

リモートセンシングによる地盤特性および土地利用形態の評価

鳥井原 誠 平間 邦興

Evaluation of Ground Properties and Land Use by Means of Remote Sensing

Makoto Toriihara Kunioki Hiramata

Abstract

Remote sensing is a technology for measuring electromagnetic waves reflected or radiated from objects by various sensors to investigate the properties of the objects without touching them. Platforms on which sensors are mounted are diverse, such as artificial satellites, aircrafts, and observation vehicles. This report goes over the present state of remote sensing, and summarizes two applicable examples about prevention of disasters and environmental problems.

① The investigation of the ground-surface moisture content ratio to evaluate the degree of danger of a slope (ground remote sensing); this method is available for a judgment about locations of welling water and weak strata using near infrared rays and heat infrared rays.

② The investigation of the mode of land use (artificial satellite remote sensing); the authors estimated the mode of land use and plant environment around a large-scale residential area development using LANDSAT-TM data of 1984 and 1992.

概 要

リモートセンシングとは物体から反射もしくは放射される電磁波を各種センサで計測し、その物体に直接手を触れることなく対象物の特性を調べる技術である。センサを搭載するプラットフォームは人工衛星、航空機から地上測定車まで多種多様である。本報告はこのようリモートセンシングの現状を整理するとともに、防災、環境問題に関連して実施した二つの適用事例についてまとめたものである。

① 斜面の危険度評価のための地表含水比分布調査(地上リモートセンシング)：近赤外と熱赤外のセンサを用いて切土斜面の地表含水比分布を調査した。この手法は斜面の湧水箇所や弱層の判定などに有効である。

② 土地利用形態評価(人工衛星リモートセンシング)：1984年と1992年のランドサット TM データを用いて大規模造成地周辺の土地利用形態と植生環境の変化に関する評価を行った。

1. はじめに

リモートセンシングとは「物体から反射もしくは放射される電磁波を各種センサで計測し、その物体に直接手を触れることなく対象物の特性を調べる技術である」と定義することができる。このように考えると、センサを搭載するもの(一般にプラットフォームと呼ぶ)を特に限定する必要はなく、人工衛星から地上測定まで多種多様なものが含まれる。一般にリモートセンシングといえ、人工衛星から地球を観測することのみを連想しがちであるが、実際にはそれ以外にさまざまな手法が可能なのである。

この報告では、まず最初にリモートセンシングの概要とその特徴、ならびに一般的な利用分野に関する現状を紹介し、その後建設分野への具体的な適用事例として二つの事例についてまとめている。ひとつはセンサを地上に設置したいわゆる地上リモートセンシングによる切土斜面の含水比調査であり、もうひとつは人工衛星データを用いた大規模造成地周辺の土地利用形態調査である。

2. リモートセンシングの概要

2.1 リモートセンシングの原理

地球上のすべての物質は図-1に示す各種の電磁波を反射もしくは放射している。しかも、その反射特性は物質固有のものである。我々が物を識別できるのも、それぞれの物質が放射している電磁波の特性を「目」というセンサで把握しているからである。しかしながら、目で識別できる電磁波は可視光領域という非常に限られた範囲でしかない。実際の物質はそれ以外に紫外線や赤外線といったさまざまな電磁波を放射している。これらの電磁波を各種のセンサで測定しその特性を調査すれば、それぞれの物質の種類を識別することができる。また、ある波長域の電磁波の反射もしくは放射強度の経時変化からその物質の環境条件の変化(たとえば温度条件など)を知ることができる。

2.2 センサとプラットフォーム

図-1に示すように、電磁波には波長のきわめて短いガンマ線から波長の長い VHF 電波まで非常に多くの種

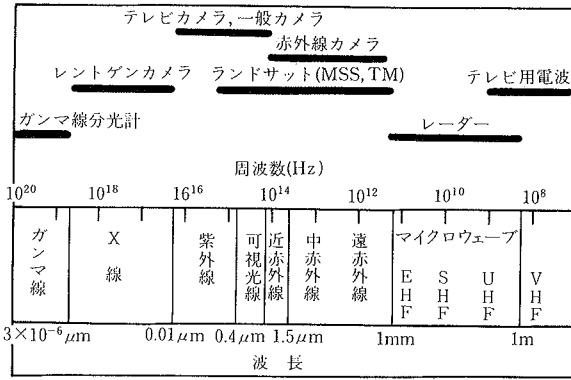


図-1 電磁波とセンサの関係

類があり、それに対応したセンサも波長領域ごとに多くの種類がある。これらの中でリモートセンシングでよく用いられるのは、人工衛星に搭載されているセンサ（代表的なものとしてランドサットに搭載されているMSS, TMと呼ばれるセンサがある）や、赤外線カメラなどである。

図-2はセンサを搭載するプラットフォームの代表例を高度別に示したものである。プラットフォームには人工衛星や航空機から地上測定車まで多くの種類があるが、高度の高い方から、衛星リモートセンシング、航空機リモートセンシング、超低空リモートセンシング、地上リモートセンシングと呼ばれている。

2.3 リモートセンシングの特徴

リモートセンシングの長所、短所を整理すると次のようになる²⁾。

長所：

- ① 広い範囲を一度に観測できる。
- ② 広範囲の観測であっても、同一のプラットフォームセンサを用いる限り精度は同じである。
- ③ 同時に広域を観測できるため、労力、経費、時間が少なくてすむ。
- ④ 人間が入り込めない森林や山岳地帯の調査に効果的である。
- ⑤ 人工衛星は一定の周期で地球を回っているため、反復観測が容易である。
- ⑥ 人工衛星によれば非常に短時間で全地球表面をカバーすることができる。

短所：

- ① 可視光や紫外線、赤外線（熱赤外を除く）を用いた衛星リモートセンシングでは、雨天や曇天、夜間時の観測が不可能である。
- ② 人工衛星の場合には、非常に広い範囲が観測できる代わりにセンサの地表分解能が小さくなる。

2.4 リモートセンシングの利用分野

リモートセンシングの利用分野は、表-1に示すように非常に幅広いが、特に最近では建設分野とも密接な関連がある防災、環境分野への利用が積極的に推進されてきている。

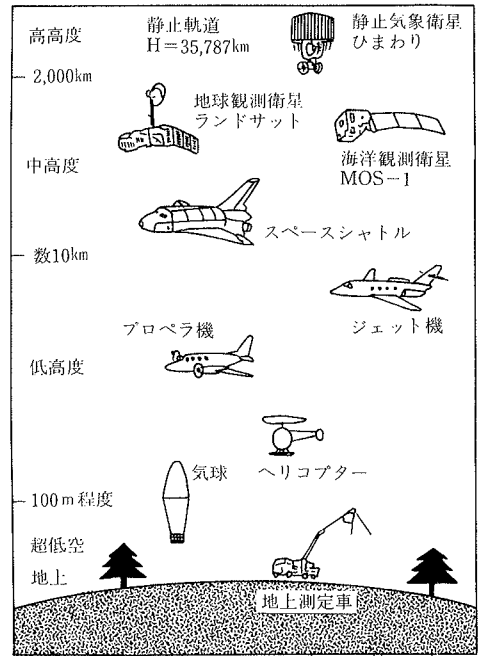


図-2 高度別のプラットフォーム代表例¹⁾

表-1 リモートセンシングの利用分野

分野	主な利用目的
気象	温度、雲の種類・分布、積雪、風向・風速
農業	農業分類、作付面積、生育状態、生産量予測
林業	造林状況、天然林生育状況、樹林密度、病虫害被害
水産業	水温・水色による漁海情報、塩分濃度
海洋	表面温度、表面塩分、海洋区分、波浪状況、海水分布、海洋汚染
防災	地すべり・崩壊、なだれ、洪水、津波、高潮、火山噴火、火災
土地利用	土地利用図、土地被害分布図、市街化状況、植生分布・活力度
環境	都市環境、植生環境、大気汚染、水汚染
地形・地質	地形・地質構造、地熱分布、鉱物、土壌

3. 適用事例1 (地上リモートセンシングによる切土斜面の含水比分布調査)

3.1 概要

地すべりや斜面崩壊といった災害は、通常、大雨をはじめとする「水」が引き金となって発生することが多い。従って、斜面内の含水比を何等かの方法で事前把握することができれば、斜面崩壊発生の有無や崩壊危険箇所予測に大いに役立つ。この際に斜面全域の面的情報を比較的容易に入手することができる手段のひとつとしてリモートセンシング手法を応用することが考えられる。そこで、今回、主として関東ローム層から構成される切土斜面を対象として、リモートセンシング手法による地表含水比分布調査を行った。用いたセンサは熱赤外ビデオと近赤外カメラの2種類である。

3.2 観測斜面および使用機材

観測斜面は千葉県佐倉市の造成地内の斜面であり、図-3に示すように、表土、褐色粘土質ローム層、下位の灰色粘土層など5層に大別される。観測時期は7月、主な使用機材は表-2に示すとおりである。

表-2 主な使用機材

熱赤外ビデオ装置	アゲマ社製サーモビジョン470 (測定範囲-20~+500℃)
近赤外フィルム	コダックHIE36
フィルター	コダックラッテン# 29, # 88A, # 89B
デジタル画像解析システム	DEC. μ -VAY3,500他

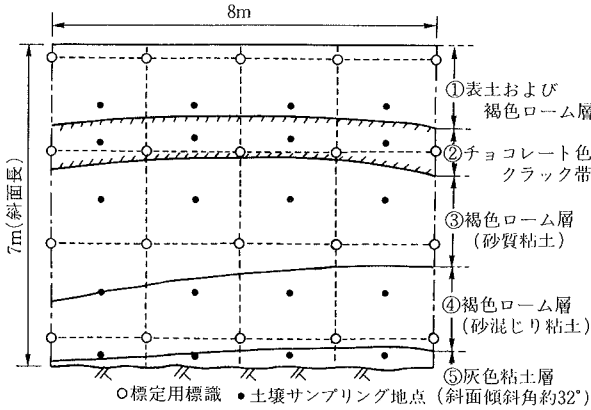


図-3 観測斜面正面図

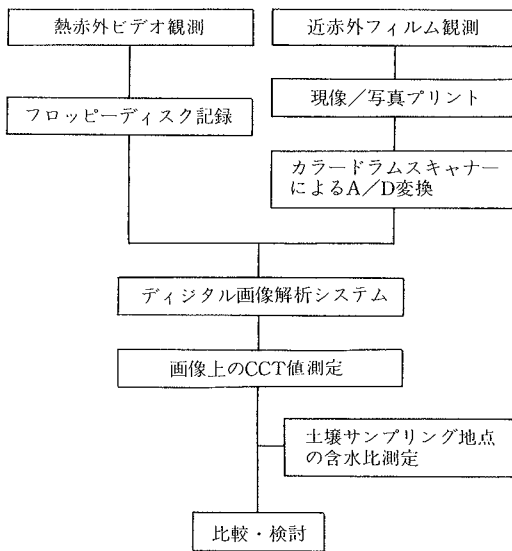


図-4 測定および解析手順

3.3 測定およびデータ解析

本研究で実施した一連の手順を図-4のフローチャートに沿って以下にその概要を示す。

① 対象斜面より15m離れた地点から熱赤外ビデオ測定と近赤外フィルム撮影を実施する。この時、熱赤外ビデオ測定は14:30, 18:00, 19:25の3回、近赤外フィルム撮影は14:55, 18:10の2回である。

② 熱赤外ビデオ測定では、測定時にその画像データを直接フロッピーディスクに記録し、その後デジタル画像解析システムを用いて画像上でのCCT値を求める。CCT値とは画像の明るさを0~255の256段階の数値として表わしたものである。

③ 近赤外フィルム撮影では、できあがった写真をカラードラムスキャナーによってA/D変換した後、上記解析システムを用いてCCT値を求める。

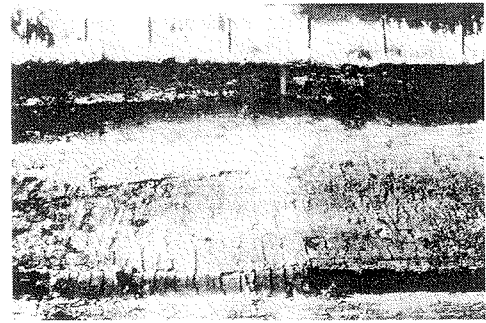
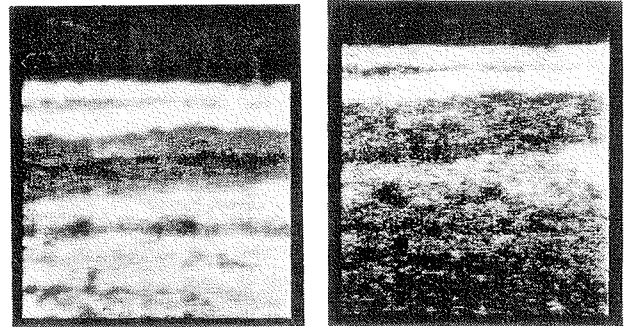


写真-1 近赤外線写真
(某宅地造成地切土斜面)



(14:30) (18:00)
写真-2 熱赤外ビデオ (同上切土斜面)

④ こうして得られたCCT値と現地でサンプリングした土試料の含水比との比較、検討を行う。

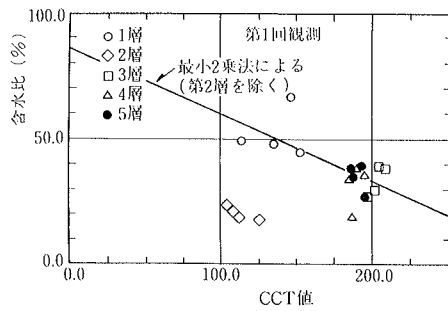
3.4 測定結果

3.4.1 近赤外データと含水比との関係 測定結果の一例を写真-1に示す。図-5(a), (b)はフィルター#88Aで観測した近赤外データと含水比との関係である。第1回観測では対象斜面中で特異な色調を呈する②層での測点を除くと、近赤外データのCCT値と含水比の相関は-0.67である。この場合、褐色ローム層と斜面下部の灰色粘土層での測定を含んであり、両層間の実際の色調差が著しいことを勘案すれば、必ずしも低い値ではない。第2回観測でのCCT値と含水比の相関は第1回観測に比べてやや低いが、これは観測時刻が夕刻であったため、光量不足など観測条件に左右された結果と考えられる。

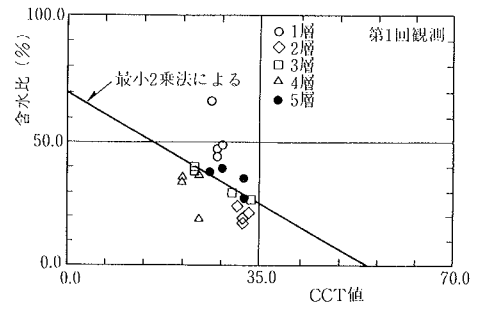
以上のことから、近赤外データは地層毎の色調査や観測時刻の影響をかなり受けるため、斜面全体というよりも層別の含水比調査に適しているものと考えられる。実際、同一の土試料で含水比を調整して測定した結果をみるとCCT値と含水比の間はかなり高い相関が得られている³⁾。

3.4.2 熱赤外データと含水比との関係 測定結果の一例を写真-2に示す。図-6(a), (b), (c)は熱赤外データと含水比との関係である。第1回観測では熱赤外データと含水比との間にそれほど強い相関は認められない。これは夏季の強い日射によって、含水比の違いによる微かな温度差が消されてしまったためと考えられる。

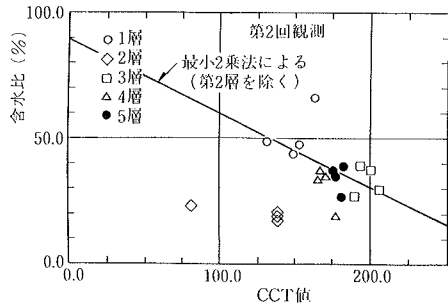
第2回観測では両者の相関は-0.78で、第1回観測に比べかなり高い傾向にある。これは観測時刻が夕刻で外



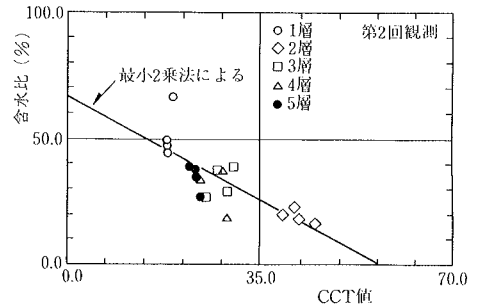
図一5(a) 近赤外データ～含水比



図一6(a) 熱赤外データ～含水比



図一5(b) 近赤外データ～含水比



図一6(b) 熱赤外データ～含水比

気温が多少とも低下し、地表面の含水比の違いによる温度差がとらえやすくなったためであろう。さらに、日没後の第3回観測では両者の相関は-0.73で、数値的には第2回観測とほぼ同様であり、両者間には層別の影響もなく斜面全層にわたり相関性が認められる。

以上のことから、夕方～日没後に熱赤外データの観測を行えば斜面全体の含水比分布を把握しやすくなるということが出来る。

4. 適用事例2 (衛星リモートセンシングによる大規模造成地周辺の土地利用形態調査)

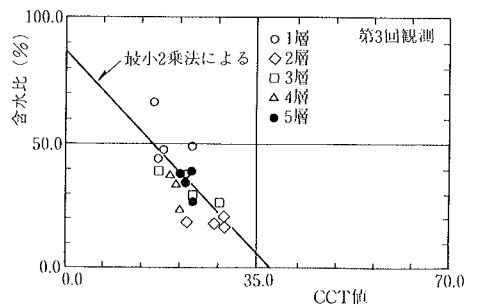
4.1 概要

神奈川県の大規模宅地造成地周辺を調査対象として、異なる2時期のランドサットTMデータを用いた土地利用分類図を作成し、特に植生環境の変化に注目した検討を行った。調査範囲は造成地を中心とした東西約15km、南北約12kmの範囲である。2時期のデータとしては1984年11月4日および1992年11月26日のものを採用した。今回の調査では季節によって樹木の繁茂状況に差がでることを考慮して、同じ月のデータを用いている。

4.2 解析方法

4.2.1 衛星データの前処理 衛星データは、人工衛星自体や飛行軌道の傾きなどによって、幾何学的に地形図と整合したデータになっていない。本調査では、2時期の衛星データによる土地利用形態の変化を把握するため、相互のデータが位置的に整合していなければならない。そこで、国土院発行の5万分の1の地形図を用いて、①地上基準点の選定と座標値の測定、②データの位置評定、③データの再配列の順で幾何補正を実施した。

4.2.2 フォールスカラー画像の作成 ランドサットTMデータは、図-7に示すように七つのバンドから構成されており、この内三つのバンドを抽出しそれぞれに



図一6(c) 熱赤外データ～含水比

赤、緑、青の色を与えて合成すると、各種の合成カラー画像が得られる。この内、近赤外のバンド4に赤、可視域のバンド3に緑、バンド2に青を割り当てた合成カラー画像をフォールスカラーと呼ぶ。これは、植物は赤色、緑地、空地は白色、住宅地は青色、市街地は紺色というように実際の色とは異なるが、それぞれの区別が容易になるため、土地利用分類図の作成には有効である。

4.2.3 土地利用分類図の作成 土地利用分類は、衛星データのスペクトル特性を利用して画像全体を統計的に分類するものであり、今回は、幾何補正済みのランドサットTMデータを用いて「教師無し分類」を実施した。教師無し分類とは、特徴の類似した画像データを機械的にグループ化し分類図を作成する手法であるが、衛星データの特性が似ていても対象物が異なることもあるので、実際には画像データだけでなく地形図など他の情報も加味して10項目(①森林、②大規模建物、③小規模建物、④造成地、⑤その他の用地、⑥ゴルフ場、⑦裸地、⑧河川、⑨海浜、⑩海)の土地利用分類図を作成した。

4.3 解析結果

本調査地域における2時期のフォールスカラー画像を写真-3(a), (b)に示す。森林などの植生が存在するところは、濃赤色～淡赤色を呈しておりフォールスカラー画

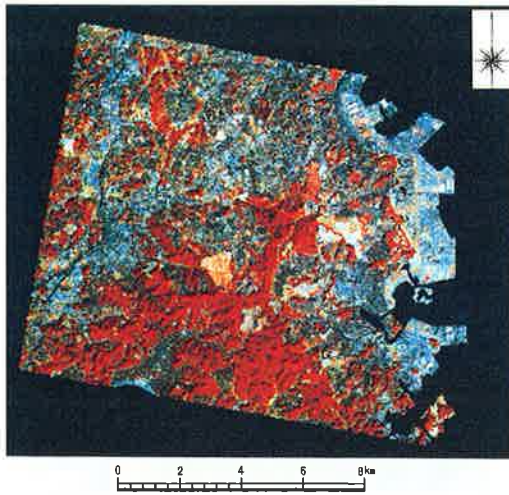


写真-3(a) フォールスカラー画像
(1984年11月4日)

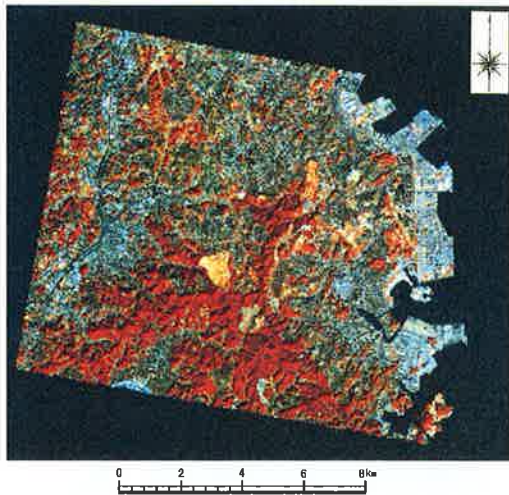


写真-3(b) フォールスカラー画像
(1992年11月26日)

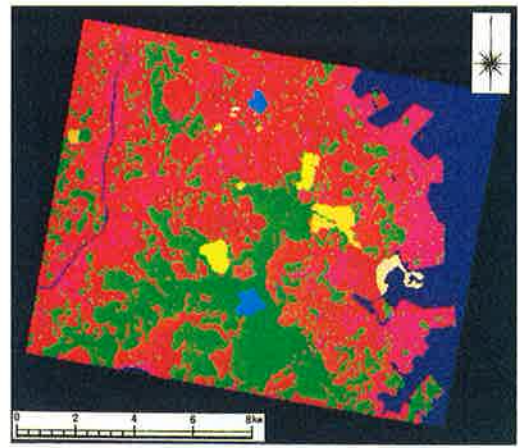


写真-4(a) 調査範囲全域の土地利用分類
(1984年11月4日)

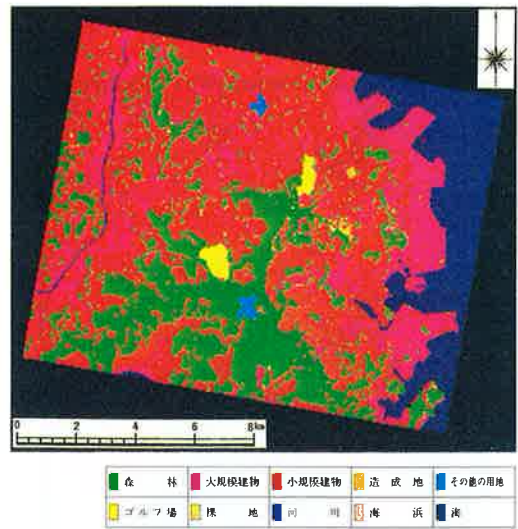


写真-4(b) 調査範囲全域の土地利用分類
(1992年11月26日)
(色分類は写真4～6すべて同じ)

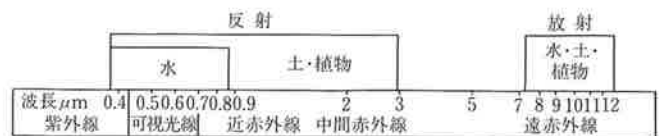
森林	大規模建物	小規模建物	造成地	その他の用地
ゴルフ場	裸地	河川	海浜	海

像が植生環境調査に有効であることがよくわかる。

これらの画像と地形図などの情報を加味して作成した土地利用分類図が写真-4, 5, 6である。写真-4は調査範囲全域、写真-5は造成地を中心とした10 km四方、写真-6は5 km四方の結果であり、それぞれ(a)が1984年11月4日、(b)が1992年11月26日である。

これらの結果から、それぞれの分類区域の面積を算出し全体に対する割合で示したのが図-8である。それぞれ代表的な分類区域が1984年から1992年までの8年間にどのように変化したのかも併せて示している。この中で森林区域に着目すると、全調査範囲、10 km, 5 km 四方いずれのケースでも8年間の間にその割合は若干減少しているが、全体に対する割合でみると住宅地近傍の5 km 四方では42.7～39.3%と比較的高い割合を保持していることがわかる。

また、写真-6(a), (b)で中央部の住宅区域と周辺の森林区域の境界線をみると、8年間でほとんど変化が生じていないこともわかる。大規模開発を行った場合、地域



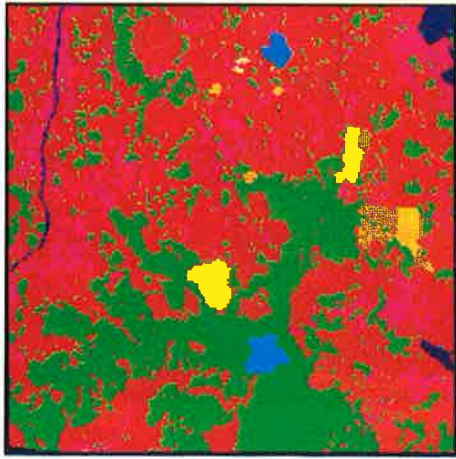
水	土・植物	水・土・植物
0.4	0.50.60.70.80.9	2 3 5 7 8 9 10 11 12
紫外線	可視光線 近赤外線 中間赤外線	遠赤外線
MSS BAND 4	MSS BAND 5 6 7	
TM BAND 1 2 3 4	TM BAND 5 7	TM BAND 6

図-7 ランドサットデータのバンド

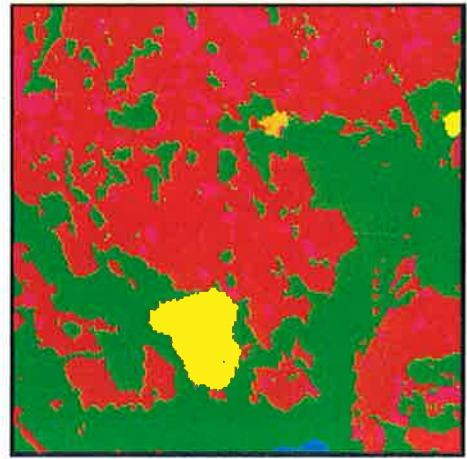
全体の水系を変化させるため。周辺の植生に悪影響を与えることもあるとよくいわれるが、今回の例ではそういった影響はなかったようである。

5. おわりに

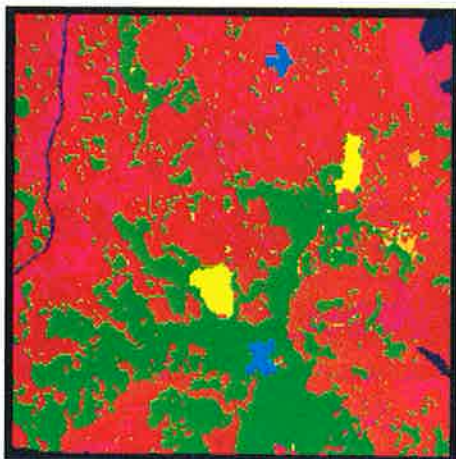
この報告では、建設分野と非常にかかわりの深い防災、環境問題に関連した二つの適用事例を示したが、近年このような問題に対するリモートセンシングの有効性が関係各方面で強く呼ばれるようになってきている。たとえば、科学技術庁関連のリモートセンシング推進会議では



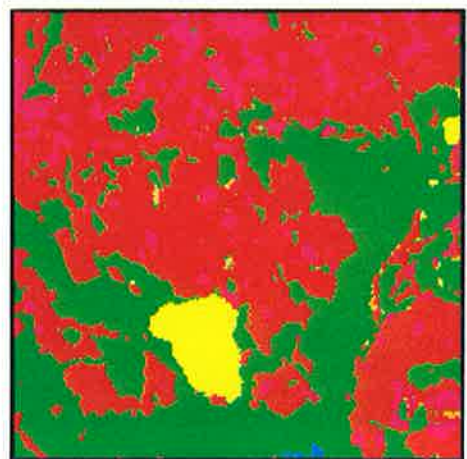
写真一5(a) 10 km 四方の土地利用分類
(1984年11月4日)



写真一6(a) 5 km 四方の土地利用分類
(1984年11月4日)



写真一5(b) 10 km 四方の土地利用分類
(1992年11月26日)



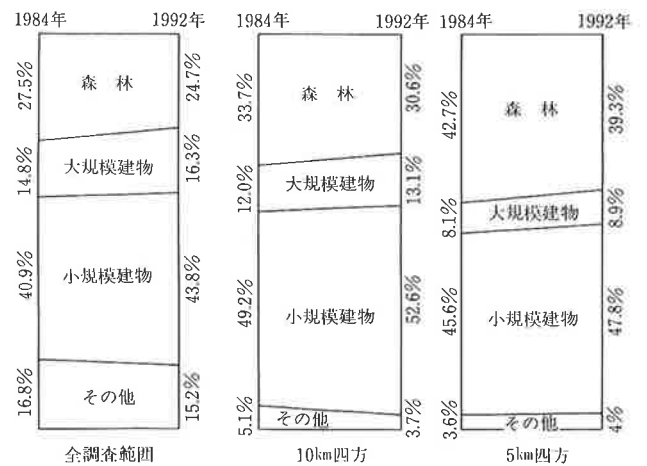
写真一6(b) 5 km 四方の土地利用分類
(1992年11月26日)

「広い分野の利用に対応した宇宙からの地球観測長期シナリオについて」、通商産業省関連の(社)日本航空宇宙工業会では「衛星利用による国際地球環境・災害監視システムの調査報告書」と題する報告書をまとめ、21世紀を目指したさまざまな提言を行ってきている。これらの提言は宇宙の国際的平和利用といった面からも、将来何等かの形で具体化されていく可能性が高く、その際には建設分野を含むあらゆる分野に有用な情報を与えてくれるようになるであろう。

最後に、今回の研究ではデータ処理に関して(株)国際航業の協力を得たことを付記し謝意を表したい。

参考文献

- 1) 坂田：地球を観測する，日本放送出版協会，p. 36，(1988)
- 2) 後藤：リモートセンシングによる調査・計測技術の21世紀へ向けての将来展望，第34回土質工学シンポジウム，p. 309～316，(1989)



図一8 2 時期における土地利用形態の変化

- 3) 鳥井原，平間，瀬戸島，森：リモートセンシング手法による土の含水比測定実験，第26回土質工学研究発表会，p. 31～32，(1991)