

農業リモートセンシングの新展開

Recent advance in agricultural remote sensing

Kenji OMASA

キーワード：画像計測、プレシジョン・アグリカルチャー、リモートセンシング

Keywords：Image sensing, Precision agriculture, Remote sensing

1. はじめに

近年の航空機や人工衛星からのリモートセンシングや画像計測のような近接のリモートセンシングの発達にはめざましいものがある。農業分野でも、プレシジョン・アグリカルチャーに代表されるように、農作業用ロボットや栽培管理の自動化のための技術として、また、持続的な環境保全型IT農業のための管理情報として、積極的な利用が考えられている。ここでは、人工衛星、航空機そして画像計測を含む近接リモートセンシングの技術的トレンドと農業分野での利用の可能性について簡単に述べる。

2. 広域リモートセンシング

広域リモートセンシングの代表的なセンサーと取得可能な情報を表1に示す。広域リモートセンシングは、主に、人工衛星や航空機などのプラットフォームからのセンシング技術であり、実際に耕地面積の広い収米などでは、LandsatやSPOT、気象衛星などの可視から近赤外、および熱赤外の衛星画像データが、土地被覆状態や収量予測、気象予測、農業経営などに利用されている。最近の人工衛星や航空機に搭載されるセンサーの技術的トレンドは、高空間解像度化、多チャンネル化、3次元画像化に加えて、レーザーやマイクロ波などの能動的センサーの利用である。例えば、人工衛星からのリモートセンシングでは、2001年に打ち上げられた米国の商用衛星であるQuickBirdが、パンクロ画像(0.45~0.90 μm)で0.61m(図1)、マルチスペクトル画像(青(B):0.45~0.52 μm , 緑(G):0.52~0.60 μm , 赤(R):0.63~0.69 μm , 近赤外(NIR):0.76~0.90 μm)でも2.44mと、従来の航空機からのリモートセンシングに匹敵する空間解像度を有している。また、2000年に打ち上げられたEO-1のHyperionはLandsatと同じ30mの空間解像度で、可視~近赤外(0.4~2.5 μm)の220バンドのハイパースペクトル画像を提供する。さらに、今年中にも打ち上げが予定されているVegetation Canopy Lidar(VCL)は、1mの距離計測精度を有するレーザー距離計によって、地形や森林の3次元計測を行う予定になっている。マイクロ波を利用した合成開口レーダー(SAR)は、その波長を選択することにより、雲や降雨の状態の計測や、逆に雲や降雨の影響を受けないで、地表面の情報を得ることができる。2002年末に打ち上げられたみど

大政謙次

(おおまさ けんじ)

1950年12月生

国立環境研究所室長、筑波大学生物科学系教授(兼任)を経て、

現在、東京大学大学院農学生命科学研究科教授

農業機械学会正会員



り2号に搭載されている高性能マイクロ波放射計では、受動的なセンサーではあるが地表面からのマイクロ波の放射画像を提供できる。

このような人工衛星からのリモートセンシングの発達により、従来、衛星画像では困難とされていた我が国の小面積の耕地でも、実用的な利用が可能になってきた。特に、農薬や肥料の最適管理のためのプレシジョン・ファームなどの環境保全型IT農業分野では、GPS(Global Positioning System)や地理情報システム(GIS:Geographic Information System)との併用利用による実用化が期待されている。しかし、人工衛星からのリモートセンシングには、観測周期や雲の影響などの問題があり、より自由度のある航空機などからのリモートセンシングとの併用利用が必要とされる。

航空機に搭載されているリモートセンサーには、表1に示したように、20cm程度の空間解像度を有するマルチバンドセンサーや2mの空間解像度で、可視から近赤外(0.43~1.0 μm)を512バンドで計測できるハイパースペクトルセンサーなどがある。

図2は、航空機搭載の高空間分解能マルチバンドセンサー(ADS40, LH Systems)により得られたスペクトル画像から算出されたNDVI(=(NIR-R)/(NIR+R), Normalized Differential Vegetation Index)によるコムギの生育診断の例である。このコムギ畑は、窒素肥料の施肥量の違いにより3つの区に分かれている。NDVI値が大きいほど栄養生長がよいことを示すが、左側の区のコムギは、生長が早いのが風に弱く、突風ですぐ倒れる傾向があった。生殖生長も含めた総合的な生育では中央の区が最適で、右側の区では肥料不足によって生育が悪かった。この結果は、生育管理のためには、各々の生育ステージでの観測が必要であることを示唆している。NDVI値を用いた生育診断は、色々な問題を指摘されな

表 1 広域リモートセンシングの代表的なセンサー（プラットフォーム）と取得可能な情報

代表的なセンサー（プラットフォーム）	取得可能な情報
<p>広域リモートセンシング</p> <p>（人工衛星）</p> <p>解像度：250m 以上</p> <p>AVHRR (TIROS-T, NOAA) 0.58~12.5μm (5 バンド)</p> <p>MODIS (EOS AM-1, PM-1) 0.4~14.5μm (36 バンド)</p> <p>解像度：10~120m</p> <p>MSS, TM, ETM+ (Landsat) 0.45~12.5μm (7 バンド)</p> <p>HRV, HRVIR (SPOT) 0.5~1.75μm (4 バンド+PAN)</p> <p>Hyperion (EO-1) 0.4~2.5μm (220 バンド)</p> <p>ASTER (EOS AM-1) 0.52~11.65μm (14 バンド)</p> <p>SAR (JERS-1, ERS-1/2, RADASAT) X, C, L (3 バンド)</p> <p>解像度：0.6~3.3m</p> <p>IKONOS 0.45~0.90μm (4 バンド+PAN)</p> <p>QuickBird 0.45~0.90μm (4 バンド+PAN)</p> <p>（航空機）</p> <p>AVRIS (JPL) 0.4~2.5μm (224 バンド) 解像度：20m</p> <p>CASI (ITRES Research) 0.4~1.0μm (288 バンド) 0.5~10m</p> <p>AISA (Spectral Imaging) 0.43~1.0μm (512 バンド) 2m</p> <p>ADS40 (LH Systems) 0.43~0.885μm (4 バンド) 0.2m</p> <p>ALTM (Optech) 距離計測(Lidar) 精度：0.15m 解像度 0.2m</p>	<p>（陸域）</p> <p>景観、地形、水資源、土地被覆、土地利用、生態系機能、被害、収量、種構成、生物季節、群落構造、バイオマス、水・物質循環、土壌種、水分状態、土壌成分、地温、水・エネルギー交換、積雪等</p> <p>（水域）</p> <p>浅海底地形、水質汚濁、プランクトン、水温等</p> <p>（気象・大気）</p> <p>気温、放射、降雨、降雪、大気成分等</p>

がらも、土壌などの背景に対する、クロロフィルの吸収帯(R)で反射が小さく、近赤外域(NIR)で反射が大きいという植物葉の特徴を生かした方法として広く利用されており、純一次生産力や葉面積指数などの推定にも用いられている。

図3は、航空機搭載のハイパースペクトルセンサー(AISA, Spectral Imaging)で得られたスペクトル画像から得られた農地の分光スペクトル特性の例である。農地にはスイカやトウモロコシ、タロイモなどが栽培されている。スペクトル画像から、農地の区画が容易に区分でき、また、栽培種によってそのスペクトル特性が異なっていることがわかる。このことから、土壌や植物といった簡単な土地被覆状態の分類だけでなく、栽培種の分類やその生育状態の診断への利用が可能であることがわかる。このように、ハイパースペクトルリモートセンシングは、農地における土地被覆状態や栽培種の解析に有効である。さらに、無線ヘリコプターやバルーン、農作業車からの近接リモートセンシングを加えた階層的な



図 1 QuickBird のパナクロ画像 (0.45~0.90 μ m)。空間解像度は0.61 m で、道路を走行している自動車も識別できる。上方に河川、下方に農地や住宅がみえる

リモートセンシングにより、より多くの、より有用な情報を得ることができよう(図4)。

3. 近接リモートセンシング

近接リモートセンシングは、葉のレベルから植物個体、あるいは小さなスケールの個体群や土壌などを対象としたリモートセンシングまで多種多様であり、生体画像計測を含んでいる。通常のカラーカメラのレベルか

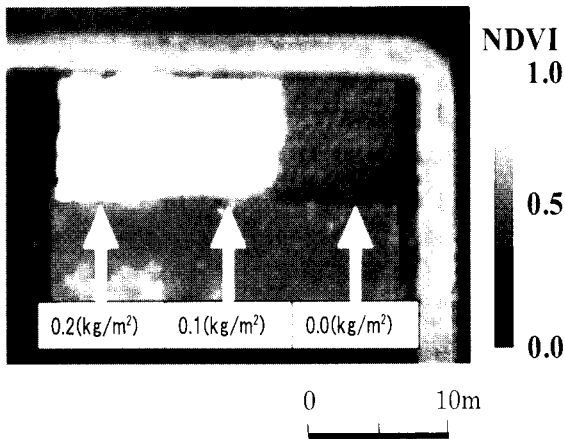


図2 航空機搭載の高空間分解能マルチバンドセンサー(LH Systems ADS40)により得られたスペクトル画像から推定されたNDVIによるコムギの生育診断(5)。このマルチバンドセンサーは1つのバンド(B: 0.43~0.49 μ m, G: 0.535~0.585 μ m, R: 0.61~0.66 μ m, NIR: 0.835~0.885 μ m)を有している。

ら、可視から近赤外域を対象としたマルチバンドカメラやハイハースペクトルカメラ、また、赤外分光画像計測用のカメラ(サーマルカメラを含む)、LIF(laser induced fluorescence)イメージングなどの蛍光計測システム、3次元計測のためのイメージングレンジファインダー(ライダー)など、様々なものが市販あるいは研究用に開発されている(表2)。そして、階層的リモートセンシングでの利用だけでなく、単独使用で、農作業用ロボットや種苗生産、栽培管理の自動化などの農業分野での様々な利用研究の試みがなされている。また、計測装置の低廉化やコンパクト化に加えて、携帯端末やインターネットなどの情報通信技術(IT)と組み合わせたユビキタスネットワークシステムの開発に多大な期待がある。さらに、リモートセンシングということではないが、バイオテクノロジーとそれに関連する基礎生物学の分野で、遺伝子のスクリーニングや遺伝子情報を含む生体機能の解明と診断への生体画像情報の利用が急速に拡大している。

可視から近赤外域の分光画像は、土壌と植物を分離し、また、植物や土壌の状態を診断するためによく用いられる。最近、分光ミラー、フィルターを内蔵したマルチスペクトルカメラが開発され、フィルター交換などの煩わしさがなくなった。また、ハイハースペクトルカメラは、連続スペクトル画像を得ることができ、分光成分分析に用いるケモメトリックスの解析手法により、より多くの情報を得ることが期待されている。

フレジジョン・ファーミングにおいては、計測された

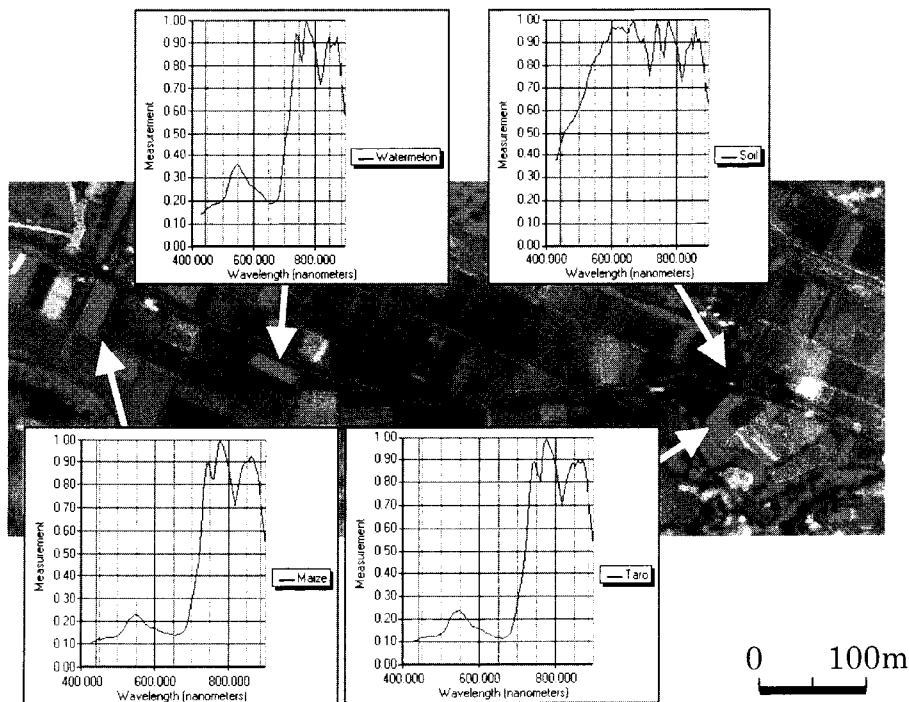


図3 航空機搭載のハイハースペクトルセンサー(Spectral Imaging, AISA)で得られたスペクトル画像から解析された農地の分光スペクトル特性(5)

分光画像から、植物や土壌の成分を分析することが期待されているが、実際に微量成分の量などを計測するには限界があることにも注意を要する。例えば、生葉での計測では、生体内の状態や反応によって他の波長を用いた方が有用な場合がある。光合成に関するクロロフィル a の濃度を推定する場合、吸収帯である青や赤の波長を用いるよりは、緑と近赤外の比 (0.55 μ m/0.90 μ m) を用いた方が、相関が高く、推定誤差が小さい。この傾向は、クロロフィル a の濃度が大きい程顕著である。また、水ストレスの影響や窒素施肥効果をみる場合にもこのことがいえる。葉が枯れるような乾燥状態では、診断に水の吸収帯を利用するのが有用であるが、通常の生育状態における萎れ程度の水ストレス (-1.0MPa 以上) では、葉からの反射スペクトルのバンド比でみると余り差がみられない。それゆえ、水ストレスの診断には、形状変化の計測の方が有効である。窒素施肥の場合、生体内の窒素

含有量の増加とともに、クロロフィルの含有量も変化する。このため、施肥効果をみるには、窒素の吸収帯よりも、550 nm と近赤外域の比や 700 nm 付近の吸収エッジの変化 (シフト) など、クロロフィル含有量と関係する波長の画像を解析した方が有効である。なお、含有色素や微量成分の量を推定する場合、画像濃度との関係を相関解析により求める方法をよく用いるが、相関係数が 0.9 以上であっても、実際には上下限值に数倍の差が生じるので、定量的な成分分析に利用するときには、注意を要する。また、土壌の成分の量を推定する場合には、水ストレスの場合と同様、検量線の範囲が適切かどうかの確認と上記の誤差を考慮した解析が必要である。これらの点に注意すれば、スペクトル画像の解析は、得られる情報が多く、安価で、かつ、コンパクト、高速処理が可能な装置開発が可能なることから、農業分野での実用的な利用が期待される。

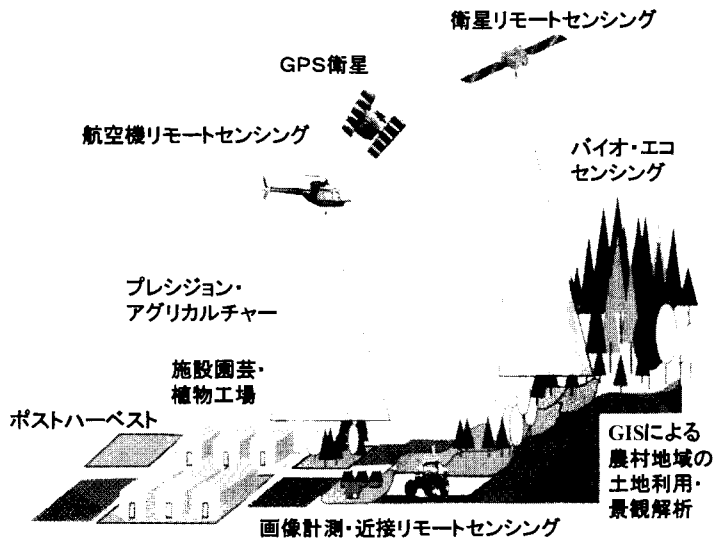


図 4 環境保全型 IT 農業における階層的リモートセンシングの概念

表 2 近接リモートセンシング (含画像計測) の代表的なセンサー (プラットフォーム) と取得可能な情報

代表的なセンサー (プラットフォーム)	取得可能な情報
近接リモートセンシング (含生体画像計測)	(植物)
(無人ヘリ, バルーン, 移動計測車, 農作業ロボット, 栽培施設)	位置, 形状, 構造, 器官生長, バイオマス, 色調, 含有色素, 気孔反応, 蒸散, 光合成, ガス交換, 生体内成分・機能等
デジタルカメラ (可視~近赤外線, カラー)	
スペクトル画像計測システム (紫外~近赤外線)	(土壌)
ハイパースペクトル画像計測システム (同上)	土壌種, 土壌水分, 土壌成分, 地温, 水・エネルギー交換等
赤外画像分光計測システム (含サーマルカメラ)	
テラヘルツ電磁画像計測システム	(水質)
蛍光画像計測システム (LIF, Chl 蛍光等)	水質汚濁, プランクトン, 水温等
3次元形状計測システム (ステレオ, ライダー等)	

4. おわりに

ここでは、航空機や人工衛星からの広域リモートセンシングと画像計測と呼ばれるような近接リモートセンシングの技術的トレンドと農業分野における利用について簡単に紹介した。リモートセンシングの利用は多様であり、広域、近接を問わず、その技術的トレンドは、高空間解像度化、ハイパースペクトル化、3次元画像化やレーザーなどの能動的センサーの利用などである。また、GPSやGISとの併用利用や広域から近接までの階層的リモートセンシングシステムの構築が重要である。近接リモートセンシングの分野では、計測装置の低廉化やコンパクト化、利便化、また、携帯端末などを利用したユビキタスネットワーク化なども、技術開発の重要な要素となる。

参 考 文 献

- 1) 大政謙次：フレジジョン・アクリカルチャーのための画像センシング。農業情報研究 11：213-230, 2002
- 2) 農林水産技術情報協会：リモートセンシング研究の現状と将来—農林水産技術への活用に向けて— 2003
- 3) 動け！日本タスクフォース編：動け！日本—イノベーションで変わる生活・産業・地域。日経BP社, p232, 2003
- 4) Omasa, K.: Precision agriculture. Image sensing and phytobiological IT. In CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. 6. (A. Munack et al., eds.) ASAE. (in press)
- 5) Omasa, K., K. Oki and T. Suhamu : Precision agriculture. Remote sensing from satellite and aircraft. In CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. 6. (A. Munack et al., eds.) ASAE. (in press)