびセンサの技術的な制約条件を組み込み、観測状況が高い精度で再現できるようにした。

具体的には、以下の機能を追加した。

- シミュレーション結果を解りやすく表示するため、未観測地域の表示、球体表示、観測達成回数や試み回数の表示機能を追加した。
- シミュレーションを高精度化するため、被雲実績予測機能を追加した。
- ユーザニーズに基づく観測対象地域の設定を可能とするため、優先観測対象地域（石油堆積盆）、夜間火山観測対象地域、主要都市・自然保護地域、氷河観測地域、国毎などの観測対象地域設定機能を追加した。
- ユーザニーズに基づく観測条件の設定を可能とするため、サングリント（水面による太陽光の鏡面反射）の回避機能の設定、季節条件の追加、被雲回避モデル等の観測条件設定機能の追加を行った。
- センサおよび搭載衛星等による技術的な制約条件の設定を可能とするため、ポインティング 5 方向の設定、観測マージンの設定、観測機器稼働時間の制約の設定、オンボードレコーダ容量およびダウンリンク基地局の設定等、衛星制約条件設定機能を追加した。

これら機能を追加した長期運用計画シミュレーションツールを用いて、観測シミュレーションを行った出力例を図 H-3-1-2-17、図 H-3-1-2-18 示す。

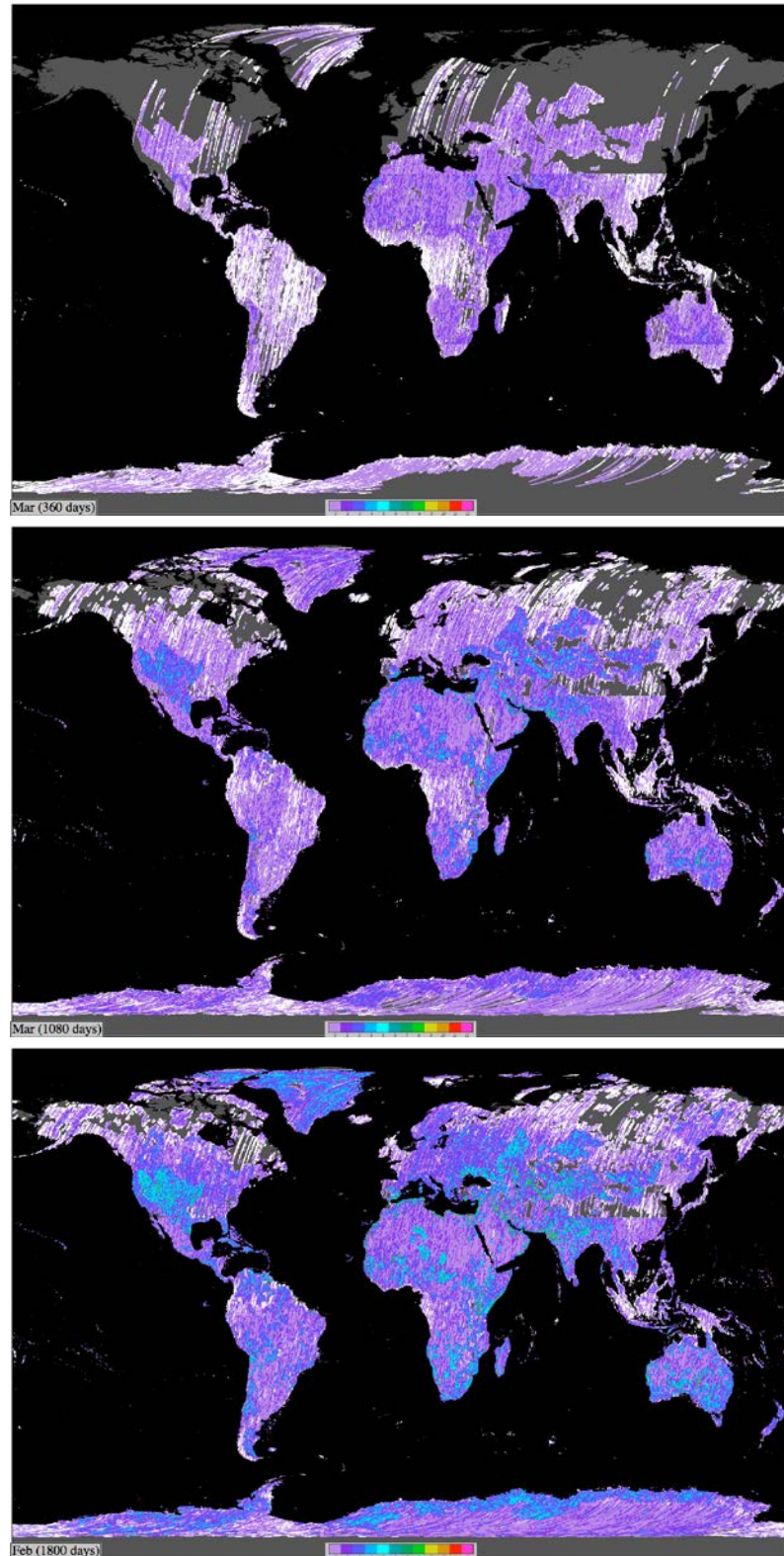


図 H-3-1-2-17 長期観測シミュレーション結果の一例
 (上 : 1 年目 中 : 3 年目 下 : 5 年目)
 (石油堆積盆・火山・都市・自然保護・氷河を観測要求に設定した例)

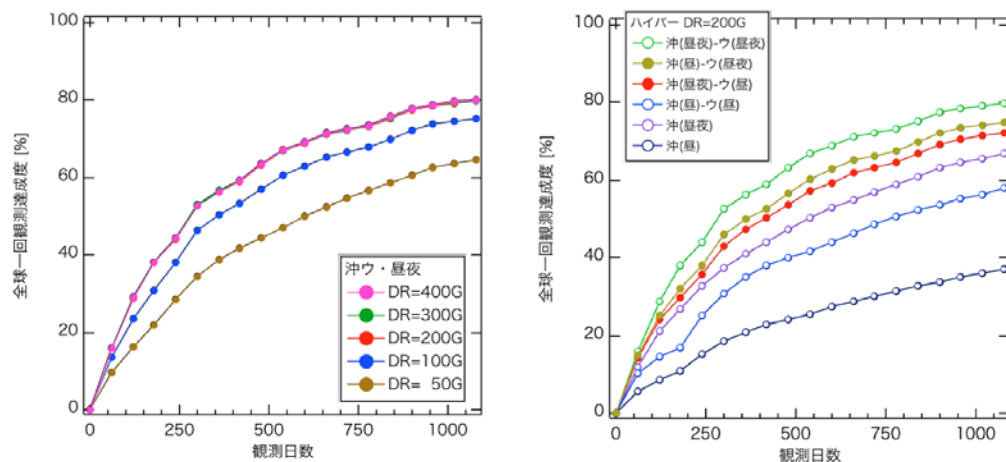


図 H-3-1-2-18 オンボードレコーダ容量およびダウンリンク基地局による全陸域一回観測の達成度
(左：オンボードレコーダ容量 右：ダウンリンク基地局)

(イ) 短期観測計画作成アルゴリズムの開発

HISUI の運用では、詳細な個別観測要求、観測実績、軌道予測情報データ、センサの状態、観測日の雲予測等を入力情報として、一日～数日分の具体的な観測対象位置/時刻を規定した観測計画（短期観測計画/観測スケジュール）を作成する必要がある（図 H-3-1-2-19）。

そこで、平成 23～26 年度には、以下の (a)、(b) の項目を実施した。

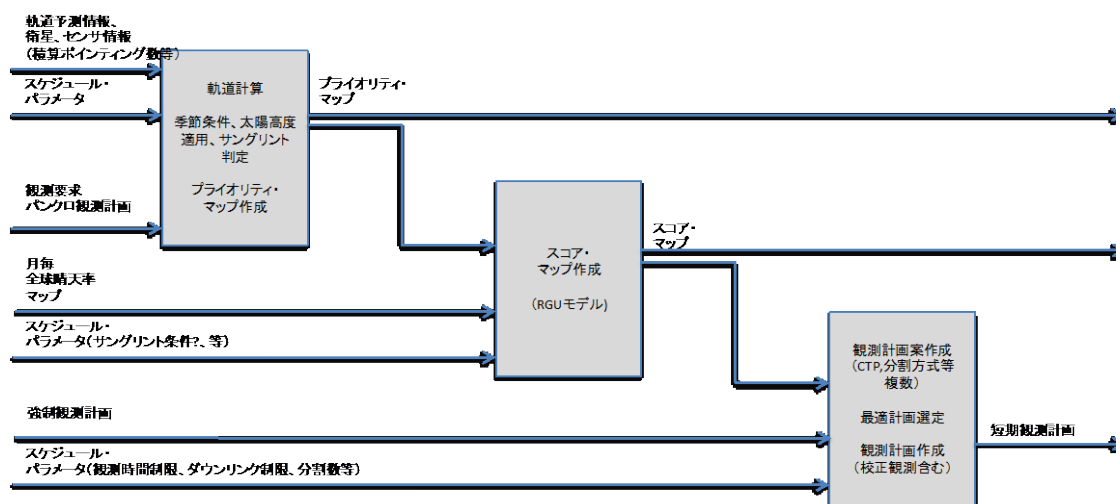


図 H-3-1-2-19 HISUI 短期観測計画作成の流れ

(a) 「全球月毎晴天率マップ」の整備

短期観測計画の作成に必要なデータ「全球月毎晴天率マップ」を、2008～2013年に観測された Terra/MODIS データから作成された、NASA が配布する雲マスクプロダクト MOD35 から、雲のあり・なしの情報のみを抽出して「全球月毎晴天率マップ」を全球 30 秒(約 1km)メッシュの空間分解能で計算した(図 H-3-1-2-20)。

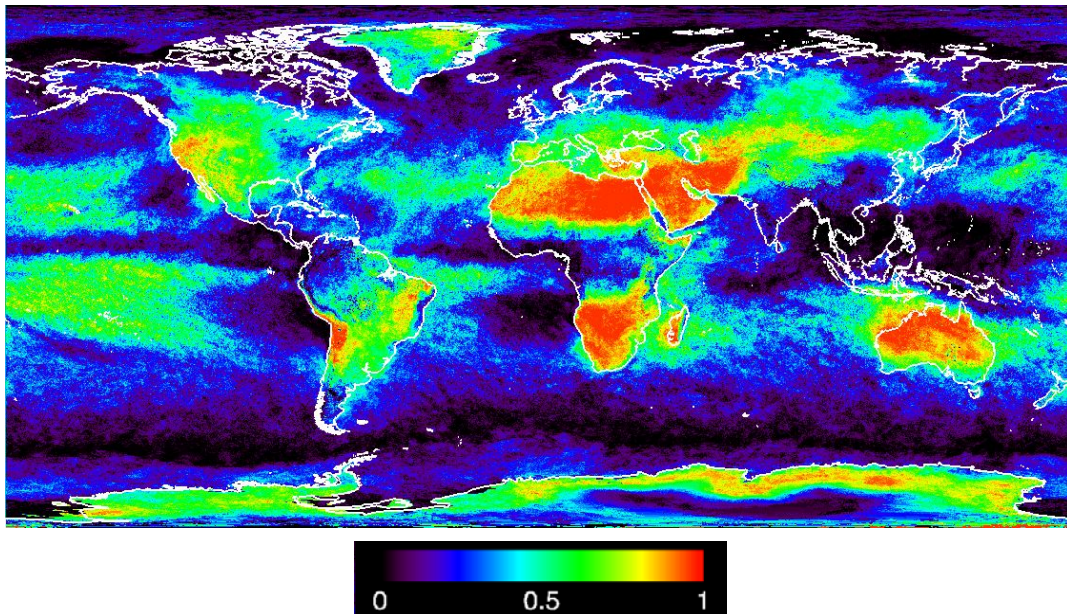


図 H-3-1-2-20 全球月毎晴天率マップ(例：7月)

(b) 短期観測作成アルゴリズムの開発

複数のアルゴリズムを併用して、より良い観測計画を立案する短期観測作成アルゴリズムを開発した。また、本アルゴリズムを実行する上で、必要な情報(観測要求とその進捗状況・メッシュ毎の観測実績情報・作成した短期観測計画・パラメータ等)を格納したデータベースが、また運用に際しては短期観測計画や観測要求の情報表示等のオペレーション支援機能を有するシステムが必要であることを明示した。

今後は今回開発した本アルゴリズムの有効性の検証および最適なパラメータの設定のために、最終的に設定された長期運用計画をベースに検証作業を実施する。

(5) 金属資源探査技術の研究開発

(ア) 次世代衛星データ解析技術開発

【研究概要】

地球観測衛星センサ及び今後実用化が期待されるハイパースペクトルセンサ等により得られる地球観測データから、鉱物分類を高精度化するためのデータ解析技術の研究及び開発を実施した。具体的には、金属鉱床や同探査プロジェクトで対象となる岩石・鉱物の反射スペクトルデータを測定・集積し、ベースメタルやレアメタルを産する鉱床タイプに伴われる岩石・鉱物の反射スペクトルの特徴を明らかにするとともに、ハイパースペクトルデータやスペクトルメータデータ等を用いて、鉱物の詳細な産状、鉱物の化学組成、鉱物の風化プロセス等を明らかにした。

【成果】

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構が海外の金属資源探査プロジェクトで採取した岩石・鉱物試料及び、国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質標本館の鉱石・鉱物を対象にスペクトル測定、化学分析等を実施してベースメタルやレアメタルを産する鉱床タイプに伴われる岩石・鉱物のスペクトルデータ収集を行い、解析に利用可能なデータベースとして取りまとめた(512 試料 1,038 スペクトル)。

ハイパースペクトルデータや上記のスペクトルメータデータ等を用いて、北米、南米、豪州、アフリカ等の各種鉱床地帯等を対象に詳細な鉱物識別を行うとともに、鉱物の化学組成、風化プロセスなどに対する解析技術を開発した。例えば、南米のスカルン鉱床周辺において、航空機ハイパースペクトルデータを用い、イライト(絹雲母)の鉱物組成の詳細解析から、鉱床生成に関与したと推測される熱水活動の中心域(高温域<水色>: Al-イライト、低温域<青色>: Fe-Mg-イライト)が推測可能となった(図 H-3-1-2-21)。本成果は、今後、金属鉱床探査のターゲット絞り込み、つまり、探査技術の高度化・効率化に貢献すると期待される。

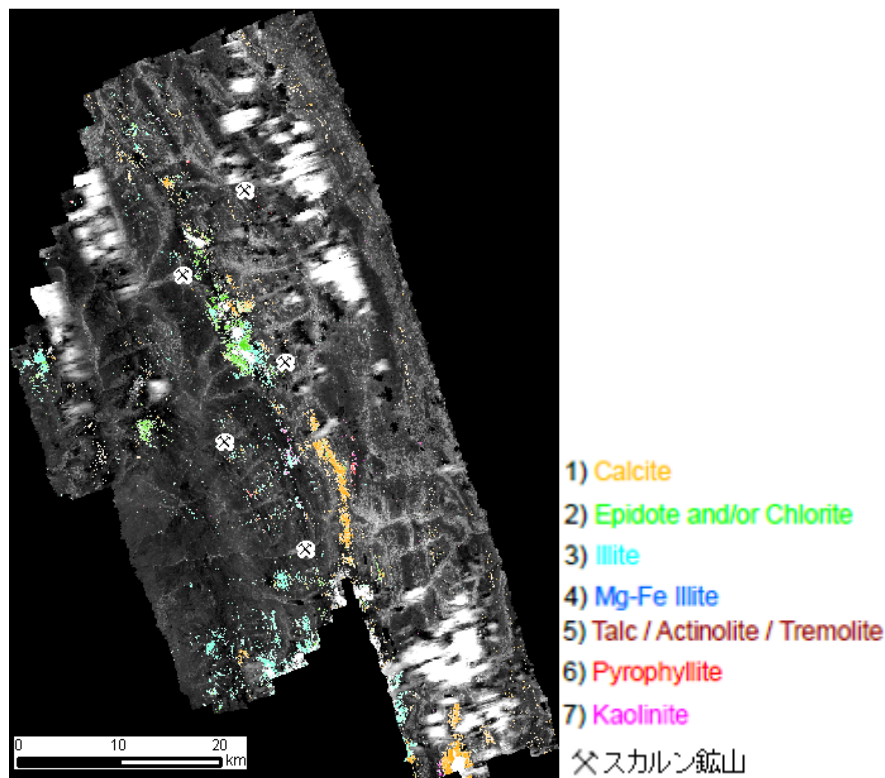


図 H-3-1-2-21 南米スカレン鉱床を対象とした HyMap データ解析結果

(イ) 金属鉱床タイプに応じた総合解析技術の開発

【研究概要】

金属鉱床では、ベースメタルやレアメタルを産する鉱床タイプごとに固有の岩石・鉱物等の産状を示すため、鉱床タイプに応じて地形、地質、化学分析、物理探査等の多種データを活用した解析技術開発を実施した。さらに、ハイパースペクトルデータの高度利用のため、データ解析をサポートする解析評価用システムの開発を行った。

【成果】

鉱床探査対象となる主要な15の鉱床タイプ（レアアース鉱床、浅熱水性鉱床、ニッケル白金鉱床、IOCG 鉱床、高硫化型銅金鉱床、リチウム鉱床、VMS 鉱床、PGE 鉱床、タングステン鉱床、アンチモン鉱床、鉱脈型鉱床、斑岩銅鉱床、重レアアース鉱床、スカレン鉱床、漂砂鉱床）に関する解析探査技術開発を行い、その成果を解析手順書等として取りまとめた。また、解析評価用システムとして探鉱現場で有効活用できる機能を備えた携帯型スペクトルメータ（図 H-3-1-2-22）及び SQUID 磁場偏差計の実機を完成した。

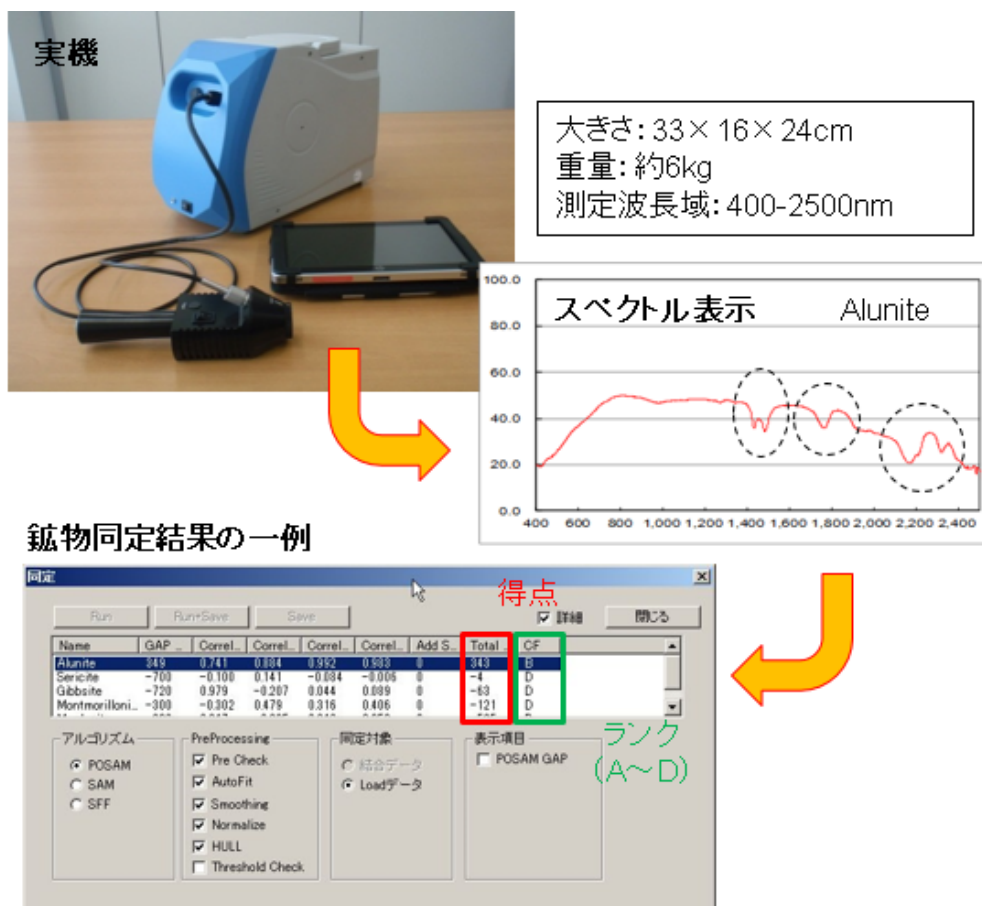


図 H-3-1-2-22 携帯型スペクトルメータ実機の概要

H-3-1-3 特許出願状況等

当プロジェクトでは表 H-3-1-3-1 に示すように、平成 23～26 年度は表 H-3-1-3-2、表 H-3-1-3-3 に示すように、関連学会誌への論文投稿、関連学会への投稿や発表等、多数行っている。

表 H-3-1-3-1 特許・論文等件数

要素技術 (実用化技術研究細分要素)	論文、投稿、発表数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数
実利用化のための解析技術	52		
センサ校正・データ処理技術	31		
金属資源探査技術の研究開発	27	2	

表 H-3-1-3-2 (1) 論文、投稿、発表、特許リスト(実利用化技術)

	題目・メディア等	時期
投稿 発表	34th ISRSE 「Retrieval of Soil Erosion Relevant Parameters in the Western Australian Wheat Belt from the VNIR-SWIR and TIR Spectral Signatures」	H23. 4
投稿 発表	34th ISRSE 「The Effect of Spectral Unmixing of Hyperspectral Imagery for Mapping of Soil Properties」	H23. 4
投稿 発表	34th ISRSE 「Operation Plan Study for Japanese Future Hyperspectral Mission: HISUI」	H23. 4
投稿 発表	EARSel 2011 「Mapping of Surface Soil Parameters in the Western-Australian Wheat Belt Region from Hyperspectral Imagery」	H23. 4
投稿 発表	(社) 日本写真測量学会平成 23 年度年次学術講演会「登熟後期のハイパースペクトルデータによるオーストラリア小麦の生育モニタリング」	H23. 5
投稿 発表	(社) 日本写真測量学会平成 23 年度年次学術講演会「航空機搭載ハイパースペクトルデータによる連続体除去法を用いた樹種分類」	H23. 5
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 50 回(平成 23 年度春季)学術講演会 「ハイパースペクトルデータ利用のためのスペクトルデータベースの改良」	H23. 5
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 50 回(平成 23 年度春季)学術講演会 「山形県酒田市における航空機搭載ハイパースペクトルセンサ AISA を用いた植生指数・NDSI および PLS による水稻収量・タンパク質含有率評価」	H23. 5
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 50 回(平成 23 年度春季)学術講演会 「ハイパースペクトルデータを用いたサングの白化及び回復状況の把握手法の開発」	H23. 5
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 50 回(平成 23 年度春季)学術講演会 「スパース判別分析を用いたハイパースペクトル画像からの樹種選定」	H23. 5
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 50 回(平成 23 年度春季)学術講演会 「インドネシア水稻地域におけるハイパースペクトル画像からのスパース判別分析による生育段階分類」	H23. 5
投稿	(社) 日本リモートセンシング学会 第 50 回(平成 23 年度春	H23. 5

発表	季) 学術講演会 「LASSO 回帰を用いたハイパースペクトル画像からの森林管理情報の抽出」	
投稿 発表	ACRS 2011 「Development of Hyperspectral Data Utilization Technology for Growth Stage Classification of Paddy Field in West Java, Indonesia」	H23. 10
投稿 発表	(社) 日本写真測量学会 平成 23 年度秋季学術講演会「出穂期のハイパースペクトルデータによるオーストラリア小麦の生育モニタリング」	H23. 10
投稿 発表	ReSESS 2011 「Hyperspectral Space-borne Development and its Data Application」	H23. 11
投稿 発表	ISRS 2011 「Monitoring Method of Coral Reef Bleaching for HISUI, Hyperspectral Imager Suite」	H23. 11
発表	第 3 回 ALOS-2/3 ワークショップ: HISUI データの利用技術研究と長期観測計画について	H23. 11
論文	写真測量とリモートセンシング誌 「波長較正による航空機ハイパースペクトラルイメージャのアーティファクト低減」	H24. 1
発表	AFCU 2012 : Hyperspectral Sensor Application	H24. 2
投稿 発表	5th Digital Soil Mapping Conference 「 Mapping surface soil mineralogy using hyperspectral and ASTER imagery: An example from Mullewa, Western Australia 」	H24. 4
投稿 発表	(社) 日本写真測量学会平成 24 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 Lasso 回帰による水稻生育状況の推定」	H24. 5
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 52 回 (平成 24 年度春季) 学術講演会「航空機ハイパースペクトルデータを用いた Random Forest 回帰による水稻収量とタンパク含有率の推定および赤池情報量基準によるバンド数選択」	H24. 5
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 52 回 (平成 24 年度春季) 学術講演会「航空機ハイパースペクトルデータによる針葉樹林の植林年数と間伐状況把握の試み」	H24. 5
発表	G 空間 Expo 2012 HISUI プロジェクト概要、HISUI 利用研究事例のポスター紹介	H24. 6
投稿 発表	ISRS VIII/6 「 Evaluation of wheat growth monitoring methods based on hyperspectral data in Western Australia」	H24. 8
発表	International Symposium on " Wild Fire and Carbon Management in Peat-Forest in Indonesia" 「Development of a monitoring method for peat forest using Hyperspectral	H24. 9

	data]	
投稿 発表	SPIE Earth Resources and Environmental Remote Sensing 2012 「Detection of Coral Bleaching on Sekisei Lagoon Using Multispectral Sensor Data」	H24. 11
論文	写真測量とリモートセンシング誌「 航空機ハイパースペクト ルデータを用いた水稻の生育・収量・タンパク含有率推定手 法の開発 」	H24. 11
論文	日本リモートセンシング学会誌 Vol. 32, No. 5「スパース正則 化を用いたハイパースペクトルデータの解析：インドネシア 水田地帯における水稻生育状況診断および収量予測への適 用」	H24. 11
論文	日本リモートセンシング学会誌 Vol. 32, No. 5「衛星搭載型ハ イパースペクトルセンサのデータ利用を想定した鉱物同定と 定量化への試み」	H24. 11
論文	日本リモートセンシング学会誌 Vol. 32, No. 5「石油探鉱にお けるハイパースペクトルデータへの期待」	H24. 11
論文	日本リモートセンシング学会誌 Vol. 32, No. 5「植生地域混合 スペクトルにおける単位ベクトル化と NDVI 関数を用いた植生 影響低減手法の提案」	H24. 11
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 53 回 (平成 24 年度秋 季) 学術講演会「ハイパースペクトルデータを利用したサンゴ の白化・回復状況の把握」	H24. 11
発表	日本サンゴ礁学会第 15 回大会「多時期の衛星画像を用いたサ ンゴの白化抽出」	H24. 11
投稿 発表	The 33th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2012) 「 Herbage biomass and quality status assessment in a mixed sown pasture from airborne based hyperspectral imaging 」	H24. 11
投稿 発表	The 33th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2012) 「 Experimental validation for robustness of growth stage classification model of paddy in Indonesia by using multi-year hyperspectral data 」	H24. 11
発表	第 4 回 ALOS-3 ワークショップ「HISUI 開発の現状とデータの利 用可能性」	H24. 12
論文	東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究 センター報告「フィールドセンター北山地区針葉樹林地におけ る航空機ハイパースペクトルリモートセンシングによる森林	H24. 12

	管理の可能性の検討」	
投稿 発表	(社) 海洋調査協会報「はかる サンゴ礁をはかる」	H25. 4
投稿 発表	(社) 日本写真測量学会 平成 25 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カーネル SAM 法による樹種分類」	H25. 5
投稿 発表	International Symposium on Remote Sensing 2013 「 Specific wavelength region for estimating soil salinity in arid and semiarid area 」	H25. 5
投稿 発表	International Symposium on Remote Sensing 2013 「 Development of peatland monitoring method using hyperspectral data 」	H25. 5
投稿 発表	International Symposium on Remote Sensing 2013 「 Wetland vegetation mapping by object-based image analysis using hyperspectral data 」	H25. 5
投稿 発表	IGARSS 2013 「 Estimating soil salinity using hyperspectral data in the western Australia wheat belt 」	H25. 7
投稿 発表	IGARSS 2013 「 Application of hyperspectral data for assessing peatland forest condition with spectral and texture classification 」	H25. 7
投稿 発表	The 34th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2013) 「 Application of hyperspectral data for estimating leaf water potential and peatland ground water level in Indonesia 」	H25. 10
投稿 発表	第 10 回地盤工学会関東支部発表会「Exploring of field hyperspectral bands of rice leaves suffering from soil salinity in the northeastern Thailand」	H25. 10
発表	G 空間 Expo2013 HISUI プロジェクト概要、HISUI 利用研究事例のポスター紹介	H25. 11
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 55 回 (平成 26 年度秋季)「衛星ハイパースペクトルシミュレーションデータを用いた渡良瀬遊水地における群落分類」	H25. 11
投稿 発表	(社) 日本写真測量学会 平成 26 年度年次学術講演会「ハイパースペクトルデータを用いた Lasso 回帰による牧草地生産性評価」	H26. 5
投稿 発表	The 35st Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2014) 「 Improvement of Estimation Method for Gramineous Crop	H26. 10

	Productivity Using Normalization of Hyperspectral Data」	
発表	G 空間 Expo2014 HISUI プロジェクト概要	H26. 11
投稿 発表	(社) 日本写真測量学会 平成 26 年度秋季学術講演会「HISUI シミュレーションデータによる農業・環境分野を対象とした実利用化技術の事前実証」	H26. 11

表 H-3-1-3-3 (2) 論文、投稿、発表、特許リスト(センサ校正・データ処理技術)

	題目・メディア等	時期
発表	34th International Symposium on Remote Sensing of Environment「Operation Plan Study for Japanese Future Hyperspectral Mission: HISUI」	H23. 4
発表	第 50 回日本リモートセンシング学会学術講演会「正規化法をもちいたハイパースペクトラルデータからの相対反射率の推定」	H23. 5
発表	日本写真測量学会平成 23 年度学術講演会「デジタルカメラの感度、分光応答の推定」	H23. 6
論文 発表	IGARSS 2011「THE LONG-TERM VICARIOUS AND CROSS CALIBRATION PLAN FOR HYPER-SPECTRAL IMAGER SUITE (HISUI)」	H23. 7
論文 発表	IGARSS 2011「Coupled non-negative matrix factorization (CNMF) for hyperspectral and multispectral data fusion: application to pasture classification」	H23. 7
論文 発表	IGARSS 2011「Registration techniques for multimodal images and its application」	H23. 7
発表	IGARSS 2011「Image sharpening using hyperspectral and multispectral data」	H23. 7
論文 発表	IGARSS 2011「Hyperspectral imager suite (HISUI) Japanese hyper-multispectral radiometer」	H23. 7
発表	2011 HypsIRI Science Workshop「Current status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H23. 8
発表	2011 HypsIRI Science Workshop「THE LONG-TERM CAL/VAL PLAN FOR HYPER-SPECTRAL IMAGER SUITE (HISUI)」	H23. 8
発表	2011 HypsIRI Science Workshop「Current status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H23. 8
発表	2011 HypsIRI Science Workshop「Operation planning for Japanese future hyperspectral and multispectral sensor:」	H23. 8

	HISUI」	
発表	SPIE Optics+Photonics 2011 「High-temperature fixed points for pre-launch calibration of earth observing sensors」	H23. 8
論文 発表	SPIE Remote Sensing (Prague) 「Simulation of Operation of Future Japanese Spaceborne Hyperspectral Imager: HISUI」	H23. 9
発表	SPIE Remote Sensing (Prague) 「Short term operation planning for Japanese future hyperspectral and multispectral sensor: HISUI」	H23. 9
発表	9th International Temperature Symposium 「Large-Aperture High-temperature Fixed-Point Cells for Calibration of Earth-Observing Sensors」	H24. 3
論文 発表	9th International Temperature Symposium 「Uncertainty Due to Non-linearity in Radiation Thermometers Calibration by Multiple Fixed Points」	H24. 3
発表	HypIRI Symposium 「Application of MODIS Cloud Data for Observation Planning of an Spaceborne Sensor: Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H24. 5
論文 発表	IGARSS 2012 「Generalized bilinear model based nonlinear unmixing using semi-nonnegative matrix factorization」	H24. 7
論文 発表	IGARSS 2012 「Similarity measure for spatial-spectral registration in hyperspectral era」	H24. 7
論文 発表	IGARSS 2012 「Fine image matching for narrow baseline stereovision」	H24. 7
論文 発表	IGARSS 2012 「Results of evaluation model of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H24. 7
論文 発表	IGARSS 2012 「USAGE OF CLOUD CLIMATE DATA IN OPERATION MISSION PLAN SIMULATION FOR JAPANESE FUTURE HYPERSPECTRAL AND MULTISPECTRAL SENSOR: HISUI」	H24. 7
発表	IGARSS 2012 「Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H24. 7
発表	SICE Annual Conference 2012 「Uncertainty of Non-linearity in Radiation Thermometers Calibrated by Interpolation among Multiple Fixed Points」	H24. 8
発表	IMEKO World Congress 「New Setup for the Absolute Spectral Responsivity of Radiation Thermometers with a Supercontinuum Source」	H24. 9
発表	SPIE Europe Remote Sensing 2012	H24. 9

	「Supercontinuum-source-based System for Pre-launch Calibration of the Hyperspectral Sensor」	
発表	2012 HypsIRI Science Workshop 「Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI) Project」	H24. 10
論文 発表	SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012「Parallel evaluation for detector devices of the hyperspectral imager with a supercontinuum source」	H24. 10
論文 発表	SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012 「Observation Planning Strategy of a Japanese Spaceborne Sensor: Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H24. 10
発表	第 52 回日本リモートセンシング学会学術講演 「 VNIR/SWIR を用いた簡易雲検知手法の開発」	H24. 11
論文 発表	日本リモートセンシング学会誌 「HISUI の概要と将来展望」	H24. 11
発表	American Geophysical Union Fall meeting 「Planned HISUI radiometric calibration using the lunar reflectance model from SELENE Spectral Profiler data」	H24. 12
発表	CEOS IVOS 25th Meeting 「Status of ASTER/HISUI radiometric calibration - Vicarious calibration and cross - calibration-」	H25. 3
発表	LPSC 「Development of A New Lunar Radiometric Calibration Model based on SELENE/SP for Japanese Future Hyper Spectral Mission HISUI」	H25. 3
発表	日本地球惑星科学連合 2013 年大会 「ハイパースペクトルリモートセンシングによる月スピネル全球搜索」	H25. 5
発表	The International Symposium on Remote Sensing 2013 「Overview of Hyperspectral Imager Suite (HISUI) project」	H25. 5
発表	SPIE Europe Remote Sensing 2013 「Supercontinuum-source-based Facility for Evaluation of Hyperspectral Imagers」	H25. 9
論文 発表	IGARSS 2013 「STUDY ON VICARIOUS CALIBRATION AND CROSS CALIBRATION FOR HISUI HYPERSPECTRAL AND MULTISPECTRAL IMAGER」	H25. 7
論文 発表	IGARSS 2013 「Usability of LUNAR Reflectance Model Based on SELENE/SP for Planned HISUI Radiometric Calibration」	H25. 7
論文 発表	IGARSS 2013 「Comparison of a New Lunar Radiometric Model Based on SELENE/SP with Satellite Observing Lunar Images」	H25. 7
論文	IGARSS 2013 「Hyperspectral and multispectral data fusion	H25. 7

発表	mission on hyperspectral imager suite (HISUI)」	
論文 発表	IGARSS 2013 「Data product of hyperspectral imager suite (HISUI)」	H25. 7
論文 発表	IGARSS 2013 「Enhancement of hyperspectral unmixing using continuum removal」	H25. 7
論文 発表	IGARSS 2013 「Observation Planning Strategy and its Simulation of a Japanese Spaceborne Sensor: Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H25. 7
発表	IGARSS 2013 「 Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H25. 7
発表	日本惑星科学会 2013 年秋季大会「観測衛星による連続分光データを使った月面上の Ca に富む輝石の全球搜索」	H25. 10
発表	2013 HypsIRI Science Workshop 「Observation Coverage Simulation and Its Improvement for A Japanese Spaceborne Sensor: Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H25. 10
発表	TEMPMEKO 2013 「EVALUATION OF HYPERSPECTRAL IMAGERS WITH A SUPERCONTINUUM SOURCE」	H25. 10
論文 発表	TEMPMEKO 2013 「Supercontinuum-source-based Facility for Absolute Calibration of Radiation Thermometers」	H25. 10
発表	日本リモートセンシング学会第 55 回学術講演会「ハイパースペクトルデータと LiDAR データを融合した樹種分類手法の提案」	H25. 11
発表	日本リモートセンシング学会第 55 回学術講演会「HISUI の大気補正手法の検討」	H25. 11
論文 発表	WHISPERS 「Hyperspectral tree species classification with an aid of LiDAR data」	H26. 6
論文 発表	NEWRAD 2014 「Comparison of WC-C peritectic fixed point cells between VNIIOFI, NIM and NMIJ」	H26. 6
論文 発表	IGARSS 2014 「HISUI vicarious calibration and CAL/VAL activities」	H26. 7
論文 発表	IGARSS 2014 「Airborne unmixing-based hyperspectral super-resolution using RGB imagery」	H26. 7
論文 発表	IGARSS 2014 「Effective observation planning and its simulation of a Japanese spaceborne sensor: Hyperspectral imager suite (HISUI)」	H26. 7
発表	IGARSS 2014 「Current Status of Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H26. 7

論文 発表	SPIE Remote Sensing 2014「Observation planning algorithm of a Japanese spaceborne sensor: Hyperspectral Imager Suite (HISUI)」	H26. 9
発表	日本リモートセンシング学会第 57 回学術講演会「標高を考慮した暗画素法によるエアロソル量推定」	H26. 11
発表	第 58 回宇宙科学技術連合講演会「中分解能地球観測衛星データの活用事例と高精度化」	H26. 11
発表	第 62 回応用物理学会春季学術講演会「スーパーコンティニウム光を用いた絶対放射温度計の分光感度校正」	H27. 3

表 H-3-1-3-4 (3) 論文、投稿、発表、特許リスト(金属資源探査技術の研究開発)

	題目・メディア等	時期
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 50 回 (平成 23 年度春季) 学術講演会 「ハイパースペクトルカメラを用いたレアアース鉱物マッピング」	H23. 5
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 50 回 (平成 23 年度春季) 学術講演会 「ASTER データを用いたナミビア共和国南部の地質マッピング」	H23. 5
投稿 発表	資源地質学会 2011 年度年会学術講演会 「ベトナム北部地域でのレアアース探査におけるリモートセンシング技術の活用」	H23. 6
投稿 発表	資源地質学会 2011 年度年会学術講演会 「航空機ハイパースペクトルデータによる入来カオリン鉱床の変質鉱物解析」	H23. 6
投稿 発表	IGARSS 2011 「Mineral Index Maps of the Southern Namibia Using Hymap and ASTER data」	H23. 7
投稿 発表	第 24 回国際超電導シンポジウム (ISS2011) 「HTS planar Gradiometer Consisting of SQUID with Multi-turn Input Coil and Large Pickup Coil Made of GdBCO Coated Conductor」	H23. 10
投稿 発表	第 24 回国際超電導シンポジウム (ISS2011) 「Fabrication of SQUID chip for large planar gradiometer using HTS coated-conductor」	H23. 10
発表	10 th SEGJ International Symposium 「Mapping Rare Earth Minerals with Near-Infrared Reflectance Spectra」	H23. 11
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 51 回 (平成 23 年度秋季) 学術講演会 「HyMap データを用いたナミビア共和国南部	H23. 11

	の地質マッピング」	
発表	第 32 回 SRL 研究報告会「Y 系線材を用いた大型グラジオメータの開発」	H23. 11
発表	低温工学・超電導学会 超電導応用研究会／材料研究会「地下資源探査用 SQUID-TEM 磁力計の開発」	H24. 2
発表	応用物理学関係連合講演会「高温超電導テープ線材を用いた大型グラジオメータの試作(2)」	H24. 3
論文	International Journal of Remote Sensing 「Mineral mapping of southern Namibia by application of continuum-removal MSAM method to the HyMap data」	H24. 4
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 52 回 (平成 24 年度春季) 学術講演会「ハイパースペクトルカメラによるレアアース鉱物マッピング手法の開発」	H24. 5
投稿 発表	資源地質学会第 62 回年会学術講演会 「ペグマタイト鉱床における反射スペクトルデータを用いた希土類鉱物の識別」	H24. 6
投稿 発表	IGARSS 2012 「Mapping of Pegmatite in Tantalite Valley Region in Southern Namibia Using ASTER and HyMap Data」	H24. 7
投稿 発表	34 th IGC Australia 2012 「Lithologic Mapping by ASTER and Hymap data in central-western Namibia」	H24. 8
投稿 発表	第 25 回国際超電導シンポジウム (ISS2012) 「A highly-balanced electrical gradiometer using a flux locked loop circuit with fine-tunable feedback resistor」	H24.12
論文	Physica C Volume 484 「 HTS planar gradiometer consisting of SQUID with multi-turn input coil and large pickup coil made of GdBCO coated conductor」	H25.1
発表	第 60 回応用物理学会春期学術講演会「位相特性を微調整可能な電気差分グラジオメータ用 FLL 回路」	H25.3
投稿 発表	International Symposium on Remote Sensing 2013 「 Mineralogical mapping of Nevada using airborne hyperspectral data: applying the composite MSAM」	H25. 5
特許 (出願)	出願番号：特願 2013-119513「磁場偏差測定器及び磁場偏差測定方法」	H25. 5
発表	第 61 回応用物理学会春期学術講演会「2-SQUID 回転方式の高温超電導磁場偏差計の開発」	H26.3
特許 (取得)	特許番号：特許第 5537312 号「資源探査用磁気センサ」	H26.5
発表	第 75 回応用物理学会秋期学術講演会「アクティブシールド付	H26.9

	き 2-SQUID 同軸型グラジオメータの試作」	
発表	第 27 回国際超電導シンポジウム (ISS2014) 「Two-SQUID axial gradiometer using active magnetic shield」	H26.11
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 55 回 (平成 26 年度秋季) 「ハイパースペクトルデータを用いたネバダ州キュプライト地域の地質マッピング; 線形アンミキシング解析と k-means クラスタリング解析の統合」	H26. 11
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 55 回 (平成 26 年度秋季) 「ASTER データのバンド比演算による鉄酸化鉱物の抽出」	H26. 11
投稿 発表	(社) 日本リモートセンシング学会 第 55 回 (平成 26 年度秋季) 「ハイパースペクトルデータの一次微分処理を利用した変質鉱物の識別」 * H26 年度リモートセンシング学会 優秀論文発表賞受賞	H26. 11

H-3-2 目標の達成度

表 H-3-2-1 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
1. 実利用化のための解析技術			
1) 実利用化のための解析技術に共通する基盤技術	HISUI シミュレータを開発すること、およびスペクトルデータベースに格納する細かな波長分解能の鉱物スペクトルライブラリを作成する。	航空機ハイパースペクトルデータから HISUI シミュレーションデータを作成するための HISUI シミュレータを開発し、各分野の研究開発で事前実証に使用した。また、ハイパースペクトルデータのライブラリとして整備すべき 125 鉱物、168 標本のスペクトルを整備した。	達成
2) 個別分野における利用技術	エネルギー・資源分野では、海域でのオイルスリック判定や植生地域でも利用可能な探鉱手法の開発のほか、農業、環境、防災等の分野も含	エネルギー・資源分野では、オイルスリックの解析手法、熱水性鉱床の鉱物同定手法、植生地域でも有効な酸化鉄型銅金鉱	達成

	め手法を 5 事例以上開発する。	床の抽出、農業、環境、防災の分野では、ユーザが利活用できる具体的な解析手法の研究開発／打上前の事前実証を行い、事例数として 9 事例を実施した。	
2. センサ校正・データ処理技術			
1) 校正・データ処理技術	HISUI の仕様に対し既存校正技術の適用評価を行い、必要に応じて、その改良技術を開発し、これに伴い、校正検証計画および校正システムの開発に着手する。 また、幾何補正・波長補正・放射量補正、さらに、大気補正に必要な画像補正処理手法を開発し、アルゴリズム基準書の作成に着手する。	打上前校正・代替校正・相互校正および月校正のそれぞれの既存技術評価を行い、改良技術の開発を行った。また、校正アーカイブシステムの開発および校正パラメータテーブル管理手順の策定に着手した。 幾何・放射量補正を行うためのアルゴリズム開発およびその基準書、ソフトウェア開発および試験を行った。大気補正については、太陽高度・大気状態の変動に強い反射率推定法開発、雲検知アルゴリズムの開発等を行った。	達成
3) 地上システム（運用計画システムを含む）	地上システム（全体システム）の概念設計を行う。 長期運用計画の最適化に必要な長期運用計画シミュレーションツールを完成し、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。	地上システム（全体システム）の概念設計を行った。 長期運用計画の最適化に必要な計画策定システムを構築し、様々な条件のもとで長期観測シミュレーションを実施している。	達成

	短期観測計画の作成アルゴリズムを開発する	短期観測計画作成アルゴリズムを開発した。	
3. 金属資源探査技術の研究開発			
1) 次世代衛星データ解析技術開発	鉱床に伴う岩石・鉱物の反射スペクトルデータを集積し、鉱物分類を高精度化するための解析技術を開発すること。	鉱床に伴う岩石・鉱物の反射スペクトルデータを測定し、解析に利用可能なデータベースとして取りまとめた（512 試料 1,038 スペクトル）。ハイパースペクトルデータ・スペクトルメータデータ等を用いて詳細な鉱物識別を行うとともに鉱物の化学組成、風化プロセス等に対する解析技術を開発した。	達成
2) 金属鉱床タイプに応じた総合解析探査技術の開発	鉱床タイプに応じた衛星データ等による解析技術を開発すること。また、ハイパースペクトルデータ解析評価用システムを開発すること。	鉱床探査対象となる主要な 15 鉱床タイプに関する解析技術を開発し、その成果を解析手順書等として取りまとめた。また、解析評価用システムとして携帯型スペクトルメータ及び SQUID 磁場偏差計の実機を開発した。	達成

H-4 事業化、波及効果について

H-4-1 事業化の見通し

現在開発している実利用化のための解析技術やセンサ校正・データ処理技術を利用する事業として、衛星から得られる観測データや付加価値を付けた情報を販売する事業が考えられる。ただし、データ販売に関しては、各種条件が明確になっていないこともあり、観測データや付加価値情報の販売を行う上で検討を要する条件について、主要ユーザとして想定するエネルギー・資源分野での ASTER データの配布状況をもとに整理した。

① 想定データ配付数

石油資源探査を目的として、1999 年 12 月の打上から 15 年以上運用している ASTER データは、1 日あたり約 530 シーンで 15 年間の総観測数は約 275 万シーンである。このうち、15 年間で累計約 28 万シーンのデータをユーザに配付しており、その大多数はエネルギー・資源分野であることが分かる（図 H-4-1-1）。

HISUI センサの搭載衛星や 1 日に可能な観測シーン数などハード的な制約条件や運用面からの制約条件、データ配布条件等は決まっていないものの、ハイパースペクトルデータへのユーザニーズから想定すると、少なくとも ASTER と同等以上のデータ配付数（年間平均約 18,000 シーン）が見込めるものと考え

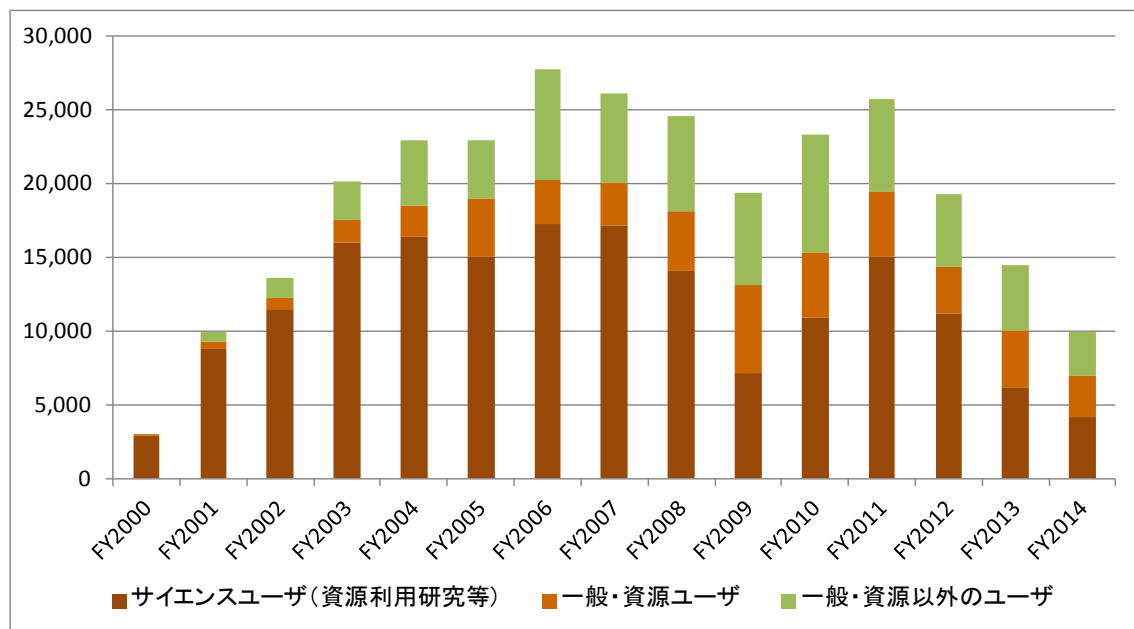


図 H-4-1-1 ASTER データ配付数（資源ユーザ（有償・無償）と資源ユーザ以外）

① エネルギー・資源分野ユーザのハイパースペクトルデータの利用

エネルギー・資源分野のユーザが ASTER データを使っている第一の理由は、 $2.0\sim 2.4\mu\text{m}$ の波長帯域に 5 バンドを有しており、鉱物の分類が可能となった点である。それが HISUI ハイパースペクトルデータでは同様の波長帯で 20 バンド以上を有するため、より詳細なスペクトル解析が可能となり、鉱物分類数がさらに増えることが期待されている。

例として、エネルギー・資源分野の ASTER ユーザである（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）に、石油分野と金属資源分野のそれぞれについて聞き取り調査を行った結果を示す。

【石油分野】

ハイパースペクトルデータの利用は、陸域探査においては、一つの対象地域で少なくとも数百 km 四方の広範囲における粘土鉱物や炭酸塩鉱物の識別（油田／ガス田／どちらでもない、の違いを判断したい。根源岩／貯留岩／帽岩の良し悪しを推定したい。など）と、それらの分布傾向を把握することが主目的である一方、海域探査においては海面に流出しているオイルスリックの有無と、それが滲出油起源かどうか（廃油等の人工油起源かどうか）を判定することに利用したい意向がある。なお、陸域での画像データによる解析対象候補地域は、未だ危険な国で面積が広いことから航空機より衛星による観測が有利であるとのことである。

【金属資源分野】

ハイパースペクトルデータは、ASTER データより高精度で従来識別が困難な変質鉱物等も同定が可能であることを期待しており、金属資源探査案件のポテンシャル評価等の概査段階（通常約 300km 四方の広域調査）での利用を想定している。例えば、レアアース等の識別にはハイパースペクトルデータが必要であり、資源探査において有効であると考えられる。また、今後の探鉱余地の一候補地域として、標高が高く地表踏査の困難な山岳国境付近等が挙げられ、飛行許可等が必要となる航空機観測より衛星観測のほうが物理的にも経済的にも有利になる可能性が期待される。

③付加価値情報提供事業化の構想

日本は、小麦の需要量の約 9 割近くをオーストラリアから輸入しており、食糧安全保障の観点からオーストラリアの小麦の収量、品質、作付状況、生育状況等を推定したいという声がユーザにはある。国内政府機関、商社、オーストラリアの農業コンサルタント、集荷業者等にヒアリングを行った結果、ハイパースペクトルデータからこれら生育状況を解析する技術が確立することにより、図 H-4-1-3 に示すような小麦に関する付加価値情報を提供する事業構想を描く

ことができた。

この情報提供事業は、低分解能多頻度衛星 (MODIS 等) をベースに利用し HISUI のハイパースペクトルデータを小麦生育状況推定の調整のために活用する政府機関向けの広域モニタリングサービスとハイパースペクトルデータを特定関心農地を中心に観測取得して活用する特定ユーザ向けモニタリングサービスの二つから構成される。このようなニーズは、オーストラリアのみならず世界の主要小麦生産国 (アメリカ、カナダ、中国、ロシア) でも同様であると想定され、開発した手法はこれらの国々へも利用可能なモデルである。

以上のように、「衛星から得られる観測データや付加価値を付けた情報を販売する事業」を実現するためには、どのようなデータを、どのような付加価値情報まで、どのように配付するか、データアーカイブはどうするか、等の想定される課題を整理し、関係者と調整して積極的に解決を図ることが必要である。

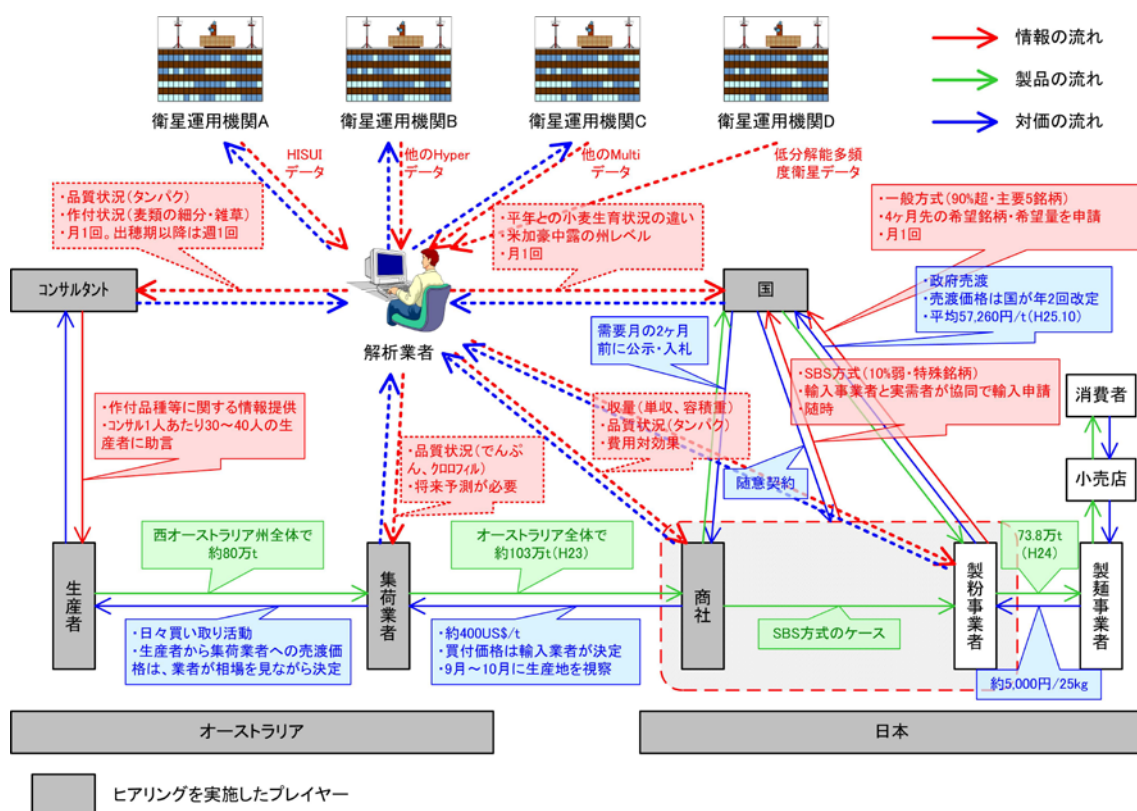


図 H-4-1-3 オーストラリア小麦に関する情報提供事業化の構想

H-4-2 波及効果

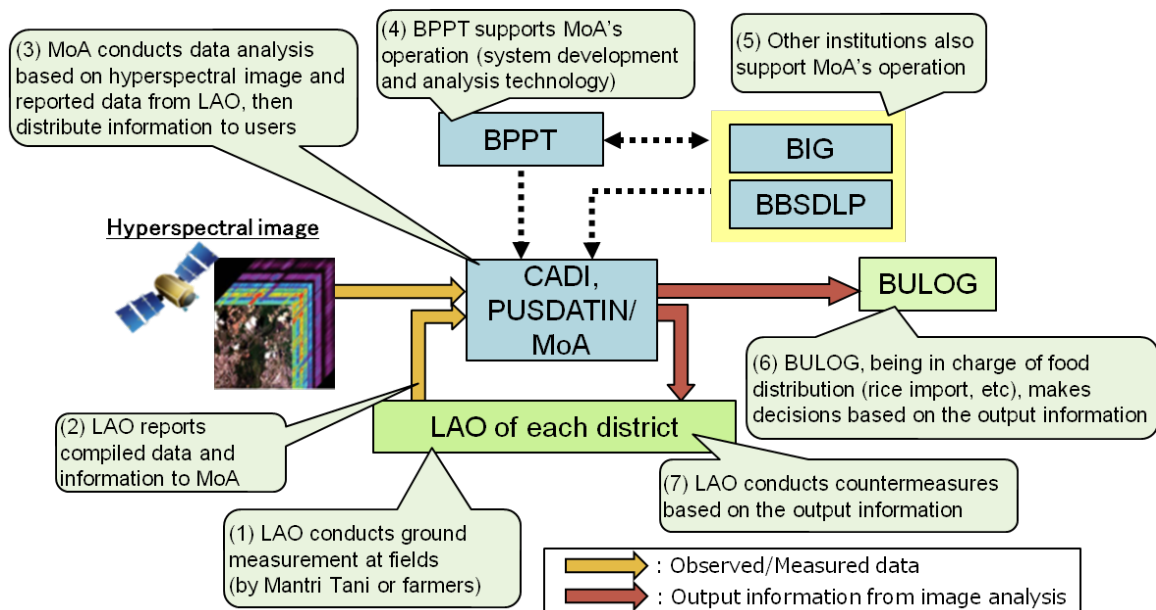
ハイパースペクトルデータにより、根源岩層が過去に受けた最高温度を示す鉱物（イライト、モンモリロナイト、及びそれらの混合物）を見分けることができるようになると、その地域に油田が期待できるか、ガス田しかないのか、あるいはどちらも期待できないかが推定できるようになる。さらに、地下で石油の上昇・拡散を止める帽岩の緻密さに影響を与える硬石膏の存在割合の確認や石油を貯めるための貯留層の隙間の多さに影響を与えるドロマイトとカルサイトの識別などにより、ハイパースペクトルデータによる石油探鉱の成功確率が高まることが期待できる。このように石油探鉱における波及効果は非常に大きい。

また、H-4-1 事業化の見通しでは、オーストラリア小麦に関する情報提供事業化の構想を示したが、それ以外にも水稻やケシのモニタリング情報提供により、インドネシア行政での水稻収量予測情報提供、不法栽培作物監視業務の効率化の可能性など、さまざまな分野への波及効果が期待できる。

本研究開発で実施しているテーマ以外に、営農管理、森林管理、環境管理等で有用な情報が解析・抽出でき、その波及効果は計り知れない。さらに、センサ性能が向上し、地上分解能等の向上が図られると、安全保障分野で利用が格段に増えると思込まれている、波及効果は一層大きくなる。

【情報提供の例】

共同研究先であるインドネシアでは、ハイパースペクトルデータによる水稻の収量予測情報等が得られるようになれば、複数の行政・研究機関とともに、図 H-4-2-1 のように水稻収量予測情報提供サービスが可能になると考えられる。本研究開発の成果を対外的に周知するため、これまでに図 H-4-2-2 のようなパンフレットを作成した。（配付対象機関は、情報提供サービスに関与するインドネシア中央及び地方政府関係者や国際機関、ドナー機関および農業・リモートセンシング関連研究者）。



BPPT : 技術評価応用庁、MoA : 農業省、BIG : 地理情報庁、CADI : 農業データ情報センター、BBSDLP : 農地研究開発センター、BULOG : 物流関連局、PUSDATIN : データ情報センター、LAO : 地方の農地・農作物監視員

図 H-4-2-1 インドネシア行政でのハイパースペクトルデータによる水稻収量予測情報提供サービス構想





Agency for the Assessment and Application of Technology

Japan Space Systems

Ministry of Agriculture
Republic of Indonesia



HyperSRI Project: for Food Security of Indonesia

What is HyperSRI?

HyperSRI is a research and development project, which aims to utilize hyperspectral data from HISUI for monitoring/managing paddy fields and estimating rice production in West Java, Indonesia. HISUI, hyperspectral and multispectral sensors have been developed in Japan since 2007, and it will be launched in 2015 or later. It is assured that the outcomes of this cooperative research project between Indonesia and Japan will contribute greatly to Indonesian food security program. An algorithm/method to utilize hyperspectral data developed in this project can be also applied to other rice growing regions/countries, especially Southeast Asia. If you are interested in and need further information, please feel free to refer our contact point below.

Benefit from HyperSRI Project

By introducing and utilizing HyperSRI outcomes, you can

- collect integrated spatial data regarding rice yield prediction and harvest area (and thus, estimated total rice production), with high accuracy
- obtain detailed information on landscape-based rice condition, such as growth stages, water stress, anomaly, etc.
- become much easier to monitor/manage paddy fields, by coordinating with farmers / local staffs to improve their cultivation practices

If you have an interest in HyperSRI, please contact:

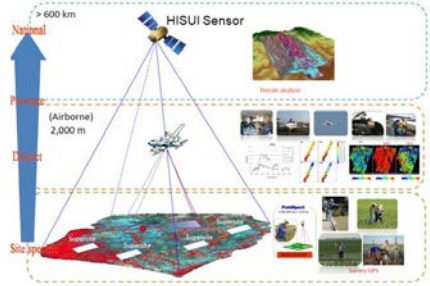
Indonesia Agency for the Assessment and Application of Technology (Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi: BPPT) Center of Technology for Natural Resources Inventory (PTRSDA) -Director: Dr. Muhammad Sady -Address: Bldg. 8 10th Fl., PTRSDA, Jl. M. H. Thamrin No. 8, Jakarta -E-mail: muhammad.sady@bppt.go.id, sady2000@yahoo.com -Phone: (+62(21)-316-9700 -Fax: (+62(21)-316-9720	Japan Japan Space Systems New Technology Development Department of Data Application and Development Earth Remote Sensing Division -General Manager: Mr. Osamu Kashimura -Address: 3-5-8 Shibakoen, Minato-ku, Tokyo 105-0011 JAPAN -E-mail: Kashimura.Osamu@spacesystems.or.jp -Phone: (+81(3)-6435-6468 -Fax: (+81(3)-3432-3765
--	--



Remote Sensing Technology: Hyperspectral Sensor

A new and significant development has taken place through a partnership between Indonesia and Japan, in the field of remote sensing research and development. Hyperspectral technology, which is developing beyond the current technological status of multispectral remote sensing, has usually about 10nm wavelength-resolution and continuously observe over from Visible and Near infrared (VNIR) to short wave infrared (SWIR). Thus, the hyperspectral sensor is capable of capturing feature absorption bands of spectral pattern, and identifying rice development condition.

To utilize acquired hyperspectral data to Indonesian paddy fields, Japan Space Systems (former ERSDAC) and Agency for the Assessment and Application of Technology of Indonesia (BPPT) have been engaged in HyperSRI program since 2006. Achievements of this program will be in practical use, and support to Food Security issues in Indonesia in the coming years.



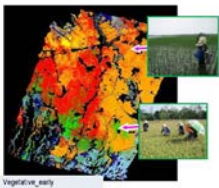

Advantages for Indonesian Agriculture and Food Security

It has been often stated that each year there is deviation in number and errors found relating to calculation of the national food shortage in Indonesia, which tends to be based on assumption, not on factual data. As a result, government's policy on food security is sometimes irrelevant.

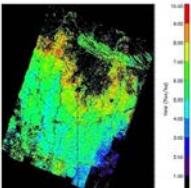
The main target output of the HyperSRI program is 'the prediction of rice production' which consists of two factors.

(1) Harvested Area & Growth Stage Classification Map
(2) Yield Prediction Map

By using this output, it must be easier to control supply-demand of rice, as well as to monitor and manage paddy fields for improving rice productivity by early warning.



(1) Harvested Area & Growth Stage Classification Map



(2) Yield Prediction Map

Implementation Structure of HyperSRI Project

The HyperSRI project is a significant research project and the results are managed by Indonesian government. Therefore, some institutions, such as the Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT), Center for Agricultural Data and Information (CADI / PUSDATIN), Indonesian Center for Agricultural Land Resources Research and Development (ICALRD / BBSDL), Indonesian Center for Rice Research (BB-PADI), Bogor Agricultural University (IPB) and Geospatial Information Agency (BIG) would be involved in this project. In order to proceed with operational phase of the project and obtain favorable outputs, it is necessary to conduct ground measurement at the fields, as well as satellite observation. Therefore, cooperation of local governments, particularly Local Agriculture Offices (LAO), would be also essential. Based on the output information, Bureau of Logistics (BULOG) makes decisions on supply-demand adjustment of rice, such as trade and distribution control, and LAO conducts countermeasures in farm level to improve rice productivity.

For details, please see the following picture of implementation structure, and contact us if you are interested. Join us to work together towards providing solutions using hyperspectral remote sensing technology for modern agriculture!

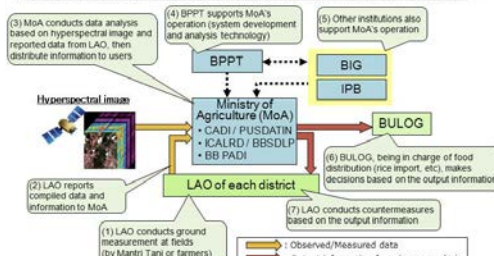
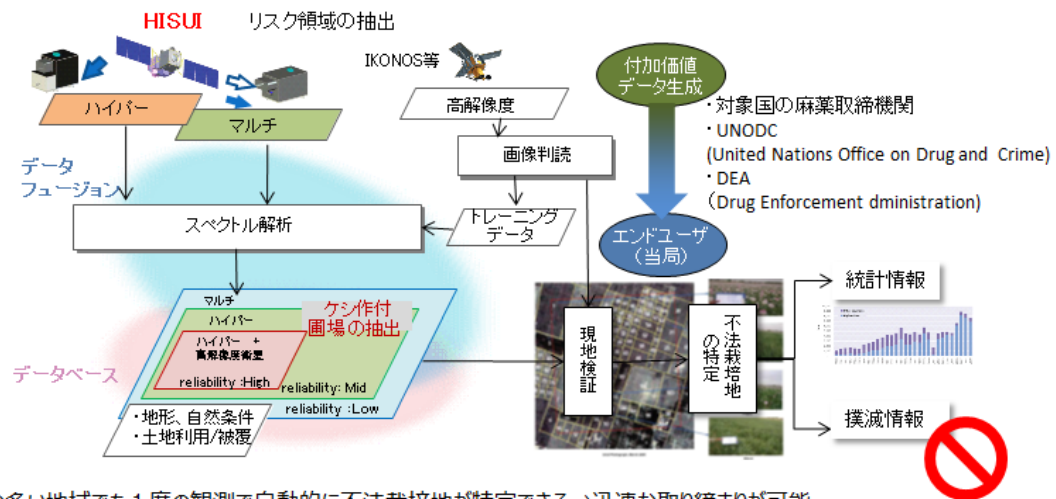


図 H-4-2-2 共同研究開発成果の紹介パンフレット

ケシは、各国政府機関のほか UNDOC（国際連合薬物犯罪事務所）で不法栽培作物の監視が行われている。例えば、高解像度マルチスペクトルセンサでケシ圃場の候補地を抽出し、1 回のハイパースペクトルデータによる観測データからケシ圃場を確定するという利用方法が可能になる。ハイパースペクトルデータと高解像度マルチスペクトルセンサを組み合わせることで、図 H-4-2-3 に示すような監視業務の効率化が図れるという波及効果が期待できる。



○雲の多い地域でも1度の観測で自動的に不法栽培地が特定できる⇒迅速な取り締まりが可能
○2013年のアフガニスタンのケシ生産額：9.5億ドル(GDP4%)※1⇒計画的な換金作物への転換、農業技術指導

図 H-4-2-3 不法栽培作物監視業務の効率化構想

これらをとりとめ波及効果について H-4-2-5 に示す。

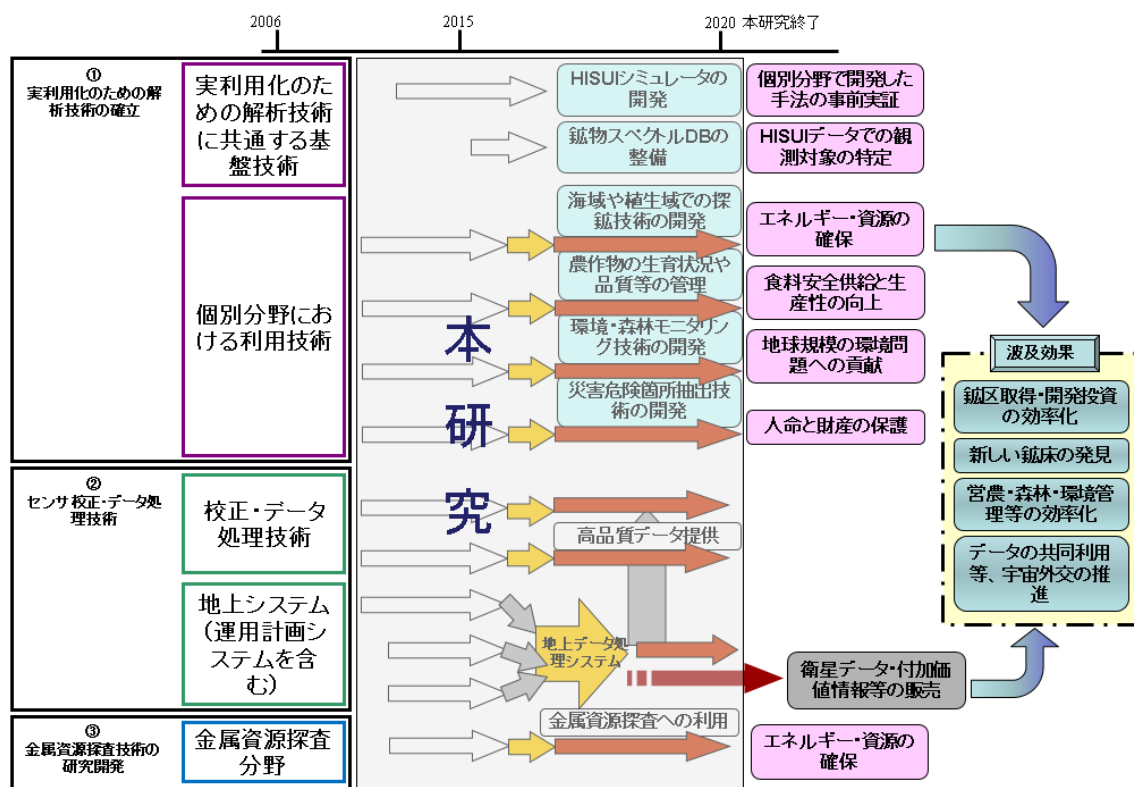


図 H-4-2-4 本研究の波及効果の模式図

ハイパースペクトルデータの有用性は各国でも認知されており、観測されるハイパースペクトルデータの共同利用による地球観測等の協力やすそ野の広い国際宇宙協力を推進することでソフトパワーを発揮し、国際社会における我が国のリーダーシップ及び外交力の一層の強化につなげることも考えられる。実際、ドイツ DLR やイタリア ASI からはハイパースペクトルセンサの運用時における協業の可能性についての打診を受けていることから、個別分野の利用技術の波及効果とは別に、我が国と諸外国との宇宙外交の推進や、データの共同利用等という我が国の政策への波及効果も考えられる。

H-5 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

H-5-1 研究開発計画

本研究開発で実利用化を目指して開発している技術は、図 H-5-1-1 に示すようにエネルギー・資源の確保、食糧安定供給、地球規模の環境監視に資するものである。

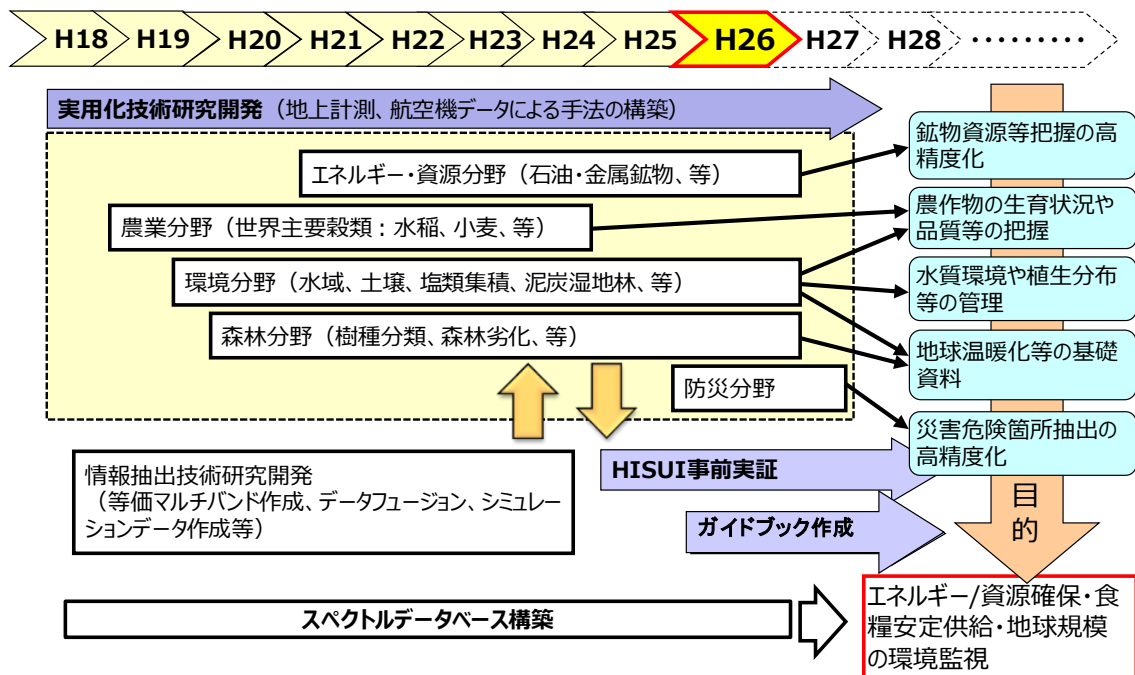


図 H-5-1-1 実利用化のための解析技術の目標

ハイパースペクトルデータの有用性が見込める分野でユーザーニーズの高いテーマを選定し、手法開発、事前実証、実証の3つのフェーズに分けて研究開発を実施する。それぞれのフェーズの意味は、次のとおりである。

手法開発：携行型や航空搭載型のハイパースペクトルセンサを使用し、目標達成に向けた手法の開発を行う。

事前実証：HISUI 運用前に、HISUI シミュレーションデータを使って手法開発の成果を実証する。

実証：HISUI 運用後に、実際の HISUI データを使って開発した手法の成果を実証する。

これら各研究フェーズの関係を模式的に表した実利用化のための解析技術の研究開発の流れを図 H-5-1-2 に示す。

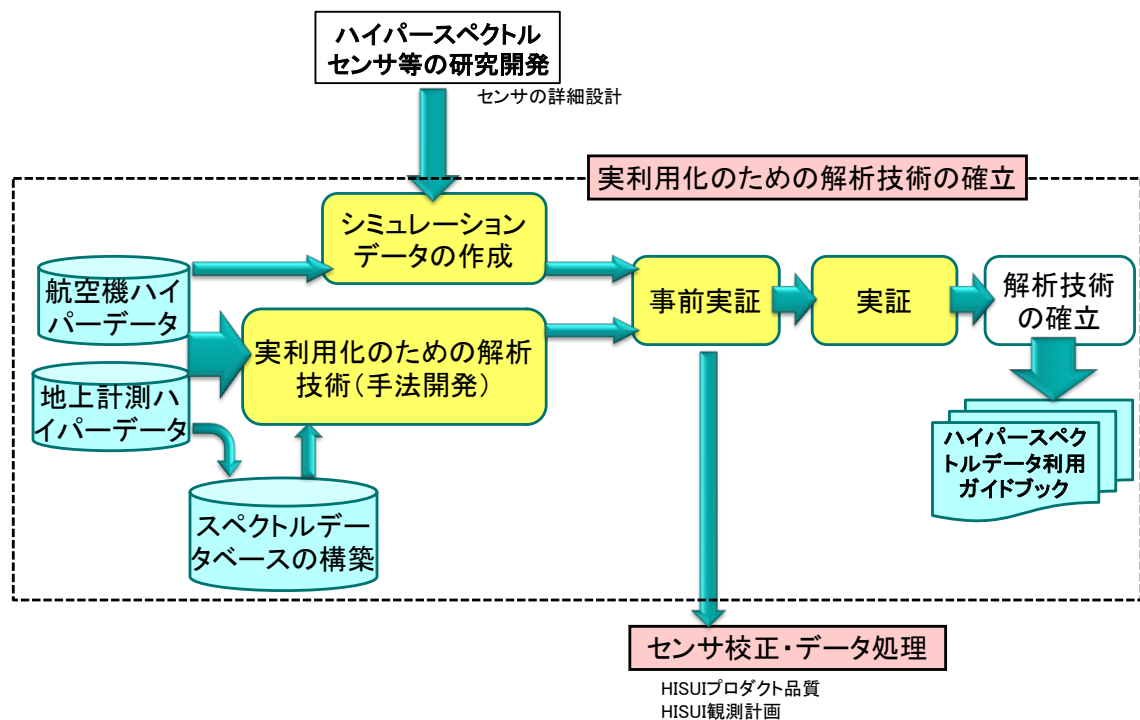


図 H-5-1-2 実利用化のための解析技術の研究開発の流れ

また、研究開発のテーマを研究フェーズごとに色分けし、年度別に図 H-5-1-3 に示す。具体的には、平成 23 年度から平成 26 年度の期間に、航空機搭載センサで取得したハイパースペクトルデータから、HISUI で取得されるデータと同等のデータを作成できる HISUI シミュレータを開発した。そして、エネルギー・資源、農業、環境、防災等の分野で、手法開発が完了したテーマについて事前実証を行った。また、成果をまとめたガイドブックと総括資料の作成を開始した。さらに、スペクトルデータ整備方針に従ってスペクトルデータの作成と登録を行った。

以上のように、計画通りの行程で進んでおり、今後も研究開発を進捗させることが適当と考えられる。

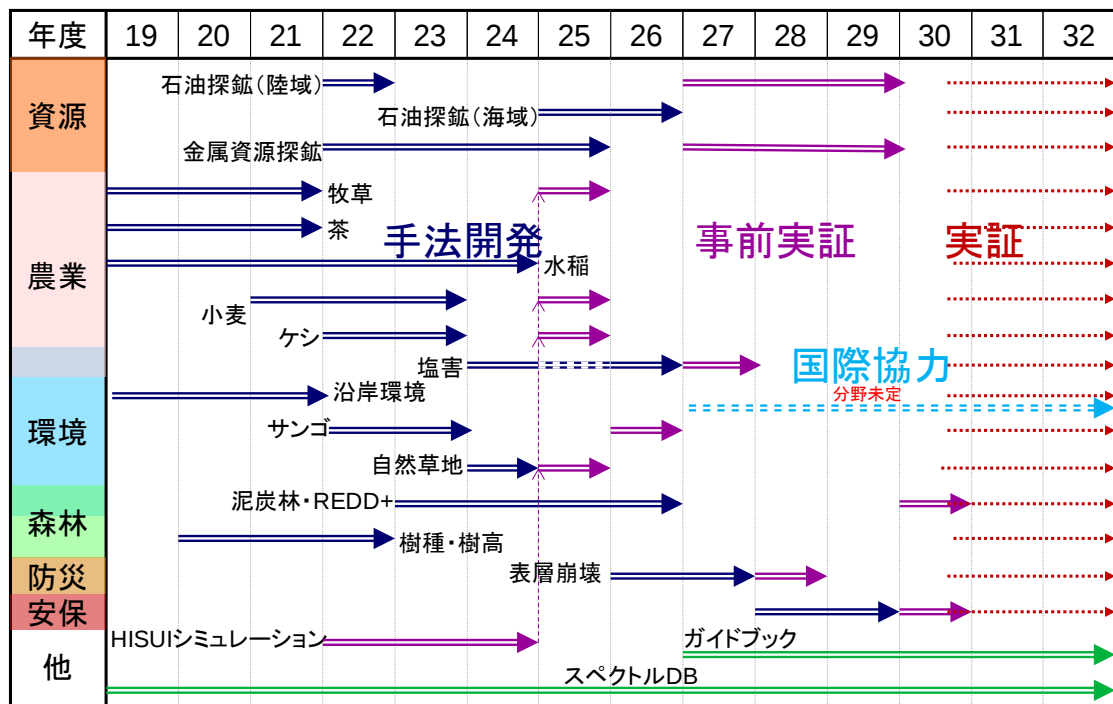


図 H-5-1-3 実利用化のための解析技術に係る研究開発計画

センサ校正・データ処理技術では、平成 23 年度から平成 26 年度の期間に、アルゴリズムの開発、ソフトウェアの開発、地上システムの概念設計を行い、計画どおりの工程で進んでいる。今後も研究開発を進捗させることが適当と考えられる（図 H-5-1-4）。

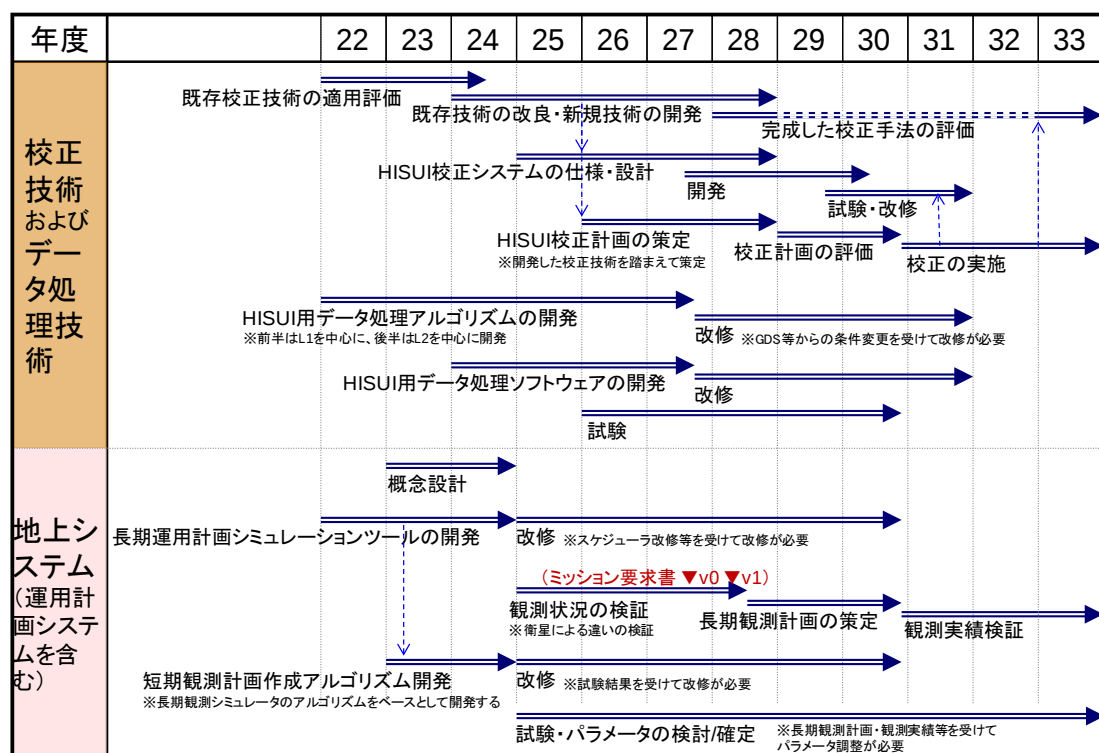


図 H-5-1-4 センサ校正・データ処理技術に係る研究開発計画

「金属資源探査技術の研究開発」では、平成23～26年度は金属鉱床タイプに応じた解析技術開発を行い、計画どおりの事業を完了した（図 H-5-1-5）。

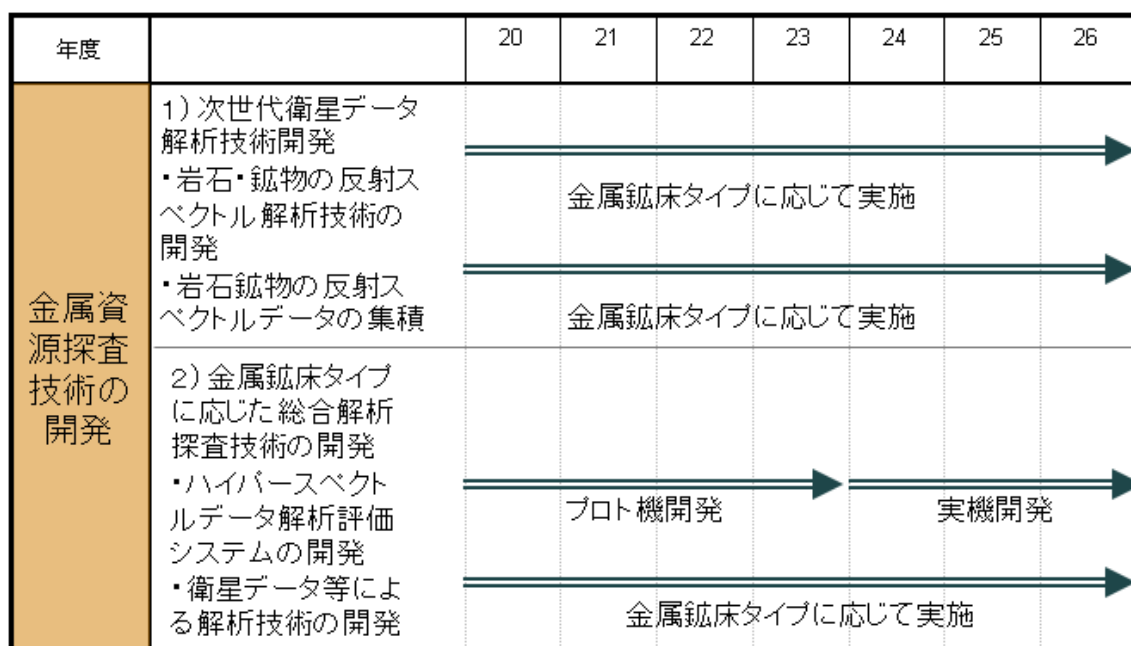


図 H-5-1-5 金属資源探査技術の研究開発計画

H-5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

H-5-2-1 研究開発の実施体制

以下に平成 26 年度末時点での実施体制を図 H-5-2-1-1 及び図 H-5-2-1-2 とし
て示す。

本事業のうち、実利用化のための解析技術は、（一財）宇宙システム開発利用
推進機構が実施する。センサ校正・データ処理技術は、地上システム（運用計
画システムを含む）を（一財）宇宙システム開発利用推進機構が実施し、校正・
データ処理技術を（独法）産業技術総合研究所が実施する体制である。

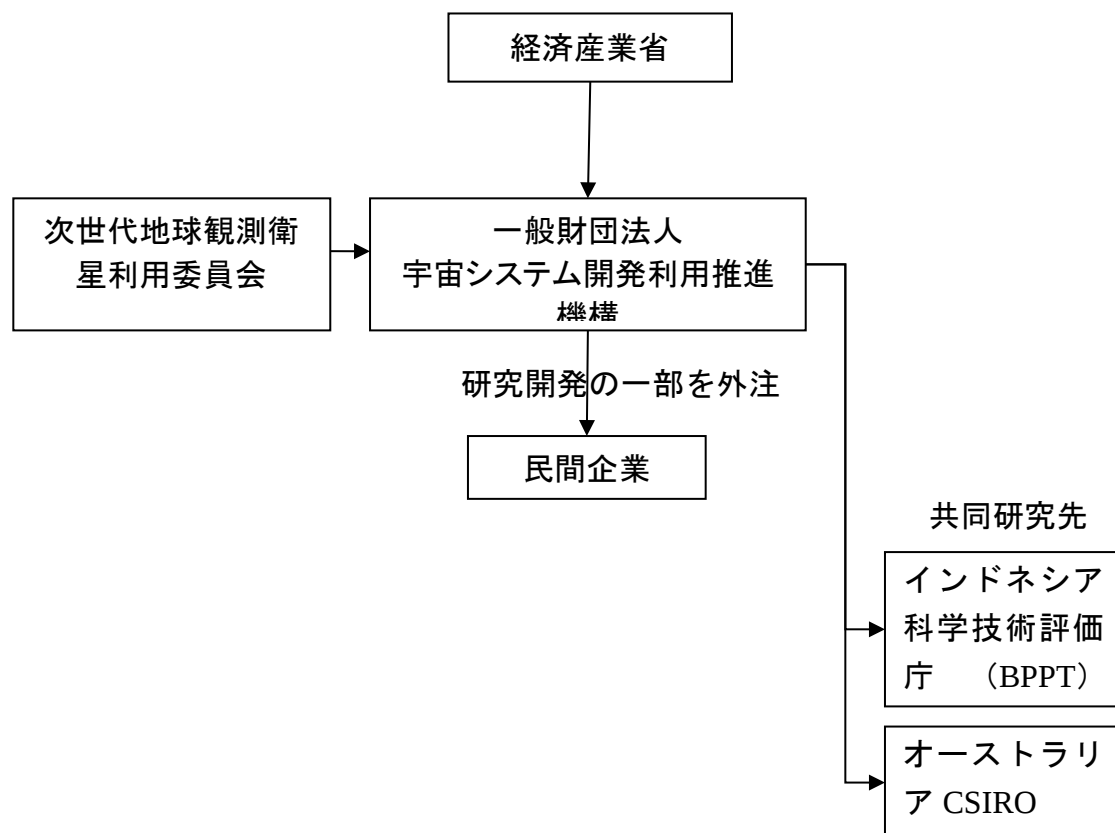


図 H-5-2-1-1 実施体制図（実利用化のための解析技術の確立）

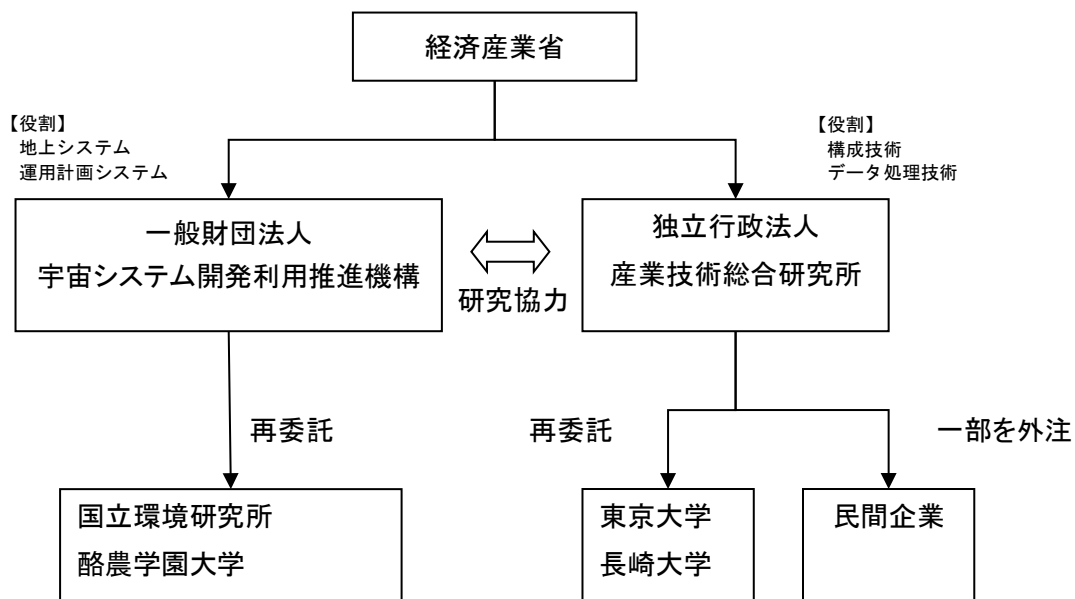


図 H-5-2-1-2 実施体制図（センサ校正・データ処理技術）

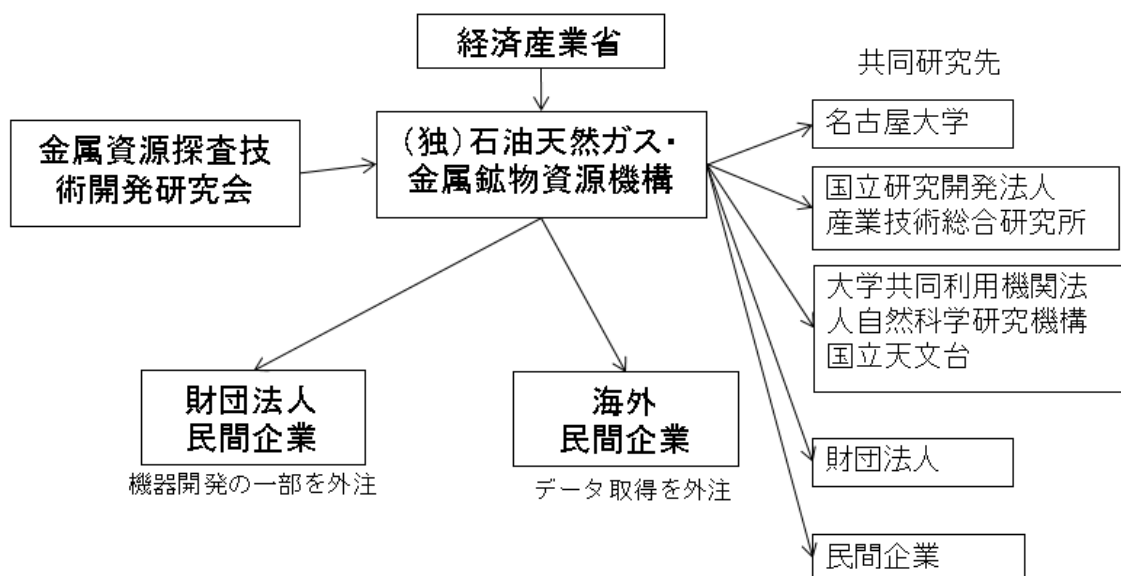


図 H-5-2-1-3 実施体制図（金属資源探査技術の研究開発）

H-5-2-2 研究の運営管理

図 H-5-2-1-1 および図 H-5-2-1-2 に示したように、本研究開発は、実利用化のための解析技術とセンサ校正・データ処理技術に分かれている。しかし、開発される解析技術をユーザが利用するに当たって、HISUI のデータが仕様どおりに高品質なプロダクトとして継続提供されることや限られた観測時間の中でユ

ーザニーズに出来る限り応じる観測計画が立案可能な運用が要求される。したがって、本研究開発の実施機関である（一財）宇宙システム開発利用推進機構と（独法）産業技術総合研究所とは相互に研究協力を行うとともに、HISUI センサの開発を行う「ハイパースペクトルセンサ等の研究開発」事業とも協力し、お互いの委員会に相互参画するなどして、センサ開発、利用研究、センサ校正・データ処理技術研究の間で情報交換を密に行っている。

本研究開発の目標は開発する解析技術が様々な利用者に活用されることであるが、前述したように、特にハイパースペクトルデータはこれまでほとんど実利用化が行われていない状況を考慮し、先駆的技術の実利用化研究の推進にあたり、計画の妥当性、技術的妥当性等を客観的に助言・指導する「次世代地球観測衛星利用委員会」を平成 18 年度に設置し、研究テーマに対応した有識者を随時委嘱している。委員は、主としてエネルギー・資源、農業、環境分野におけるハイパースペクトルデータに関する学識経験者と将来ハイパースペクトルデータを利活用することが期待される企業の専門家に委嘱している。

以下に、「次世代地球観測衛星利用委員会」の委員を示す。

【次世代地球観測衛星利用委員】（肩書きは、平成 27 年 3 月末現在）

【委員長】

六川 修一 東京大学大学院 工学系研究科 技術経営戦略学専攻 教授

【副委員長】

松永 恒雄 国立環境研究所 環境計測研究センター 環境情報解析研究室 室長

【委 員】

栗屋 善雄	岐阜大学 流域圏科学研究センター 流域情報研究部門 教授
石山 隆	千葉大学 環境リモートセンシング研究センター 研究員
岩崎 晃	東京大学大学院 工学系研究科 先端学際工学専攻 教授
斎藤 元也	東京工業大学 イノベーション研究推進体 付加価値リモートセンシング 特任教授
高田 雅之	法政大学 人間環境部 人間環境学科 教授
竹花 康夫	石油資源開発株式会社 技術企画部 部長
土田 聡	産業技術総合研究所 地質調査情報センター 次長
外岡 秀行	茨城大学 工学部情報工学科 准教授
中村 英克	石油天然ガス・金属鉱物資源機構 資源探査部 探査技術開発課課長 （併）探査第 1 課 担当調査役
中山 憲幸	日本電気株式会社 品質推進本部 環境推進部 エキスパート
平井 浩二	JX 日鉱日石金属株式会社 金属事業本部 資源開発部 技師
矢崎 慎介	兼松株式会社 鉄鋼・素材・プラント部門 エネルギー部 直売課 k

図 H-5-2-1-3 に示すように、金属資源探査技術の研究開発については、開発計画、開発内容及び開発結果に関する技術的な助言を得るために、外部専門家から構成される研究会を設置し事業を進めている。当該研究会委員の構成を以下に示す。

【金属資源探査技術開発研究委員】

浦井 稔	産業技術総合研究所 地質情報研究部門 情報地質研究グループ 上級主任研究員
古宇田 亮一	産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 招聘研究員
三箇 智二	JX 日鉱日石探開株式会社 取締役 券 探査事業部副事業部長
武田 祐啓	住鉱資源開発株式会社 資源環境調査部 担当課長
加藤 雅胤	一般財団法人 宇宙システム開発利用推進機構 利用技術本部 技術参与
押上 祥子	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室 研究員
山口 靖	名古屋大学大学院 環境学研究科 教授

H-5-3 資金配分

今回の中間評価の対象となる期間である平成23年度から平成26年度の資金とその配分（いずれも実績）を表H-5-3-1に示す。

本研究開発を遂行するにあたり、ハイパースペクトルデータが必要になるが、入手可能な衛星搭載型センサによるデータは米国のHyperionしか存在しないため、研究開発に遅滞が生じないように航空機搭載型のセンサにて新規撮影するための資金も配分し、より実用性のある研究に集中している。

研究開発の進捗状況を十分に勘案し、資金の過不足がないように適切な資金配分を行い、最大の成果を得ることができるよう予算の運用管理を行っている。

表 H-5-3-1 資金配分（平成23～26年度）

（単位：百万円）

研究項目／年度	23年度	24年度	25年度	26年度	4年間合計
実用化技術研究	281	171	135	127	714
センサ校正・データ処理技術	143	215	222	199	779
金属資源探査技術の研究開発	140	100	85	82	407
各年度の合計	564	486	442	408	1,900

（注）各年度の合計、4年間の合計は、四捨五入の関係で必ずしも一致していない。

H-5-4 費用対効果

H-4-1 項にて、事業化の見通しについて示したが、データ配付条件等については決まっていないものの、仮に ASTER と同様に 1 シーン 1 万円とした場合、一般ユーザへのデータ配付金額は年間約 7 千万円となり、5 年間で 3 億 5 千万円となる。これにさらに付加価値情報提供サービスによる金額が加算されることになる。

石油・天然ガスが探鉱段階から生産段階に至るまでに、陸上や海上、大水深海等の条件により期間は異なるが、探鉱には 3～5 年、開発には 6～10 年の期間を要する。特に探鉱は、商業的に採取可能な規模の石油・天然ガスを発見できない場合、数十億円から数百億円という投下資金が全く回収できないという極めてリスクの高い事業である。そのため、いかにコストを引き下げ、効率的かつ採算性の良い方法を採用するかという技術開発の問題が重要であり、ハイパースペクトルデータを使用することにより、一定のコスト引き下げが期待される。

一方、金属資源探査の初期段階においては、対象範囲 10 万 km² 程度から有望地を 10km² 程度の範囲まで絞り込み、さらにボーリング調査を行うまでに 10 億円以下の探鉱費用が必要となり、深部の鉱床評価までにはさらに 40 億円以下の投資が必要となる。このため、最も初期段階における有望地絞り込みの精度は、その後の探鉱・投資の進退に大きな影響を与えることから、ハイパースペクトルデータから高い確度で有望地を絞り込む効果が期待される。

また、オーストラリアでは農耕地の塩害化対策に 1km² あたり 50～500 万円をかけている例もあることがヒアリング結果で分かっている。塩害が進むほど対策費用は嵩むことから、農家では低濃度の塩分分布を把握したいというニーズがある。ハイパースペクトルデータから土壌の低濃度塩分濃度マップが作成できるようになれば有償販売が見込まれ、仮にこのマップを 1 万円/km² の価格で販売する場合には、耕作地面積が 40 万 km² 以上もあるオーストラリア全域で約 40 億円の事業規模になると推定される。

以上示したように、ハイパースペクトルデータが各事業の売上増・経費削減に対してどの程度の貢献度しているかを数値で表すのは難しいが、対象となる鉱区が開発生産に到る場合には、石油、金属資源ともに費用対効果は非常に大きくなる。

H-5-5 変化への対応

(1) 搭載衛星計画の変更

「ハイパースペクトルセンサ等の研究開発」事業の評価用資料にも記載してあるが、HISUI センサは、開発の検討着手時から文部科学省が研究開発を計画していた「ALOS-3（だいち3）」に搭載することを想定していた。しかし、平成23年8月の「宇宙開発利用の戦略的推進のための施策の重点化及び効率化の方針」において、以下のような指摘があり、「ALOS-3」の開発計画は中止となった。

だいち3（文部科学省（JAXA）、分解能80cm、観測幅50km）は（中略）緊急性等との観点で他のプロジェクトより優先度が低いため、宇宙政策全体の中で他の優先度の高いプロジェクトを実施した上で宇宙予算上可能であれば実施することとすべきである。

搭載衛星（JAXA）の中止に伴い、新たなセンサの宇宙実証機会の模索とともに、ハイパースペクトルデータの共同利用や共同研究の機会についても模索をし、搭載機会拡大のための典型的な衛星を想定して観測されるデータの仕様・性能等を鑑み、開発した手法の汎用化の検討を実施している。

上記の計画変更のため、開発完了を平成32年度まで延長することとなった。

（2）中間評価（平成23年度）の反映

（指摘事項の要点）

- ・ 解析技術が実用化にどうつながるか、ユーザにどう活用できるかが課題
- ・ 解析事例を増やすことで、ユーザに魅力的で、とりつきやすいシステムとなるよう今後の進展に期待
- ・ データ販売および利用に関して、より定量的な試算が必要。

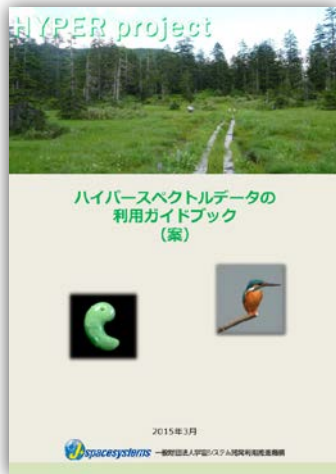
（対応）

「H-4-1 事業化の見通し」で示したように、ユーザや関係者へのヒアリングを行い、ニーズや事業の実情を確認しつつ将来の事業化の見通しを具体的に検討している。

また、ユーザに分かりやすくデータ利用が魅力的となるよう、技術開発の成果をとりまとめ、ハイパースペクトルデータの利用促進に寄与するべくハイパースペクトルデータの利用事例を掲載したガイドブックを作成している。（図 H-5-5-1）

また、「ハイパースペクトルセンサ等の研究開発」事業と連携して調査・検討を進め、図 H-5-5-2 のようにロードマップを作成している。

(a)ガイドブック（案）



(b)総括資料骨子（案）

1. 概要 → 総括資料の概要
2. HyperProjectについて → HyperProjectの全体像を説明。実施内容については次章で詳細説明。
 - 2-1. 目的 → HyperProjectの目的。HISUIの紹介。
 - 2-2. 全体計画 → 事業の実施計画・スケジュールについて説明
 - 2-3. 実施内容 → 実施内容の説明。次章の要約版をイメージ
 - ユーザー要求の調査・整理
 - ・ユーザー要求調査
 - ・技術動向調査
 - ・次世代センサ要求調査
 - ハイパースペクトルデータの利用研究
 - ・実用化技術研究
 - ・情報抽出技術研究
 - スペクトルデータベース構築
3. 実施内容の紹介 → 具体的な紹介
 - 3-1. ユーザー要求の調査・整理 → ユーザーニーズを調査し、取り組むテーマを選定した経緯を記載
 - 3-2. ハイパースペクトルデータの利用研究 → 分野ごとの研究内容について記載
 - ハイパースペクトルデータの補正手法 → 主に航空機データをを用いた補正手法について紹介
 - ハイパースペクトルデータの解析手法 → 複数の研究で用いられた主要な解析手法の紹介
 - 資源
 - 環境
 - 農業
 - 3-3. スペクトルデータベースについて → 開発過程、利用方法、収納データなどについて記載
 - 3-4. HISUI打ち上げに向けた取り組み → HISUI打ち上げ後の実用性を検証するための研究紹介。
 - シミュレーションデータの作成
 - 等価マルチバンドの作成
4. データの入手方法 → ハイパースペクトルデータの入手方法について記載。
5. 用語集 → 分野ごとに専門的な言葉が多数見られるため説明は必要と考える。

図 H-5-5-1 ガイドブック（案）の表紙と目次（案）

今後のハイパースペクトルセンサのロードマップ

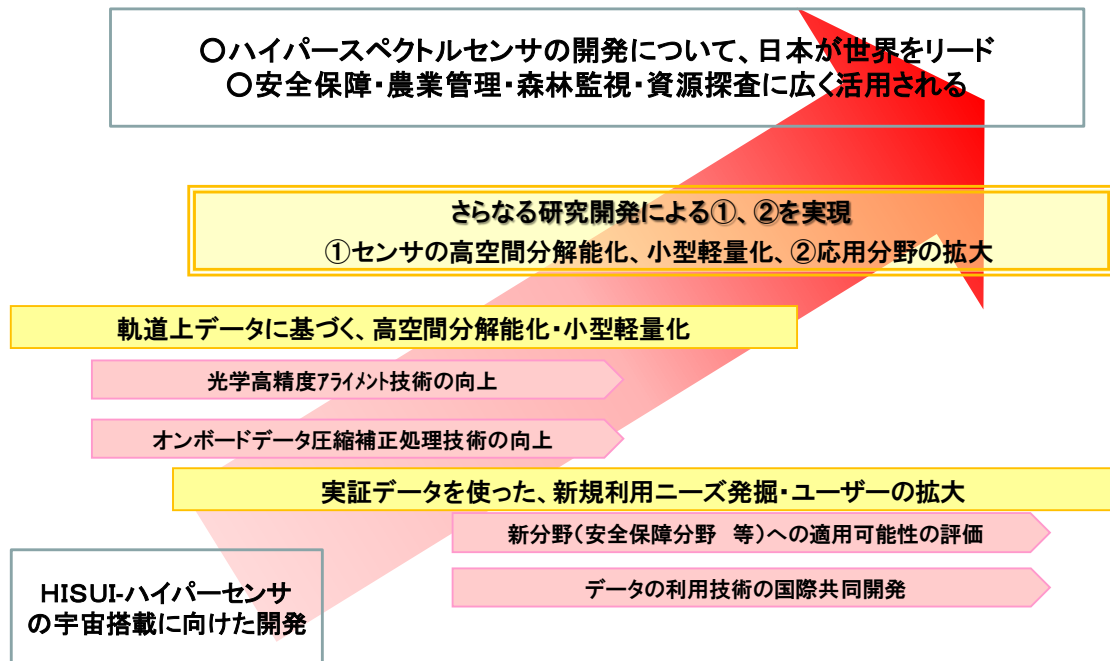


図 H-5-5-2 今後のハイパースペクトルセンサのロードマップ