

野外計測用高速ハイパースペクトル画像計測システム

—植物生体情報を非破壊・リモートでとらえる—

地球環境部生態システム研究グループ環境計測ユニット 井上 吉雄

はじめに

農薬や肥料をはじめとする化学資材や資源の適正利用・最少利用への要請が世界的に強まっている。それに応える方策のひとつである圃場・作物管理の精密化（精密農業：precision farming）では、作物の生長を迅速・正確にとらえ、栄養状態や病状を診断し、作物生体の状態に応じた過不足のない管理を行うことが重要な課題となっている。一方、地球環境面でも、森林・農耕地・草地など陸上植生の環境調節機能、あるいは水・熱の循環やCO₂収支に果たす役割が注目されている。そしてここでも、植物生体の分布量や活性を広域的・定量的に把握することが重要な課題となっている。

これらの目的のためには、光や電波など電磁波を利用して、野外におけるありのままの植物生体情報を高速・非破壊・リモートでとらえる方法がきわめて有効である。ここでは、われわれが試作したハイパースペクトル画像計測装置とその応用例について紹介する。

植物生体情報とハイパースペクトル反射計測

数ナノメートル程度の高い波長分解能での反射・透過スペクトル計測をハイパースペクトル計測とよぶ。野外において測定した種々の地表物の反射スペクトルを図1に例示した。植物や土壌の可視～短波長赤外までの分光反射スペクトルには多くの生理生態・成分情報が反映されている。したがって、ハイパースペクトル計測データは、植物生体の水分、色素濃度、窒素濃度などいわゆる「植物生体情報」の把握に有望である。

AOTFを用いたハイパースペクトル画像計測システムの開発

ハイパースペクトルと画像計測という二つを同時に満たす測定を行うことを目的に、AOTF（Acousto-Optic Tunable Filter；音響光学フィルタ）を用いたハイパーイメージングスペクトロメータを試作した。AOTFはTeO₂結晶に周波数の異なる振動を与えることにより、屈折率を変化させて分光フィルタの機能を持たせるものである。RFドライブによって発生させた任意の周波数の音波をピエゾトランスデューサによって結晶中に伝播させ、周波数に応じた波長の光を取り出す。したがって、干渉フィルタを回転させるような方式と異なり、システムに機械的

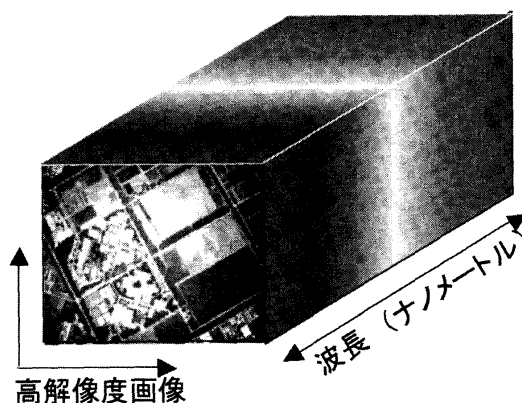
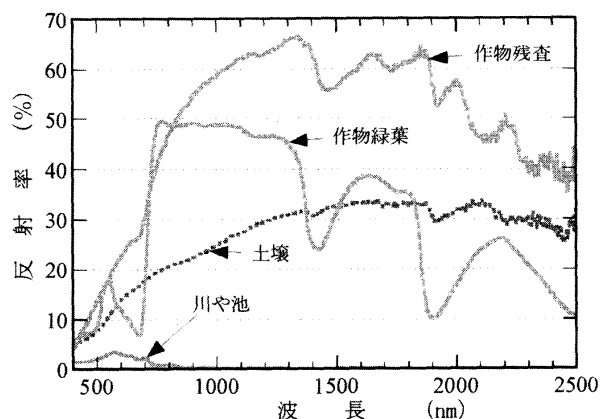


図1 植物や水、土壌などの典型的な反射スペクトルとハイパースペクトル画像計測

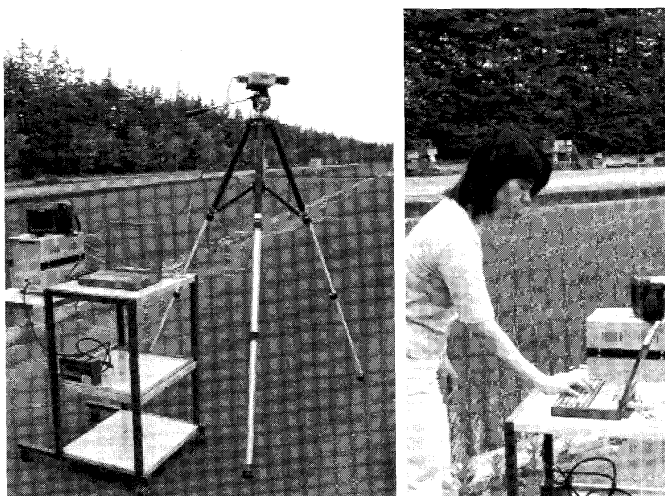


図2 AOTFを用いた野外用ハイパースペクトル画像計測システム

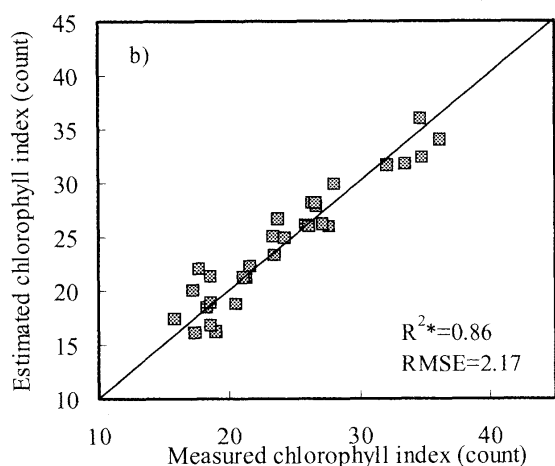


図3 ハイパースペクトル計測による植物体のクロロフィル濃度の重回帰推定

動きがないため、堅牢かつミリ秒オーダーで特定波長の画像を選択・走査できる。周波数に応じた波長別の画像は CCD カメラで連続的に検出する。システム全体は AOTF、AOTF ドライバ、モノクロ CCD カメラ、小型ビデオ装置、およびノート PC からなり、小型軽量で、すべて DC 駆動であるため、特に野外計測に好適である。試作装置の測定波長範囲は 450~900 nm、波長分解能(半値幅)は可視域で 3 nm、近赤外域で約 5 nm である。コンピュータ制御により取得波長、波長数、繰返し記録数などを簡単に設定できるプログラムとした。一連の実験では記録には Hi-8VTR テープを用い、長時間の連続的記録を可能とした。

植物生体情報の計測評価

本システムの特性を検証するため、生長量と窒素濃度、クロロフィル濃度の異なるイネの幼植物群落 30 群落を対象に連続分光画像計測を行った。波長間隔 10 nm、測定バンド数は 50 として全波長域をスキャンした。Hi-8 テープに録画された画像は A/D 変換し、必要に応じて波長ごとのシェーディングやノイズ補正、積算処理による S/N 改善、および幾何補正などを行う。

ここに示す例では、まず 40 バンドの反射率画像に対して自動分類を行い、植物体領域を抽出した。植物体は多波長データを用いることによって精度よく分離される。たとえば、画像処理によって推定した土壌表面上の苗数の推定誤差は 1~2% 程度であった。

同期計測した画像から抽出した植物領域の反射スペクトルパターンはバイオマスと窒素濃度に応じて大きく変化した。多波長の反射係数と各種の植物体パラメータとの相関関係を調べた結果、最も説明力が高かったのは多波長の反射係数をそのまま用いた重回帰モデルで、5~8 波長程度の反射率を用いた重回帰モデルにより、窒素濃度、クロロフィル指数、窒素量について高い決定係数(自由度補正済で 0.8 程度)が得られた(図 3)。単波長や 2 波長間の比では明確な相関関係が得られず、多波長を要約した主成分回帰もあまり高い説明力は得られなかった。なお、さらに細かい波長幅での測定も行ったが、微分値やそれによって得られるレッドエッジ(緑葉植物に特異的に見られる可視~近赤外への立ち上がりの位置)の位置変化については明瞭な関係は見出されなかった。

個葉や群落スケールの光収支モデルとハイパースペクトルデータを結合した推定手法など、現在さらに効果的な評価手法を検討している。

おわりに

以上のように、ハイパースペクトル画像計測装置は、その高い波長分解能と多波長連続測定のもつ情報量の多さを生かして、成分情報や生理状態の抽出評価などに有効であることがわかった。

われわれは、低環境負荷で持続的な農業生産管理を実現するための情報計測システムの確立、および陸域植生とそれを取り巻く生態圏の広域情報を探査・利用するためのリモートセンシングを機軸とした高度情報システムの構築をめざしている。ハイパースペクトルセンサを搭載した地球観測衛星も近々打上げ予定であり、宇宙からのハイパースペクトル画像計測も間近い。今回紹介したハイパースペクトル画像計測装置は植物生理生態学研究や精密農業管理のためのリモートセンシング・非破壊センシング手法の研究、将来衛星センサのシミュレーション検証などに応用できる。

2002年1月