

1983～2000年で地表面沈下は93 cmに達している。また泥炭消失変化の中で、開発地区は5～6年間隔で泥炭の急激な沈下がみられる。これは、乾季に発生する野火の泥炭消失による沈下である。この結果から推察できるが、泥炭土壌地域を開発した場合、開発地域は炭素の大きな発生源となる可能性を示している。

[長野敏英]

## ■文 献

- 1) 堤 利夫：森林の物質循環，東京大学出版会，1987.

## 2.5 リモートセンシングによる観測

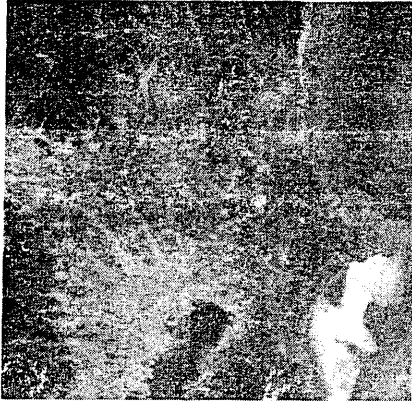
リモートセンシングは、人工衛星や航空機などのプラットフォームに搭載されたセンサにより、地表面や大気から反射、散乱、あるいは放射された電磁波を観測し、対象に関する情報を得る技術である。電磁波の代わりに重力や音波などを観測する場合もある。陸域や水域、気象・大気などに関する様々な情報が得られ、土地利用分類や、植生分類、収量予測、森林の活力度調査、水域汚染調査などに利用される。また、環境保全型の農林業の管理情報として、さらに、地球温暖化問題に関連した生態系の炭素蓄積量の推定や、自然保護・生物多様性保全などのための情報として積極的な利用が試みられている。

たとえば、地球観測衛星としての実績があるランドサット (Landsat) は、米国航空宇宙局 (NASA) により1972年の1号から現在の7号まで打ち上げられ、継続的な地球観測に利用されている。センサは、1号のMSSでは4バンド

表 2.6 ランドサット (Landsat) TM と ETM<sup>+</sup> の基本性能

波 長 帯* (μm)	備 考
バンド 1: 0.45～0.52	分解能: バンド 1～5, 7 30 m : バンド 6 120 m (TM), 60 m (ETM <sup>+</sup> ) : バンド 8 15 m (ETM <sup>+</sup> のみ) 観測幅: 185 km
2: 0.53～0.61	
3: 0.63～0.69	
4: 0.78～0.90	
5: 1.55～1.75	
6: 10.4～12.5	
7: 2.09～2.35	
8: 0.52～0.90	

\* ETM<sup>+</sup> の波長帯, TM と ETM<sup>+</sup> の波長帯で最高 0.02 μm の誤差がある。



(a) バンド1



(d) バンド4



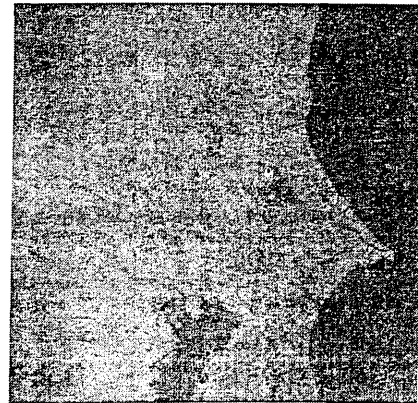
(b) バンド2



(e) バンド5



(c) バンド3



(f) バンド6

図 2.7 ランドサット TM により撮影された関東地方のバンド1~6の画像

( $0.5\sim 0.6\ \mu\text{m}$ ,  $0.6\sim 0.7\ \mu\text{m}$ ,  $0.7\sim 0.8\ \mu\text{m}$ ,  $0.9\sim 1.1\ \mu\text{m}$ , 空間分解能は  $80\ \text{m}$ ) であったが, 4, 5号の TM では7バンドに増え, 7号の ETM<sup>+</sup> ではさらに  $15\ \text{m}$  のバンド8 ( $0.50\sim 0.90\ \mu\text{m}$ ) が追加されるとともに, バンド6の空間解像度が  $60\ \text{m}$  に向上した (表 2.6).

TM や ETM<sup>+</sup> の各バンドは, 植物や土壌, 水域, 雪などの地表面被覆の違いや雲の状態の違いなどを識別しやすい帯域が選ばれている. 図 2.7 は, 関東地方の TM により観測されたバンド1~6の画像の例である. バンド1は, 青から緑色の帯域であるが, エアロゾルや薄雲などによる大気散乱の影響を受けやすいため, 大気情報を提供する波長として重要である. また, 海や湖の浅い水底の情報を得ることもできるが, 水が濁っている場合には浮遊物や懸濁物の状態を反映する. バンド2は緑色の帯域であるが, バンド1と同じように大気散乱や水の濁りの影響を受けるが, その程度はバンド1に比べて小さい. バンド3は, 主要な植物色素であるクロロフィルの吸収が大きい赤色の帯域であるので (図 2.8), 植物とその他の陸域が明瞭に区別される. バンド4は, 植物からの反射の大きい近赤外の帯域で (図 2.8), バンド1~3の場合とは逆に植物域で反射が大きく, 都市域での反射が小さくなる. また, 水域からの反射が小さく, 濁りの影響がない. バンド5は, 水の吸収の影響を受ける近赤外帯域であるので, 植物や土壌の含水量を推定するのに利用できる. 水陸の境界や小水路がはっきり識別でき, また, バンド4の画像と比べて, 雲の反射が大きく, 雪からの反射が小さいので (図 2.8), 雲と雪の区別も可能である. バンド6は, 熱赤外の帯域で, 植物, 地

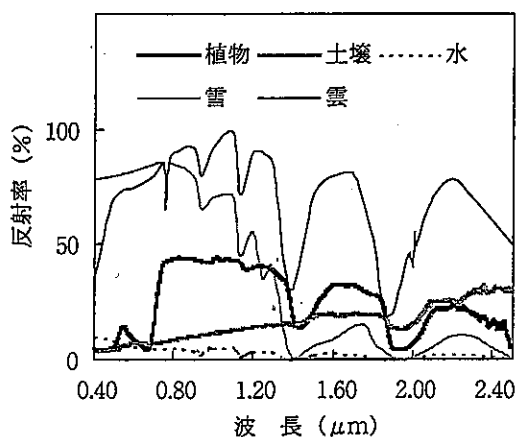


図 2.8 植物, 土壌, 水, 雪, 雲の分光反射率

表面、水面の温度分布を知るのに適している。図 2.7 の写真では、白い部分の温度が高く、黒い部分が低い。なお、熱水質地域の識別を目的としたバンド 7 の写真はここでは省略した。

リモートセンシングにより植生調査、収量予測、活力度調査などを行う場合、その前提として、土地被覆分類を行う必要がある。図 2.9 に、マルチバンド画像を用いて土地被覆分類を行う場合の概念を示す。図のようにカテゴリーが少なく、各カテゴリーの濃度レベルが明確に分かれる場合には、ヒストグラムによる分類が可能である。しかし、通常このような例はまれであるので、結果に客観性をもたせるため統計的分類法が用いられる。前もって分類に必要なカテゴリーのトレーニングデータを入手できる場合には、最尤法などの教師つき分類法が用いられる。トレーニングデータが入手できない場合には、ISODATA 法などの教師なし分類法により得られたクラス画像を土地被覆のカテゴリーに対応させる。

図 2.10 は、ランドサット画像による釧路湿原の水域の減少とハンノキ林の分布拡大の解析例である。釧路湿原は希少生物の生息地として、また、その景観的価値から保護が必要とされる。図は、1979 年と 1996 年のランドサットに搭載された MSS と TM の画像を ISODATA 法により、水域とハンノキ林、その他に分類したものである。1979 年に比べて、1996 年の結果では水域が減少し、ハンノキ林の分布が拡大していることがわかる。

米国海洋大気庁 (NOAA) によって運用されている気象衛星 NOAA は、定常的な業務は雲の状態や温度分布などの気象観測であるが、一つの衛星で 1 日に同一地点を 2 回以上観測できる利点を生かし、植生の季節変化などの観測にも利用

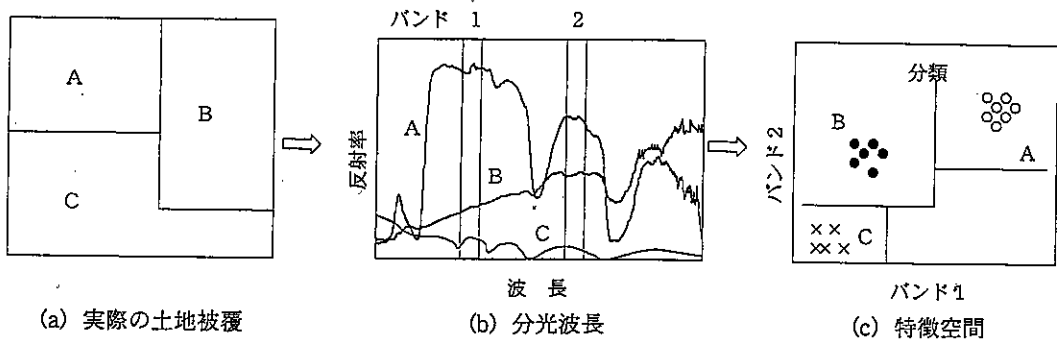


図 2.9 マルチバンド画像による土地被覆分類の概念

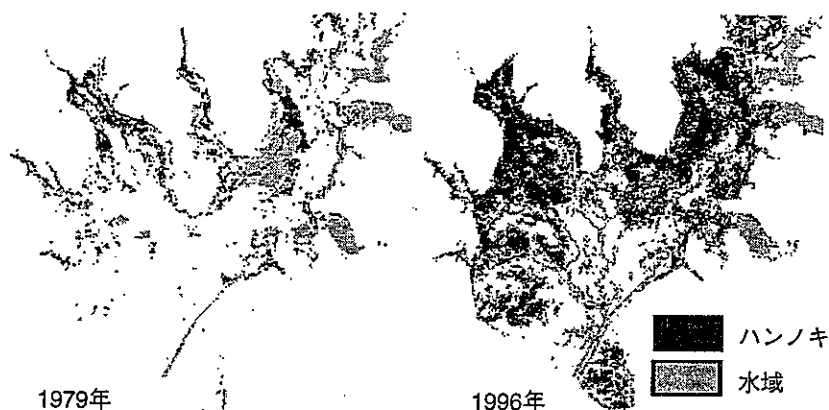


図 2.10 ランドサット画像による釧路湿原の水域の減少とハンノキ林の分布拡大の解析例 (Oki *et al.*, in press)

されている。この衛星のセンサ (AVHRR) は空間解像度が約 1.1 km であることから、広域の植生状態の変化を把握するのに適している。正規化植生指標 (NDVI =  $(Ch\ 2 - Ch\ 1) / (Ch\ 2 + Ch\ 1)$ 。Ch 1 = 0.58 ~ 0.68  $\mu\text{m}$  (赤), Ch 2 = 0.725 ~ 1.10  $\mu\text{m}$  (近赤外)) は植生の状態を示す有効な指標であり、この指標を用いて、時間的に連続した複数の画像から雲を除去した世界植生図が作成されている。NDVI の計算に使用される Ch 1 と Ch 2 は、植物が特徴的な反射特性を示す帯域であり、Ch 1 が光合成色素であるクロロフィルの吸収が大きい帯域、Ch 2 が葉の反射が土壌などに比べて極端に大きくなる帯域である (図 2.8)。このため、NDVI が大きいほど植物が密に生育していることを意味し、熱帯雨林ではその値が年間を通じて一定に保たれる。また、植生が少ない砂漠では 0 に近くなる。NDVI の季節変化をみると、植生の生物季節や被覆状態の変化もわかる。

最近の航空機や人工衛星に搭載されるセンサの技術的なトレンドは、より多くの地表面情報を得るために、高空間解像度化、多チャンネル化、3次元画像化に加えて、レーザやマイクロ波などの能動的センサの利用などがあげられる。たとえば、2001年に打ち上げられたアメリカの商用衛星である QuickBird は、パンクロ画像 (0.45 ~ 0.90  $\mu\text{m}$ ) で 0.61 m、マルチスペクトル画像 (青 (B) : 0.45 ~ 0.52  $\mu\text{m}$ , 緑 (G) : 0.52 ~ 0.60  $\mu\text{m}$ , 赤 (R) : 0.63 ~ 0.69  $\mu\text{m}$ , 近赤外 (NIR) : 0.76 ~ 0.90  $\mu\text{m}$ ) でも 2.44 m 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、NASA により 2000年に打ち上げられた

EO-1 の Hyperion はランドサットと同じ 30 m の空間解像度で、可視～近赤外 (0.4～2.5  $\mu\text{m}$ ) 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、人工衛星からレーザ距離計によって、地形や森林の 3 次元計測を行う計画もある。最近、航空機搭載のレーザスキャン距離計 (scanning lidar) により、森林の樹冠高やバイオマスの推定への利用が盛んに行われている。マイクロ波を利用した合成開口レーダ (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ずに、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り 2 号に搭載されている高性能マイクロ波放射計は、受動的なセンサではあるが、地表面からのマイクロ波の放射画像を提供できる。

[大政謙次]

## ■文 献

- 1) 日本リモートセンシング研究会編 (2001) : 図解 リモートセンシング, 日本測量協会.
- 2) Oki, K. *et al.* : Environ. Monitoring and Assessment, in press.
- 3) 大政謙次ら監訳 (1993) : 生物圏機能のリモートセンシング (Hobbs, R. J. and H. A. Mooney 編), シュプリンガー・フェアラーク東京.
- 4) 大政謙次ら編著 (2003) : 地球温暖化. 遺伝, 別冊, No.17.
- 5) 大政謙次 (2004) : 新農業情報学 (農業情報学会編), pp. 66-78, 養賢堂.
- 6) Rencz, A. N. ed. (1999) : Remote Sensing for the Earth Sciences, John Wiley & Sons.

## 2.6 環境情報と生態系モデリング

### (1) 環境情報

地球環境問題や農林生態系に関わる環境情報は点データやメッシュデータとして、様々なものが利用可能である。点データで示される代表的なデータとして、気象台や測候所などの気象官署や、アメダス (AMeDAS, 地上気象観測システム) における地上気象観測のデータがある。気象官署では気温、降水量、日照時間、風向、風速、積雪・降雪深、気圧、相対湿度、日射量、視程 (大気の混濁度を示す尺度)、天気などを観測しており、アメダスでは気温、日照時間、降水量、風向・風速の自動観測を行っている。アメダスでの降水量の観測は全国の約 1300 カ所 (約 17 km 四方に 1 カ所) で行われており、このうち約 800 カ所では、気温、日照時間、風向・風速の観測も行われている。一方、メッシュデータ