

K-1 陸域生態系の吸収源機能評価に関する研究

(8) 森林吸収モデルのリモートセンシングによる検証

独立行政法人国立環境研究所

地球環境研究センター

2000年度国内交流研究員 小熊宏之

山形与志樹

平成11～13年度合計予算額 5,718千円

(うち、平成13年度予算額 1,906千円)

[要旨]

Hugueninらの考案した、着目対象のみのエンドメンバーを取得するミクセル分類手法の評価方法を改良し、航空機センサの分光画像によるミクセルのシミュレーションデータを用いたミクセル分類シミュレーションを行い、手法の有効性を検証した。これまで困難だった、対象オブジェクトが植生で、かつバックグラウンドも複数の植生カテゴリによって構成される場合でも、極端な精度低下を招くことなくミクセル分類が可能であることを示した。

実際の観測画像に手法を適用し、30mメッシュ内におけるハンノキの樹冠の面積比率を推定し精度検証を行った。スペクトルモードを用いた場合、可視域のみ40バンドの連続スペクトラルデータを用いたケースで、樹冠率の真値に近い推定結果を得ることができ、ミクセル分解による樹冠率推定の可能性を確認することが出来た。

[キーワード] 京都議定書、リモートセンシング、ミクセル分解、樹冠率、スペクトル

1. はじめに

森林による温室効果ガスの吸収・固定量把握のためには、リモートセンシングなどによる高精度の計測に加え、土壌分解過程などの生態系モデルなどを組み合わせる必要がある。しかしながら、これまでには両者の研究分野は独自に発展し、統合された解析を行うことはごくまれであった。そのため両者の手法の単独利用による吸収・固定量把握には限界が存在し、ブレイクスルーが望まれている。第一期の研究では、森林の樹冠率をスペクトルインデックスにより推定する手法を開発した。樹冠率は京都議定書に求められる森林・非森林の識別のみならず、炭素固定量に直接関係する現存地上量推定のための重要な因子であると同時に、森林土壌に照射される太陽エネルギー推定のための重要な因子である。特に後者は生態系モデルなどに組み込まれ、リターの生成・分解過程を把握するためには不可欠である。そこで第一期で開発した樹冠率推定の手法を更に発展させ、林床条件が変化した場合でも推定精度に影響を与えない手法を開発した。

森林を構成する樹種が同一であっても、林床状態が土壌の露出あるいは林床草本植生の繁茂状態などが様々に変化した場合、第一期での手法では適用限界が存在した。これを解消するため、別のアプローチとしてミクセル分類の適用が考えられる。ここでミクセル分類とは1画素内に混入するカテゴリ比率を分光スペクトルパターンから推定する手法である。そこで今期では、着目対象の分光特性のみが既知としてミクセル分類を行うアルゴリズムを改良し、湿原内に生息するハ

ンノキの樹冠率推定の可能性を検証した。

2. ミクセル分解による樹冠率推定

(1) 基本的考え方

ミクセル分解を行う際、画素内に混入するカテゴリのスペクトルを基準（エンドメンバー）とし、これの混合比率を求めるのが一般的である。よって、画素内に混入するであろう全てのカテゴリのエンドメンバーが既知であることが不可欠であり、これが達成できない場合、十分な推定精度を期待する事は出来ない。しかしながら着目対象以外にバックグラウンドに混入する可能性があるカテゴリ全てを、予め把握する事は非常に困難である。特に湿原では非常に多数の植生種が群落を形成しているため、全カテゴリのエンドメンバーを予め取得することは不可能である。Huguenin らの Subpixel Classification Method では、着目対象のスペクトルのみを既知とし、バックグラウンドとなりうる不特定多数のカテゴリのスペクトルは未知としたまま、画像中の全ピクセルからバックグラウンドを総当りで探索し、既知である解析対象とのミクセル分解を実行し、その混在比率を推定するものである。ここで Huguenin らの手法はスペクトルの類似性を相関のみによって評価している。しかしながら同手法は可視域のスペクトルのみを解析対象とするが、健全な植生同士の混合画素においては、そもそも植生種間のスペクトルの相関が非常に高く、正しい評価が不可能となる事例が存在したため、これを解決するために、本解析ではスペクトル間のユークリッド距離による評価を追加し、類似度の評価を二重化する改良を行い、検出精度の向上を試みている。

3. 実データへの適用例

(1) CASI 画像によるハンノキの樹冠率推定

着目対象として釧路湿原に生息するハンノキを対象とし、樹冠部のスペクトルのみを既知とし、それ以外のバックグラウンドのスペクトルを未知としたままミクセル分解を行った。航空機センサー CASI のデータを用い、30m×30m メッシュ内における全画素の平均出力を mixed pixel データとして用いた。ハンノキのエンドメンバーピクセルの取得に際しては空間分解能が 2m×7m と変則的な事から、1 画素がすべてハンノキで占められているエンドメンバーを取得する事は不可能であった。そこで、樹冠径が大きいハンノキが密集している領域にトレーニングエリアを設定し、その中の画素からエンドメンバーを取得すると同時に、樹冠のポリゴンデータを参照し、トレーニングエリア内の樹冠率を求め、エンドメンバーがハンノキの樹冠率 54% の場所から取得されたことを確認した。

なお、本解析ではスペクトルバンド 96 バンドのうち、ノイズの多い短波長側 16 バンドを用いず、490nm～913nm の波長域 80 バンドとして用いた。

(2) ミクセル分解の結果

490nm から 698nm の可視域のみの連続 40 バンドを用いた分類結果を図 1 に示す。ここで、CASI 画像によるエンドメンバーは樹冠率が 54% の領域から取得されていることから、ミクセル分類による出力が 100% の場合には推定樹冠率を 54% となるようスケール調整を行いグラフ表示した。可視域のみの連続 40 バンドを用いた結果では相関係数が 0.921 (RMSE=4.67) と最も良い結果を示

し、エンドメンバー自体のミクスチャー比率を勘案すると、得られた推定値は正解値に近い値を得ることができ、本手法を用いることによって樹冠率を直接的に推定出来る可能性が示された。一方、推定値と正解値が完全に一致しない原因としては、1) CASI 画像の幾何補正時における誤差、2) エンドメンバーの代表性、3) 樹冠ポリゴンを作成する際の、樹冠の外形をトレースする際に生じた誤差が考えられるが、これに加え本論では樹冠ポリゴン内が一様に光学的に厚い樹冠(葉)によって占められていることを前提としているが、樹冠を構成する葉を地表面投影した面積は、例えば疎な樹冠構造をもつ樹木など、樹冠の外周を囲んだ領域内の面積とは完全に一致しないこともある。本論で述べた手法を始め、光学リモートセンシングで測定可能なのは樹冠の外周面積よりはむしろ後者の葉面からの反射過程が主であり、仮にハンノキにおいて両者に差が存在している場合には誤差要因の一つとして考えられると同時に、リモートセンシングを用いた樹冠率集計に際しては重要な論点であることから、両者の取り扱いについては今後の議題としたい。

(3) バックグラウンド選択画素の追跡

可視 40 バンドを用いた場合において、バックグラウンドとして選択された画素を追跡し、バックグラウンドとして妥当な画素が選択されたかを検証した。図 2 には、横軸にテストサイト 1, 2 から取得したミクセルサンプルの画素番号を示し、y 軸にバックグラウンド候補として選択された頻度と、その画素とハンノキのエンドメンバーとの類似度を表している。更に現地調査結果や CASI 画像の分類結果を参照し、選択された画素における被覆状況を検討した。両サイトともハンノキ周辺にはヨシが優先種であり、他の植生が若干混入し、草本群落の背景が冠水した状態であるが、バックグラウンドとして最も選択された画素は、同様の条件を満たし、かつハンノキの混入が見られない画素である。一方、類似度が同程度低い画素であっても、ハンノキ周辺に見られない草本群落の画素は、バックグラウンドとして全く選択されておらず、バックグラウンドの自動選択が正しく行われていたことが明らかになった。

(4) 分光バンド数・波長域の関係

図 3 は、スペクトルモードによる 490nm から 913nm の連続 80 バンドデータを用いた場合の結果を示す。可視域に限り 40 バンドを用いた結果(図 1)に比較して精度の低下が見られる。ここで本手法の前提条件では、対象物の光学的厚さが十分厚いことが条件となっていることから、近赤外域の波長域を加えた事により、葉面の重なりによる反射率の増加が加わることになり、カテゴリの面積比率が線形結合で表現する前提が崩れたことによると考えられる。更に、バンド数を揃えた条件での比較のため、490nm から 913nm の領域を 1 バンドおきにサンプリングして 40 バンドとした結果を図 4 に示す。可視から近赤外域を均等にサンプリングして 40 バンドとしたものでは、イメージングモードの 7 バンドとほぼ等しい精度となり、精度の確保の為にバンド数を追加することは必ずしも効果的ではなく、重要な波長帯が存在していることがわかる。可視域のみ 40 バンドを用いたケース以外では全てハンノキを過少推定している。ミクセルを算出する際、どの画素をバックグラウンドとして選択したかを追跡した結果、ハンノキが十分に存在する画素を選択したことにより過少推定していることが確認された。またエンドメンバーを、ハンノキの樹冠のみで占められている画素から取得できるイメージモード画像を用いた場合では、エンドメンバーは正確に取得できたとしても、分光バンド数が限られていることが推定精度を低下させてい

る原因として考えられる。

4. 結論

(1) Huguenin らの考案した、着目対象のみのエンドメンバーを取得するミクセル分類手法の評価方法を改良し、航空機センサの分光画像によるミクセルのシミュレーションデータを用いたミクセル分類シミュレーションを行い、手法の有効性を検証した。これまで困難だった、対象オブジェクトが植生で、かつバックグラウンドも複数の植生カテゴリによって構成される場合でも、極端な精度低下を招くことなくミクセル分類が可能であることを示した。

(2) 実際の観測画像に手法を適用し、30mメッシュ内におけるハンノキの樹冠の面積比率を推定し精度検証を行った。スペクトルモードを用いた場合、可視域のみ 40 バンドの連続スペクトラルデータを用いたケースで、樹冠率の真値に近い推定結果を得ることができ、ミクセル分解による樹冠率推定の可能性を確認することが出来た。

(3) 多数の植生種と水、土壌といった対象が混在し、場所によって構成比率などの変動が激しい湿原においては、正確なミクセル分類を行うには可視域の連続分光が必要であった。バックグラウンドとしての多様性が湿原ほどではない他の土地被覆においては、必要な分光バンド数は限られると考えられる。

(4) エンドメンバーには CASI の画素単位でエンドメンバーを選定したが、衛星データの解析を想定すると、衛星センサから得られるデータは数十mの空間分解能であり、エンドメンバーを地上計測や何らかの推定手法で予め得ている場合に相当する。ミクセル分解の場合、エンドメンバーの取り方により結果が大きく影響されることから、正確なエンドメンバー取得方法、あるいは既にミクセルになっている画素からのエンドメンバースペクトルを推定する手法などが今後の課題である。

5. 引用文献

- 1) R.L. Huguenin, M.A. Karaska, D. Van Blaricom, and J.R. Jensen : Subpixel Classification of Bald Cypress and Tupelo Gum Tree in Thematic Mapper Imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 63, No. 6, pp. 717-725, 1997.
- 2) 沖ほか, ハイパースペクトラルデータによる画素内特定被覆率推定に関する研究, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 20, No. 3, Sep., 2000.
- 3) 島崎ほか, サブピクセルカテゴリの検出方法の検討, 日本リモートセンシング学会第 25 回学術講演会予稿集, 1999
- 4) 山形ほか, 京都フォーレストの計測におけるリモートセンシングデータの高度利用, 日本リモートセンシング学会第 26 回学術講演会

[国際共同研究等の状況]

なし

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術雑誌)

① 山形与志樹、小熊宏之ほか：京都議定書で評価される吸収源活動のモニタリングと認証に関わるリモートセンシング計測手法の役割，日本リモートセンシング学会誌，Vol. 21, No. 1 (2001) pp. 43-57

(2) 口頭発表

なし

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

なし