

航空機ハイパースペクトルデータによる森林分光反射変動特性の把握に関する研究

リモートセンシング研究室 川初倫大
指導教官 力丸 厚
向井幸男

1 はじめに

森林の生育状態を把握する技術の開発需要は、森林保全目的を主体として、世界的に高い。しかしながら、従来のマルチスペクトルセンサでは植生の詳細な分光情報の把握、解析は困難であった。そこで、従来のセンサに比べ波長分解能に優れたハイパースペクトルセンサを用いた、植生生理状態の詳細な現象の分光分析による森林資源情報の把握、森林の生育状態の把握に期待が寄せられている。本研究では、これまで分光放射計等を用いた室内やテスト圃場で観測が行われていた植生の分光特性の変化の把握を、航空機搭載ハイパースペクトルセンサデータを用いて解析する手法を検討のを行い、森林内の分光特性の変動を把握することを目的とした。

2 解析対象地域と使用データ

2-1 テストサイト

新潟県三島郡越路町来迎寺周辺の森林をテストサイトとした。テストサイト内の森林は、広葉樹が点在するものの大半が人工林のスギで占められている。また、スギ林の林齢は、25 年林以上である。なお、本研究では森林簿から樹齢などの情報が参照可能なスギを解析対象樹木とした。

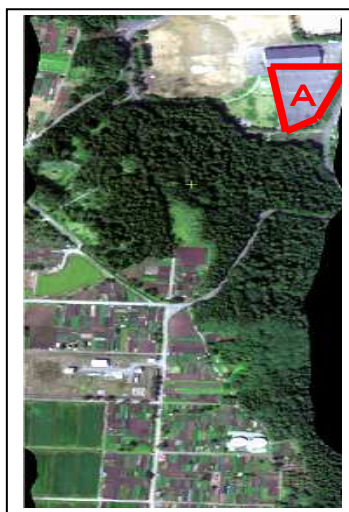


図1 テストサイトのハイパースペクトル画像

2-2 使用データ

航空機搭載ハイパースペクトルセンサ AISA で取得されたデータを使用した。AISA 画像データは、バンド数 66, 観測波長帯域は 403.71nm から 981.77nm, バンド幅は約 10nm, 空間分解能 1.5m である。なお、撮影日は、2003 年 8 月 10 日, 2003 年 8 月 25 日, 2003 年 9 月 2 日である。

3 大気影響低減と反射率への変換

本研究で使用したハイパースペクトル画像は波長分解能に優れている反面、大気の影響を鋭敏に受ける特性がある。解析に使用した 3 時期の画像においても大気の吸収波長帯域では観測値に減衰がみられ、スペクトル波形に大気の影響が大きく含まれている。

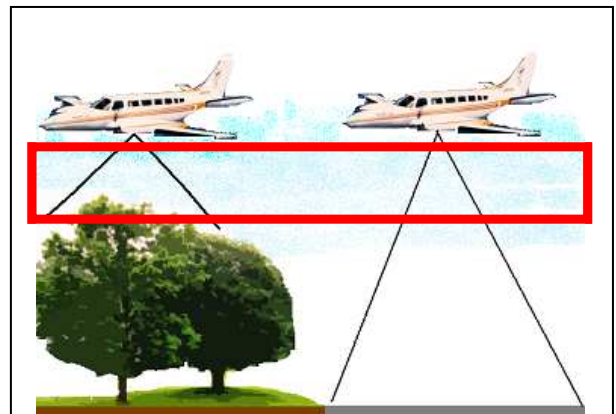


図2 航空機による観測のイメージ

このため、画像内に地上反射基準体を設定し、地上反射基準体による大気の影響低減手法を検討した。地上反射基準体による大気影響低減手法は、図2のように航空機による観測ではセンサと観測対象物の間には大気が存在し、同一画像内では全ての場所が大気の影響を同様に受けていると仮定し、地上基準体の DN 値で全ての画素の DN 値を割ることにより大気の影響低減を試みた。

地上反射基準体は観測画像内に含まれる被覆領域から地形が平坦で観測画像の空間分解能に対して十分に大きな領域で、分光特性の季節変動が小さく、分光特性が波長軸方向に対してフラットに近い等の選定条件を満たす被覆領域を、分光較正用の基

準として設定した。本解析では図1の領域A内のアスファルト被覆領域を地上反射基準体とした。また、地上反射基準体の分光反射率の計測を現地にて実施し、その反射率をもとに反射率画像へと変換を行った。地上反射基準体による大気の影響は画像の濃淡値（以下DN値）を用いて式1で行った。

$$In(p, l, c) = \frac{I(p, l, c)}{Ip(c)} \quad (1)$$

ここで、 p, l はピクセル座標、ライン座標、 c はAISAバンド（1~66）、 h は大気影響低減後DN値、 l はDN値で Ip は地上反射基準体のDN値である。

さらに、正規化後、地上で観測した地上反射基準体の反射率を用いて反射率を算出した。変換式を以下に示す。

$$R(p, l, c) = In(p, l, c) \cdot Rp(c) \quad (2)$$

ここで、 p, l はピクセル座標、ライン座標、 c はAISAバンド（1~66）、 R は反射率、 h は正規化後DN値、 Rp 地上での地上基準体の反射率である。

生データの分光特性と大気の影響を低減し、反射率に変換した分光反射特性を以下に示す。

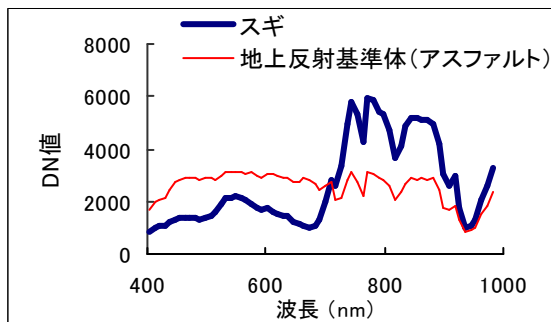


図3 大気影響低減前の分光特性

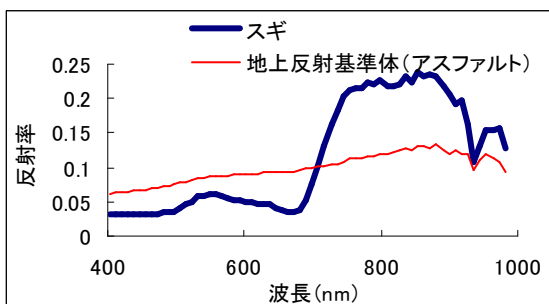


図4 反射率変換後の分光反射特性

4 森林内分光反射変動特性の把握

樹木の分光反射特性の解析は分光反射率が急激に変化する680nmから750nmに注目して行われる。この波長帯域には植生特有の分光特性である670nm付近で反射率が低く平坦になり、685nm付近から反射率がシャープに立ち上がる可視から近赤外域にかけての立ち上がりの部分にレッドエッジと呼ばれる波長が存在する。レッドエッジは分光反射率を一次微分することで求められる最大変化率の波長部である。このレッドエッジは植物が土壌水分不足などの環境ストレスを受けると、緑葉のクロロフィルの生育が妨げられ、短波長側にシフトするブルーシフト現象を引き起こす。本研究ではこのレッドエッジに注目し、森林内の分光反射変動特性の解析を行った。

4.1 レッドエッジの検出

レッドエッジの検出はまず、航空機搭載型ハイパースペクトルセンサデータよりレッドエッジのシフトが検出可能であることを確認するために樹木画素サンプルを用いて解析を行った。レッドエッジ検出のための解析は、事前にテストサイト内の森林域を教師無し分類によりスギと広葉樹に分類した結果を用いてスギを抽出した。次に3時期の画像より同一樹木をそれぞれの画像より切り出し、その樹冠内で赤外域の反射率が最も高い画素を樹木画素サンプルとして解析を行った。解析は樹木画素サンプルの分光反射率を一次微分し、レッドエッジを算出した。

その後、2003年8月10日、2003年8月25日と2003年9月2日の3時期の画像それぞれからサンプリングした同一樹木のサンプル間で、レッドエッジが現れる波長の比較を行った。その結果、3時期共にレッドエッジが変化せずと同じ波長であったもの。8月に比べ、9月のサンプルでは、レッドエッジが短波長側にシフトするもの。8月に比べ、9月のサンプルでは、レッドエッジが長波長側にシフトするサンプルがあった。それぞれの変化パターンのサンプルの一次微分値を図5,6,7に示す。

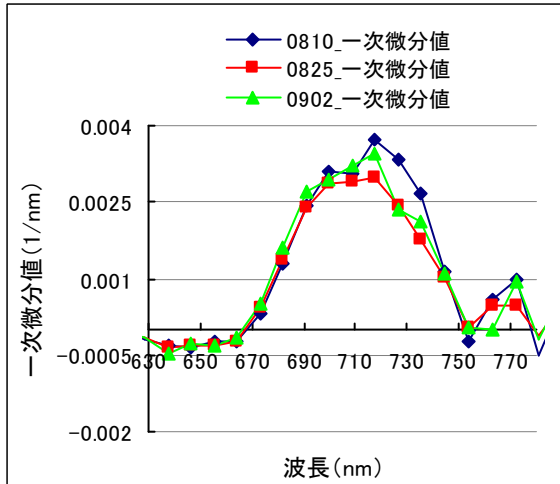


図5 レッドエッジに時期変化がなかった樹木サンプルの一次微分値

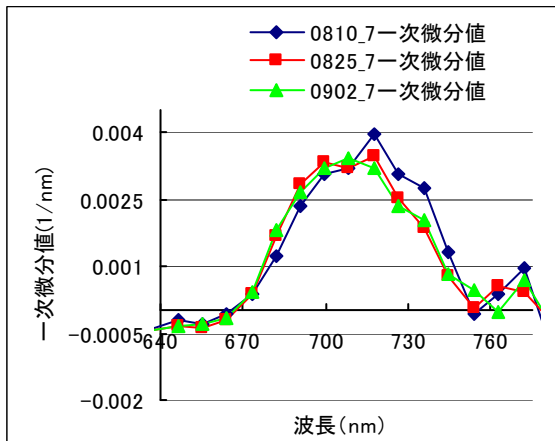


図6 レッドエッジに短波長側にシフトした樹木サンプルの一次微分値

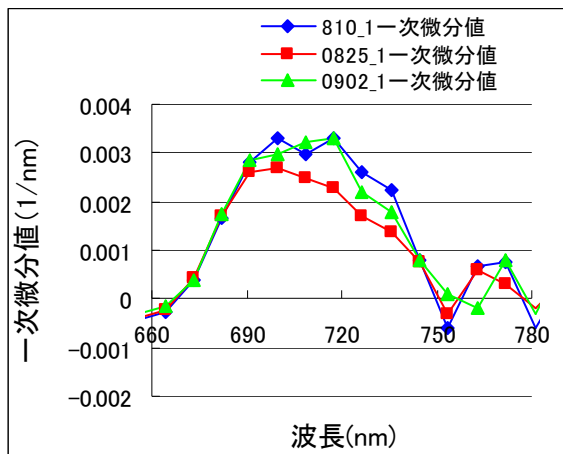


図7 レッドエッジに長波長側にシフトした樹木サンプルの一次微分値

5 レッドエッジの空間的分布の把握

5-1 陰影の影響を含む画素の抽出

レッドエッジが現れる波長を空間的に把握するためにレッドエッジが現れる波長部の分布図を作成した。レッドエッジは分光特性を詳細に分析するものであるため、陰影部のノイズを含んだ樹木画素のレッドエッジを算出しても、それが観測対象物のスギの生理的变化を表しているのか、陰影の影響を受けての変化なのか、判断は難しいため、予め陰影を含む樹木画素を除いてレッドエッジの変化をみた。陰影の影響を部含む画素は正規化植生指標 (NDVI) と陰影指標 (SI) を用いて閾値を決定して抽出した。陰影を含む樹木画素の抽出は NDVI が樹木画素よりも低く、陰影部よりも高い画素の中でSIの値が高い画素を抽出し、反射率スペクトル特性が樹冠中央の画素と相似形である画素を抽出した。

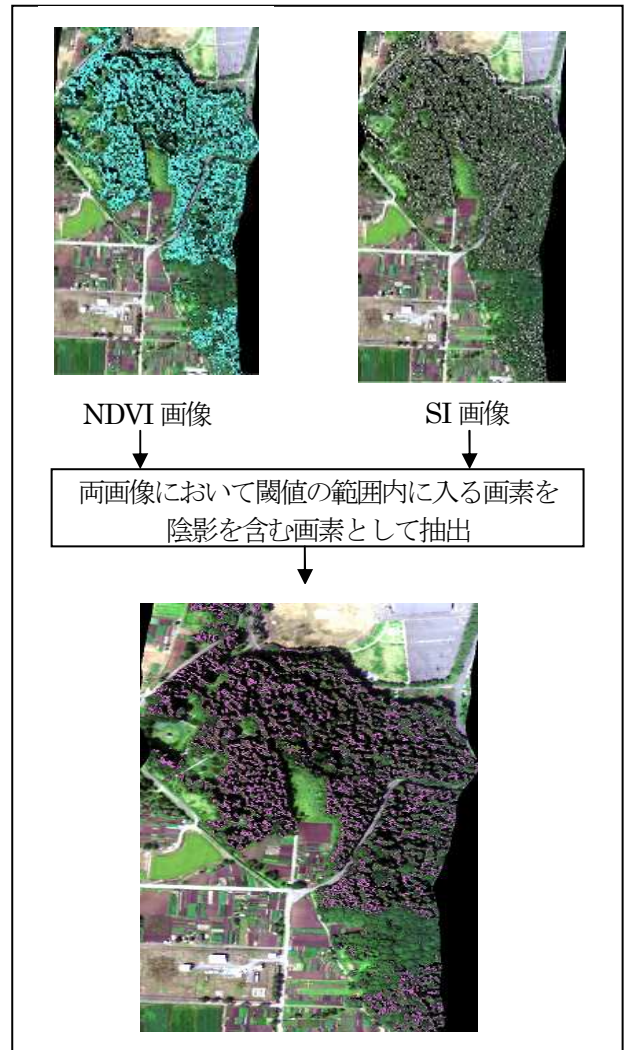


図8 陰影を含む樹木画素の抽出

5-2 レッドエッジの空間的分布画像の作成

レッドエッジの現れる波長の空間的な分布を解析した結果、8月10日の画像ではスギと分類されたほとんどの画素が717nmでレッドエッジが現れ、森林域と非森林域の境で699nmでレッドエッジが現れる画素があった。8月25日になると画像の中央部でレッドエッジが708nmで現れる画素が見られ、その画素付近に699nmでレッドエッジが現れる画素が確認できた。さらに、9月2日画像ではレッドエッジが708nmで現れる画素が増加し、8月10日の画像に比べ、レッドエッジが短波長側にシフトした画素が多く確認できた。また、8月25日で699nmでレッドエッジが現れていた画素が708nmで現れ、レッドエッジが長波長側にシフトする画素も確認できた。8月10日の画像では全体的にレッドエッジが717nmに現れる画素が広く分布し、他の波長でレッドエッジが現れる画素は極わずかであった。しかし、8月25日に観測された画像では、レッドエッジが現れる波長が短波長側にシフトした画素が増加し、9月2日の画像では、708nmでレッドエッジが現れる画素がさらに多く検出されたが、多くは717nmでレッドエッジが現れる結果となった。

6 まとめ

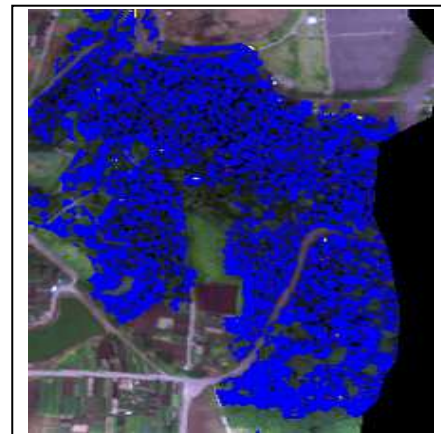
本研究では地上反射基準体を用いた大気影響の低減を行い、反射率画像へと変換が可能となった。それにより、これまでは室内やテスト圃場でスペクトルメータ等でしか観測されていなかったレッドエッジの変化を航空機ハイパースペクトルセンサからも観測が行えるようになり、レッドエッジの変化を空間的に把握することが可能であることが示唆された。

7 謝辞

本研究で使用したハイパースペクトル画像は、株式会社パスコより研究目的で提供されたものである。ここに深謝いたします。

参考文献

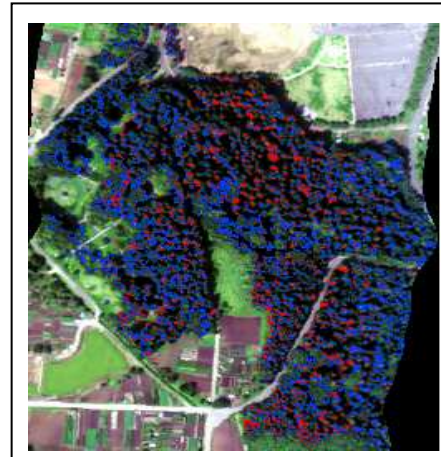
- 1) 本郷千春, 小林達明, 有田ゆう子: 分光反射率からみた樹木の水分ストレス反応, 写真測量とリモートセンシング, 37 (4), pp43-50, 1998
- 2) 西田顕朗, 小杉緑子, 大手信人: 樹木単葉の分光反射特性と光合成速度及び水分欠乏との関係, 日本リモートセンシング学会誌 Vol.20 No.3, pp6-16, 2000



2003年8月10日レッドエッジ
空間分布画像



2003年8月25日レッドエッジ
空間分布画像



2003年9月2日レッドエッジ
空間分布画像

699nm 708nm 717nm

図-9 各時期のレッドエッジの空間分布図