

ハイパースペクトルデータ
利用ガイドブック



はじめに

ハイパースペクトルセンサは、多くの波長を、狭いバンド幅で、連続して測定することができる新しいタイプのセンサです。ハイパースペクトルセンサは、従来のマルチスペクトルセンサと比べてより多くの鉱物種や植物種の分類が可能になるだけでなく、農作物の収量や品質といった地物の量や質を高い精度の推定ができるようになります。2019年には、日本が開発したハイパースペクトルセンサ“HISUI”が国際宇宙ステーションに搭載され、宇宙空間でのハイパースペクトルセンサの運用が開始されることから、今後ますますハイパースペクトルセンサの利用が高まることが期待されています。

一方、ハイパースペクトルセンサは、これまでにない新しいセンサであるがゆえに、一部の研究者や専門家を除く一般のユーザにとっては、どのような分野で利用できるのかという情報が十分に伝わってこないという指摘があります。また、最初に述べたセンサの特殊性ゆえに、データの解析方法も新しいものが次々に提案されており、こうした事情も一般のユーザがハイパースペクトルセンサに手を出しづらい理由の1つとなっています。

本ガイドブックでは、ハイパースペクトルデータを用いた16の具体的な利用事例を挙げながら、ハイパースペクトルデータがどのような分野に使えるのか、従来のマルチスペクトルセンサと比較してどのような利点があるのか、そしてハイパースペクトルデータの特徴を生かした解析にはどのような種類のものがあるのかを分かりやすく説明しています。本ガイドブックは、これまでにマルチスペクトルデータを利用したことがあり、ハイパースペクトルデータにも興味があって利用してみたいという人を対象にしています。読者が本ガイドブックを読んでハイパースペクトルセンサに興味を持ち、自身の仕事に生かしてもらえれば幸いです。

最後になりますが、本ガイドブックは、経済産業省から委託を受けて一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構が実施している「次世代地球観測衛星利用基板技術の研究開発（ハイパースペクトルセンサ・データの高度利用に係る研究開発）」の一環として作成されたものです。

平成 29 年 3 月吉日

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

研究開発本部利用研究部

部長 立川 哲史

目次

はじめに	1
目次	2
ガイドブックの目的と構成	3
第1章 リモートセンシング概要	4
①リモートセンシングとは？	5
②スペクトルデータの活用	7
③ハイパースペクトルデータとは？	9
第2章 ハイパースペクトルデータの利用事例	12
事例1：特定の鉱物のある場所を抽出したい（資源）	13
事例2：銅、金、レアメタルなどを探したい（資源）	15
事例3：海域にある石油探鉱候補地を探したい（資源）	17
事例4：効率的に水稻の生育診断をしたい（農業）	19
事例5：水稻の生産量を知りたい（農業）	21
事例6：小麦の収量・品質・作付け状況を知りたい（農業）	23
事例7：茶葉を計画的に摘採したい（農業）	25
事例8：牧草の生産性を評価したい（農業）	27
事例9：ケシの不法栽培を監視したい（農業・環境）	29
事例10：泥炭湿地林の森林劣化箇所を知りたい（環境）	31
事例11：森林の樹種を分類したい（環境）	33
事例12：湿地の植生を把握したい（環境）	35
事例13：塩害による土地の劣化を把握したい（環境）	37
事例14：サンゴの白化および白化からの回復を把握したい（環境）	39
事例15：沿岸部の水深を把握したい	41
事例16：土砂災害（表層崩壊）の危険性を把握したい（防災）	43
巻末資料（補足情報）	45
ハイパースペクトルデータの利用方法	45
データの前処理	47
情報の抽出手法	49
ハイパースペクトルデータを処理できるソフトウェア	50

ガイドブックの目的と構成

本ガイドブックは、ハイパースペクトルデータの利用促進を目的に、「農業」「資源」「環境」「防災」の4分野におけるハイパースペクトルデータの利用事例を紹介するものです。いずれの事例も、従来使われてきたマルチスペクトルセンサと比べて、より多くのスペクトル情報を持つハイパースペクトルセンサの特徴を活かした解析を行っています。「ハイパースペクトルデータだからできる解析」とも言えます。

本ガイドブックの構成は以下の通りです。

第1章：リモートセンシングとスペクトルデータについて紹介

第2章：ハイパースペクトルデータを用いた研究事例を紹介

巻末資料：データ利用に関する情報を紹介

第1章は、スペクトルデータを活用するために必要となる情報を中心に、リモートセンシングやハイパースペクトルデータの概要を説明しています。

第2章は、各分野におけるハイパースペクトルデータの研究事例を紹介しており、データから得られた情報（解析結果）を利用する人や、これからハイパースペクトルデータを使ってみようという人を対象に書かれています。

巻末資料では、スペクトルデータの利用に関する情報を掲載しています。データを使ってみたいという方は、こちらをご覧ください。

なお、このガイドブックで紹介する事例では、航空機搭載型ハイパースペクトルセンサと携帯型分光放射計（ハイパースペクトルセンサ）で観測されたデータを使っています。また、いずれも衛星リモートセンシングでの実利用を想定して取り組んだものです。

第1章

リモートセンシング概要

① リモートセンシングとは？

リモートセンシング概要

利用事例

リモートセンシング (Remote Sensing) を訳すと、「離れて (間接的に) 計測 (検知) すること」という意味になります。つまり、リモートセンシングとは、直接触れずに対象物から離れてその対象の情報を取得する技術です。例えば、私たちが「目で物を見ること」をイメージすると、リモートセンシングがどのようなものかわかりやすいでしょう。目は直接触れることなく、離れた場所にある物体の色を判別できます。これと同じことを機械 (センサ)¹⁾で行います。

1) 広義では、デジタルカメラやスマートフォンのカメラもリモートセンシングのセンサと言えます。

2) Unmanned Aerial Vehicle, 無人航空機。

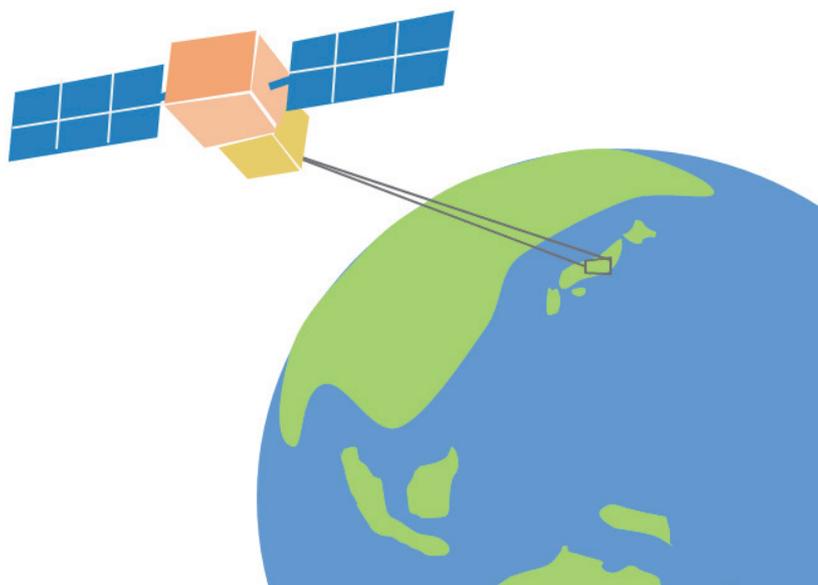
リモートセンシングの観測手段は、デジタルカメラのような手持ち観測のほか、UAV²⁾や航空機、人工衛星にセンサを搭載して観測する方法があります。観測手段はいろいろありますが、人工衛星を使って宇宙から地球を観測するリモートセンシングのことを「衛星リモートセンシング (以下、衛星 RS という)」と言います。このガイドブックは、ハイパースペクトルデータを衛星 RS で利用することを見据えた事例を紹介しているので、衛星 RS について少し紹介しておきましょう。

【衛星リモートセンシング】

衛星 RS の技術を普段何気なく使っていることをみなさんは知っていますか？ 例えば、インターネットで地図を見ると、地図の他に宇宙から撮影した画像が表示されます。この画像はデジタルカメラのような、光学センサ³⁾を搭載した人工衛星で撮影されたデータです。また、日々の天気予報に使われる情報は、人工衛星である静止気象衛星「ひまわり」⁴⁾が取得したデータを使っています。このように、人工衛星でデータを取得し、そのデータから地表や気象などの情報を読み取る技術が衛星 RS 技術です。衛星 RS の技術は、我々の身近なところで使われています。

3) 電磁波の波長で可視域から熱赤外域ぐらいまでを観測対象とする映像センサ。

4) 大縮尺 (1/500~1/5,000) の地図では、航空機で取得した画像が用いられている場合があります。



衛星リモートセンシングの観測イメージ

【衛星リモートセンシングのメリット】

衛星 RS の利点は、以下のようにまとめられます。

「一度に広域を観測できる」

「人が行けない場所の情報を取得できる（現地に行かなくても情報が取得できる）」

「周期的に同じ場所を観測できる」

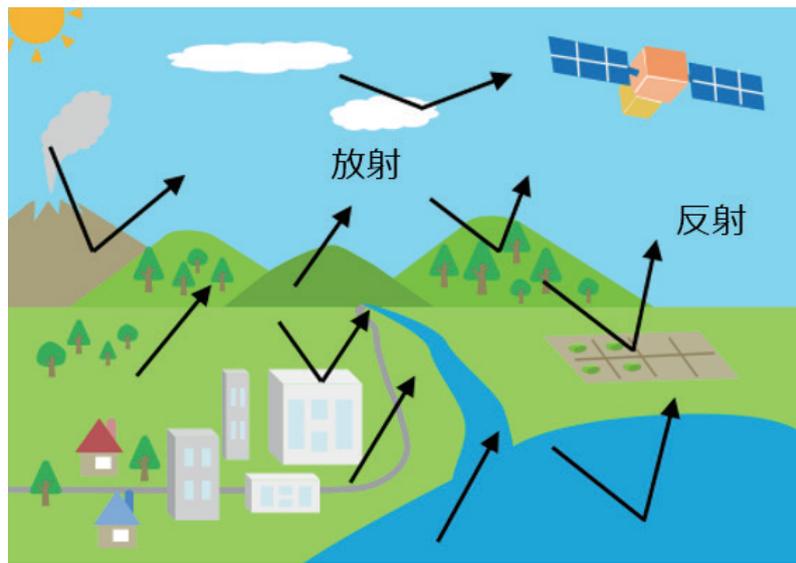
「可視光線以外の赤外線など、人の目で見ることができない情報を取得できる」

こうした利点を活かして、衛星 RS は、資源探査、大気観測、地質調査、土地利用状況、植生分布、海洋状態の把握など幅広く利用されています。例えば、資源探査では、地形図や地質図などが十分に整備されていない国における判読資料として、環境調査や災害調査では、険しい山地や辺境の地で行う現地調査のための事前情報収集に、また、災害時には広域被災状況の把握に利用されています。このように、衛星 RS は、さまざまな用途で活躍しています。

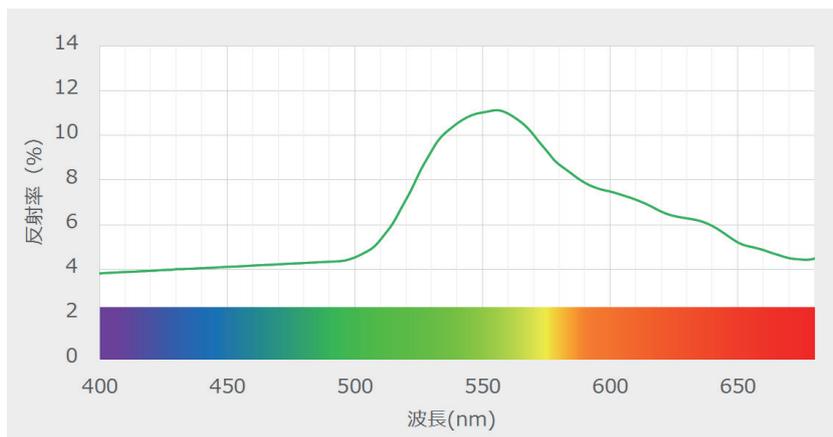
② スペクトルデータの活用

5) 太陽光の反射以外にも、地球自身が出す熱などのエネルギー放射がある。

リモートセンシング技術は様々な分野で活躍していますが、いずれの用途においても対象物が反射・放射⁵⁾する電磁波の強弱の特徴を捉えて対象物を認識・識別するという原理に基づいています。例えば、植物の葉が緑色に見えるのは、葉が赤と青の波長帯（スペクトル）の光に比べて緑の波長帯の光をより多く反射しており、それを人の目が認識するためです。リモートセンシングでは、人の眼が色を認識するように、電磁波の反射・放射の強さを観測し、その強弱を対象物ごとに比較して、識別や同定を行います。



衛星リモートセンシングによる反射・放射の観測イメージ



可視域の草のスペクトルの例

6) 反射率は、入射した電磁波と反射した電磁波の比のこと。分光反射率は、波長帯ごとの反射率をいう。なお、人工衛星などで取得された画像データには、Digital Number (DN) と呼ばれる数字が記録されている。この DN を反射率に変換してから分類処理を行うことが一般的である。

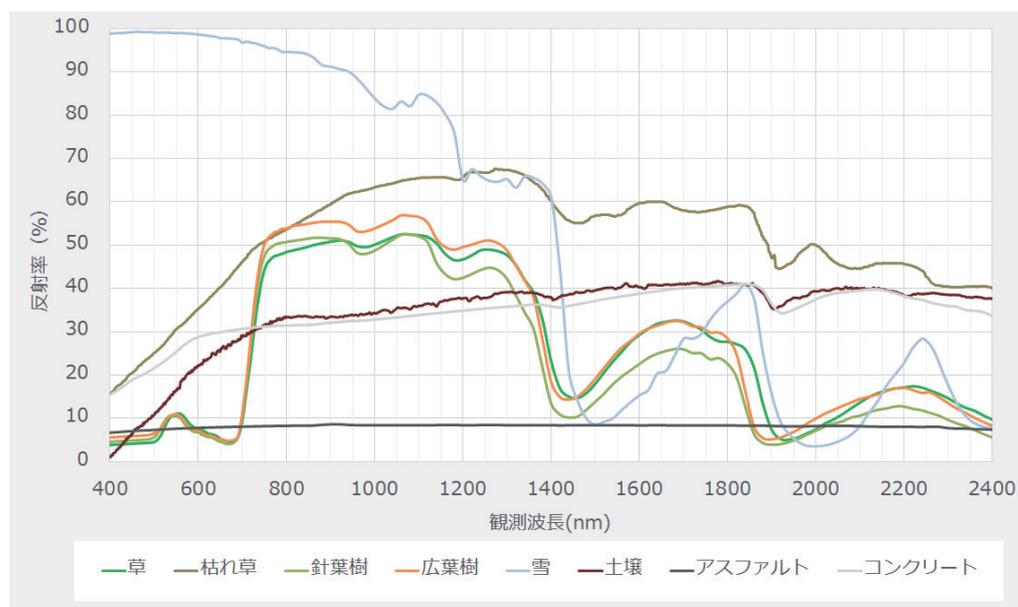
7) 変化位置は、反射率を波長で微分し、その最大傾斜を示す波長で定義される。

右ページの図は、草や土、水などの反射特性を示した図です。波長によって反射率⁶⁾が変わり、植生や土、水など物質ごとに異なるスペクトルの形状であることがわかります。

例えば、草や樹木などの植物がもつ特徴的なスペクトル特性（分光特性）が「レッドエッジ (red edge)」です。これは、680nm から 750nm の波長域にかけてスペクトルの形が急激に変化する場所を指します。この変化位置⁷⁾が示すものが、植物の生育状況や活力、クロロフィルの含有量です。変化位置のずれを利用して、スペクトルデータから植物の分

布や生育状況などが把握できます。

このように波長の情報（スペクトル情報）を使い、対象物のスペクトル特性を明らかにすることで、鉱物資源の分布や土地被覆の分布、土壌や海洋の状態把握などが可能となります。



反射特性の違い（ASTER Spectral Library (<http://speclib.jpl.nasa.gov/>)⁸⁾のデータを利用)

8) このほかにもスペクトルライブラリとして「USGS Digital Spectral Library」などがある。

③ハイパースペクトルデータとは？

リモートセンシング概要

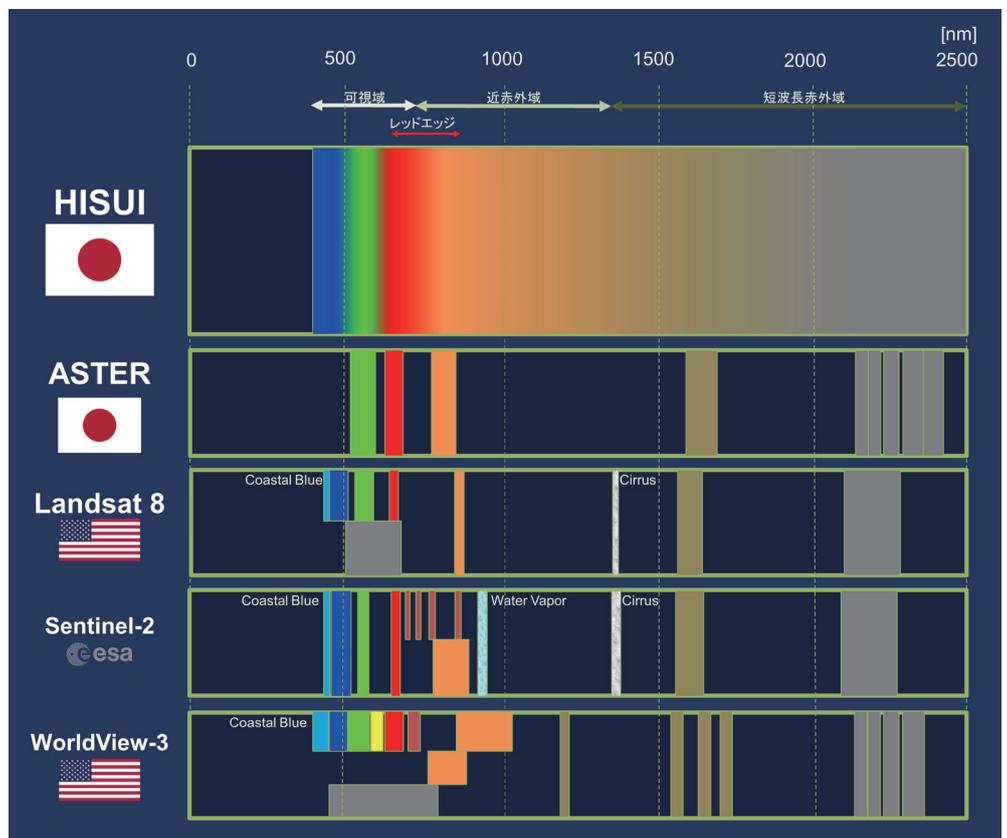
利用事例

9) バンド：センサが取得する電磁波の観測波長帯。通常、人工衛星に搭載されるセンサは複数のバンド（観測波長帯）を持つ。

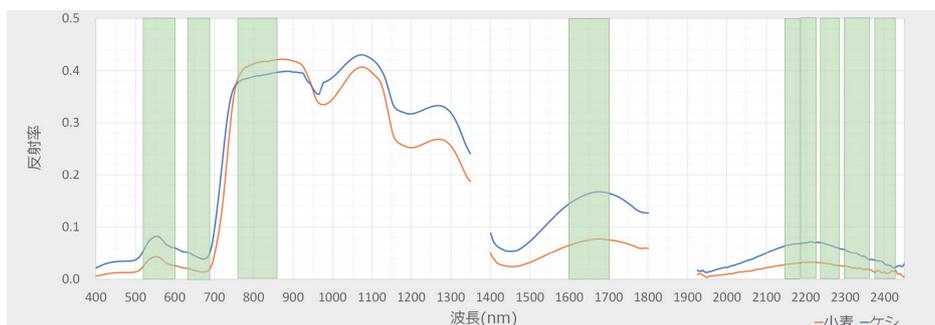
10) マルチスペクトルセンサで取得されたデータ。人工衛星に搭載されているマルチスペクトルセンサの多くは4～10数バンドの光学センサである。

ハイパースペクトルデータの特徴は、波長分解能が高いこと、観測バンド数⁹⁾が多くスペクトルを連続的に取得できることです。マルチスペクトルデータ¹⁰⁾の多くは、バンド数が4～10数バンドであり、波長分解能もハイパースペクトルデータと比べると高くありません。また、下の図で分かるようにマルチスペクトルデータは、比較的広い幅のバンドが離れて配置しています。一方、現在利用されているハイパースペクトルセンサのバンド数は、数十バンド～300バンド程度と観測できるバンド数が多く、狭い幅のバンドが連続して配置しています。

連続したスペクトルデータが取得できるので、マルチスペクトルセンサでは難しかった「わずかなスペクトルの形状の違いを使った解析」や「説明変数を多く用いた統計的な解析」などが可能です。例えば、スペクトルに対する微分処理や、多バンドを活かした多変量解析などです。マルチスペクトルデータで使われてきた処理手法はもちろん、このような多様な解析が行えることはハイパースペクトルデータの利点といえます。その反面、ハイパースペクトルデータを使用する際の注意点として、バンド数が多いことからデータ容量が大きくなることや、スペクトルデータを解析する際にどのバンドを使用するのか検討する必要があります。などが挙げられます。

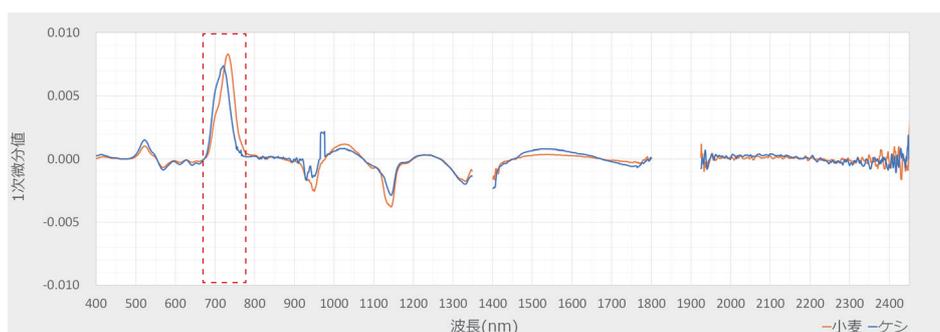


マルチスペクトルセンサとハイパースペクトルセンサの違い



小麦とケシの反射スペクトル（※ノイズが多い波長域を削除しています）

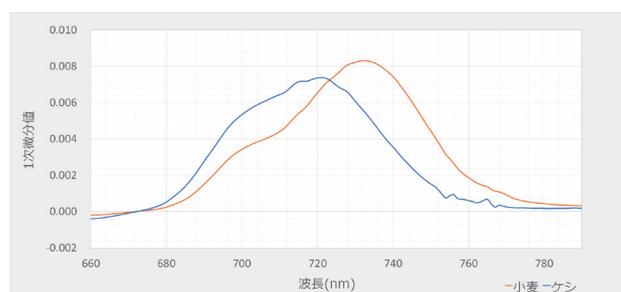
上図のようにハイパースペクトルデータは連続的なデータです。一方、緑色で塗りつぶされた範囲はマルチスペクトルセンサ「ASTER」の観測波長帯を示しており、バンドが離散的に配置しています。一般的なマルチスペクトルデータは観測波長の幅が広く、バンド配置が離散的なため、スペクトルのわずかな変化を見落としてしまうことがあります。



小麦とケシの反射スペクトルの1次微分値

この図は、スペクトルの微分処理結果です。ハイパースペクトルデータだからこそできる処理です。微分処理をすることで反射率の変動を強調し、特徴的な波長を抽出することができます。

例えば、赤破線箇所の値を見ると、小麦とケシの最大値を示す波長が違うことがわかります。この赤破線で囲まれた付近の波長帯は「レッドエッジ」と呼ばれ、植物の特徴が最もよく現れると言われています。レッドエッジにおいて一次微分値が最大となる波長が「レッドエッジポジション」です。このレッドエッジポジションの波長を利用することで小麦とケシを分類できます。



レッドエッジ付近の1次微分値



ケシ（上）、小麦（下）

■メモ

第2章

ハイパースペクトルデータの利用事例

事例1：特定の鉱物のある場所を抽出したい



対象地 メキシコ合衆国
ゲレーロ州

背景：鉱物資源の安定供給のために

鉱物資源探査を行う上で、現地での地表踏査は不可欠な作業の一つです。その目的は、岩石・鉱物の情報を収集し、地質・変質帯¹⁾などの状況を正確に把握することです。地表踏査を効率的に行うためには、調査対象となる鉱床の有望地を抽出する必要があります。そのため、広範囲の地表面物性を把握できる衛星データが有望地の抽出に使われています。実際に、短波長赤外域のバンドが多いマルチスペクトルセンサ（ASTER など）のデータを解析して、セリサイトやカオリナイト等の変質鉱物が抽出されています。踏査の効率化や鉱区取得を目的とした衛星データの利用が進んでいますが、より多くの種類の鉱物が抽出できる手法が求められています。

現在の研究実績

本事例では、スペクトルの情報から鉱物を特定する携帯型変質鉱物簡易同定装置（POSAM）²⁾のアルゴリズムを改良し、鉱物を抽出しました。

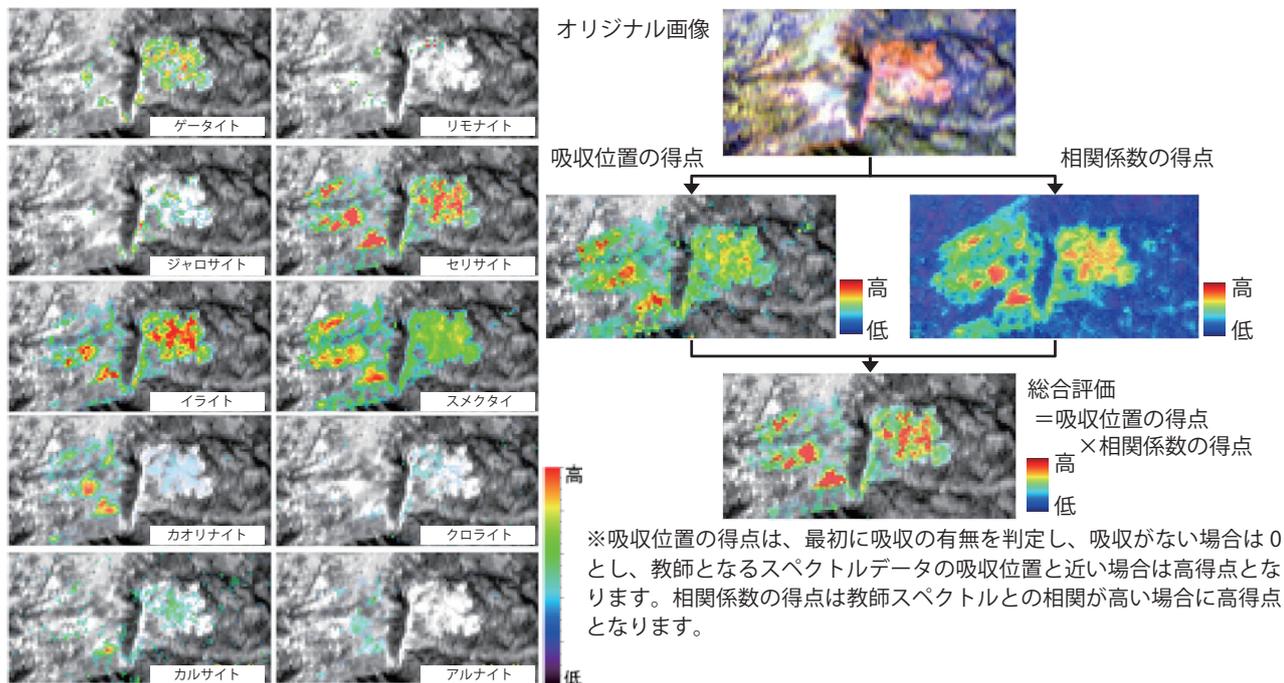
POSAMのアルゴリズムでは、2段階の方法で対象地域に鉱物が含まれる可能性を導きます。まず、各ピクセルのスペクトルが、スペクトルライブラリの教師データと同じ特徴を持っているか確認します。次に、同じ特徴があった場合、スペクトルの波形が似ているほど、鉱物が存在している可能性が高いと判断します。しかし、POSAMはハイパースペクトルデータの特性に合ったアルゴリズムではないため、空間分解能の違いや大気の影響などを考慮したアルゴリズムの改良が必要です。そこで、取得されたスペクトルが教師データと同じ特徴を持っているか確認する方法についてアルゴリズムの改良を行いました。

改良の結果、探鉱に有用と考えられる10種の鉱物を抽出することに成功しました。抽出された鉱物の組み合わせから、変質帯の性状が推定できます。さらに、マルチスペクトルデータではわからなかった同じ鉱物内の結晶の大きさや密度などの差によって起こる、わずかなスペクトルの違いも認識できることがわかりました。

現在は、分類に悪い影響を与えていた、枯れた植物のスペクトルを取り除く植生補正についても検討が行われ、成果をあげています。さらに、鉱物が混ざり合い、スペクトルが変化している地域でも、鉱物の抽出ができるようにアルゴリズムのさらなる改良が望まれます。

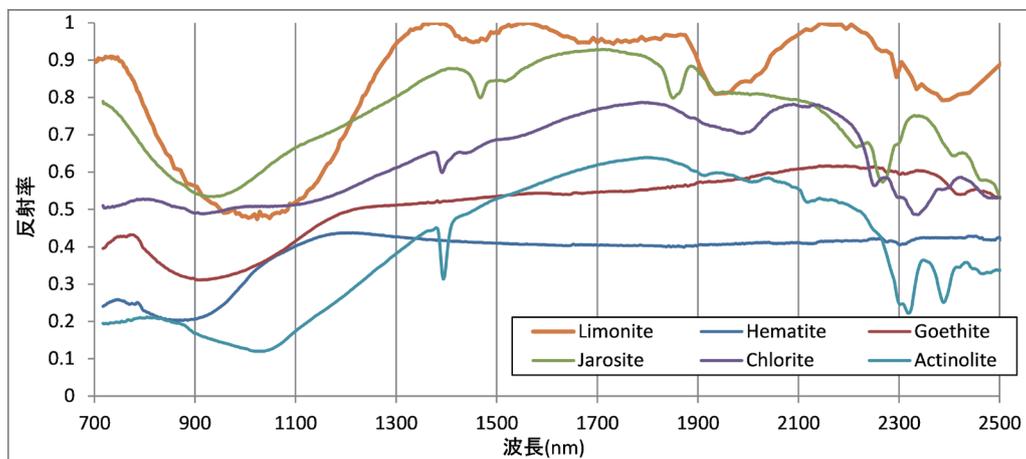
1) 地下または地表の岩石が熱水などの影響で、周囲とは異なる性質を示す地域。岩石に含まれる成分や熱水の性質（酸性・アルカリ性）・温度により、さまざまな鉱物が生成される。

2) Portable Spectroradiometer for Mineral identification の略。岩石・鉱物試料の近赤外域の分光スペクトルを測定することにより、データベースに蓄積された鉱物の同定が可能である。



鉱物抽出結果

(赤色ほど点数が高く、対象鉱物が存在する可能性が大きいことを示します。)



鉄を含む鉱物のスペクトル

期待される活用方法

現地調査の負担軽減・簡略化

ハイパースペクトルデータを使って対象地の地質情報を推定することで、地表踏査の箇所を絞ることができ、調査にかかる時間と費用の削減が見込まれます。また、立ち入りが困難な地域の評価を行う際に、有効な補助情報としての利用が考えられます。

高波長分解能・多バンドであるハイパースペクトルデータを利用することで、これまでのマルチスペクトルデータを用いた解析よりも多くの種類の鉱物が抽出されることが期待されます。さらに、鉱物が混ざり合いスペクトルが変化している地域でも、鉱物の抽出ができるようにアルゴリズムの改良を重ねていくことが期待されます。

事例2：銅、金、レアメタルなどを探したい



対象地 オーストラリア
クィーンズランド州
クロンカリー地域

1) Iron Oxide-hosted Copper Gold deposits の略

2) 1.4~3.0 μm の波長帯をいう。

3) 地下または地表の岩石が熱水など) 航空機上から岩石の持つ磁気(の性質に起因する磁力変化を測定し、地下の構造を推定する方法。物理探査の一つ。

4) 地質構造を反映した大規模な線上構造をリニアメントといい、これを衛星画像や空中写真から抽出し解析すること。

背景：貴重な資源の確保のために

酸化鉄型銅金鉱床（IOCG 型¹⁾ 鉱床）は、主成分である酸化鉄鉱物と黄銅鉱や斑銅鉱などの硫化銅鉱物でできています。この鉱床には、銅や金が含まれており、他にもコバルト、ウラン、モリブデン、亜鉛、銀、希土類元素など、数多くの鉱物を伴います。このように、IOCG 型鉱床には希少な鉱物が含まれていますが、含有率が低いことから、採掘の対象ではありませんでした。

しかし、近年、IOCG 型鉱床の発見が相次ぎ、世界中に広く分布していることがわかりました。また、生産性も見込めるようになったことから、鉱床開発が進められています。今後も IOCG 型鉱床が発見される可能性が高いと考えられることや、コバルト、ウラン、モリブデンなどの非鉄金属鉱床も探査の対象となってきたことから、IOCG 型鉱床が注目されています。新たな価値が見出された IOCG 型鉱床を見つけるためにも、広範囲を一度に調査できるリモートセンシングを使った手法が求められています。

現在の研究実績

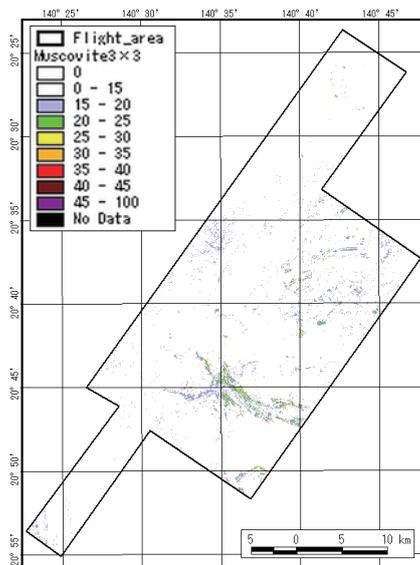
本事例では、オーストラリアの IOCG 型鉱床を対象としました。この IOCG 型鉱床には変質帯として火山岩類を伴っており、緑泥石や角閃石、白雲母が多く含まれます。これらの鉱物のスペクトル特徴は、短波長赤外域²⁾である 1520 ~ 2420nm に現れるため、この波長域のハイパースペクトルデータを使うことで、対象鉱物を抽出できると考えられます。今回は、取得したハイパースペクトルデータのうち、短波長赤外域の 42 バンド（水に吸収される 1.9 μm 付近のバンドを除く）のスペクトルデータを解析に使用しました。このデータから連続体の除去と擬似反射スペクトルへの変換を行い、特徴的な波長の変化点とスペクトルの形状を求めます。得られたスペクトルの形状をスペクトルライブラリのデータと比較することで、鉱物の抽出に成功しました。この抽出結果から、変質帯との関連が強い緑泥石 + 角閃石の分布図と白雲母の分布図を作成しました。作成した分布図と空中磁気探査³⁾などの物理探査で得たデータや、リニアメント解析⁴⁾で抽出した断層の位置を組み合わせることで、IOCG 型鉱床有望地のポテンシャル（IOCG 型鉱床を含む可能性の大きさ）を示すことができました。

期待される活用方法

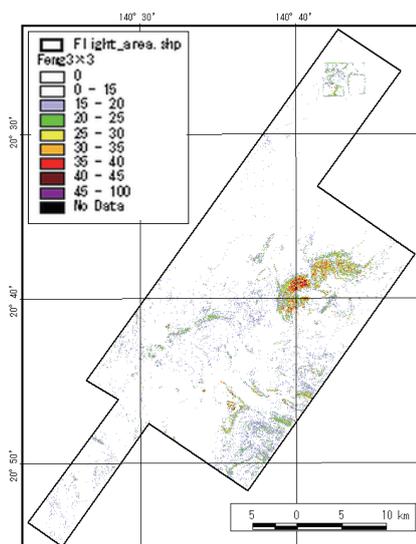
広域探査の高精度化

IOCG 型鉱床の地質の特徴が地域ごとに大きく異なるため、これまでは IOCG 型鉱床を抽出する有効な方法の確立には至っていませんでした。しかし、ハイパースペクトルデータを使用することで、鉱物ごとに見られるスペクトルの変化のわずかな違いを捉えることができ、IOCG 型鉱床を特徴付ける変質帯の抽出が可能になってきました。

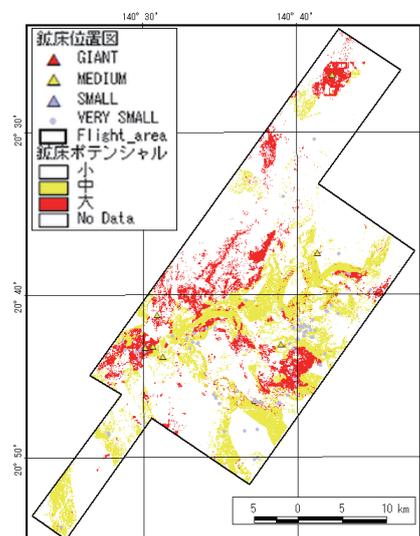
ハイパースペクトルデータから作成された緑泥石 + 角閃石の分布図と白雲母の分布図や、IOCG 型鉱床有望地のポテンシャル図は、IOCG 型鉱床における有望地抽出の指標になりうると考えられ、探鉱への貢献が期待されます。



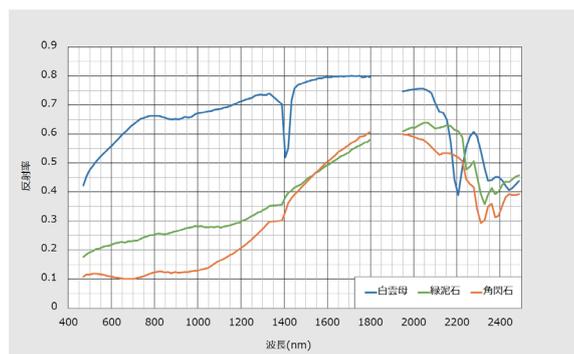
白雲母分布図



緑泥石 + 角閃石分布図

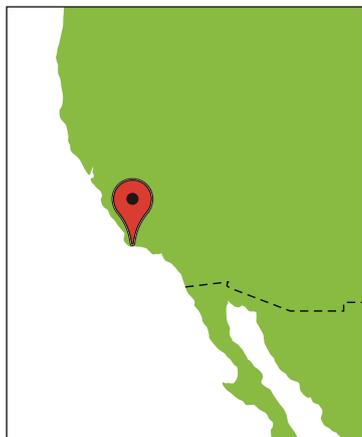


クロンカリー地域の
IOCG 型鉱床有望地抽出図



鉱物のスペクトル

事例3：海域にある石油探鉱候補地を探したい



対象地 アメリカ合衆国
カリフォルニア州
サンタバーバラ沖

1) 海面に広がる厚さ数 mm 以下の油膜。海面を漂流する油膜の表面は鏡面状となり、周辺海面とは異なる反射特性を示す。海底油田からの湧出や、タンカーなどからの人為的な油放棄等がオイルスリックの原因となる。

2) 液体が外ににじみ出ること

3) スペクトルの形状をベクトルに変換し、ベクトルの角度を指標としてハイパースペクトル画像を分類する手法

4) スペクトルの形状からベクトルを算出し、それらのベクトルのなす角をスペクトル角という

背景：海域における石油探鉱の候補地を抽出するために

衛星画像データ、特に合成開口レーダによるオイルスリック¹⁾・マッピングは、海域における石油探鉱の一手段として定着しつつあります。しかし、実利用が進むにつれて、探鉱現場からはオイルスリックの分布や位置だけではなく、自然²⁾滲出油とそれ以外のスリックの区別や滲出点の特定について、より精度の高い情報提供が求められています。

一方で、石油資源の探鉱開発では環境への配慮が重要視されており、掘削リグや船舶からの廃油などによる環境汚染への対策が必要となります。海に広がる油膜の把握を海岸や船舶などから行うことは容易ではありません。海洋汚染対策の手段としてもオイルスリックのモニタリング技術の開発が望まれます。

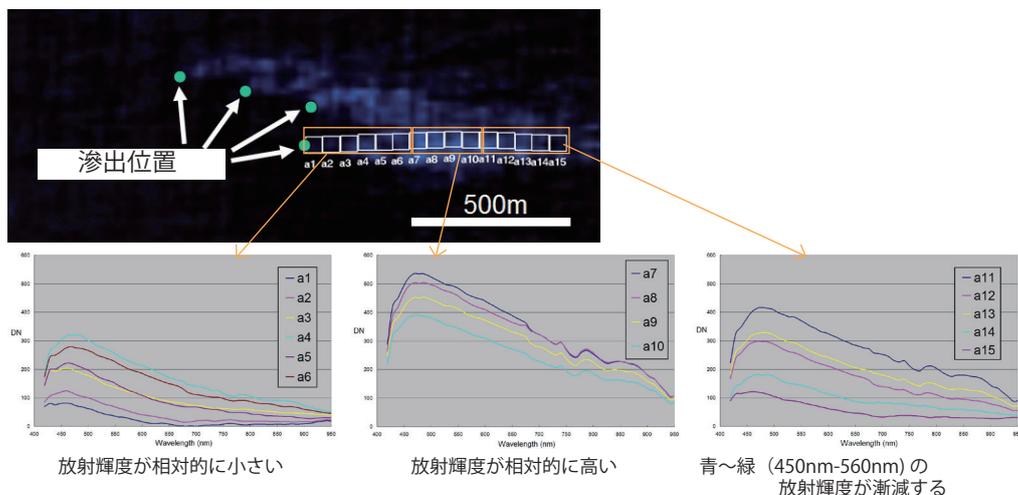
現在の研究実績

既存の研究から、油膜の連続スペクトルは可視から短波長域において変化することが知られています。そこで本事例では、ハイパースペクトルデータから得られる油膜のスペクトル特徴を使ったオイルスリック・マッピング手法を検討しました。

対象地であるサンタバーバラ沖では自然滲出油によるオイルスリックの存在が知られており、航空機ハイパースペクトルセンサ AVIRIS による観測が複数回行われています。本事例では、この観測データを使用しました。

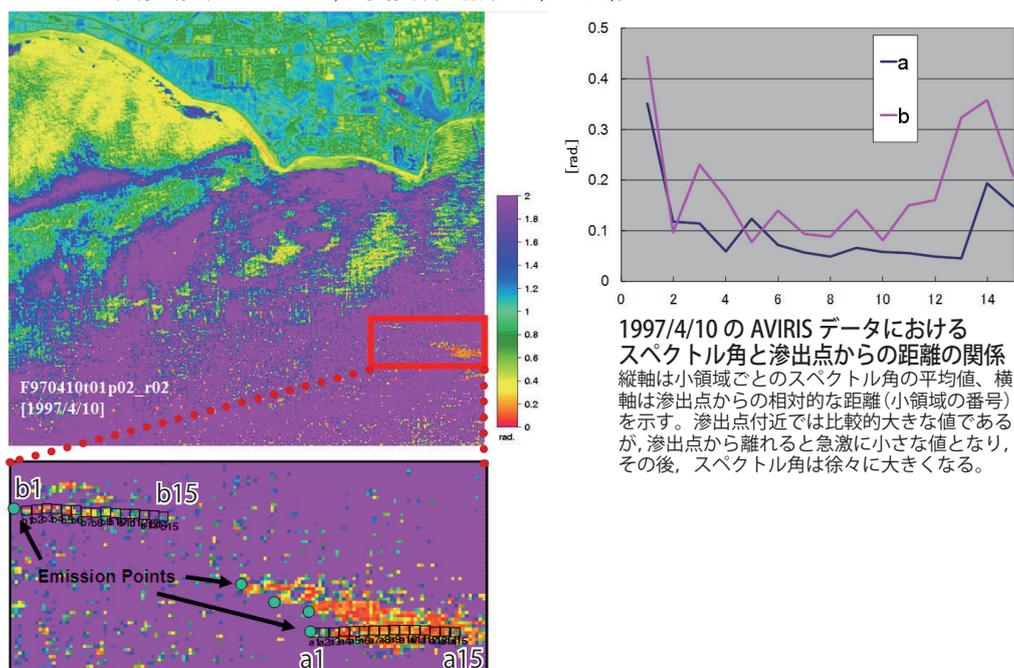
マッピングでは、まず、AVIRIS データのカラー合成画像を目視で判読して、オイルスリックと通常海面の領域を抽出しました。抽出した両者の輝度値を比較すると、オイルスリックは通常海面よりも高い輝度値を示しました。また、オイルスリックの輝度値パターンを見ると、滲出点近くでは放射輝度が相対的に小さく、その後、急激に放射輝度が増大し、さらに滲出点から離れるにつれて 450nm ~ 560nm（青～緑の波長帯）の放射輝度が漸減することがわかりました。このようなスペクトルパターンの確認は、ハイパースペクトルだからできることといえます。

この滲出点からの距離とオイルスリックのスペクトルパターンの関連性に着目して、オイルスリックの中で可視域の輝度値が最大となる範囲（450nm ~ 560nm 付近）を教師とした SAM³⁾法を用いて、スペクトル角⁴⁾の変化を算出しました。SAM 法のスペクトル角は、滲出点付近では比較的大きな値となりますが、滲出点から離れると急激に小さな値となり、その後、スペクトル角は徐々に大きくなることがわかりました。このパターンに着目すると、オイルスリックの両端についてスペクトル角を調べ、急激に小さくなる方が滲出点であると推定できます。



オイルスリックにおける輝度値パターンの変化

滲出点の近傍では放射輝度は相対的に小さく (a1-a6)、その後、急激に放射輝度が増大し (a7-a10)、さらに滲出点から離れるにつれて、青～緑 (450nm-560nm) の放射輝度が漸減する (a11-a15)。



1997/4/10のAVIRISデータにおける
スペクトル角画像

期待される活用方法

海域における新規油田の探鉱

衛星画像データを用いるオイルスリック・マッピングでは、主に合成開口レーダのデータを利用して解析します。しかし、海域によっては利用可能なデータが限られることや、判読されたオイルスリックの再現性が得られないことがあります。このような場合に、ハイパースペクトルデータから得られるオイルスリックのスペクトル構造の情報は、海域の石油探鉱において貴重な情報となり得ます。例えば、この情報を活用することで、日本資本の石油開発会社が、アフリカ沖やインド洋等のフロンティア海域で欧米のメジャーに先駆けて新規海底油田を発見することが期待されます。

事例4：効率的に水稲の生育診断をしたい

リモートセンシング概要

利用事例（農業）



対象地 日本
山形県 酒田市
宮城県 大崎市

背景：広域の水稲圃場の生育診断手法の開発に向けて

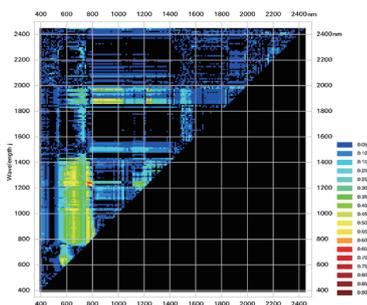
水稲栽培における窒素の不足は、生育不良や収量の低下をもたらします。一方で、過剰な窒素は倒伏やいもち病、さらには米の品質低下の原因となるタンパク質含有量の増加を引き起こします。そのため水稲栽培では、生育の途中で稲の窒素栄養状態を知るための生育診断を行い、診断結果をもとに施肥の量や時期を決めています。

これまで、葉色カースケールを用いた葉色診断方法や、簡易型透過光計測機器 (SPAD¹⁾) を用いた方法が生育診断の方法として広く普及してきました。しかし、これらの手法で得られるのは局所的なデータなので、広域の圃場に適用すると場所によって精度にばらつきが出ます。そのため、広域圃場を対象にした効率的かつ安定した精度が得られる生育診断手法の開発が求められています。

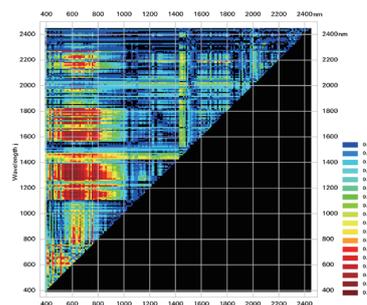
現在の研究実績

本事例では、酒田市と大崎市の水稲を対象に、効率的な生育状況の把握を目的として、一般化正規化分光指数 (NDSI²⁾) および既往植生指数を用いた玄米粗タンパク含有率の推定手法を開発しました。使用したデータは、航空機ハイパースペクトルセンサ AISA と携帯型ハイパースペクトルセンサ FieldSpec で観測したデータです。

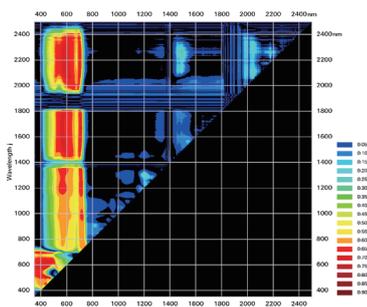
まず、それぞれの対象地で取得したデータを用いて、波長の全組み合わせで NDSI を計算しました。これらの NDSI を用いて、実測した玄米粗タンパク含有率を推定する回帰式を作成し、回帰式の決定係数 R^2 のコンターマップを作成しました。



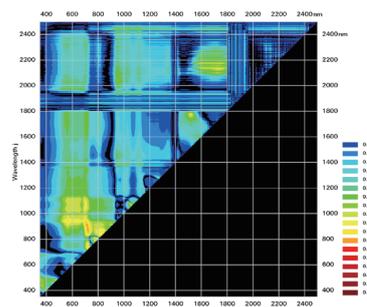
9月14日のAISAを説明変数としたときのコンターマップ



8月25日のAISAを説明変数としたときのコンターマップ



9月14日のFieldSpecを説明変数としたときのコンターマップ
大崎の決定係数 R^2 コンターマップ

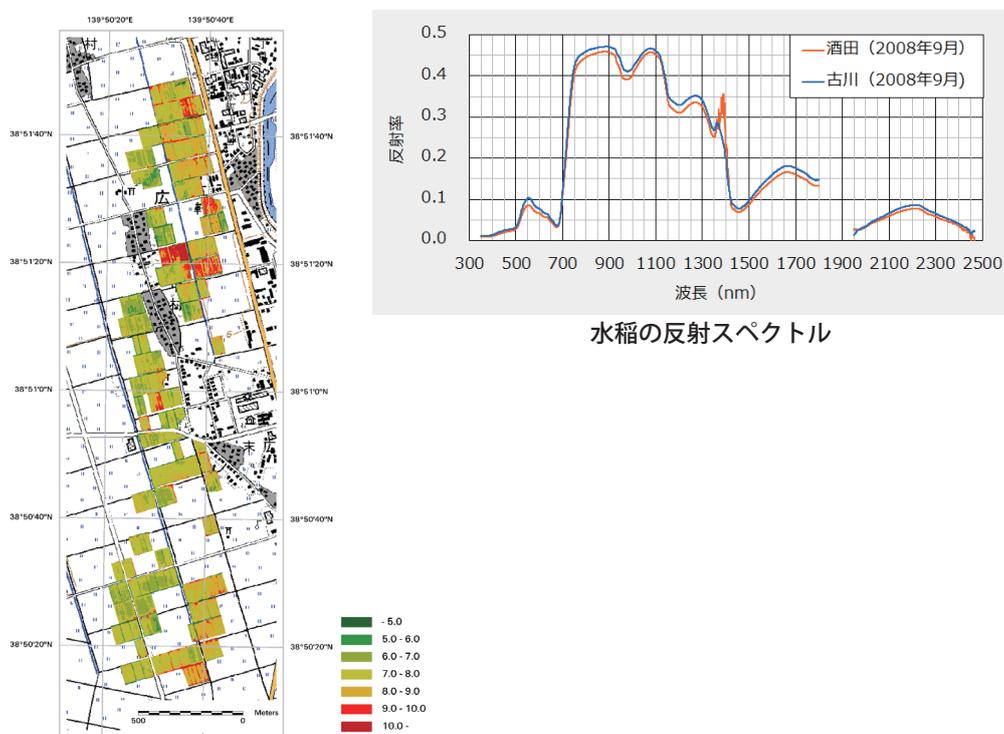


8月25日のFieldSpecを説明変数としたときのコンターマップ
酒田の決定係数 R^2 コンターマップ

次に、AISA のデータを用いて、広域の玄米粗タンパク含有率を推定する方法を検討しました。コンターマップで決定係数の高い波長の組み合わせが複数あったため、特に玄米粗タンパク含有率の推定に適した波長を選ぶ必要があります。そこで、既往研究で得られている複数の植生指数を使って検証を行いました。その結果、mNDVI に用いる波長の組み合わせで決定係数が高くなることが分かりました。

酒田を観測した AISA のデータから mNDVI³⁾ を計算し、玄米粗タンパク含有率 (Pr) の推定式を求めた結果、 $Pr(\%) = 27.8 \times mNDVI - 9.25$ が得られました。この推定式から玄米粗タンパク含有率推定図を作成し、現地の状況と概ね一致した結果が得られていることが確認できました。このような詳細なコンターマップを用いた波長の抽出は、高波長分解能かつ連続的なデータであるハイパースペクトルデータを使うことで可能になります。

3) Modified NDVI (750nm と 705nm の波長を用いた次式で求められる指標。(R750-R705)/(R750+R705))



AISA を用いて推定した玄米粗タンパク含有率推定図
(酒田、2009年8月25日)

期待される活用方法

収量の正確な把握

水稲は、日本を含むアジアにおいて主要な農業生産物です。水稲の生産には米の品質と収量の管理が不可欠です。本事例の結果は、広域での品質の把握に繋がると考えられ、生育状況の把握や、農地の管理への活用が期待されます。またハイパースペクトルデータを使うことで、米の品種を分類できる可能性があることから、植えられた品種が管理されていない、アジア諸国の水稲農業においても、効率的な生育診断が可能になることが期待されます。

事例5：水稲の生産量を知りたい

リモートセンシング概要

利用事例（農業）



対象地 **インドネシア**
西ジャワ州
カラワン地区

背景：食料の安定供給のために

インドネシアが抱える課題のひとつに、農業に関する統計情報の不正確さがあります。特に主食である米の収量統計が不正確なため、米の輸入が必要かどうか正しい判断を下せないことがインドネシア政府で問題となっています。食料安全保障に関わるこの課題を解決するためには、農作物の作付面積と収量の把握が必要です。

しかし、国土が広大なインドネシアでは、全体の作付面積を把握するのは容易ではありません。そこで、一度に広域をモニタリング可能な衛星リモートセンシングの利用が検討されています。これまでも、マルチスペクトルセンサを用いた作付け状況や品質把握の事例は、複数報告されています。いずれも複数時期の衛星画像を必要とするため、雲が多いインドネシアで同じ手法を適用するのは困難です。この課題を解決するために単時期の画像で作付け状況や生育段階の分類ができる技術の開発が求められています。

現在の研究実績

1) 植物の反射スペクトルにおける680nm～750nmにかけての反射率の急激な変化のこと。植物の種類のほか、その育成状況によって微妙に変化し、植物の活力、クロロフィルの含有量を示すとされている。

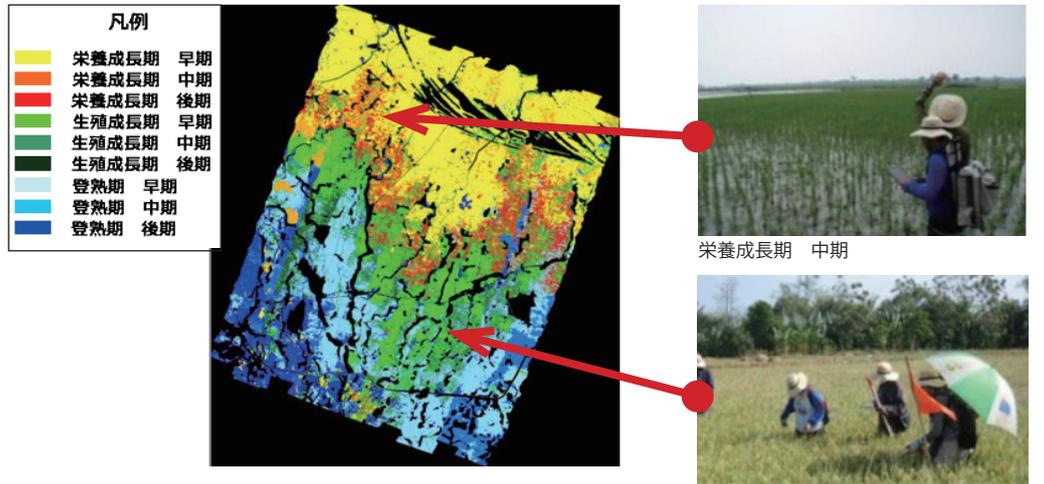
2) 最適化計算を経て、判別に寄与しないパラメータをモデルから取り除くことで、モデルの複雑化を抑え、過剰適合が起こりにくい分類方法。

3) Least absolute shrinkage and selection operator (Tibshirani, 1996) の略。多変量解析の一種。モデルで使用するパラメータ数に関する罰則を課すことで、モデルの過剰適合を回避する回帰分析手法。

4) Backward interval PLS (BiPLS) 回帰 (Zou, 2007) の略。多変量解析の一種。多重共線性を回避するための回帰手法として利用される Partial Least Squares (PLS) 回帰において、予測に寄与しない説明変数を最適化計算により除外し、残された説明変数を用いた PLS 回帰により推定モデルを構成する回帰分析手法。

ハイパースペクトルデータの解析から、生育段階の違いによってレッドエッジのスペクトルに差があることが判明しました。この特徴に注目し、レッドエッジ付近の10バンドを用いたスパース判別分析を行うことで、生育段階ごとの面積を算出し、さらにLASSO回帰³⁾とBiPLS回帰⁴⁾を用いて収量推定モデルを構築し、「水稲の生育段階分類図」と「水稲の収量推定図」を作成しました。

生育段階分類図は、水稲の生育のずれを明瞭に表現できています。収量推定図と統計データを比較すると、水田のカバー率（統計値の水田面積と推定モデルの対象水田面積との比率）が30%以上の地域では、誤差が15%未満という結果でした。これは、米国農務省農業統計局 (NASS) の生産量予測など、一般の農業統計等と比較しても遜色ない結果であり、ハイパースペクトルデータを利用した手法の有効性が確認されました。



水稲の生育段階分類図

栄養生長期 中期

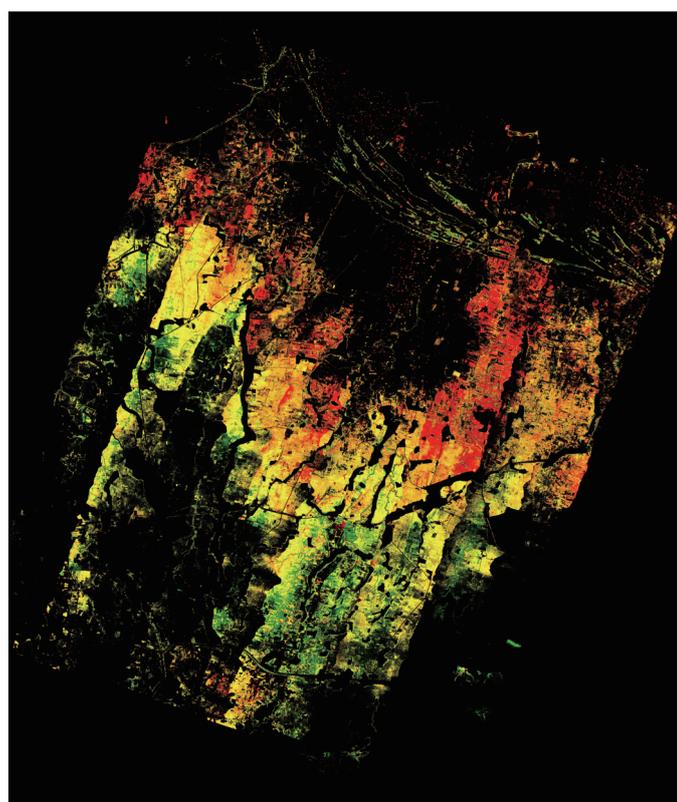
生殖成長期 早期

期待される活用方法

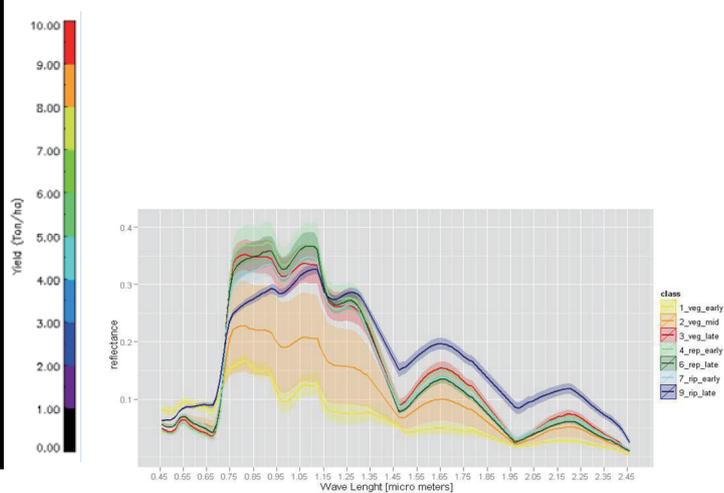
水稲の受給調節・収量向上対策の立案・計画

インドネシアの水稲栽培の特徴として、水源からの距離により生育段階が異なることが挙げられます。農業用水は、内陸の山間部に位置するダムから近い地域順に供給されます。この水の供給の時間差が原因となり、地域によって約2週間の生育段階のずれが発生します。この生育のずれが、正確な統計を難しくする要因の一つです。

そこで、収穫前に収穫時期と収穫量を推定する方法として、本事例で紹介した「水稲の生育段階分類図」と「水稲の収量推定図」を活用します。これらを使うことで、国内の米需給の調節（輸入量の判断）や収量向上のための対応を、より迅速かつ容易にできるようになると期待されます。また、本事例で紹介した手法は、統計システムが整っていない国でも実用レベルの精度が得られることから、今後は、水稲栽培に取り組む近隣諸国での利用が期待されます。



水稲の収量推定図



水稲の生育段階別の反射率
(実線：平均値 網掛部：標準偏差範囲)

事例6：小麦の収量・品質・作付け状況を知りたい



対象地 オーストラリア
西オーストラリア州
パース マレワ近郊

1) 小麦はたんぱく質の量の違いによって3種類に分けられ、強力粉・中力粉・薄力粉となる。

2) 青色波長域から緑色波長域への変動を示す指数。

3) 緑色波長域から赤色波長域への変動を示す指数。

4) 赤色波長域から近赤外波長への変動を示す指数。

5) 一般に、1.0～2.5 μmの間の波長のことをいう。水分や土壌、資源の解析に使われることが多い。

背景：小麦の安定供給のために

小麦は米穀と並び日本の主要食糧に位置付けられています。しかし、日本で食べられている小麦の約90%は、アメリカ・カナダ・オーストラリアから輸入している外国産です。中でもオーストラリアでは日本などへの輸出のために品種改良を重ね、うどんや即席麺などの麺類に適した小麦が開発されました。そのため、麺類用の小麦（中力粉¹⁾のほとんどはオーストラリアからの輸入に頼っています。しかし、オーストラリアでは、2002年、2006年、2007年に大規模な干ばつが発生したことにより小麦の生産量が著しく落ち込み、日本では麺類の価格が高騰しました。

オーストラリアから小麦を安定して輸入するためにも、「広い範囲で収穫前に収量を推定すること」「パン類・パスタ類・麺類等のそれぞれの用途に適した品質であることを収穫前に推定すること」「小麦の生育が順調であるかを確認すること」「収量に最も影響する作付面積を高精度で把握すること」などが求められています。これらを実現するために、リモートセンシングを用いた収量や品質の推定方法が検討されており、より推定精度を向上させるための技術開発が望まれます。

現在の研究実績

農家や輸入業者などのユーザが求める小麦の生産情報のうち、小麦の作付け面積・収量・品質に着目しました。作付け面積は、作物の分光反射特性から小麦とそれ以外の作物に分類でき、また、現地で得られた実測値および試料分析値から、収量は子実重、品質は子実窒素含有率に強い相関があることがわかりました。これらの指標と相関のある波長を使って解析することで、作付け面積や小麦の収量、品質を推定できます。

作付け面積は、NDBI²⁾、NDGI³⁾、NDVI⁴⁾のカラー合成画像を使って解析し、推定精度を79.0%まで高めることができました。子実重は、iPLS法と重回帰分析、子実窒素含有率は重回帰分析を行うことで、実用レベルでの推定が可能なが示されました。これらの解析には、短波長赤外域⁵⁾で現れる波長の形状のわずかな違いを利用しているため、波長分解能が高い（波長帯域幅が短い）ハイパースペクトルデータが有効です。今後は更なる応用として、ユーザニーズが大きい項目（たんぱく含有量、でんぷん等）の推定手法を構築することを目指します。

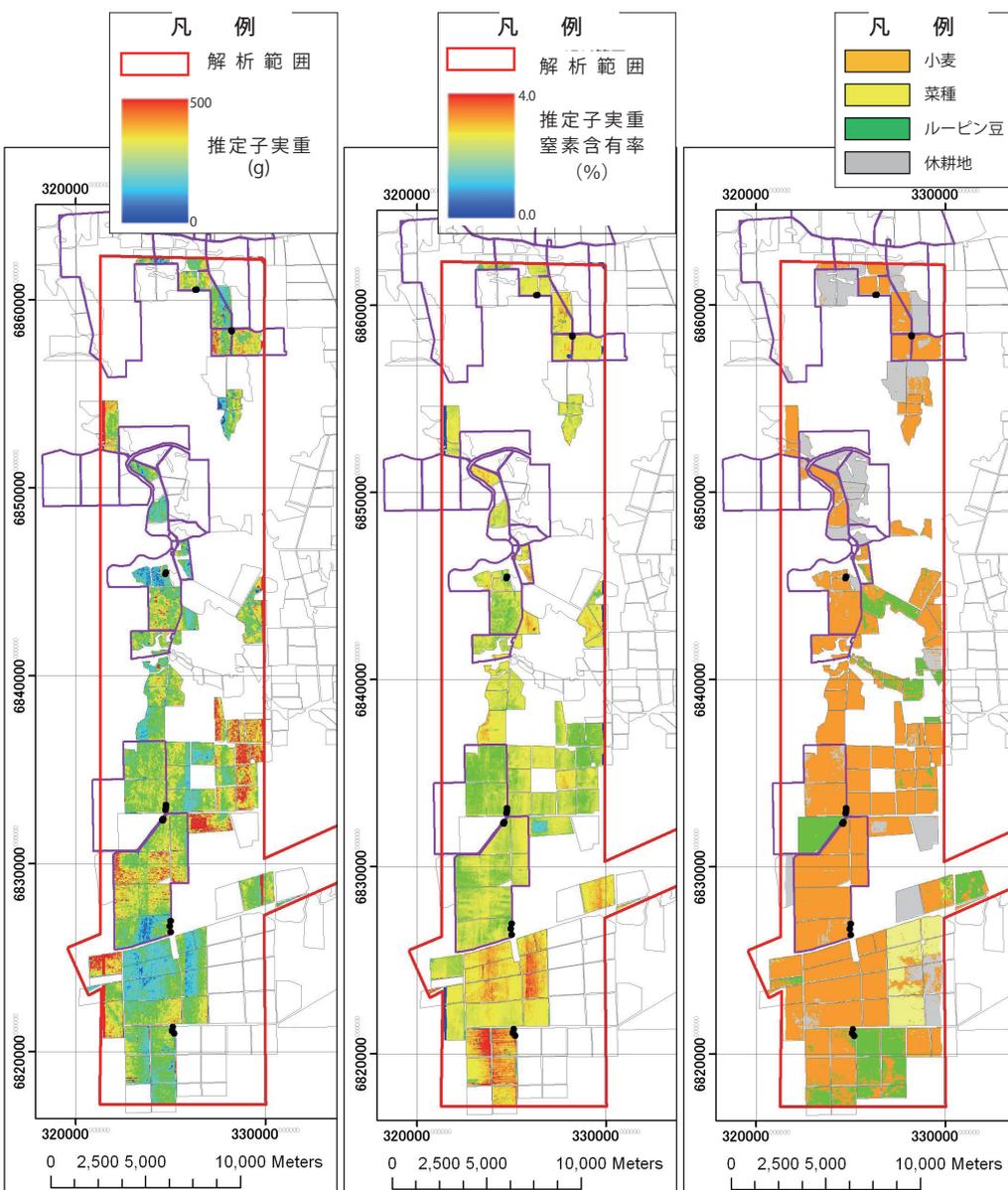
期待される活用方法

圃場ごとの生育状況の把握と管理のサポート

既存の中分解能多頻度衛星（MODIS 等）でも、小麦の広域生育状況の情報を提供できますが、短波長赤外域をより詳細に観測できるハイパースペクトルデータを解析に加えることで、解析精度の向上が期待されます。また、広域の生育状況を対象とするのではなく、特定の圃場など関心領域に対して、小麦の生育状況に関する情報の提供も期待されます。

例えば、以下のような活用方法が考えられます。

- ◆ 刈り取り時期や施肥の管理
- ◆ 小麦生育状況の定期的な把握
- ◆ 現地情報と組み合わせた圃場レベルでの収量・品質などの情報



子実重推定結果
(推定モデル決定係数：0.66)

子実窒素含有率推定結果
(推定モデル決定係数：0.94)

作付け分類図
(正解率：79.0%)



小麦



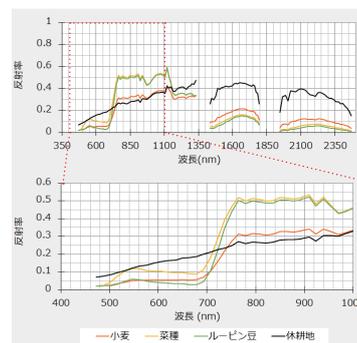
菜種



ルーピン豆



休耕地



小麦・菜種・ルーピン豆・
休耕地の反射率

事例7：茶葉を計画的に摘採したい



対象地 日本
静岡県 菊川市

背景：品質を保ちながらより多くの収量を確保するために

茶は、海外でのニーズが依然として拡大傾向にあることから、輸出用作物として期待されています。海外への輸出量を増やし収益性をさらに向上させるためには、品質を保ちながら、より多くの収量を確保することが理想です。

茶の品質は、茶葉に含まれる窒素の量で決まります。窒素は若い茶葉に多く含まれるため、早く摘むことで品質の高い茶になります。しかし、早すぎる時期に摘んでしまうと、茶葉が小さいので、収量は少なくなってしまいます。そのため、生産現場では品質と収量を両立できるように、摘採時期を計画的に管理する必要があります。

しかし、摘採に利用されている情報は、摘採量のみです。摘採時期や摘採すべき圃場の場所などの情報は使われていません。これらの情報に基づいた包括的な管理を実施し、品質を安定させ、より多くの収量を確保するために、量だけでなく摘採時期や摘採すべき圃場の位置などの情報提供が求められています。

現在の研究実績

本事例では、品質を保ちながら収量を安定させるために、圃場の場所ごとに摘みとるのに適した時期までの日数を予測する摘採適期モデルを構築しました。

茶葉は、成長すると葉の中の窒素量が変化し、それに伴いクロロフィルの量も変化します。既往の研究からクロロフィルが増加すると、レッドエッジ¹⁾の位置が長波長側に移動することがわかっています。そのためレッドエッジの波長を指標とすることで、茶葉の生育段階を把握できます。

モデルの構築には、地上携帯型ハイパースペクトルセンサ FieldSpec と、航空機搭載型ハイパースペクトルセンサ CASI-3 で取得したデータを使いました。はじめに、ノイズを除去した FieldSpec のデータを使って、マルチスペクトルデータでも行われる NDVI を使った単回帰や、ハイパースペクトルデータの多波長、高波長分解能、波長連続性という特徴を活かした PLS 回帰や一次微分を用いた重回帰などの手法で摘採適期モデルを検討しました。その結果、PLS 回帰を用いたモデルが、摘採日までの日数を最も精度良く予測しました。予測誤差は3日以内です。

次に、CASI-3 のデータに、FieldSpec のデータを用いて構築した摘採適期モデルを適用し、摘採適期予測図を作成しました。作成された予測図は、対象地域の生育が早い南北の圃場と、生育が遅い中央部の圃場との違いがよく現れており、回帰式の決定係数は0.57という有意な値でした。検証の結果、この予測図の誤差は2~6日程度でした。

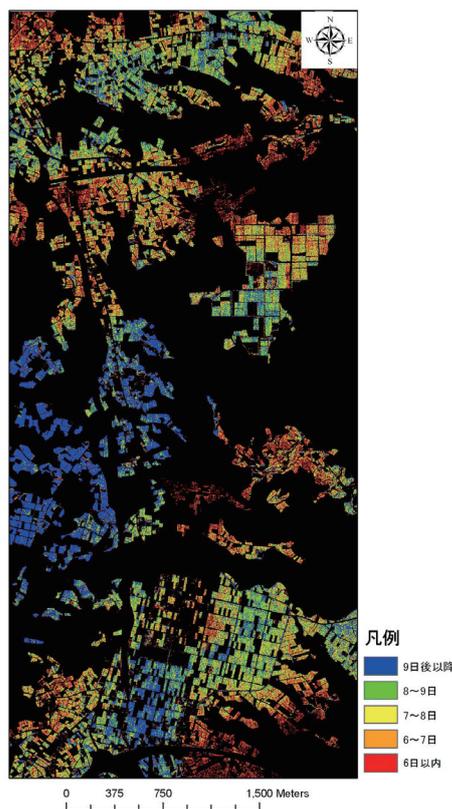
1) 植物における、680nm~750nm にかけての反射率が急激に変化するスペクトルのこと。

採摘み日	6/9	6/13	6/16	6/18	6/19	6/20	6/23	6/24	6/27
窒素含有率 (%)	5.7	4.7	4.3	3.8	3.7	3.9	3.6	3.5	3.4

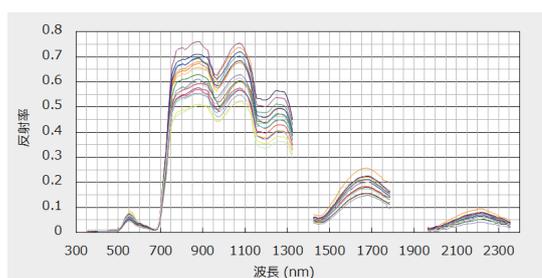
葉の窒素含有率 (2008 年、二番番茶) 成長が進むにつれて窒素含有率が低下する



対象地の茶畑の様子



PLS 回帰モデルによる摘採適期予測図



FieldSpec で観測した調査プロット 18 箇所のノイズ除去後の茶樹分光反射スペクトル

期待される活用方法

品質と収量を確保するための摘採計画の立案

品質を保ちながらより多くの収量を確保するためには、茶葉の生育段階に着目して、摘採期を判断する必要があります。本研究で構築した摘採適期モデルを使うことで、茶の生育状況を考慮して、摘採する圃場の順番を事前に決定できるように、より合理的な摘採計画の立案に役立つことが期待されます。

事例8：牧草の生産性を評価したい

リモートセンシング概要

利用事例（農業）



対象地 日本
北海道 江別市

背景：飼料の自給率向上・安定供給のために

日本の純国内産飼料自給率は26%（農林水産省、2013）であり、供給される飼料の多くは海外から輸入しています。しかし、近年の世界の飼料穀物を取りまく状況を見ると、人口増加に伴う穀物需要の拡大、地球温暖化や異常気象による不作など、飼料の安定供給を脅かす要因が複数あります。これらの要因の解決に向けて、飼料の国内自給率向上のための取り組みが必要です。

自給飼料は輸入飼料と比較してコスト面で優位にありますが、畜産経営上の利便性、労力面での負担等の要因により、輸入飼料に依存する傾向があります。飼料の自給率向上のためには、収穫時期や施肥の管理といった圃場作業の効率化を進め、これらの課題を解決していくことが望まれます。

現在の研究実績

1) その年の最初に刈り取る牧草を指し、例年6月後半から刈り取る。その後収穫される二番草・三番草に比べ、収量が高く品質も良い。

2) Spectral Angle Mapper 法。対象とするスペクトルと教師とする領域のスペクトルの類似度をマッピングする手法。比演算の考え方を多次元に拡張させたもの。

3) Ratio Vegetation Index：比植生指数。植生の状態を表す指標に使われる演算式。近赤外/赤外で表される。

一番草を対象として、ハイパースペクトルデータから草種分類図（左図）と乾物収量分布図（中図）を作成しました。草種は SAM 法²⁾による回帰モデルを使って分類し、乾物収量は RVI³⁾を利用した単回帰モデルを使って算出しました。この単回帰モデルに使った波長を選択するために、RVI と現地調査結果との決定係数 (R^2) の値に応じて色分けして作成したものが R^2 コンターマップです。現地調査による検証の結果、草種の分類精度は約



草種分類図

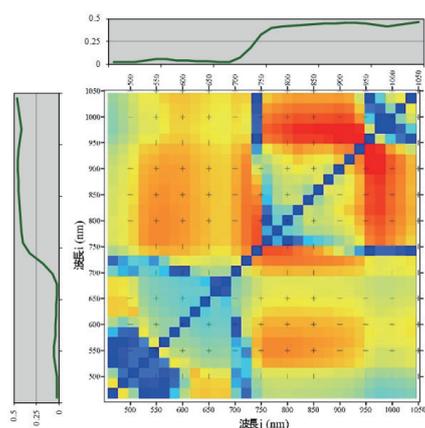


乾物収量分布図

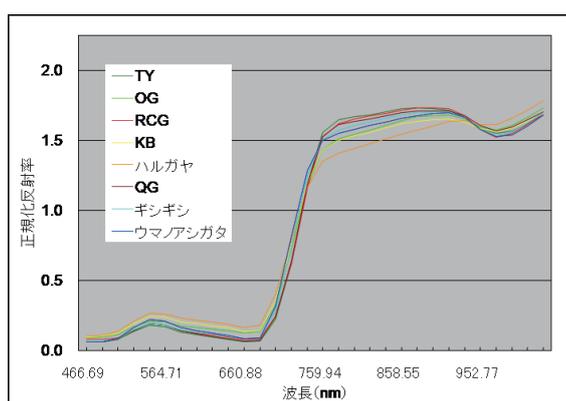


70%（牧草タイプごとで80%弱程度）、収量の推定精度は $92\text{g}/\text{m}^2$ （RMSE）でした。

また、草地の生産性を示す重要な品質情報のひとつにTDN収量⁶⁾があります。TDN収量の分布図は、草種分類図と乾物収量分布図を使って、既往の研究事例や成分表から生育段階および草種毎の標準的なTDN含有率を参照することで作成できます。この分布図からTDN収量の低い草地が判断できるので、生産性回復のための草地更新が効率的に行えます。



乾物収量の R^2 コンターマップ



草種ごとの正規化反射率

4) 株型、地下茎型、広葉草本に分けられる。

5) Root Mean Squared Error: 平均二乗誤差の平方根

6) Total Digestible Nutrients（可消化養分総量）は、飼料中の栄養分のうち家畜に消化される栄養分の総量のこと、飼料価値を評価する上で重要な指標として知られている。

期待される活用方法

草地更新の判断

牧草地の生産性向上と自給飼料の増産のためには、高収量・高品質の牧草生産と計画的かつ適切な草地更新が重要です。そこで、ハイパースペクトルデータから得られた草種分類図や乾物収量分布図などを使った以下のような活用が期待されます。

- ◆ 栄養価の異なる牧草⁷⁾の分類や牧草と雑草の区別による牧草地の生産性評価
- ◆ 雑草が増えてきている草地や荒廃草地の更新時期の判断
- ◆ 土壌診断の際に重点箇所を選定し、圃場調査を省力化
- ◆ 土壌診断結果の解釈の支援

今後は、生育している草種や気象が異なる地域や、さらには海外への展開も進めていき、適用地域を拡大していくことで、各地の牧草管理への貢献が見込まれます。

7) 牧草の種類によって栄養成分が異なる。例えば、タンパク質はマメ科牧草に多く、イネ科には少ない傾向がある。

家畜への給飼量の判断

草種分類図を活用することで、草地の草種構成から圃場の牧草の栄養価がわかり、家畜への給飼量の判断を助けることが期待されます。

事例9：ケシの不法栽培を監視したい

リモートセンシング概要

利用事例（農業・環境）



対象地 オーストラリア
タスマニア州
ロングフォード地区

1)United Nations Office on Drugs and Crime の略

2) 植物の反射スペクトルにおける680nm～750nmにかけての反射率の急激な変化のこと。植物の種類のほか、その育成状況によって微妙に変化し、植物の活力、クロロフィルの含有量を示すとされている。

3)Partial Least-Squares Discriminant Analysis の略。多変量解析の一種。複数データの情報を低次元に圧縮する方法の一つ。データの共線性を排除しつつ低次元に情報を圧縮して分類する回帰分析手法。

背景：麻薬などの薬物不法栽培への対策・防止のために

麻薬などの薬物の不法使用は、世界各国で社会懸案事項となっています。その対策・防止には、原料となるケシをはじめとする植物の不法栽培圃場の発見、抽出および監視が有効です。不法栽培に対するこれらの活動は、各国政府の政策決定や麻薬の流通防止における重要な取り組みとなっています。

国連薬物犯罪事務所（UNODC）¹⁾などは、高分解能のマルチスペクトルデータを用いて不法栽培圃場の監視を行っています。しかし、マルチスペクトルデータでは、播種・生育・収穫の各時期に現れる明確な土地被覆変化がないとケシ圃場を抽出できません。そのため、複数時期のデータが必要となり、雲などの影響で明瞭な画像データを入手できなかった場合には、ケシ圃場の抽出精度が低くなることが考えられます。複数時期のデータを必要としない手法、すなわち単時期の画像から効率的にケシ圃場を抽出できる手法の開発が望まれます。

現在の研究実績

オーストラリアのタスマニア州では、薬用としてケシを合法的に栽培しています。この地域におけるケシの圃場抽出事例を紹介します。

本事例では、レッドエッジ²⁾のスペクトルを用いた土地被覆分類手法と、部分最小二乗法判別分析（PLSDA）³⁾という2つの手法を使用することで、ケシ圃場抽出の分類精度を高めました。分類項目は、ケシとこの土地の主要作物である小麦、その他の作物の3項目です。その他の作物には、牧草やジャガイモ、休閒地が含まれます。

分類の手順として、始めにレッドエッジのスペクトルを用いた土地被覆分類を行います。イネ科植物のレッドエッジ付近のスペクトルは、出穂に伴って変化し、他の植物とは異なる

特徴を示します。波長分解能が高く、連続性のあるハイパースペクトルデータでは、この差異を捉えることができ、効果的にイネ科である小麦と牧草を分類することが可能です。

次に、全てのバンドを使用してPLSDAを行い、残っている圃場からケシとその他の作物の圃場を分類します。これにより、一度の撮影でケシの栽培圃場



ケシ



小麦

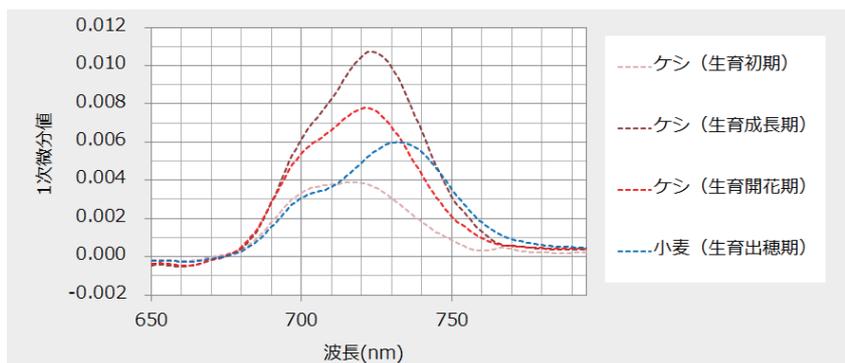
を、左図のように抽出することが可能となります。

今後、植物のスペクトルが生育段階によって変化するという特徴を考慮したハイパースペクトルデータの観測時期の最適化により、分類精度の向上が見込まれます。

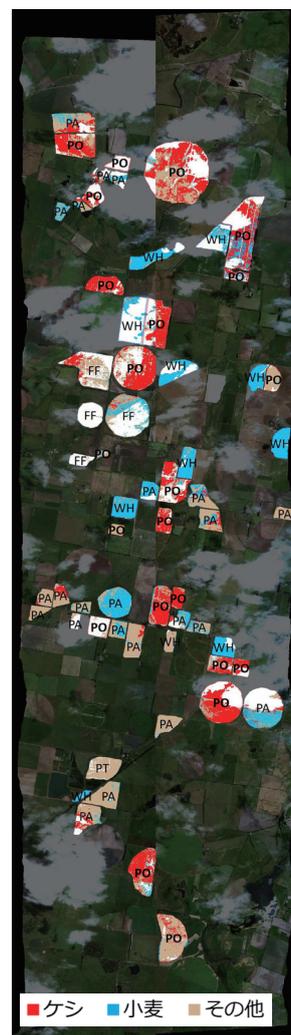
期待される活用方法

対象国の麻薬取締機関への情報提供

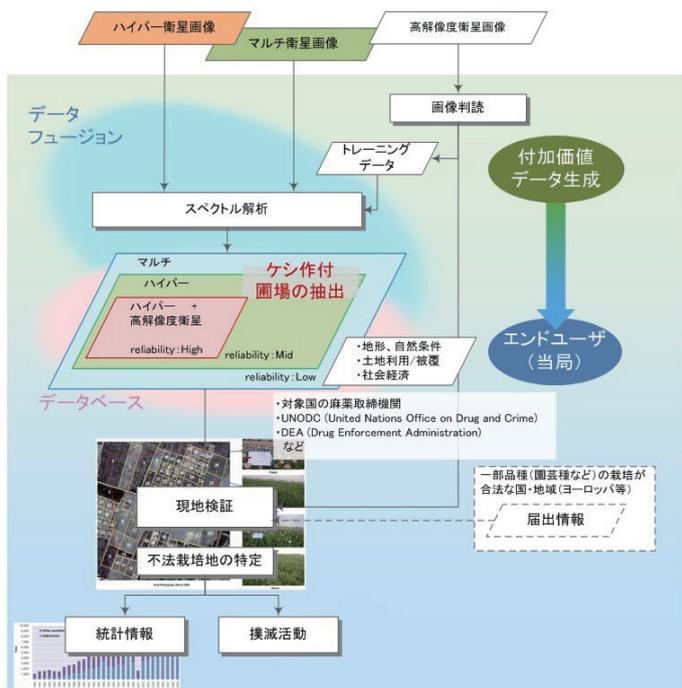
波長分解能の高さを活かしたハイパースペクトルデータによるケシ圃場とその他の作物との判別結果と、優れた判読性能を持つ高分解能マルチスペクトルデータによる作付け候補地の抽出結果を組み合わせることで、不法栽培圃場の早期発見が可能となります。下図は、各種センサの組み合わせによるリモートセンシングを活用した不法栽培圃場監視の運用イメージです。このような運用を行うことで、不法栽培圃場の抽出情報が活かされ、薬物撲滅活動のより一層の強化に繋がると期待されます。



ケシと小麦のスペクトルの一次微分値



農地におけるケシ圃場抽出結果



不法栽培作物監視の運用イメージ

事例 10：泥炭湿地林の森林劣化箇所を知りたい

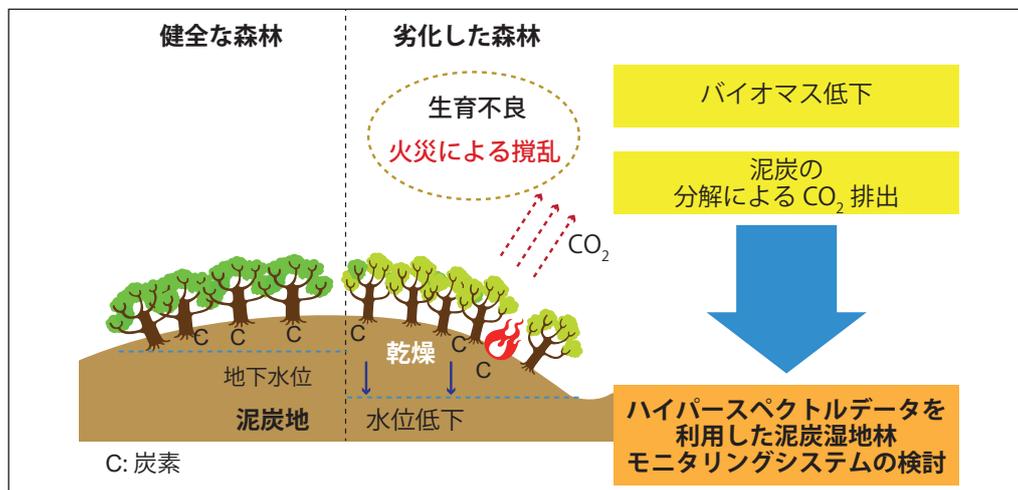
リモートセンシング概要

利用事例（環境）

背景：泥炭湿地林から発生する二酸化炭素 (CO₂) 量削減への貢献のために



対象地 インドネシア
中央カリマンタン州
パランカラヤ周辺



1) 生物量。存在する動植物を有機物として換算した量のこと。主に酸素、炭素、窒素、水素を含む。

2) 森林の減少とは火災や伐採により面積が減少することを意味する。劣化とは、森林内の樹木の密度が疎になることや、種数が減少することを言う。

3) World Resources Institute の略。

泥炭とは、枯れた植物が分解されず、数千年にわたって堆積することによって形成された有機質土壌のことです。この有機質土壌は、植物のバイオマスを大量に蓄えています。そのため、環境の変化によって燃えたり分解されたりすると、炭素が二酸化炭素 (CO₂) となって大気中に放出されます。この泥炭の上に構成された森林が泥炭湿地林です。泥炭湿地林が減少したり劣化したりすると、樹木と土壌の両方から CO₂ が排出されます。

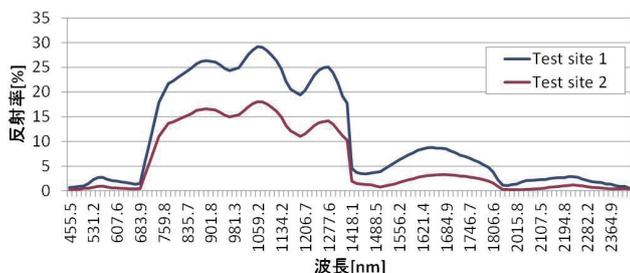
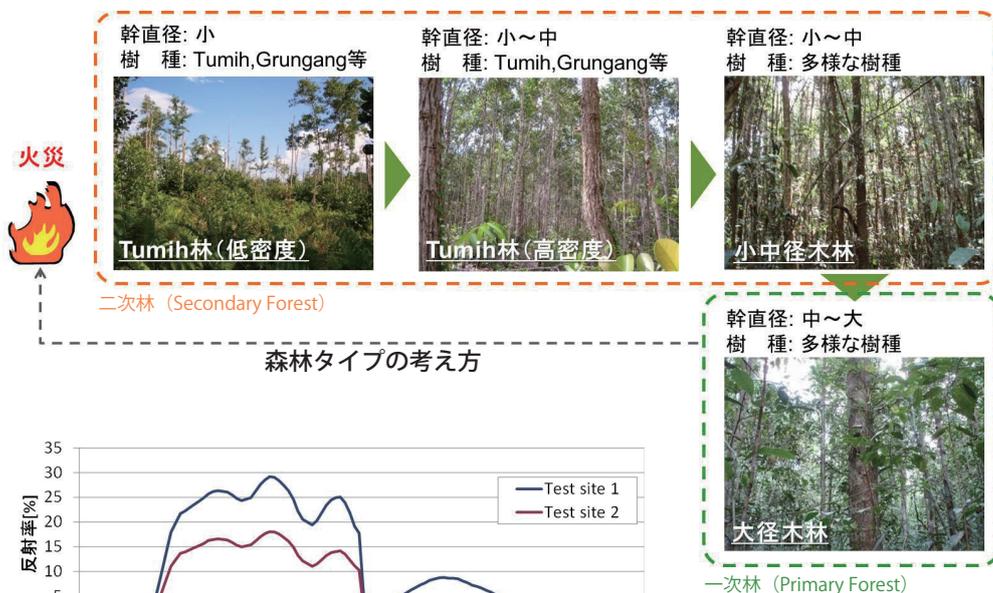
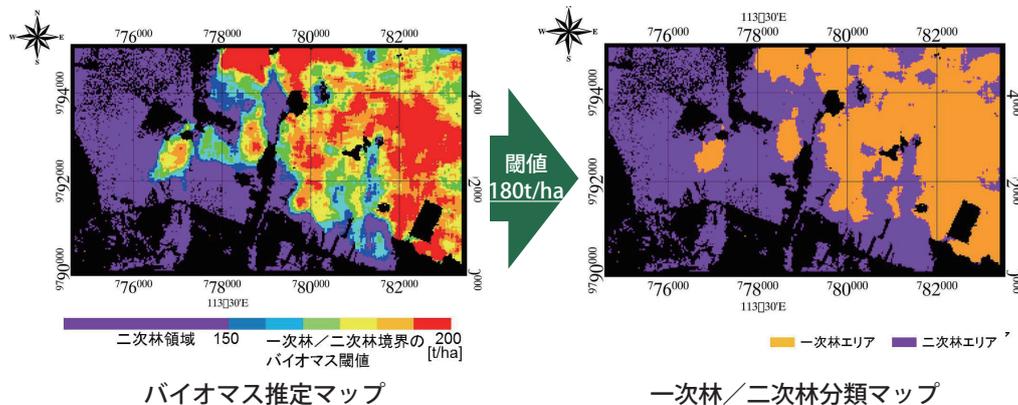
インドネシアでは、2015年に泥炭湿地林で大規模な火災が発生し、9月から10月の2ヶ月間の CO₂ 排出量は、米国の年間排出量を上回りました (WRI, 2015)。CO₂ は、地球温暖化の原因物質です。そのため、泥炭湿地林が排出する大量の CO₂ を抑制することは、地球温暖化を防止する上で重要な取り組みといえます。この取り組みの一環として、現在の泥炭湿地林のバイオマスや生育状況などの把握が求められています。

現在の研究実績

中央カリマンタン州の泥炭湿地林における森林減少及び劣化の主要な原因は、森林火災です。現地調査の結果、森林のタイプは、火災等による森林劣化が生じていない一次林と、火災後の遷移過程の森林である二次林に区別することがわかりました。一次林と二次林ではバイオマスが大きく異なります。

本事例では、ハイパースペクトルデータと、林冠の凹凸に起因するテクスチャデータをもとに、LASSO 回帰分析を使ってバイオマス推定マップを作成しました。その結果、現地調査結果と推定マップは 90% 以上一致しました。この推定マップに閾値 (180t/ha) を設定し、閾値よりもバイオマスが多い箇所を一次林、少ない箇所を二次林として、現地の状況とおおよそ対応した一次林 / 二次林分類マップを作成しました。これらのマップを使うことで、森林の劣化が起こっている箇所がわかり、泥炭湿地林のバイオマスを効率的に

評価できます。今後は、ハイパースペクトルデータを使った地下部の泥炭量の評価や地下水位モニタリングへの適用を目指します。



期待される活用方法

REDD⁴⁾ や二国間クレジット制度⁵⁾に関連したプロジェクトへの活用

世界では、REDD+ や二国間クレジット制度など、CO₂ 排出量を削減することによって、経済的な利益を得ることが可能な取り組みが進められています。

インドネシアでは、泥炭地の保全・修復によって減らせるCO₂ 排出量が5.66億tCO₂/年になると予想されています。クレジット価格を5\$/tCO₂と仮定すると、28.3億\$/年に相当する市場が生まれます。この市場を開拓するためには、CO₂ 排出量の計算に欠かせない、泥炭湿地林のバイオマスの評価が必要です。より正確にバイオマスを評価するためにハイパースペクトルデータの利用が期待されています。

4) Reducing emission from Deforestation and Forest degradation and Plus の略。途上国における森林減少・劣化の抑制や持続可能な森林経営などによって温室効果ガス排出量を削減あるいは吸収量を増大させる努力にインセンティブを与える気候変動対策のこと。

5) 途上国での対策実施を通じ、実現した温室効果ガスの排出削減・吸収への各国の貢献を定量的に評価し、各国の削減目標の達成に活用する制度のこと。

6) 実現されたCO₂ 排出削減量もしくはCO₂ 吸収量を、あらかじめ決められた方法論に従って定量的に評価し、定められた委員会等から認証を得て、経済的なやり取りが可能となったもの。

事例 11：森林の樹種を分類したい

背景：気候変動の影響を把握するために

パリ協定で定められた気候変動対策の経過報告の一つに、森林による二酸化炭素（CO₂）吸収量の推定があります。推定には炭素蓄積量の把握が必要です。しかし、樹種ごとにCO₂の吸収量やバイオマスが異なるため、精度の高い樹種分類が必要です。

これまでもマルチスペクトルデータを使った樹種分類技術の研究は進められてきましたが、樹種を細かく分類する精密樹種分類は難しいのが現状です。その原因として、樹木は種類に関わらずスペクトルが非常に類似していることや、落葉樹以外の樹木では、季節によるスペクトルの変化がわずかしかないことが挙げられます。

気候変動対策に貢献するためにも、これらの課題解決および樹種分類技術の向上が求められています。



対象地 日本
東京都 八王子市

現在の研究実績

対象地では、樹木園、試験林、サクラ保存林に区分された0.56 km²の森林が管理されています。暖温帯常緑広葉樹、冷温帯落葉広葉樹、亜寒帯針葉樹という豊富な樹種が1km²に満たない範囲に分布しており、精密樹種分類の検討に適した地域です。

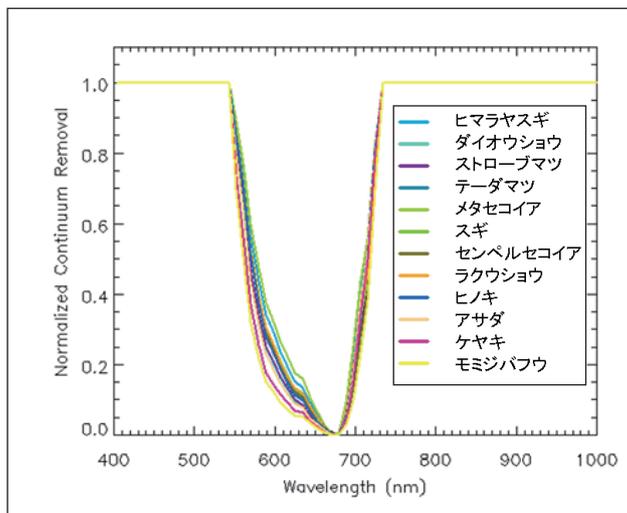
本事例では、まずハイパースペクトルデータをもとに樹種ごとの樹冠のスペクトルライブラリ¹⁾を作成しました。ライブラリには、ハイパースペクトルデータの連続性を活かして、正規化連続体除去処理²⁾をしたデータを登録しました。このライブラリを教師データとして、ピクセルごとに各樹種との類似度を求めます。その中で最も類似度が高かったスペクトルをそのピクセルの樹種としました。さらに、樹冠の枠をつくり、その中で多数を占める樹種を、その樹冠の樹種とする多数決処理を行いました。これにより、樹冠にできた影の影響を抑え、樹冠全体を正しく分類することができました。

これらの結果、12種の樹種の分類に成功し、マルチスペクトルセンサよりも細かく樹種レベル、群落レベルを分類できました。

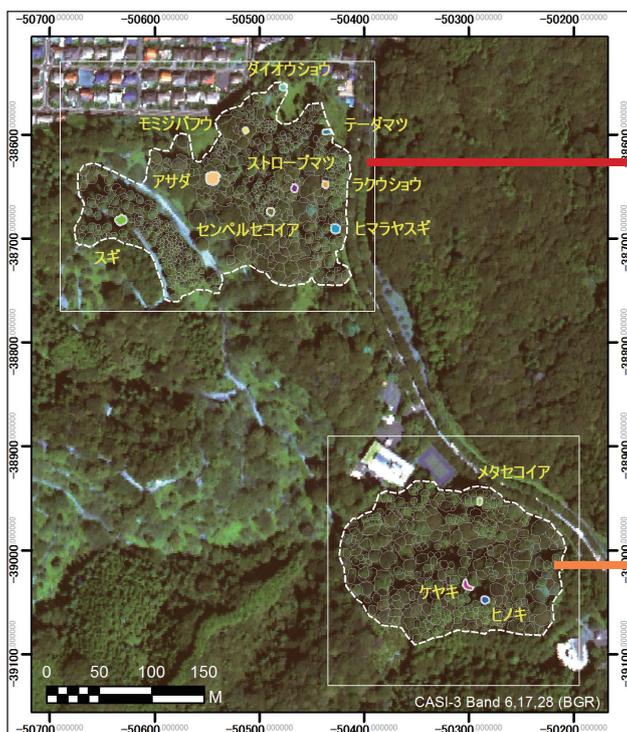
今後は、分類精度向上のために、今回の観測データに含まれていない短波長赤外域(1,100~2,500nm)のデータを使った解析手法の開発が期待されます。

1) 対象物のスペクトル情報を蓄積したデータベース

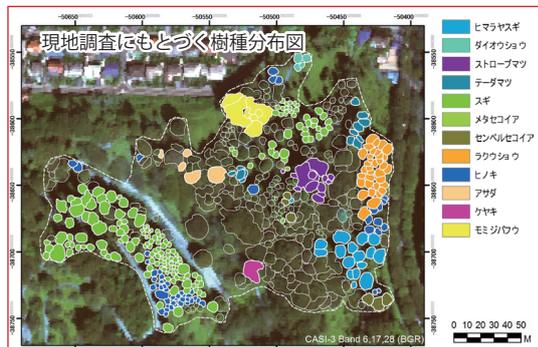
2) スペクトルの特徴を強調し、より比較しやすくするための処理。



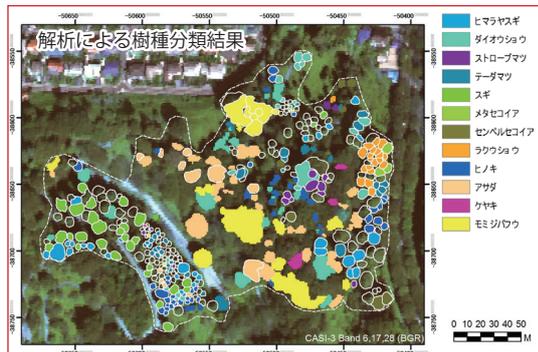
正規化連続体除去処理した教師スペクトル



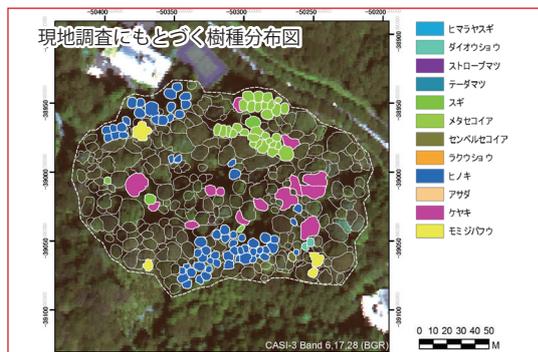
対象地域の樹冠状況



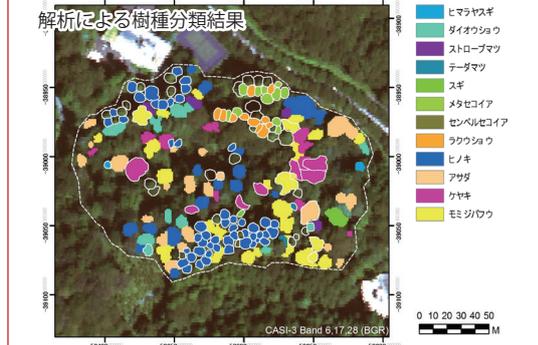
現地調査にもとづく樹種分布図



現地調査にもとづく樹種分布図



現地調査にもとづく樹種分布図



期待される活用方法

森林管理・モニタリング情報の提供

日本国内の気候変動対策として、2013年から「J-クレジット制度³⁾」が導入されました。これは森林を管理することでクレジットを獲得できる制度で、国によって進められています。クレジットを獲得するためには、樹種や樹高の調査をして、森林を管理していることを示す必要があります。この調査をより効率的に進めるために、ハイパースペクトルデータを用いた樹種分類の実施が期待されています。

3) 参照 <http://japancredit.go.jp/index.html>

4) 実現された CO₂ 排出削減量もしくは CO₂ 吸収量を、あらかじめ決められた方法論に従って定量的に評価し、定められた委員会等から認証を得て、経済的なやり取りが可能となったもの。

事例 12：湿地の植生を把握したい

リモートセンシング概要

利用事例（環境）



対象地 日本
新潟県 新潟市
渡良瀬遊水地

背景：生物多様性保全のために

湿地にある自然草地は、多様な植物が群落を形成しており、様々な動物の生息地として重要な役割を果たしています。しかし、近年の経済優先の開発や気候変動の影響で自然草地の衰退・劣化が加速しており、生物多様性の観点から、その保全が課題となっています。こういった状況のなか、近年「生物多様性オフセット¹⁾」を始めとした経済活動と関連する生物多様性保全対策の重要性が高まっています。このような保全対策では、実際に生物多様性が保全されたことを証明するために、生態系の価値の定量的な評価²⁾が求められます。この評価で重要となるのが、生態系の空間的な分布を示す植生分類情報です。そこで、広域を効率的に調査・解析することができるリモートセンシングの需要が高まると考えられます。

これまでも、マルチスペクトルセンサを使った植生分類は行われてきました。しかし、異なる種類の植物でも葉のスペクトルは、非常に似た特徴を持っており、精度の高い分類を行うためには多時期のデータが必要です。多時期のデータを使うとコストが大きくなるため、多時期のデータを必要としない手法の開発が望まれます。

現在の研究実績

本事例では、広大な湿地に自然草地が形成されている渡良瀬遊水地を対象に、草地の植生分類を行いました。

項目	航空機ハイパースペクトルデータ	衛星搭載型ハイパースペクトルセンサのシミュレーションデータ
観測波長帯	400～980nm	400～2500nm
バンド数	67	185
波長分解能	9nm	10nm
空間分解能	1.5m	30m

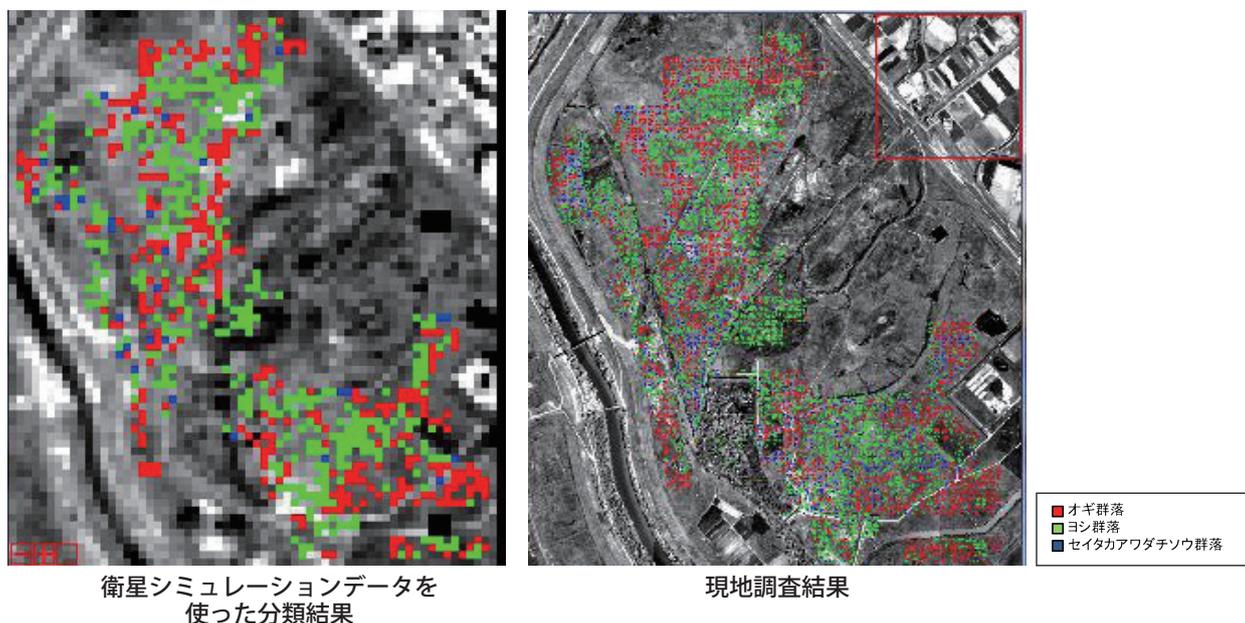
分類対象は、対象地の主要な群落である、ヨシ、オギ、セイタカアワダチソウの3つです。本事例では、航空機ハイパースペクトルデータをもとに衛星搭載型ハイパースペクトルセンサのシミュレーションデータを作成しました（上表参照）。その中から航空機ハイパースペクトルデータの波長帯と対応する54バンドを使って、現地調査で取得したデータを教師データに、SVM法³⁾で分類を行いました。分類結果を現地調査結果と比較したところ、正解率が約60%でした。またバンド数を減らして解析をすると、正解率が低下しました。この結果から、バンド数が多いハイパースペクトルデータの有用性が示唆されました。



1) 事業などで開発などを行う際に、生態系に対して回避できないマイナスの影響を及ぼすおそれがある場合、別の生態系を復元または創造することで、影響を代償（オフセット）する仕組み。欧米では既にこの仕組みが導入されている。

2) 「HEP: Habitat Evaluation Procedure(ハビタット評価手法手続き)」などで評価する。

3) Support Vector Machine の略。機械学習によるパターン認識手法のひとつ。



期待される活用方法

環境保全対策への情報提供

生物多様性オフセットなどで、生態系の価値の定量的な評価を求められた際には、全域の詳しい植生情報が必要となります。この情報を得るために現地調査が行われます。しかし、対象範囲が広い場合、膨大な時間と費用がかかるため、全域を調査するのは困難です。そこで、ハイパースペクトルデータと現地調査データを用いた教師付き分類の実施が期待されます。教師付き分類は分類に必要な代表的な地点の現地調査データがあればよいため、調査期間の短縮と費用の削減が見込めます。また、この解析によって得られた、広域かつ詳細な分類成果が、生態系の価値の評価に活用できると期待されています。

事例 13：塩害による土地の劣化を把握したい



対象地 オーストラリア
西オーストラリア州
小麦ベルト地帯

1) 灌漑水に含まれている塩分または本来土層に含まれている塩分が地下水位の増加に伴って毛管上昇し、土壌面蒸発によって塩類のみ地表に集積すること。（一般財団法人環境イノベーション情報機構 HP より）

<http://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=267>

2) Ben-Dor R. R., Goldshleger N., Mor E., Miras V. and Basson U., Combined active and passiveremote sensing method for assessing soil salinity: A case study from Jezre'el Valley, NorthernIsrael, 2009, Remote Sensing of Soil Salinization, Edited by Metternicht G. & Zink J. A., CRCPress, p. 235-253

3) ここでは、全バンド総当りの組み合わせ計算によって最も相関の高い指標を求める手法を指す。NDVI(Normalized Difference Vegetation Index, 正規化植生指数)、NDSI(Normalized Difference Soil Index, 正規化土壌指数)、NDWI(Normalized Difference Water Index, 正規化水指数)を総じてNDXIと呼ぶこともある。
参考) Inoue Y., J. Penuelas, A. Miyata and M. Mano, 2008, "Normalized difference spectral indices for estimating photosynthetic efficiency and capacity at a canopy scale derived from hyperspectral and CO2 flux measurement in rice," Remote Sensing of Environment, 112, p. 156-172.

4) $(R_i - R_j) / R_{max}$ の関係式で得られる指標。Rは各波長における反射率、Rmaxは最大反射率値を示す。

5) 電気伝導度 (Electrical Conductivity)、単位は (mS/m)。水の電気伝導度を測ることで、塩分濃度が分かる。EC1:5は、土壌と蒸留水の比率が1:5となる。

背景：農地の生産力の維持・向上のために

土壌の塩害に対する関心は高く、塩害対策のための研究が各国の研究機関で進められています。しかし、塩類集積¹⁾の程度を、広域かつ効率的にモニタリングする技術の開発は未だ十分とはいえません。

これまで、マルチスペクトルデータを用いた塩類集積把握の試みはされてきましたが、マルチスペクトルデータはバンド幅が広く、バンド数も限られているため、塩湖のように地表に塩類が晶出して白くなった地域（不可逆的な塩害地域）とそれ以外の地域を分類することしかできませんでした。しかし、政府、地方政府研究機関、土地管理者、環境保護団体等は、このような塩湖の抽出よりも塩害化の初期段階の情報を必要としています。塩害化の初期段階で情報が提供されれば土地の再生計画に生かすことができ、劣化を食い止めることができるので、初期段階を把握するための手法開発が求められています。

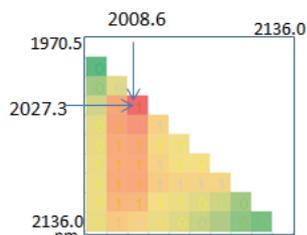
現在の研究実績

本事例で対象とした西オーストラリア州には“Wheat Belt”と呼ばれる小麦の穀倉地帯が広がり、栽培された小麦の多くが日本に輸出されています。しかし、この地域の塩害はオーストラリアで最も深刻なため、早急な塩害対策が必要です。本事例ではこの地域を対象地として土壌塩害推定マップの作成に取り組みました。

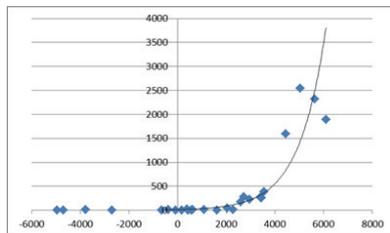
本事例では、航空機で観測されたハイパースペクトルデータを用いて、複数の土壌タイプに適用可能な汎用的な推定手法の開発を行いました。²⁾ 既往研究から、塩分濃度が増加するに伴い1900nm周辺に見られる吸収のピーク位置が長波長側に30nm程度シフトすることや、塩分濃度が高くなると1965nmから2000nm付近に吸収の肩が出現することが報告されています。

本事例では、塩類濃度の増加に伴う吸収の変化に注目して、1970nmから2130nmの波長帯に含まれる全てのバンドを用いたNDXI³⁾の手法に従い、塩害化の指標値⁴⁾と塩分濃度の関係を調べました。その結果、2027.3nmと2008.6nmにおける値の差分値が最も相関が高いことが分かりました。この指標値と採取済の土壌のEC1:5⁵⁾の分析値との関係からEC1:5の推定式を作成し、土壌塩害推定マップを作成しました。この推定マップで用いられた波長の選定は、ハイパースペクトルデータを使うことで可能となりました。

現地調査で採取した土壌試料を使って推定精度を検証した結果、分布パターンを正しく抽出できていることが確認できました。既存の土壌塩害推定マップでは塩類集積の有無だけしか分かりませんでした。この手法を用いることで塩類集積の程度まで推定できる可能性が示されました。



NDXI の計算結果



EC1:5 と指標値 (SI) との関係

既存の土壤塩害推定エリア
(青色で塗りつぶされた範囲)

観測データ 土壤塩害推定マップ

期待される活用方法

食糧生産の向上

塩害化している圃場に対して耐塩性を持つ小麦を導入することで、小麦の収量が1.5～3倍に増え、収量が0だった耕作放棄地からも収穫ができるようになると考えられます。

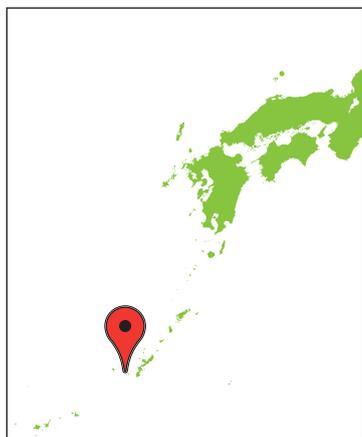
水資源問題

塩害地では水源の塩害化による飲料水や生活水の確保が困難になっています。土壤の塩害化低減策に貢献することで、これらの水資源問題の解決に繋がると期待されます。

世界的な気候変動へ与えるインパクトの軽減

塩害化対策の一環で植林活動が行われていますが、土壤の塩害化の程度に対応しない樹種は生育の途中で枯死しています。植林活動の計画立案の際に、本研究成果の土壤塩害推定マップがあれば、各塩害化の程度に対応した樹種の選択ができるようになります。

事例 14：サンゴの白化および白化からの回復を把握したい



対象地 日本
沖縄県 阿嘉島

背景：地域経済、生物多様性維持のために

サンゴ礁は、観光や漁業などで地域経済を支えるとともに、生物多様性の維持のためにも重要な役割を担っています。しかし、気候変動による海水温度の上昇に伴い、サンゴの白化現象が世界各地で急激に進んでいます。白化現象は、サンゴに共生している褐虫藻がサンゴの組織内から放出されることで起こります。これが長く続くと、サンゴは褐虫藻から栄養を得られなくなり、サンゴの死滅につながります。白化後の状況（回復または死滅）を把握することは、地域経済や生物多様性維持のためにも非常に重要です。

サンゴ礁の調査は、調査員が現地に行き、サンゴ礁の被度、種類、群体数など多数の項目を目視で確認する方法で行われています。しかし、この調査方法では、多くの時間とコストがかかるだけでなく、調査範囲も限られてしまいます。さらに、目視観察という主観的な方法であるため、調査員による調査結果の違いが発生する可能性があります。

そこで、客観的に広範囲のサンゴ礁の状況を把握するために、衛星リモートセンシングの利用が検討されてきました。これまでも、マルチスペクトルデータがサンゴ礁の分布調査に使われてきました。しかし、褐虫藻が共生している生きたサンゴ（生サンゴ）と、死滅した後に藻類で覆われたサンゴ（死サンゴ）のスペクトルの特徴がよく似ているため分類は困難でした。そこで両者を分類する手法が望まれます。

現在の研究実績

1) 底質とは、河川、湖沼、海域などの水底を構成する粘土、シルト、砂、礫などの堆積物や岩のこと。貝類、水生昆虫類、藻類をはじめとした底生生物の生活の場。（環境省 環境アセスメント用語集より引用。）

底質指標とは、底質が同じならば反射率比は一定となることとした底質指標原理に基づいた値のこと。（Lyzenga,1978）

2) 一次微分処理を行った画像。一次微分処理とは反射率の一次微分を求めることで、対象のスペクトルの変化点を強調する処理をいう。

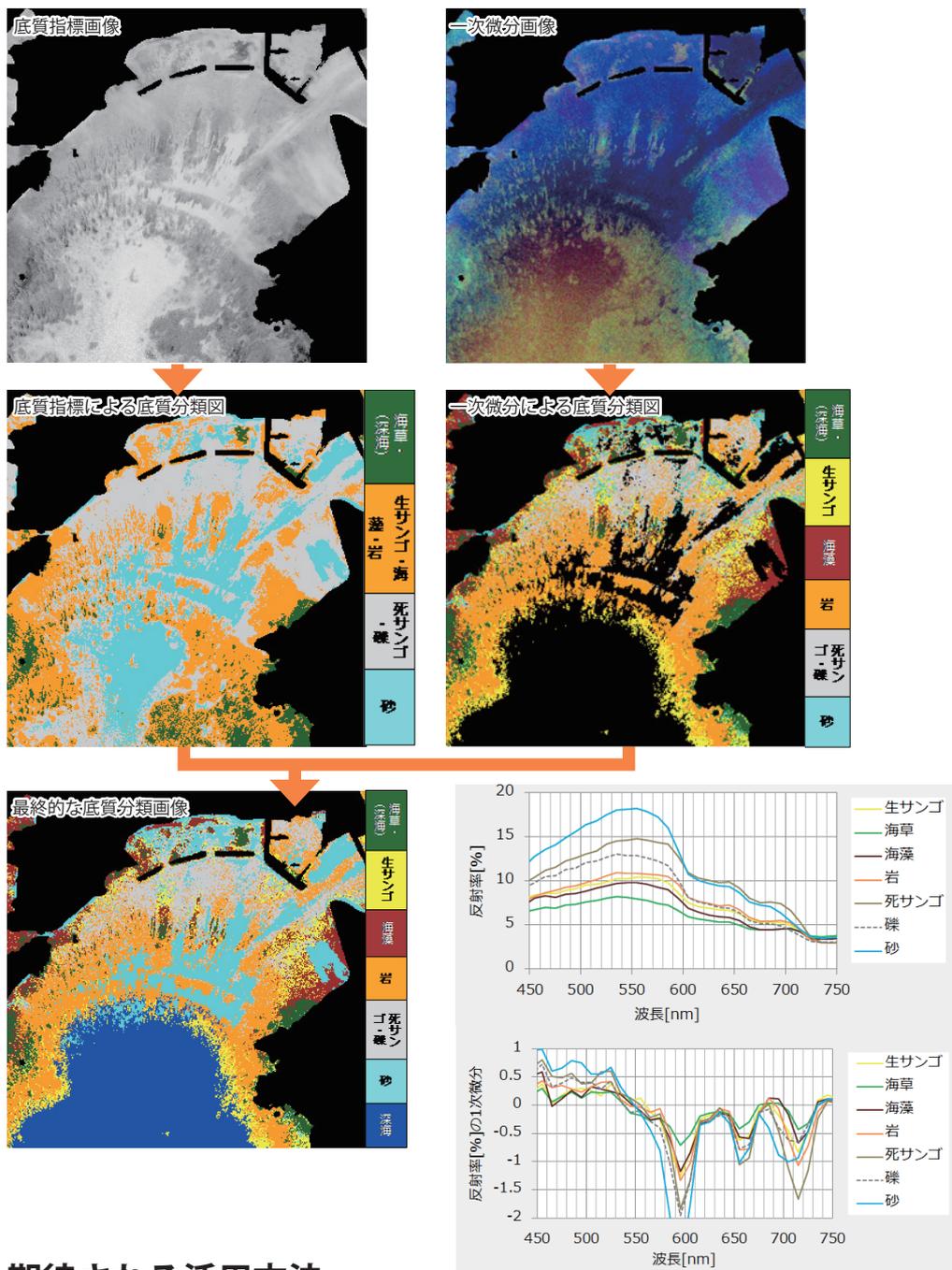
本事例では、底質指標画像¹⁾と一次微分画像²⁾を使って、生サンゴと死サンゴを分類しました。

はじめに水深の影響を受けにくい底質指標を使い、ハイパースペクトルデータから底質指標画像を作成しました。作成した底質指標画像に対し、現地調査データを教師とした教師付き分類を行い、「海草」、「生サンゴ・海藻・岩」、「死サンゴ・礫」、「砂」の4つのカテゴリに分類しました。

次に、一次微分画像を使って、「生サンゴ・海藻・岩」のカテゴリから、生サンゴを抽出しました。一次微分処理は波長を連続的に観測しているハイパースペクトルデータだからこそ可能な手法です。この処理を行うことで、対象物のスペクトルの特徴を利用した詳細な分類ができるようになります。サンゴのスペクトルの特徴は、515nm～575nmのバンドによく現れるので、その波長帯の一次微分画像に対し、教師付き分類を行いました。ただし、水によるスペクトルの吸収の影響を受けるため、深い海の領域を除いて分類しています。

底質指標画像と一次微分画像から作成した分類図を統合することで、「海草」、「生サンゴ」、「海藻」、「岩」、「死サンゴ・礫」、「砂」、「深海」の7つのカテゴリに分類できました。

分類図を現地調査データと比較したところ、正答率は70%でした。さらにサンゴだけでなく、海草と海藻類の分類に対する有効性も示されました。



期待される活用方法

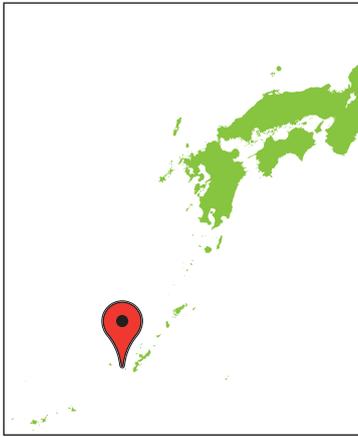
サンゴ礁モニタリングへの情報提供

ハイパースペクトルデータを使うと、生サンゴと死サンゴのわずかなスペクトルの違いを捉えることができるので、これらの分類が可能となります。得られた分類結果は、広範囲のサンゴ礁モニタリングに活用でき、さらにサンゴの保全にも役立てられると期待されます。また、海草と海藻類を分類できたことから、サンゴ礁に限らず、全国の沿岸環境モニタリングへの活用も期待されます。

事例 15：沿岸部の水深を把握したい

リモートセンシング概要

利用事例（環境）



対象地 日本
沖縄県 阿嘉島

背景：より安全に海を活用するために

広範囲の沿岸部の水深の情報は、船舶の安全航行や領海警備にとって重要な要素です。しかし、現在水深のデータが整備されているのは主要な港湾に限られています。

広域の水深データを取得する方法として、マルチスペクトルの光学衛星画像を用いる方法が研究されてきました。マルチスペクトル画像を用いて水深を求める一般的な方法は、水中の光の減衰と水深の関係を指数関数で表現できることに基づいています。しかし、この方法は底質が砂以外の海草や海藻などで覆われている箇所では誤差が大きくなり、水深を連続的に取得することができません。また、対象海域毎に関係式を求めるための現地調査が必要となり、他の海域への適用が難しいという課題があります。そのため、効率的に広範囲の水深を取得できる方法が求められています。

現在の研究実績

1) 底質とは、河川、湖沼、海域などの水底を構成する粘土、シルト、砂、礫などの堆積物や岩のこと。貝類、水生昆虫類、藻類をはじめとした底生生物の生活の場。(環境省 環境アセスメント用語集より引用。)

2) 太陽からの放射は、大気中を進むあいだに吸収や散乱などの影響を受ける。放射伝達理論は、この大気中を進む過程(伝達過程)を理論的・数学的に解く理論である。なお、大気中での放射の伝達過程を記述したものを放射伝達方程式という。

3) インバージョン解析や逆解析ともいう。観測結果から、その原因となる事象・要素を推定する解析手法である。

4) Inversion 法のひとつであり、放射伝達モデルを簡略化した解析モデル。Lee, Z.P., Carder, K.L., Mobley, C.D., Steward, R.G. and Patch, J.S., 1998, Hyperspectral remote sensing for shallow waters I. A semi-analytical model, APPLIED OPTICS, vol. 37, no. 2, p.6329-6338. Lee, Z.P., Carder, K.L., Mobley, C.D., Steward, R.G. and Patch, J.S., 1999, Hyperspectral remote sensing for shallow waters 2. Deriving bottom depths and water properties by optimization, Applied Optics, vol. 38, no. 18, p. 3831-3843.

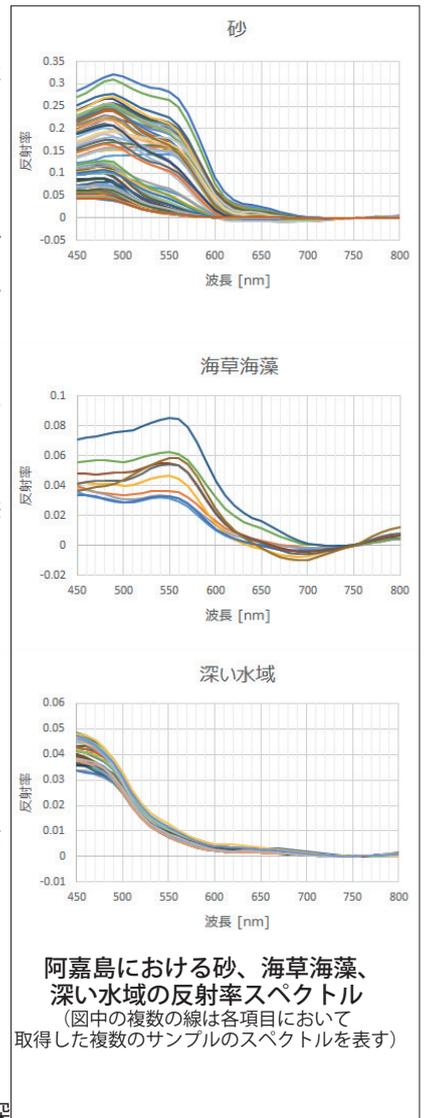
5) 海水中の溶存有機物のうち、短波長の光を吸収する成分。Colored Dissolved Organic Matter (CDOM)。

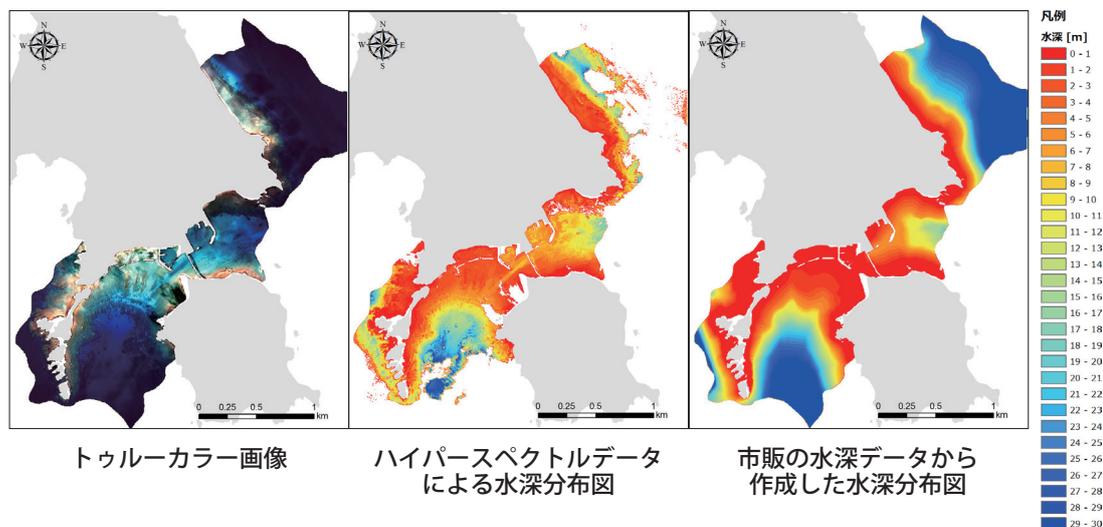
本事例では、多くの現地調査データを必要とせず、ハイパースペクトルデータから水深を求めることができる実用的な手法を検討しました。

ハイパースペクトルデータから得られる反射率と、放射伝達理論²⁾に基づいてシミュレーションした反射率のスペクトルマッチングによって水深、底質反射率、水の吸収・散乱特性を同時に求めることができる Inversion 法³⁾と呼ばれる方法の中でも、拡張性の高い Semi-analytical モデル⁴⁾を採用しました。

Inversion 法はスペクトル上のノイズに大きく影響を受けるため、ハイパースペクトルデータに対し、大気補正と水面反射補正を行います。その補正したデータを用いて、底質を分類してから水深を求めます。底質分類には、植物プランクトンの影響を受けにくい 500nm と 550nm のバンドを用いました。

Semi-analytical モデルは、センサが観測する水面直上の反射率を、植物プランクトン色素の吸収係数、有色溶存有機物の吸収係数、懸濁粒子の後方散乱係数、底質反射率係数、水深の5つの未知数の関数で表します。底質反射率係数以外の係数は、既往文献⁵⁾に掲載されている一般的な数値を用いることで水深





推定が可能です。底質反射率係数は、底質分類結果から求めます。

これらの係数を使って水深を推定し、水深分布図を作成しました。市販の水深データから作成した水深分布図と比較したところ、分布傾向は概ね一致しました。また、精度検証の結果、阿嘉島では水深 20m(RMSE 2.7 m)⁶⁾ 程度まで推定できることがわかりました。

6)Root Mean Squared Error：平均二乗誤差の平方根

期待される活用方法

沿岸部における様々な取り組みの基礎情報として活用

ハイパースペクトルデータによる水深分布図は、コストやアクセス、更新頻度の問題により既存の水深情報では十分でない場所での活用が考えられます。例えば、海図更新箇所を選定するための事前調査への利用や、瓦礫や養殖筏、サンゴ礁などで測量船が入れない内港湾や商港湾への利用、津波シミュレーションへの利用など、安全保障や漁業、海洋エネルギー開発、海岸保全など様々な分野での活用が期待されます。

事例 16：土砂災害（表層崩壊）の危険性を把握したい

リモートセンシング概要

利用事例（防災）



対象地 日本
宮城県 大崎市

背景：精緻かつ総合的な斜面地形の脆弱性評価のために

従来の土砂災害予測や危険性の評価は、過去に発生した地すべりの履歴、傾斜、地層、地質などの情報を主としており、植生の情報はあまり使われていません。しかし、植生は土壌に対して緊縛効果があるため、斜面崩壊の抑制効果があると考えられています。例えば、ミズナラやコナラなどの自然林は根深型の根を持ち、斜面崩壊への抑制効果が高く、一方、崩壊地植生は低木が主体で、高木と比較して根の分布が浅いため、斜面崩壊に対する抑制効果が低いと言われます。土砂災害予測や危険性評価をより正確に行うために土砂災害発生の可能性に影響を与える要因としての植生分析や、それを防災機能などと関連付けた予測・評価が求められています。

現在の研究実績

本事例では、植生情報と地質情報を組み合わせた表層崩壊危険度マップを作成しました。

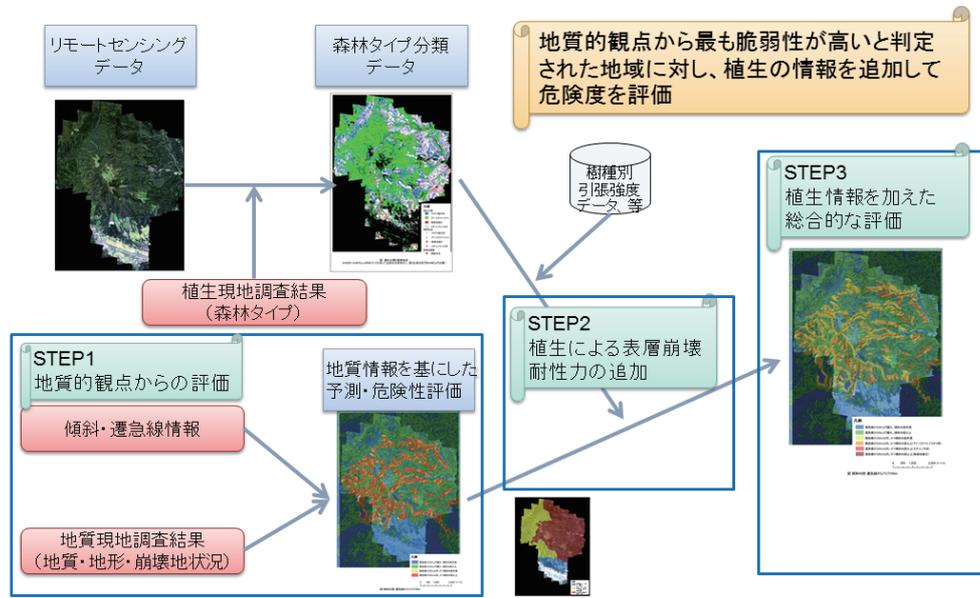
まず、現地調査データをもとに対象地域の森林タイプを設定し、ハイパースペクトルデータを利用して森林タイプ分類を行いました。分類には、情報量を保ちつつ次元削減が行える「PCA¹⁾」と反射率データをそのまま用いる「多クラス SVM²⁾」とを組み合わせた「PCA + 多クラス SVM」を用いました。これは、高波長分解能かつ連続的なデータであるハイパースペクトルデータだからこそできる手法です。分類結果は、やや誤分類がみられるものの、全体精度で約 89% と良い精度で分類できていることが確認できました。

次に、地質・地形情報として容易にデータの取得ができる斜面勾配、遷急線³⁾、地質・岩相を利用し、危険度の高い場所を抽出しました。最初に遷急線と斜面勾配による評価マップを作成し、次に地質・岩相情報から最も危険と判定された溶結凝灰岩の部分抽出しました。表層崩壊の危険度は、一般的に遷急線からの距離が近く、かつ斜面勾配が急な場所で

1) Principal Component Analysis の略。主成分分析といい、多変量解析の一種。

2) 各データが予め用意されたクラスのどれかに分類される「多クラス分類」の考え方と Support Vector Machine (SVM) を組み合わせた手法。

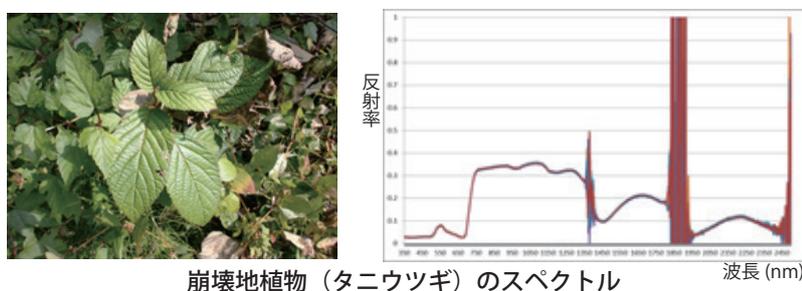
3) 遷急点（斜面上側から下側を見下ろしたときに斜面が急傾斜になる地点）を連続して結んだ線。



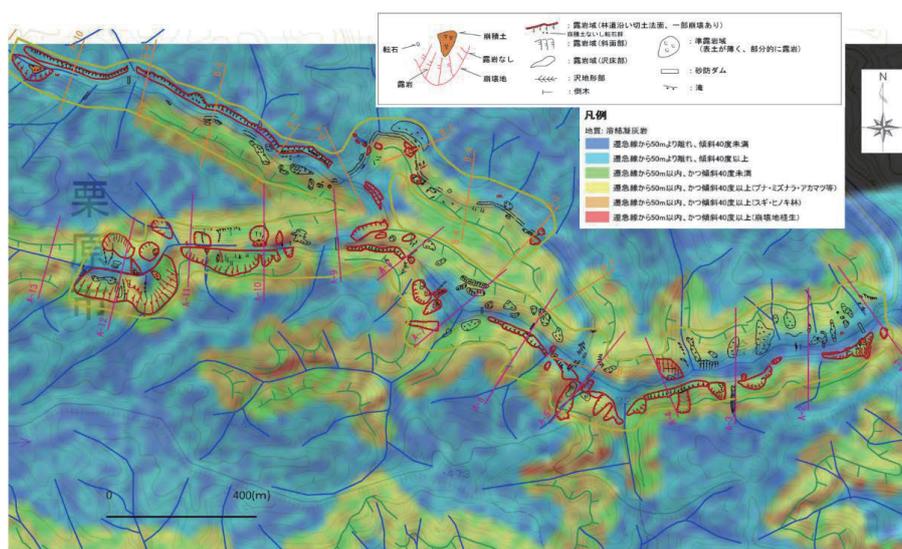
高いといえます。対象地域では、遷急線から 50 ～ 100 m 以内が急勾配で、それより離れると勾配が緩やかになることから、遷急線からの距離 50m 以内を危険度の指標としました。また、対象地域の勾配の状況を踏まえて、勾配 40 度を危険度のしきい値としました。ハイパースペクトルデータの解析により得られた植生情報と、地質・地形情報の結果をもとに、表層崩壊の予測・危険性の評価を行い、表層崩壊危険度マップを作成しました(図参照)。

この危険度マップと現地での崩壊地を比較すると、危険度マップで危険度の高い場所に地形・地質調査で確認された崩壊地が含まれていました。また、危険度マップの範囲に、植生調査で確認された溪畔林（やや不安定）と崩壊地植生が含まれていました⁴⁾。現地踏査を行うことを想定した場合、これらの情報を使うことで調査の効率化が見込まれます。

4) 本事例では、裸地から草地の時期にみられるウド群落やヤマハギ等の幼木、低木から陽樹林の時期にみられる先駆的植生であるタニウツギ、ヤマグワ、ヤマハノキを崩壊地植生として扱っている。



崩壊地植物（タニウツギ）のスペクトル



表層崩壊危険度マップと現地の崩壊地の重ね合わせ図

期待される活用方法

より確かな防災情報の提供

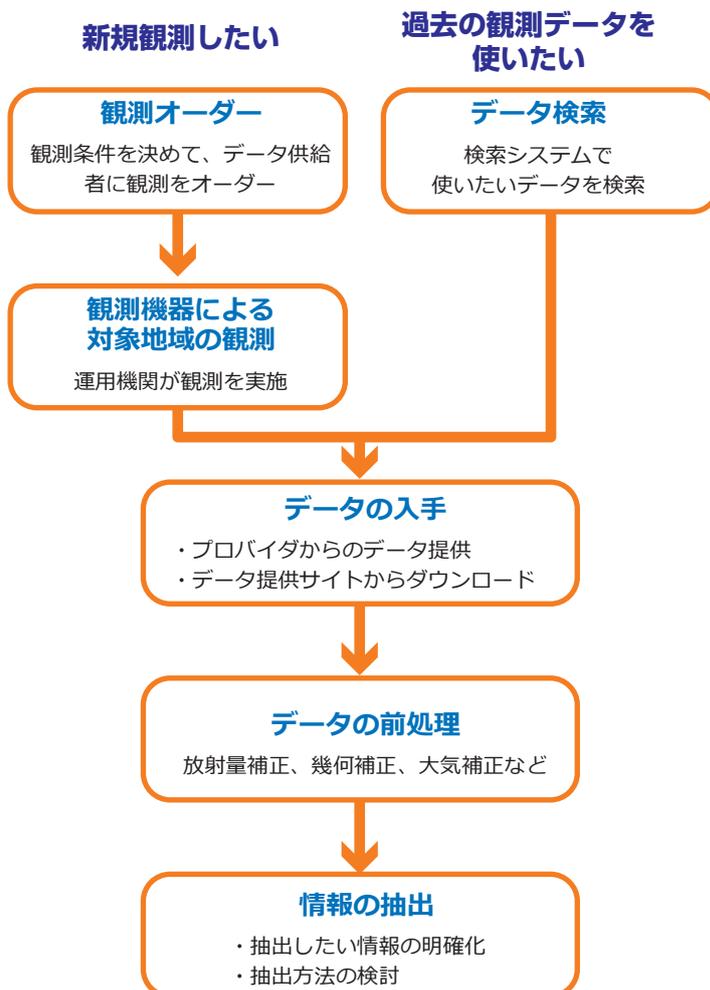
本事例の成果は、自治体、インフラ事業者、海外事業実施者など、国内外のユーザーによる利用が期待されます。

例えば、国内においては防災対策箇所の絞込みや優先度設定情報としての利用が見込まれます。また、海外においては、タイやマレーシアなどの雨季に斜面崩壊が多発している地域において、ハザードマップの信頼性を高める要素として利用されることが期待されます。

ハイパースペクトルデータの利用方法

ハイパースペクトルデータの入手から利用までの一般的な流れを図に示します。新規観測をしたいか、過去のデータを使いたいかでデータを入手する手続きは異なります。もし、データの入手方法についてお困りの場合は、本財団でもご相談を受け付けていますのでご連絡下さい。

データを入手してから、抽出したい情報を読み取るまでは、いくつか処理が必要です。例えば、衛星や航空機から観測されたデータは、大気や雲影の影響を受けており、必要に応じてそれらの影響を補正する必要があります。また、観測されたデータは、位置情報を持たない画像データなので、位置情報を持たせる処理（幾何補正）をする必要があります。これらの補正処理の後、抽出したい情報を得るための解析手法を検討しなければなりません。解析手法は様々なものが提案されており、データ利用者は抽出したい情報に適した手法を選ぶ必要があります。



リモートセンシングデータ利用フロー
 (参考：J-Spacesystems 資源・環境リモートセンシング実用シリーズ
 「地球観測データの利用」)

【ハイパースペクトルセンサ】

ハイパースペクトルセンサは、1970年代から開発が始まりました。2000年にEO-1衛星が打ち上げられ、世界初の衛星搭載型ハイパースペクトルセンサとしてHyperion（米国）が搭載されました。衛星搭載型センサ以外にも、航空機搭載型センサも開発されています。航空機または衛星に搭載されている主なハイパースペクトルセンサは、以下のとおりです。また、スペクトルデータを地上で取得できる機器として、携帯型分光放射計「FieldSpec」シリーズ（ASD社製）等があります。

名 前	搭載機	バンド数	観測波長 (nm)	開発機関・企業 (国)	参照 HP (2017年11月現在)
AISA systems	航空機	256	400~2,400	Specim, Spectral Imaging Ltd (フィンランド)	【Spectral Imaging 社】 http://www.specim.fi/hyperspectral-remote-sensing/
AVIRIS	航空機	224	400~2,500	ジェット推進研究所 (JPL:Jet Propulsion Laboratory) (アメリカ)	【AVIRIS】 http://aviris.jpl.nasa.gov/
CASI-1500H	航空機	最大 288	380~1,050	ITRES Research Limited (カナダ)	【CASI-1500H】 http://www.nnk.co.jp/research/technology/CAST.html (中日本航空株式会社 HP 情報) 【ITRES 社】 http://www.itres.com/
HyMAP	航空機	128	450~2,500	HyVista corporation (オーストラリア)	【HyMAP】 http://www.hyvista.com/technology/sensors/
Hyperion	衛星 (EO-1)	220	400~2,500	NASA (アメリカ)	【Hyperion】 http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EO1Tenth/page3.php

経済産業省では、エネルギー・資源分野をはじめとした様々な分野でのハイパースペクトルデータの活用を目的として、日本の独自のハイパースペクトルセンサ「HISUI (Hyperspectral Imager SUlte)」の開発を進めています。国際宇宙ステーション (ISS) への HISUI の搭載を計画しており、ISS を活用して宇宙空間での実証実験を行い、ハイパースペクトルデータの実利用化に向けて研究開発を進めています。

1)International Space Station

データの前処理

データの前処理は大きく分けて、放射量補正、幾何補正、大気補正があります。

「放射量補正」

センサが受ける光の強さ（放射輝度）がデジタル信号に変換される際に、真の値とずれ（放射量の誤差）が生じます。この誤差を補正する処理を放射量補正といいます。

「幾何補正」

画像の歪の原因として、レンズの歪や観測時の衛星の姿勢、地形の起伏などがあります。これらの幾何学的な歪を補正する処理を幾何補正といいます。

「大気補正」

地表面から放射している電磁波や地表から反射してくる太陽の光（電磁波）がセンサに到達するまでに、大気の散乱・吸収・放射の影響を受けます。この大気の影響を除去する処理を大気補正といいます。なお、大気補正処理には、センサのスキャン角や地表の対象物の構造に起因する BRDF（Bidirectional Reflectance Distribution Function、双方向反射率分布関数）や雲や地形に起因する影の影響を除去する処理も含まれます。

データを購入するとき、上記の補正処理が施されたプロダクトを選択できます。しかし、自分の利用目的に適したデータが必要な場合は、補正処理を行っていないデータを購入し、補正処理を行い、目的に合ったデータを作成する必要があります。ここでは、スペクトル解析に大きく影響する大気補正について紹介します。

空や宇宙から観測されたデータは、大気中のエアロゾルや水蒸気による吸収などにより、対象物本来と異なる吸収位置を示します。吸収位置の特徴を利用するスペクトル解析において、大気の影響は大きな問題です。

このような大気の影響を除去する方法として、放射伝達理論があります。ただし、放射伝達理論は複雑なため、一般に放射伝達コード（気象条件、観測条件、地理的条件など）を入力し、輝度や透過率を計算するソフトウェア：MODTRAN²⁾、6S²⁾など）が使われます。この他に、市販のソフトウェアの大気補正処理用モジュール³⁾があります。

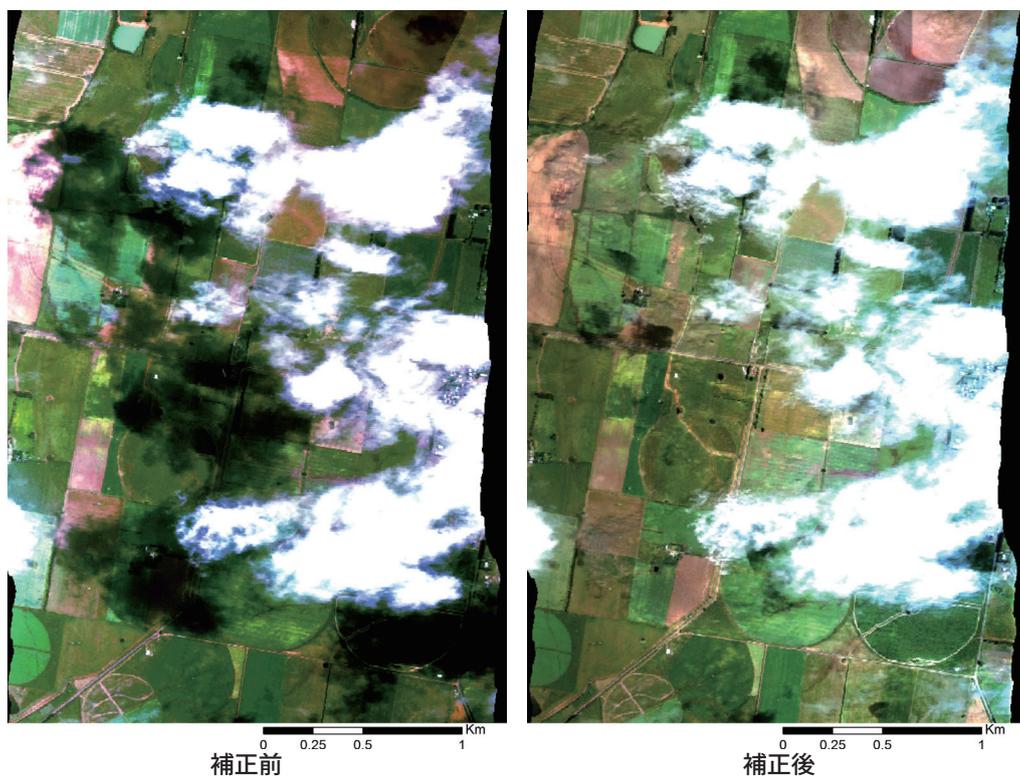
現在、ハイパースペクトルデータの取得方法として主流である航空機観測の場合、自分で大気補正をすることが求められます。航空機観測の場合、高度が高くないため、衛星で取得されたデータほど大気の影響は受けにくいものの、雲影や BRDF の影響を受けます。

2) 現在、商業・教育目的の利用の場合には有償

3) 大気補正処理が行えるソフトウェアとして、Hexagon 社製「ERDAS IMAGINE」(追加モジュール「ATCOR」「AAIC」)、HARRIS 社製「ENVI」(追加モジュール「FLAASH」「QUAC」)、PCI Geomatics 社製「Geomatica」、MicroImages 社製「TNTMips」などがある。

下の図をご覧ください。ある耕作地における大気補正を行った結果です。下図（左）は雲影の影響を受け、同じ圃場内でも明るいところと暗いところがあります。この状態で解析を行うと、影の影響を受けたスペクトルを使うことになるため、同じ対象物でも違うものと識別されてしまいます。そこで、下図（右）のように雲影がない状態を再現したスペクトルデータで解析処理を行います。ただし、補正処理で除去できる対象は影や大気による影響であり、雲そのものを取り除くことはできません。

解析処理の具体的な内容は各ソフトウェアのマニュアルを参照下さい。



情報の抽出手法

観測されたりリモートセンシングデータは、デジタルナンバー（DN）が記録されています。DN から、反射率や放射率、地表面温度や後方散乱強度などの物理量に変換処理を行い、この物理量を解析することで必要な情報を抽出します。言い換えると、物理量から抽出したい情報を特定するための解析手法を見つけ出す（開発する）ことが必要です。解析手法を見つけるといって難しく感じるかもしれませんが、実用的な解析手法は多く提案されており、その方法を用いればリモートセンシングデータから情報を抽出することが可能です。

ハイパースペクトルデータの解析では、連続性を活かして微分処理をしたり、多バンドを活かして多変量解析をしたりすることで、抽出したい情報に合わせた最適な波長を選択し、必要な情報を抽出します。

例えば、本ガイドブックで紹介する事例で用いられている手法は、多変量解析の LASSO 回帰、PLS 回帰、主成分分析や、NDVI、RVI などの比演算指標による回帰モデル式、SpectralAngleMapper（SAM 法）、SupportVectorMachine（SVM 法）など様々です。事例で用いられた手法以外にも、教師付き分類の最尤法や最短距離法、教師なし分類の ISODATA 法、K 平均法などの解析手法があります。

ハイパースペクトルデータを用いる利点として、解析で選択できるバンドが多いことはもちろん、このような多くの手法が選択肢としてあることが挙げられます。

具体的な手法については下記文献をご参照下さい。

- （一財）宇宙システム開発利用推進機構：
資源・環境リモートセンシング実用シリーズ 1～5
- 日本リモートセンシング学会（編）：基礎からわかるリモートセンシング
- 日本リモートセンシング研究会（編）：改訂版図解リモートセンシング

ハイパースペクトルデータを処理できるソフトウェア

観測されたデータから必要な情報を抽出するためにはいくつか処理が必要となり、一見利用するのが難しそうですが、現在はデータを利用するためのソフトウェアが開発されており、誰でも簡単に利用できます。ここでは、ハイパースペクトルデータを扱うことができるソフトをいくつか紹介します。日本国内における各ソフトの入手について不明点がございましたら、当財団にお問い合わせ下さい。

【商業ソフト】

• ENVI

HARRIS 社製

情報サイト：<http://www.harrisgeospatial.com/SoftwareTechnology/ENVI.aspx>

• ERDAS

Hexagon 社製

情報サイト：<http://www.hexagongeospatial.jp/products/ERDASIMAGINE/>

• PCI Geomatica

PCI Geomatics 社製

情報サイト：<http://www.pcigeomatics.com/software/geomatica/professional>

• TNTMips

MicroImages 社製

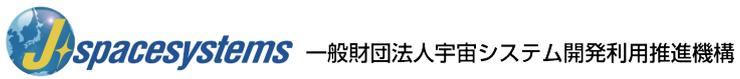
情報サイト：<http://www.microimages.com/products/tntmips.htm>

【無償ソフト】

• Opticks

情報サイト：<https://opticks.org/>

※ホームページアドレスは 2017 年 11 月時点のもの



〒 105-0011 東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号 機械振興会館 3 階 03-6809-1410