展望・解説

建設分野における環境情報の可視化*

——人工衛星リモートセンシングデータの適用——

笠 博義**, 黒台昌弘**, 石川博久**

Visualization of Enviromental Information on Construction

——Application of Satellite Remote Sensing Data——

Hiroyoshi KASA, Masahiro KURODAI and Hirohisa ISHIKAWA

1. はじめに

1.1 リモートセンシングの概要

リモートセンシングとは、一般に人工衛星などに搭載されたセンサを用いて、地球上から反射または放射される電磁波データを取得し、これをコンピュータによって処理・解析し、地表面や海面のさまざまな情報を得る技術の総称である¹⁾とされている。こうした情報は人工衛星の他にも航空機や気球などを用いても取得できるが、ここではその対象をもっとも広く利用されている人工衛星に限定するものとし、以後人工衛星リモートセンシングデータを衛星データと呼ぶこととする。

衛星データを用いた本格的な地球観測は、アメリカの人工衛星ランドサット1号が打ち上げられた1972年から始まったものと考えられる。それ以降、今日までの間にアメリカ、フランス、日本などを中心に地球観測用の人工衛星が順次打ち上げられてきた。この間に各人工衛星に搭載されたセンサの分解能も徐々に向上し、最近ではバンクロマチックデータながらロシアの衛星データは公称2mの地上分解能にまで達している。こうした分解能の向上以外の面でも、観測波長帯の増加、合成開口レーダーの搭載、立体視可能なデータの取

得など、それぞれの人工衛星ごとに特長ある機能を有するに至っている。

衛星データは従来の航空機に比較して、極めて高空を周期的に飛翔し、取得されるデータがデジタルデータであることから、以下に示すような特長を有する。

- ①広い範囲を同時に観測できることから、同一精度の広域データである。
- ②周期的に同一地点に人工衛星が周回してくるの
で、凡地球規模で時系列的なデータの蓄積が図れる（ただし静止衛星は同一地点を常時観測しているため、気象衛星などは複数の人工衛星で地球上の主要な地域をカバーしている）。
- ③デジタルデータであるため、コンピュータによる処理・解析が可能で、数値化された地理情報との併用などが容易である。

1.2 建設分野での衛星データの利用動向

建設分野での衛星データの利用動向については（社）日本リモートセンシング学会土木リモートセンシング研究会の報告²⁾や（社）土質工学会リモートセンシングの土質工学への利用に関する研究委員会の報告³⁾などがなされている。それらの報告書によれば衛星データは、地質、土質、地下水等の調査、土地利用、植生などの地表面の情報の調査、地すべり、洪水、火山などの防災に関連した調査・予測などに広く適用されている。このよう

*原稿受付 1994年10月31日

**ハザマ技術研究所

図1 建設分野における環境関連文献数の推移²⁾
(リモートセンシングに関したもの)

な中でも、図1に示すように近年、衛星データを用いた環境情報の取得を目的とした研究が増加している²⁾。

こうした背景には最近の全地球的な環境に対する関心の高まりがあるものと思われるが、それ以外に次のようなことが大きく影響しているものと考えられる。

- ①上記したような社会の要請に対して、衛星データが効果的に適用できることが、多くの事例から明らかになってきた。
- ②地上分解能の向上に伴って、建設工事が対象とするような比較的狭い範囲においても衛星データが有効に適用できるようになった。
- ③衛星データ処理がパソコンレベルでも十分に可能となり、以前に比較して極めて容易に衛星データを取り扱うことが可能となった。

以上、衛星データの特長や建設分野での利用動向について、その概要を簡単に述べてきたように、衛星データはそれ自体が有するいくつかの利点に加えて、最近の社会ニーズに適合する形で広く利用されつつある。本研究では、こうした状況における衛星データ利用の現状について、植生、水環境に対する適用例を通じて具体的に紹介すると同時に、今後のこのデータの有効利用方策について若干の考察を加えるものとする。

2. 植生情報の可視化と評価

植物は図2に示すように可視領域よりも近赤外領域において極めて強い反射特性を有し、しかも対象となる植物の種類や活性状況に応じて、その強度は変化する。これは植物中に含まれるクロロ

図2 植物の電磁波反射特性⁴⁾

図3 ランドサットデータの観測波長帯

フィルaおよびbの可視～近赤外領域域での反射・吸収特性に依存するもので、この領域の反射強度から間接的に植物の状態を知ることができる。

一方、多くの人工衛星に搭載されたセンサは、図3に示したランドサットデータに代表されるように、可視～近赤外領域に主要な観測波長帯域を有しているため、植物に関する環境情報を可視化することが可能である。実際、植生情報を得る目的での衛星データの研究・実利用は広く行われている。

植生情報を対象とした衛星データの利用目的は植生分類、植物活性の評価、緑地の抽出や緑被率の算定などが上げられる。以下に各利用目的ごとにその概要および適用事例を示す。

2.1 植生分類への応用

植生分類調査では、図4に示したような可視領域と近赤外領域の衛星データを合成した画像（フォールスカラー画像）をベースに行われることが

図4 フォールスカラー画像

多い。具体的な分類方法としては目視判読および統計手法による自動分類が提案されている。このうち自動分類では、影域等の影響による誤判別の問題が指摘されているが、一般に針葉樹と広葉樹の区別等の概略的な判別は可能である。

2.2 植物活性の評価——植生指標の算出——

植生指標⁹⁾とは図2に示した植物の反射特性に注目し、可視領域の反射強度と近赤外領域のそれとの比や差およびそれらの組み合わせによって無次元化された数値である(表1)。この指標を用いることによって、大気の影響(パスラジアンズ)や日向と日陰の差の低減が期待できる。

こうして得られた植生指標は、植物の活性状況が高い場合に大きく、枯れかかっている状態のように活性が低い場合は小さくなることから、この指標によって植物の活性状況を把握することができる。なお、現時点ではこの植生指標と他の物理量(例えば葉緑素の総量、葉の重量など)との明確な関連性は明らかではないが、相対的に植物の活性状況を示す指標として利用されている。

また、図5に示すように、一般に植物の活性状況が高い地点では地下水の供給が豊富であることや、逆に地中の変動に伴って植物の根がせん断されたりした場合はこの活性が低下することから、

この指標によって斜面の安定性(不安定性)を評価する方法も提案されている⁹⁾。

このように衛星データは人間の目では把握できない波長帯に含まれる情報を有効に利用することによって、まったく新しい情報を提供することが可能である。植物活性を植生指標をランク分けすることで評価した事例を図6に示した。

2.3 緑地分布の把握

緑地の分布状況の調査への衛星データの適用は、地球全体を対象とした事例から、ある建設工事周辺を対象としたものまで広く行われている。最も単純な緑地の抽出方法は近赤外領域のデータの反射強度による分類であるが、先に述べた植生指標に基づいた分類やクラスター分析手法による分類方法に関する研究や報告も数多い。

図7は高知市を対象に、植生指標によって緑地を抽出し、背景となるトゥルーカラー画像と重ね合わせて表示したものである。なお、市街地の形状はデジタイザを用いて入力したものである。

このように、他の数値情報との併用など、色々な画像表現を容易に実現できることも衛星データ

図5 植物活性と電磁波反射特性

植生指標を14段階にクラス分けして表示

図6 植生指標による分類画像

表1 主な植生指標

$NVI = (B7 - B5) / (B7 + B5)$
$RVI = B4 / B3$
$DVI = B4 - B3$
$TVI = (NVI + 0.5) / 2$

B: ランドサットTMのバンド

高知市内の緑地のみを抽出
図7 緑地域の抽出

を用いることの大きな効果の一つである。

3. 水域情報の可視化と評価

海洋のように面的な広がりを持ち、影の影響の恐れがない領域の情報として衛星データは非常に有効に適用できる。これは、前述したように、衛星データが一瞬にして広域の情報を取得できる広域同時性を有しているためである。さらにランドサットTMのバンド6のように、熱赤外領域のデータを用いることによって、人間の目では読み取れない温度情報を容易に画像化して入手することが可能である。こうした情報は、海洋変動の解明や漁業情報としての利用価値が極めて高い。

なお、上述したような平面的な情報を原位置観測によって得ようとした場合、莫大な数の測定データが必要となり、経済性の面からもほとんど実施不可能である。

以下、水域の情報取得の例として、潮流および河川水の拡散への適用と潮沼の汚染状況の可視化への適用事例とその概要を示す。

3.1 潮流パターンの可視化⁷⁾

海洋に構築される構造物には、1994年秋に開港した関西国際空港のような沖合人工島や、海岸付近の埋立て地などがある。こうした構造物の規模が大きくなるにしたがって、周辺に与える影響も増大することから、大規模プロジェクトほど現状の正確な環境モニタリングおよび将来の変動予測が重要になってくる。

このようなことから、大規模海洋構造物の建設においては、その計画・調査段階から施工中についても周辺領域の海流、潮流などの海象現象を把握する必要があり、衛星データの有効利用の可能

図8 潮流パターンの可視化

性が高い。

図8は瀬戸内海と太平洋との水位差によって、非常に速度の大きな海水の流れが生じる紀淡海峡の潮流パターンを、ランドサットTMデータを用いて可視化・強調したものである。なお、この画像処理にはバンド3とバンド6の比演算処理を用いている。

この画像における各色調の有する物理的な意味はシートゥルース（現地調査）などによって確認する必要があるが、少なくとも対象領域内のある時点（データ取得時点：衛星飛来時間）の海面の流れのパターンを直感的に把握することが可能である。現状ではデータ取得頻度が十分でない面もあるが、衛星数の増加や特定箇所の集中観測が可能となれば、定常的な海洋情報のモニタリング手法として、衛星データ利用の効果は一気に増大するものと思われる。

3.2 河川水拡散状況の可視化

河川から海洋に流入する水は潮流や沿岸流に影響されながら、徐々に拡散していく。これまで、豪雨後などの土砂による濁水が河口から拡散していく状況は航空写真などでも観測されてきたが、衛星データを用いることによって、より広範囲に及ぶ拡散状況を把握することが可能である。また、河川からの流入水以外でも、各種プラントから放出される温排水のモニタリングにも衛星データを適用することができる。

図9はある地域の海岸部のフォールスカラー画像であるが、この画像から沿岸部での潮流、河川水の拡散状況および伏流水の海洋への流入状況などが確認できる。すなわち、この部分を拡大し、海域の情報を強調した画像（図10）中のB、E地

図9 河川水の拡散状況

図10 海域情報の強調

点は河川からの流入水の拡散状況を示しているが、それ以外のA, C, D, F地点では流入する河川がないにも関わらず、河川水の流入と同様のパターンが観察され、伏流水の存在が推測される。なお、画像中に矢印で示したのは、河川が海洋に流入している地点である。

こうした情報は港湾工事の基礎情報として活用される以外にも、最近注目されている砂浜の保全、回復などの計画に対しても有効な情報を提供するものと考えられる。

3.3 水質調査への応用

建設工事に伴う周辺環境の変化のみならず、より広い領域を対象とした地域環境の改善も建設分野の大きな課題である。最近では湖沼や沿岸域の水質改善の要求が高まり、より身近な自然環境としての水辺が見直されている。

こうした湖沼などの水質調査への衛星データの適用は、リモートセンシングの登場と同時に研究開発が進められた分野の一つであり、これまでも琵琶湖などを対象とした多くの研究⁸⁾が行われてきている。こうした研究では水温、SS、アオコ、pHなどのさまざまな項目との反射分光特性

の関係が詳細に検討されている。

本研究では、こうした中で、近年特に湖沼の汚染形態の一つとして問題となっているアオコを対象にして、ある湖における浄化対策の効果の把握を試みた例について紹介する。

図11は人工衛星もも1号(MOS-1)に搭載されたMESSRのデータを用いて、浄化対策実施前と実施中の衛星データを比較したものである。この例ではアオコが植物プランクトンであることに着目して、植生指標を用いてその分布状況を比較している。この図から、浄化後の画像では湖の中央付近で植物活性が低下しており、アオコの分布密度が低下していることや、いずれの画像でも植物活性が高くアオコが密に分布している領域は、湖の幅が狭く袋状になっている部分であることなど重要な情報を読み取ることができる。

4. まとめと今後の展望

本研究では、建設分野における衛星データの利用例を通じて、環境情報の可視化について、植生と水域環境を対象に検討してきた。その結果、可視～赤外領域を中心とした電磁波反射強度を表わす衛星データから、これらの対象に関するさまざまな有益な情報が得られることが示された。

ここで、具体的に衛星データの活用方法には表2に示した二つの種類があるものと考えられる。このうち、第1の活用方法は、緑地分布調査のように、基本的に人間の目でも判読できる情報が対象であり、航空写真などを用いて作成することが可能なものである。しかし、従来のこうした情報の作成過程では、アナログデータである写真情報等を人間が一度判読し、図面等に記入するという

浄化前
アオコ分布状況 密：濃→疎：淡
浄化中
図11 水質浄化効果の評価

表2 環境情報の可視化における衛星データの活用方法のまとめ

	活用方法 1	活用方法 2
概 要	肉眼でも判読できる事象をより容易に判読（認識）できる形態に加工（画像処理・解析）する方法	肉眼では判別不可能な事象を画像（可視）化する方法
特 長	①広範囲の面的情報の同一精度での評価が容易 ②判読・画像化作業の自動化、省力化可能 ③解析担当者の個人差が生じにくい	①温度、赤外領域などの可視化可能 ②温度情報ではある程度定量的な評価可能 ③可視域の情報と組み合わせ、幅広い情報の取得・抽出が可能
適 用 例	緑地分布調査、アオコ分布調査、土地利用調査など	植物活性調査、植生分類調査、水温分布調査、地質調査、都市熱環境調査など

ステップを踏んでいた。このため、全般的に正確できめ細かな情報を得ることが可能である反面、対象が広域に及ぶ場合などは多大な労力を必要とし、判読者の経験が大きく成果に影響を及ぼすなどの問題点があった。

これに対して、ここでいう第1の活用方法では、衛星データの利用により、広範囲の情報取得はもちろん、大幅な作業の自動化が可能となり、解析担当者による個人差も生じにくくなる。

第2の活用方法は、人間の目では見ることができない赤外線領域などの情報を用いる方法であり、温度情報や植物活性の可視化などが含まれる。こうした情報はこれまで、主に点的な直接計測（温度計による測定など）によって得られていたものであり、平面的な分布を知る方法はリモートセンシングにはほぼ限定されるものと思われる。

対象を地表面や海面の温度に限定した場合は、適切な補正によって、ある程度定量的な評価が可能となり、火山などの観測にも利用されている。

さらに、赤外領域の情報と可視領域の情報を合成することによって、おのおのを単独で用いるより多くの情報を抽出することが可能である。

以上のように衛星データの利用による環境情報の可視化には大きな効果が期待できるが、反面、衛星データには地上分解能に限界があること、大気や影の影響をそのまま受けること、統計手法による分類ではある程度の誤分類は避けられないことなどの問題点が残っているのも事実である。

こうしたことから、衛星データの利用においてはその特長と限界を十分把握した上で、目的や状

況に応じて、現地調査・計測等の手法と有効に組み合わせることが必要である。

5. おわりに

以上、本研究では植生と水域を対象とした環境情報の可視化について検討を行ってきたが、リモートセンシングは大気環境や土地利用状況の把握などにも広く活用されている。また、適用分野についても、気象、地質、地下資源探査、農業、防災などの分野において、ここで述べた建設分野以上に積極的な衛星データの利用が進められている。

このような広範囲での衛星データを利用した可視化技術は、今後、センサの地上分解能の向上、レーダー画像の普及等に伴って、さらに広がるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 日本リモートセンシング研究会編：リモートセンシングノート，技報堂出版，p. 2 (1975)
- 2) 土木分野におけるリモートセンシングの活用，日本リモートセンシング学会土木リモートセンシング研究会（1992）
- 3) 財土質工学会：地盤工学でのリモートセンシングの活用シンポジウム発表論文集（1993）
- 4) 石井：リモートセンシング読本，オーム社，pp. 24～29，（1981）
- 5) 日本リモートセンシング研究会：リモートセンシング用語辞典，共立出版，p. 107（1989）
- 6) 後藤，小野，鬼堂：人工衛星マルチテンポラルデータによる地附山地すべりの調査，土木学会第41回年次学術講演概要集Ⅲ，pp. 617～618（1985）
- 7) 笠：宇宙からの情報を活用する—リモートセンシング—，測量，Vol. 40，No. 11，pp. 55～62（1990）
- 8) 丸安，大林，高橋：新しい眼でみる琵琶湖，技報堂出版（1988）