解 説

特集：森林水文学における

リモートセンシングの利用可能性をさぐる *

流域状況把握のためのリモートセンシングデータの解析事例 **

本 多 潔 ***

I. はじめに

筆者はここ数年、リモートセンシングを地すべりや砂防の分野へ適用しようといろいろな解析を行なってきた。代表的なリモートセンシングデータとしてはランドサット衛星によるものがある。筆者が解析に用いたデータは衛星のものとは限らないが、本稿では衛星リモートセンシングデータを使った解析事例を列举し、その特長を活かした適用の方法と有効性を示したい。

II. 衛星リモートセンシングの特長

衛星リモートセンシングデータは様々な特長を持っている。ランドサット衛星での例を示すと表-1のようになる。

表-1 衛星リモートセンシングデータの特長

特 長	ランドサット衛星の場合の具体例
広 域 性	全地球を幅185kmで観測している。
同 時 性	1 シーン (185km×170km)の範囲を約25秒で観測
反 復 観 測	16日周期で観測(4, 5号)
時 系 列 性	1972年より現在まで約30年間の時系列データの蓄積
マルチスペクトル	可視光から赤外線まで7バンドの観測(4, 5号)

このなかで特に強調したいのは広域性と時系列性である。非常に広い範囲の情報が時系列データとして取得されており、広域の環境変化を時系列的に解析したりモニタリングするといった場面で非常に有効である。

分解能の向上はめざましく、現在、ランドサット衛星ではTMで30m、スポット衛星ではパンクロで10mを達成している。このため、比較的小さな事象を取り扱うことも可能になってきているが、広域性よりも分解能が重要となる場合には依然空中写真の方が使いやすく、調査対象の空間スケールに応じたデータの選択が必要になる。しかし逆に、最終目的とする結果の空間スケ-

* Availability of remote sensing in forest hydrology

1991年4月1日 森林水文ワークショップシンポジウム Symposium of the forest hydrology workshop, Nagoya, 1991

** Kiyoshi HONDA: Remote sensing data analysis for grasping of watershed conditions

*** 三重大学生物資源学部 Fac. of Bioresources, Mie Univ., Tsu 514

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

ルが衛星リモートセンシングデータと合致すれば、なにも高分解能の空中写真から作業を始める必要は無いともいえる。

日本の山間部においては既存の空中写真はモノクロでしかも撮影間隔がかなり長くなっていることが多いこと、また、海外では空中写真そのものが存在しない場合も多いことを考えれば、短周期でマルチスペクトルな情報が時系列的に蓄積されている衛星データの利用価値は大きいといえる。

III. 足尾荒廃地での解析事例

1. 山岳地特有の問題

一般に砂防で取り扱う地域は起伏の大きい山岳地であることが多く、斜面の向きによって観測データ、すなわち太陽光の反射強度は大きくばらつく。そこで解析に際しては斜面の方向や斜度によるデータのバラつきを補正する必要がある。

補正の方法には数値地形図から斜面の方向と斜度を求め地表の反射モデルを使って補正する方法と、バンド間の比演算による方法がある。筆者はその簡便性から比演算による補正¹⁾を行っている。比演算を行なう際には画像の2次元ヒストグラムを計測して2つのバンドの関係を把握し、それぞれのバンドの最小値に近い値をデータから減算し²⁾、大気の影響をなるべく受けないような方法をとっている。

しかし、ランドサット衛星の場合、常に午前10時頃の観測となるため、太陽高度の低い季節では補正を行なったとしても北斜面の精度は十分とは言えない。

2. 崩壊地の把握

砂防の分野ではまず崩壊地など裸地の分布を把握し流域の荒廃の状況を把握することが重要であり、流域からの土砂の生産量を予測し適正な対策工計画を樹立するうえで是非とも行なっておかなければならない作業である。

裸地は通常、付近の森林と反射特性が大きく異なるので規模の大きなものについてはその判別は容易である。判別にはマルチレベルスライスや最尤法という手法を用いる(図-1)。ランドサットTMの場合、条件によってはその分解能以下の10m程度のものまで把握可能である場合もある。

3. 崩壊面積率の把握

しかし、分解能以下の崩壊地がガリー状に多く発生しているような場合には1画素ごとに崩壊地かどうかを判断するのは必ずしも得策ではない。マルチレベルスライスでは閾値の設定が困難となるし、最尤法分類では森林と分類されてしまう可能性も高い。そこで1画素ごとに崩壊地かどうかの二値的な判別をするのではなく、画素をいくつかまとめた一定の範囲についてそのなかの崩壊面積率を直接推定する方法を考えた¹⁾(図-2, 3)。

このような方法をとれば、衛星の分解能と把握可能な崩壊地の最小幅とが直接的には対応し

図-2 崩壊面積率の推定模式図

とあそこにある」という情報からはじめるのではなく、「このあたりで崩壊地が多くなった」という情報をリアルタイムで収集し、「この流域で生産土砂量が増えそうだ」、「この流域で詳細な調査を行なおう」という分析結果を得ることを意味する。

今までは、検証を行なうときの地上データとの重ね合わせの精度を確保する意味もあって面積率の推定を10,000m²単位で行なってきたが、現在、画素単位で面積率を推定してから集計する方法を試行中である。

表-2 ランドサットデータから求めた水文指標

森林状況	面積比 (%)	修正面積比 (%)	指標			水文指標 W.T.I
			地質	森林	合計	
針葉樹	6.230	6.362	7	2	9	0.57
広葉樹	64.928	66.300	7	2	9	5.97
粗悪林地	20.700	21.137	7	4	11	2.33
崩壊地	3.015	3.079	9	9	18	0.55
露岩	2.148	2.193	9	9	18	0.39
市街地	0.512	0.523	0	20	20	0.10
水域	0.398	0.406	0	20	20	0.08
未分類	2.069					
計	100.000	100.000				10.00

4. 流出量の予測

衛星リモートセンシングデータに最尤法を適用し土地被覆分類を行なうことができる(図-1)。その結果はただちに集計が可能であり、土地被覆と流出とを関連づけた流出モデルへ分類結果を持ち込むことで流出量の予測が行なえる³⁾(表-2, 図-4)。このようにランドサットデータを用いることにより、流域の土地被覆状況のモニタリングが可能となり、土地利用変化の流出に与える影響のリアルタイムなシミュレーションが可能になる。

流出モデルとしてはランドサットデータから把握可能な土地被覆データで計算が可能であることが必須条件となり、ここではA.D.T.モデル⁴⁾を使用した。今後、

リモートセンシングでは樹種や林分構造の判別など、より詳細な土地被覆分類が可能になると考えられ、森林水文においてもこういったデータが利用可能で土地被覆条件の変化を評価できるようなモデルの構築が求められている。

5. 治山工施工後のモニタリング

足尾の荒廃地では古くから継続的に治山工事が行なわれてきた。治山工(緑化工)施工後の植生回復状況をランドサットデータを用いて把握した。ランドサットTMデータに各施工年ごとの施工範囲のデータを重ね合わせ、施工後の経過年数ごとに植生指標(B4/B3)の平均値を計測した(図-5)。計測結果を見ると、施工後確実に植生が回復してきていることがわかる。

この測定は1時期の衛星リモートセンシングデータであっても、地上の

図-4 ランドサットデータとA.D.T.モデルによる流出量計算結果

図-5 緑化工施工後の経過年数と植生指標

情報とオーバーラップさせることにより時系列的な変化を疑似的に抽出できることを示している。また、ランドサットデータを有効に使うためには地上データの整備が重要であり、そのためには、このようなデータの整備に威力を発揮するGISとの連携が重要であることを示唆している。もちろん、複数時期のランドサットデータを使用すればより確実に植生回復のプロセスをモニタリングすることができる。

6. 3次元CGによる解析結果の把握と景観のシミュレーション

衛星リモートセンシングデータを解析した結果は通常平面図で示される。解析結果を地形と関連付けながら把握する必要がある場合には、平面図に等高線を一緒に表示することになる。しかし、この場合、等高線を意識的に読まないで地形は把握できないので、地形の具体的なイメージを思い浮かべることは専門家でないといふとむずかしい。そこで国土数値情報と組み合わせて3次元CG（コンピュータグラフィックス）画像を作成した⁵⁾（図-6）。ランドサットデータの解析結果はもとよりコンピュータ内にあり、このような処理に工程的な無理はない。CG画像とすることによりその流域のどのあたりがどのような状態にあるのか、地形と関連付けながら容易に把握できるようになるし、崩壊等の地形と密接な関係を持つ事象では、地形的に矛盾の無い解析結果が得られているかどうかの判定もできるようになる。また、住民への説明資料にも有効に応用できる。

衛星リモートセンシングデータは景観のシミュレーションへも応用可能である。ランドサットデータの可視光のデータと国土数値情報により任意の角度からの景観画像を作成できる（図-7）。この処理ではCG画像は三角形ポリゴンを用いたサーフェスモデルを使用しているので構造物の入れ込みも容易であり、人工構造物の景観へ与える影響の評価にも使用できる。

IV. 植生煙害調査での解析事例

1. 調査の概要

ブラジルのサンパウロの南方で、1970年代初頭よりコンビナートから排出される亜硫酸ガスなどによって植生が枯損する被害が発生した。その後1984年に大気汚染防止対策がとられ現在被害は鎮静化している。

この地域で煙害発生空間的、時系列的把握を行ない、大気汚染物質と煙害との関連を指摘した。これによって大気汚染防止対策の有効性を示し、対策を継続するための有力な資料とすることができた²⁾。

2. 煙害の面的時系列的把握

1973年、1981年、1986年の3時期のランドサットMSSデータを用い、植生に対する煙害の発生状況を面的、時系列的に把握した。植生の評価には近赤外と赤のバンドで定義される植生指標を用いている。

各時期の画像をアフィン変換で空間的に重ね合わせた後、季節的な変動や土地利用の経年変

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

化を補正するため、一定範囲内でデータの分布が一致するようヒストグラム変換をおこなった。各時期の画像を比較し、また、画像間の減算を行ない植生変化の様子を抽出した。その結果次のように煙害発生状況を推察した。

すなわち、煙害発生範囲はコンビナートから北東に向かう谷で顕著で、この地域の風向を反映している。時系列的な煙害の推移としては、当初考えられていたよりも早い1973年、すでに高木層に著しい被害が発生していた。その後1981年には高木層は灌木などの低木層へ遷移したが、この時点でも植生活性度は広い範囲で落ち込んだままであった。1986年には1984年の大気汚染防止対策の効果があがり、植生活性度は一部工場群の直近を除きかなり回復を見せるに至った。

3. 亜硫酸ガス濃度と煙害との関係

現地では大気汚染物質の定点観測が行なわれており、そのデータから大気汚染レベルの区分平面図ができあがっていた。この平面図とランドサットデータから求めた植生指標の分布とを重ね合わせ、各汚染レベルごとの植生指標の平均値を計測した（図-8）。

図を見ると植生活性度と亜硫酸ガス濃度との間に高い相関

図-8 亜硫酸ガス汚染レベル毎の植生指標の経年変化

があることがわかる。汚染が軽度の地域（Slightly Polluted と Moderately Polluted）では植生の活性度があまり変化していないのに対して、汚染が深刻な地域（Polluted と Highly Polluted）では1973年の時点ですでに植生活性度が低下し、1981年に最悪となる。大気汚染防止対策がとられた後の1986年には植生指標はかなり向上を見せており、このような動きは現地で観測される大気汚染物質の濃度の経年変化とも良く符合していた。

V. 赤土砂問題への適用の提案

1. 赤土砂流出について

現在沖縄県では赤土砂の海洋への流出が大きな問題となっている。沖縄本島中北部には国頭（くにがみ）マージとよばれる赤土が分布しており、裸地化した部分から赤土砂が河川、そして海洋へと流出し、珊瑚や漁業、観光産業に影響を与えている。赤土の流出源となるのは農地、開発行為の土工現場、米軍の演習場などであるが、このなかでもいずれも農地であるパイナッ

プル畑と土地改良事業地がかなりの割合を占めるようである。

対策としては沈砂池の設置が一般的で、その他、濾過やリーフ外への河川水の誘導なども提案されている。しかし、管理上の問題や、赤土砂は細粒分が多いため沈降しにくくまた、濾過フィルターを目詰まりさせやすいことなどからなかなか効果を上げにくい。農地を被覆するマルチングや、農地の勾配を緩傾斜とすることなど、地表を雨水の侵食から保護しその場から赤土砂を流出させないことが最善の対策である。

沖縄では農業者と漁業者が同じ地域コミュニティに属することが多く同一者であることも少なくないので、流出の原因者と被害者の線引がむずかしく、したがって、問題が顕在化しにくく対策もとりにくい。しかも原因者に対策費を負担できるだけの経済的な余裕がなく、また、原因者が明確であるため対策を公共事業の流れにのせにくいという問題もある。

さらに土砂の流出に関してはこれを法的に取り締まるための根拠も希薄であるのが実情である。県内の地方自治体では赤土の流出を防止するための条例を策定しているところもあるが、その実効的な運用は今までにのべたような事情もからみ困難を伴う。

しかし、近年、モズクの養殖に著しい金銭的な被害が発生したり、観光立県をめざす機運も高まっていることから、赤土砂問題への積極的な取り組みがはじまろうとしている。

2. GISとリモートセンシングによる赤土砂総合監視管理システム

赤土砂問題でリモートセンシングがどのような役割を担うことができるのか、現在提案中のシステム（図－9）について説明したい。

図－9 赤土砂流出総合監視管理システムの構成

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

システムは3つの柱で構成されている。中心となるのは各種の自然条件、社会条件のデータを蓄積整理するGIS系であり、それに、システムの言わば触覚である衛星リモートセンシングと定点観測ポストによる二つのモニタリング系を組み合わせる。

衛星リモートセンシングはその空間的・時間的な分解能を考えると数10分単位で変化する河川の赤土砂流出の変動を把握することはむずかしい。先にのべたような特性を考えると沖縄本島全体を対象とし、裸地化箇所の抽出に用いることが適当と考えられる。目標とする観測スケールは空間で1000m²、時間で1カ月程度を考えている。

一方10分単位で変化するような赤土砂流出の実態把握においては定点観測ポストを設け、キメ細かい観測が必要となる。

これら3つの柱ををうまく組み合わせることによって赤土砂流出の監視と管理を行なっていくとするものである。

VI. おわりに

これまであげたような事例を通じ、リモートセンシングをいろいろなことに有効に利用できることを示した。衛星リモートセンシングは対象地が広範な場合や、時系列的な解析が必要な場合において非常に有効である。また、リアルタイムのモニタリングが可能であり、現在関心のたかまっている環境問題への適用性も十分である。今後は衛星リモートセンシングを組み込んだ国土保全・監視のシステムの構築なども考えられる。

リモートセンシングデータの地すべり・砂防分野での利用に関するこのような研究は関係諸機関のご協力により初めて可能になったものである。建設省、林野庁、国際協力事業団、日本工営(株)、(財)林業土木コンサルタンツ、中日本航空(株)、(財)水利科学研究所、砂防学会ワークショップの関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 本多潔・馬淵泰・山田長生：ランドサットTMデータを用いた崩壊発生状況の把握. 砂防学会研究発表会概要集 346~349, 1990
- 2) 本多潔・富田ゆきし：ランドサットデータによる植生被害調査. 日本写真測量学会年次学術講演会発表論文集 131~134, 1991
- 3) 本多潔：ランドサットデータによる流域状況の把握と流域水文指標の推定. 森林整備のダムに与える影響度調査報告書. 33~67, 林野庁, 1989
- 4) 山口伊佐夫：流域水文条件の把握と解析. 森林整備のダムに与える影響度調査報告書. 6~32, 林野庁, 1989
- 5) 本多潔・野田実：リモートセンシングと3次元コンピュータグラフィックスによる流域状況の把握. 砂防学会研究発表会概要集 288~289, 1991

濃 緑：針葉樹
 緑：広葉樹
 淡 緑：粗悪林
 赤・橙：裸 地
 青：水 域
 白：未分類

図-1 草木ダム流域の最尤法分類結果 (30km×30km)

青：1-10%
 水：11-20%
 緑：21-30%
 黄緑：31-40%
 黄：41-50%
 橙：51-75%
 赤：75-100%

図-3 崩壊面積率推定図

Jpn. J. For. Plann. 17 '91

図-6 土地被覆分類結果（図-1）の松木沢の3次元CG画像

図-7 三川合流地点上空から中禅寺湖、男体山を望むCG景観画像