

環 境 の 衛 星 計 測

Remote Sensing of Environment

沢 本 正 樹

Masaki SAWAMOTO

1. はじめに

1957年にソ連のスプートニクが打ち上げられて以来、いままでに約4200の人工衛星が打ち上げられた。そのうち75%が軍事目的である。現在は約380が飛んでいるが民間目的が75%であり、衛星の平和利用が進んだというか一般化が進んだということができる。衛星から地球を観測することは、1961年人類初めての有人飛行の際のガガーリンの「地球は青かった」がさがけであろうが、民間用に広く認識されるようになったのは1972年の地球資源科学衛星ERTS(後のLANDSAT)に始まる。

水工学や環境工学における衛星データの利用は、当初、いわゆるリモセン屋さんから、「こんな画像も手に入ります、こんなものもあります。さあ、使ってください。」というような形で始まったようである。その後、徐々に利用者・研究成果も増え、第22回のこの研修会ではRESTECの田中総太郎氏(1986)により当時の現状が紹介されている。

今回、再び同様のテーマで話をするのは、単にここ7年間の研究成果のレビューを追加することを目的としているわけではない。私個人としては、衛星計測あるいはその利用の状況がかなり変化してきており、新たな段階に進みつつあるという感想を強く持っている。そのため将来に向けて、もう一度水工学や環境面といった我々が関連する分野での衛星計測について考え直して見ようと思い立ったわけである。振り返って見ると、数年前まで、衛星計測というのは、LANDSAT、NOAA衛星、GMS(ひまわり)が継続的にデータを供給し、それを解析装置のある機関の研究者が、従来の水工学研究の視点をやや広げて使うものであったと言っても過言ではないだろう。ところが1990年代に入り、地球規模の環境問題が単なる社会的な警告ではなく我々の研究レベルで具体的に推進すべきものとなってきている。そのため、従来の水工学の研究の枠組みから、さらに広域環境システム、グローバル・バランスまでの議論を、水工学の立場からも始めなければならない段階になっている。また、2000年にかけて、地球観測のための新たな衛星計画が目白押しでもあり、近い将来、洪水のようにデータが供給されるようになる。我々衛星データの利用者サイドも相当本腰で研究テーマを設定していかなければならないのである。一方、利用者の研究環境としてはパソコンの高速化やワーク・ステーションの一般化で、衛星データの解析も従来ほど装置による制約はなくなりつつある。ここでは、水工学の立場から新たに衛星リモートセンシングの研究を考える際の参考になるように、現在どのようなデータが使えるのか、これまでどのような研究が展開されてきたのか、将来どのような発展が見込まれているのかについて、私見を交えて紹介することとする。

2. どの衛星のどのようなデータが使えるのか

地上のある現象の観測に衛星を使えたら便利だろうと考えても、いつも都合よくデータが提供されるわけではない。現在我々がやっている研究の枠組みの中で衛星データをどのように利用する余地があるかを考えてみても、それが現在の衛星の運用システムとうまくかみ合うというのは極めて運がよい場合に限られる。むしろ、現在の衛星の運用システムで次々と蓄積されていくデータの山の特性をよく理解して、その利点を引出しうる研究テーマを新たに設定していくほうが発展性が期待できそうである。ここでは我々が比較的簡単に手に入れることのできるデータの特性を説明する。

研究計画を立てる際、データの特性として知っておかなければならないことは、次の項目である。

1. データの空間分解能と観測幅：これにより議論しようとする現象のスケールと精度が決定される。
2. 使用している電磁波の波長(または周波数)：なにが観測されているのかということである。
3. 回帰日数：時系列データとして使えるかはこれにかかっている。
4. データの単価：実際にはこれで制約されることが多い。

以下、衛星別に列挙する。

2.1 LANDSAT

1972年のERTS(地球資源技術衛星：3号よりLANDSATと改名)に始まり、現在4、5号が運用されている。6号の打ち上げはスペースシャトルChallengerの事故で1993年1月に延期されていたが、7月以降に再延期された。衛星による地球観測と言えばLANDSATと言われるほど実績がある。

この衛星は高さ705kmから、太陽同期(一定の地方時、午前9時近く、に飛来)で幅185kmの観測を行っている。搭載されたセンサーはMSSとTMの2つがあり、その使用している波長、分解能は表-1に示す通りである。日本では、MSSについては1979年以降受信されており、使うことができる。TMは4号から搭載されているが、使えるのは5号のもののみである。回帰日数は17日であるが、MSSについては、4号と5号の両方が使えるので倍の頻度でデータが得られる。なお、3号まではRBV(Return Beam Vidico)というセンサーも搭載されていたが、それを利用した研究成果はほとんど見かけないので一応考えないでおいてもいい。

新聞や雑誌などで見かけたLANDSATの画像は、初期のものはMSSであり、最近のものはほとんどTMである。表-1の例にも示されるように、衛星搭載のセンサーには近赤外のものが含まれるのが通例である。これは、この波長が植物の反射が大きく、水による吸収が大きいという性質を持ち、地上観察に欠かせないものとなっているからである。反面、可視光の青(0.4~0.5 μ m)が使われない場合が多い。これは、この波長域は大気による散乱が大きく、地上の観測にあまり適していないからである。しかし、青や緑の方が水中に深く入るので、水工学で関心がある水中の情報はそのbandを使わなければならない。TMのband-1はそのような趣旨のものである。

MSSもTMも地上の分光観測を行っているのであるが、TMのほうが観測波長の設定が細かくなっている。TM(Thematic Mapper)の名前の通り、観測項目の狙いを絞って波長を選んでいるためである。MSSとTMを比較した場合、分解能がよかったばかりでなく、熱赤外(band-6)が使える点が利用者には重要である。熱bandは他のbandとくらべ分解能が異なっているが、データを扱う上でのFormatの違いはない。

日本では宇宙開発事業団(NASDA)で受信され、リモートセンシング技術センター(RESTEC)から購入することができる。データはCCT(Computer Compatible Tape:要するに磁気テープ)で購入すると、MSSが約10万円、TMのフルシーン(180 $\times$ 180km)が45万円で、時系列データとして何シーンか揃えようとすると相当な額がかかる。

表-1 LANDSATのセンサー

MSS (Multi Spectral Scanner)				TM (Thematic Mapper)			
band	波長 μ m	色	分解能	band	波長 μ m	主な観測項目	分解能
4	0.5--0.6	緑	80m	1	0.45--0.52	沿岸水域の分析	30m
5	0.6--0.7	赤	80m	2	0.52--0.60	植生生育の調査	30m
6	0.7--0.8	近赤外	80m	3	0.63--0.69	アルベド吸収作用	30m
7	0.8--1.1	近赤外	80m	4	0.76--0.90	バイオマスの調査	30m
				5	1.55--1.75	植生の活力の調査	30m
				6	10.4--12.5	温度分布の観測	120m
				7	2.08--3.35	熱水・変質地の判別	30m

2.2 MOS-1

日本が打ち上げた観測衛星で通称「もも」衛星と呼ばれている。1987年に打ち上げられ、その後1990年に全く同じMOS-1bが打ち上げられている。Marine Observing Satelliteが正式な名称であるが、そのセンサーは海洋観測に限られるものではない。搭載しているセンサーはMESSR (Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer), VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer), MSR (Microwave Scanning Radiometer)の3つである。その観測波長、分解能、観測幅は表-2に示す通りである。

利用者の立場からすると、MESSRはLANDSATのMSSに対応するものと考えてよい。違いはMESSRのほうが観測幅が100kmと狭いが、分解能は上がっている。また、後述するように値段は安くなっている。回帰日数は17日でLANDSATと同じである。現在2つ運用されているので観測頻度もLANDSATのMSSと同じに期待できる。

VTIRは後で紹介するNOAAのAVHRRから近赤外bandを省略したものに近いband構成となっている。観測幅はNOAAの半分程度であり、分解能はAVHRRより粗くなっている。中間赤外の6~7 μm のband(この波長は大気中のH₂Oによる吸収が大きい)は他の衛星では使われていないものなので、使いようによっては面白いものになるかもしれない。MOS-1の回帰日数は17日ではあるが、VTIRの観測範囲は広いので観測範囲全域を対象とするのであれば高い頻度を期待できる。一般にはNOAA/AVHRRほどには使われていない。

MSRはマイクロ波の放射計で全天候でデータがとれる。マイクロ波の利用は今後大きく進むものと考えられるが、その多くはアクティブセンサーであり、MSRのようなパッシブなものはない。それゆえ、このセンサーでどのようなものが観測できるかは極めて興味深いものがある。ただ、分解能が粗く、しかもその割に観測幅も広くはないので、水工学の分野での利用は限られたものになると思われる。

データはLANDSATと同様にNASDAで受信されRESTECを通じて頒布されている。研究向け価格が設定されており、いずれのセンサーのデータもCCTで1万円前後で利用できる。

表-2 MOS-1のセンサー

MESSR			VTIR			MSR	
band	波長 μm	色	band	波長 μm	分解能	周波数	分解能
1	0.51--0.59	緑	1	0.5--0.7	可視 900m	23.8GHz	32km
2	0.61--0.69	赤	2	6--7	中間赤外 2.7km	31.4GHz	23km
3	0.72--0.80	近赤外	3	10.5--11.5	熱赤外 2.7km	水平偏波	垂直偏波
4	0.80--1.1	近赤外	4	11.5--12.5	熱赤外 2.7km	30~330K	
分解能: 50m 観測幅: 100km 目的: 海面の色・土地利用等			観測幅: 1500km 目的: 海面温度等			観測幅: 317km 目的: 水蒸気・水・雪等	

2.3 SPOT

フランスの打ち上げた衛星でHRVIR (High Resolution Visible and Middle Infrared)というセンサーを2台搭載している。通常手に入るデータではこれが最も分解能が細かい。また斜め観測が可能であるので、異なるパスから同一地点を繰り返し観測できるという特長がある。これにより、画像の立体視も可能である。観測波長は表-3に示す。

データは前2つの衛星と同様にRESTECから入手できる。XSでCCTが20万円強、パンクロモードで約25万円である。

表-3 SPOT/HRVIR

band	波長 μm	色	分解能
XS1	0.50--0.59	緑	20m
XS2	0.61--0.68	赤	20m
XS3	0.79--0.89	近赤外	20m
パンクロ	0.51--0.73	可視	10m

観測幅: 60km(衛星直下)

2.4 NOAA衛星

アメリカの海洋大気局(National Oceanic and Atmospheric Administration)の衛星で、現在11号と12号とが運用されている。日本では、東北大学、東京大学、名古屋大学、東海大学の4大学を含む数機関で受信されている。また、コンパクトに編集されたデータ(AP T: Automatic Picture Transmission)について

ては安価な受信装置が市販されており、漁船などでも利用されている。

NOAAのデータ(HRPT: High Resolution Picture Transmission)には、画像データAVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)と大気の大気温度、湿度などの鉛直分布を測定するTOVS(TIROS Operational Vertical Sounder)の2種類があるが、水工学では主に前者のみを考えればよく、ここでもAVHRRのみの説明を行う。

AVHRRの波長の構成は表-4に示す。現在は2機運用されているので、昼は9時頃と13時頃、夜間(これは熱画像のみ)は1時頃と21時頃のデータが使える。観測範囲は約 $2800 \times 4000 \text{ km}^2$ で分解能は 1.1 km である。前に挙げたLANDSATなどの地球観測衛星と比較すると、広域・高頻度であるが精度はやや粗いという違いがある。それゆえ、数 10 km 程度のスケールで観測する場合には、空間的にはLANDSATとかMOS-1で細かく議論し、NOAA/AVHRRでは時間的変化を議論するといった相補的な使い分けが効果的である。数 100 km 以上程度の温度分布とか植生解析では、この衛星に替わるものはない。

気象庁で受信されているデータは気象協会より購入することができるが、各大学で受信しているものは市販はされていない。ということは、無料で使えるということである。東北大学を例にとると、受信されたデータは使いやすい形にデータベースとして編集、保存されており、研究者の便宜に給されている。特に、AVHRRのChannel-2とChannel-4については、東北地方を中心とした $1000 \times 1000 \text{ km}$ (北海道の北端を除いた辺りから琵琶湖周辺までが含まれる:後掲写真-1参照)を「東北画像データベースTIDAS」として、東北大学大型計算機センターの光ディスク上に格納しており、センターの課題番号を持ってさえいれば大学間ネットワークを通じて使用可能な状態になっている。画像表示などもハードディスク付きのパソコンで対応可能である。衛星計測の普及にはデータの公開性と手軽な機器で処理できるようにすることが課題であり、このシステムは将来のあるべき姿の一つを示したものと言えよう。詳細は、著者の紹介記事を参照されたい。

2.5 GMS(ひまわり)

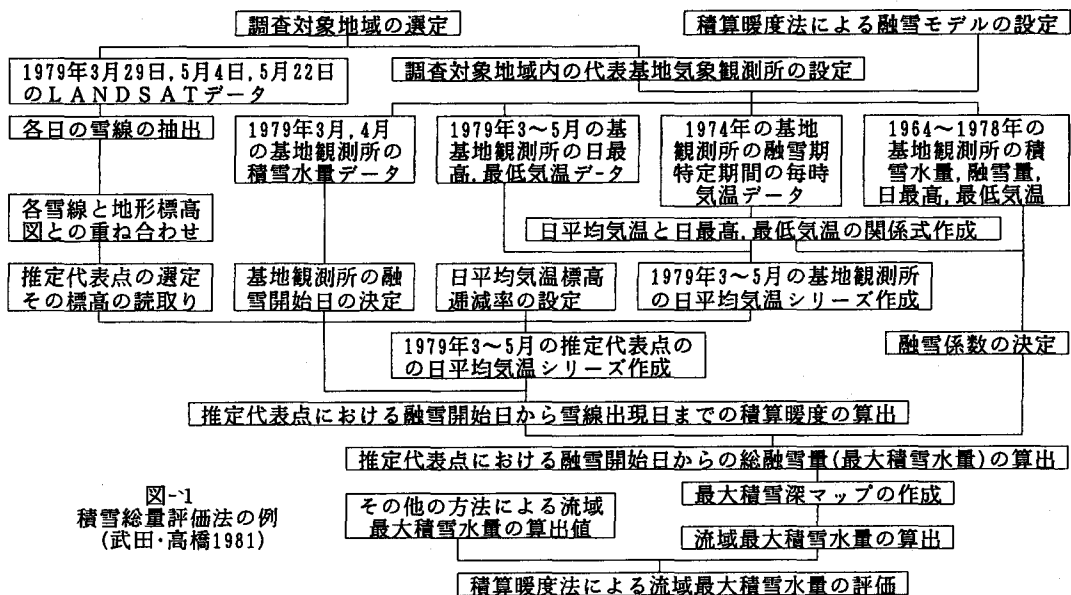
TVや新聞で馴染み深い「ひまわり」は、全地球を5つの静止気象衛星で常時観測する世界気象監視(WWW)計画の中の日本の分担した衛星である。ニューギニア上 35800 km から見える地球の全景を観測範囲としている。センサーはVISSR(Visible Infrared Spin Scan Radiometer)で、その分解能は可視で 1.25 km (直下)、熱赤外で 5 km (直下)である。このデータは水文学における流出予報などでは降雨予報の一環として欠かせないものではあるが、それ以外の水工学の分野ではあまり使われていない。生データでなく編集されたデータWEFAXは130万円程度の受信装置をパソコンとつなげることで簡単に利用できる。この場合の分解能は約 15 km と粗くなる。

3. 水工学・環境計測のどのような研究に衛星データが使われているか

付録に日本の水工学・環境工学における衛星リモートセンシングに関する参考書、研究論文の一覧を載せてある。これだけでもおおまかな研究の動向を理解することができるだろう。その分野は、水文学、沿岸水理、沿岸・湖沼の環境計測、洪水観察の4つに分類される。以下、各分野毎の研究の紹介を行う。

表-4 NOAA/AVHRR

Channel	波長 μm	観測項目
1	0.58--0.68 (可視)	雲、水、雪の領域
2	0.725--1.10 (近赤外)	植生、陸水
3	3.55--3.93 (中間赤外)	大気中の水
4	10.3--11.3 (熱赤外)	表面温度、雲
5	11.5--12.5 (熱赤外)	表面温度、雲



3.1 水文分野での衛星データの利用

3.1.1 雪の観察

雪面は可視および近赤外の反射(アルベド)が大きいので, 衛星画像で積雪地域は一瞥してわかる。水文学での衛星データの利用もこの分野から始まった。武田・高橋(1981)は奥只見を対象として図-1に示す手順で最大積雪水量を評価する方法を提示している。用いているデータはLANDSAT/MSSで, それから雪線を抽出して利用している。これから分かるように, 衛星で計測できるのは積雪部分の面的情報であり, 積雪深は別途考察しなければならない。一般に積雪深は標高とは強い相関があるので, 広くはない流域を対象とする場合には雪線情報から積雪総量を推算することは可能である(図-1あるいは小池・高橋・吉野(1985)など)。また, 衛星データはある広がりでの平均の反射率を測定しているので, 森林では樹種別に輝度と積雪深との相関が認められる。深山・小川(1992)はTMデータを用い, 夕張ダム集水域の積雪深分布を求めている。

LANDSATやMOS-1のデータは, 回帰日数が長い時系列データとして利用することが難しい。この点はNOAAのデータを使うと解決される。著者ら(Sawamoto, Jirayoot & Kazama1992)は奥只見約2000km²を対象とし, 衛星で観測した残雪面積と流域からの融雪総量との関係が図-2のように得られることを示している。この場合, 融雪期を通じて15シーン程度の快晴の画像が期待できる。

広域を対象とする場合にもNOAA衛星が便利である。著者らは

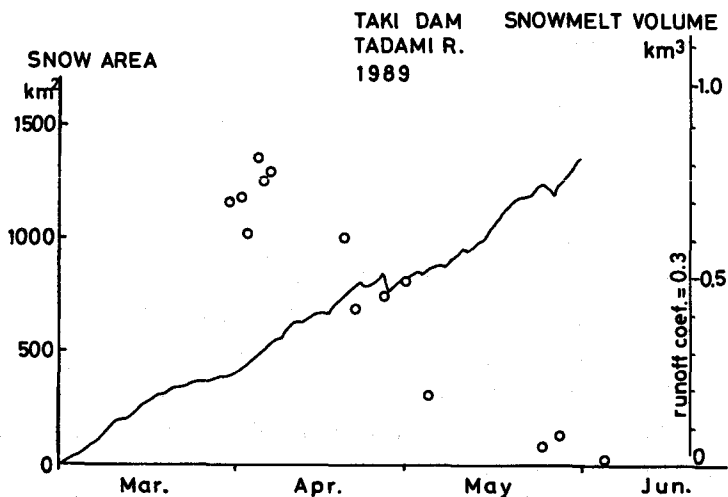


図-2 残雪面積と融雪量: 奥只見1989年

図-3 に示す東北地方の全体の積雪マップを作成し、局地的な雪線と積雪地点との標高差から、あるいは地域的な積雪特性とから、広域の積雪深分布を評価している(風間・沢本1993)。それによると、冬期2月中旬、東北地方山間部には全体で15km²の雪があることになる。これは東京都の年間家庭用水量の9倍程度になり、北日本においては融雪が水資源としていかに重要であるかが理解できる。

衛星データは広域の観測に適していると言っても、広い地域がすべて快晴であることはほとんど期待できない。それゆえ広域の積雪マップの作成には、いくつかの画像を合成しなければならず、そのためには雪と雲との自動判別アルゴリズムが必要となる。NOAA/AVHRRでの雪と雲の判別については、可視または近赤外、熱赤外、中間赤外を組み合わせることにより可能であることが知られている(川村・風間・枝松・沢本1992, 風間・川村・枝松・沢本1992)。

マイクロ波を用いて積雪深を直接衛星で測定しようという試みは現在進められているが、現段階では実用化されていない。

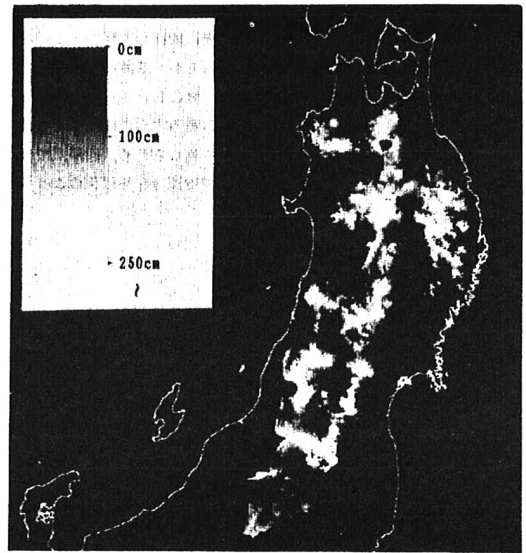


図-3 東北地方の積雪分布

3.1.2 蒸発散量の評価

蒸発散量の評価は水収支を論じる際、欠かすことができない。蒸発散量評価に衛星データを利用する方法には確立されたものはないが、いくつかの方法が試みられている。

内田・星(1987)はLANDSAT/MSSデータより対象地の地覆を分類し、それに基づき蒸発散量を評価する方法を示している。このような地表面の状態を分類することは衛星計測の最も基本で、かつ得意とするところである。

衛星データから得られる地表面温度などの物理情報を蒸発散評価に利用する試みもいくつか行われている。日本ではSunada, Soroosh & Gay(1990)の基礎的研究を挙げることができる。

日本の山地流域のようにそのほとんどが森林で覆われている場合には、蒸発散に果たす植物の役割が支配的である。著者らは植生と蒸発散量を直接結び付ける試みを行っている。衛星データを用いた植物の観測では植生指標NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)がよく用いられる。これは可視と近赤外の反射率から次のように算定される指標である。例えばNOAA/AVHRRのデータを使うならば、

$$NDVI = \frac{\text{Channel-2} - \text{Channel-1}}{\text{Channel-2} + \text{Channel-1}}$$

となる。写真-2にその計算例を示してある。植物の活性はそれ自身が蒸発に強く関わっているばかりでなく、土壌水分や気温などの蒸発散に直接関わる物理量の観測時点までの履歴を反映しているはずなので、月単位程度で蒸発散を評価する場合には、この指標から蒸発散量を推定することも可能ではある。広葉樹林の卓越する只見川上流域でNDVIの分布と従前の方法で計算される流域平均蒸発散量とを対応させて比較したところ、NDVIと蒸発散量との間に明瞭な関係があることがわかった。植生別にNDVIと蒸発散量との関連が求められれば、広域での蒸発散量評価は大きく進むことになる。

土壌水分を衛星搭載のマイクロ波センサーで計測する方法は現在基礎研究が進められている段階である。

3.2 沿岸水理での利用

沿岸での流動を観測する場合にも衛星データはしばしば利用される。現象としては、河口からの流出流の観測、海峡部などでの渦運動の観察、湾水の流動などである。なお、渦運動の観察については第22回研修会(田中(1986))に詳しいので、今回は省略する。

3.2.1 河川流出流の観察

河川からの流出水の拡がりの観察に衛星データが利用できることは初期の段階から指摘されてきており、実際に観察された例も多い。これは緑の波長帯が海面近く数mの水中のSSの情報を含んでいることを利用している。TMを使う場合にはさらに温度分布が情報として加わる。これまでに、富山湾、駿河湾、日本海側諸河川、石狩川などの報告がある。また、第22回研修会(田中1986)でも多くの例が紹介されているので参照されたい。

写真-3には駿河湾での観測例を示す。単に洪水の規模で流れが決まるだけでなく、流出する海域の流動で流出パターンが大きく変化することが分かる。

最近では、大西・河合(1992)が新宮川を対象としてLANDSAT/TMを用いた解析法を提案しており、新たに解析を試みる場合には参考になる。その成果は以下のようにまとめられる。

- ・洪水時には各bandの相関は高いが、平水時には熱bandとそれ以外のbandとの相関は低くなる。これは平水時には河口砂州による連行が流れの相似性を大きく乱しているからである。
- ・流出流の流軸は衛星データより個人差の入らない形で回帰計算できる。
- ・従来、水温の拡散面積は濁度の拡散面積より狭いことが定性的に言われていたが、これが定量的に確かめられた。流出水の拡散面積と流量との関係は、べき係数は従来の新田のものと同様になるが、相対輝度0.1で定義した拡散の範囲は1/100希釈率の範囲の1/20~1/30程度になる。
- ・band-1とband-3とから、河道内水、希釈混合域、環境水域が明瞭に分類される(図-4)。このことは衛星データによる塩分濃度検出の可能性を示すものでもある。

3.2.2 湾水流動

湾水の観察には熱bandが使われることが多い。写真-1のTIDASの紹介例にある拡大画像は、1992年4月3日の東京湾の温度分布を示したものであるが、NOAA/AVHRRではこのような湾内の温度分布が 0.2°

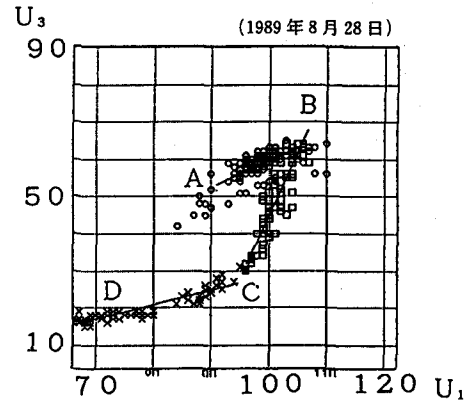
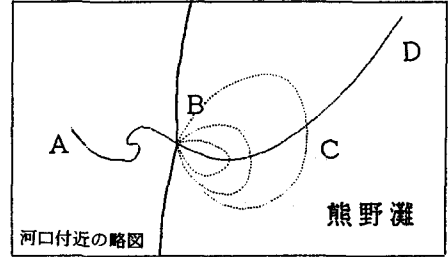


図-4 河口流出水の拡散(大西・河合1992)

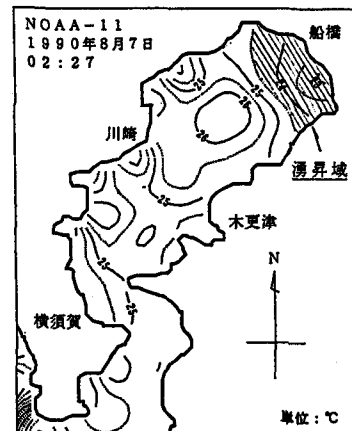
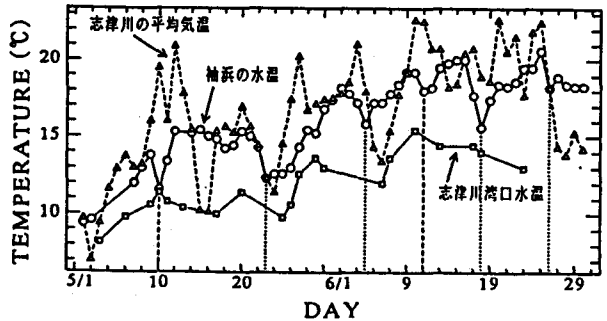


図-5 東京湾青潮の観測例(上野ら1992)

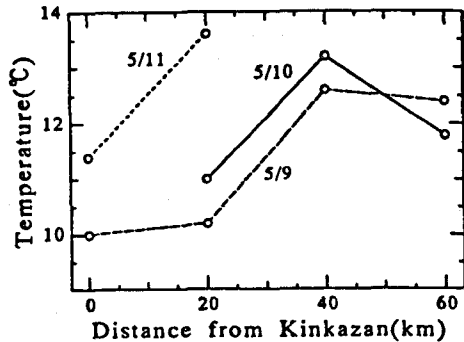
の精度で得られる。温度分布はそれ自身が環境指標であるとともに、湾水の流動を知る上での役に立つ。そのような研究例を2つ紹介する。

青潮は底層の低温・貧酸素水が湧昇する現象であるので、湾内水温分布をモニターすることでその発生を知ることができる。図-5には、上野・灘岡・石村・勝井(1992)による東京湾での観測例を示す。これらの発生機構は卓越する北風との関連で議論することができる。

長尾・橋元・今村・首藤(1992)は三陸志津川湾を対象にして、現地観測とNOAA衛星による湾外水温の変化を考察している。この湾は養殖などによる湾内汚染が問題となっているが、湾奥と湾口とで通常3~6°程度の温度差が存在する。ところが時折湾奥の水温が湾口水温と同じ程度まで急に下降することがある。図-6の上図に1990年5月の観測例を示している。これは気温の変動などからは説明できないが、NOAAの熱画像によると、黒潮の流路が海岸より北上していることが認められる(図-6の下図)。さらに解析を進めれば湾水交換機構も明らかになるし、また、黒潮・親潮の流路を常時観測することにより沿岸部での水塊の交換予測も可能となる。



志津川湾での水温・気温変化1990年5月



金華山沖の東西温度分布の変化

図-6 志津川湾での水温・流動解析例(長尾ら1992)

3.3 沿岸・湖沼での環境計測

水質を衛星データで観測しようという試みは霞ヶ浦を対象として数多く行われてきている。これは霞ヶ浦でアオコの発生などの水質悪化が問題となっていることと、アオコのようなクロロフィルが可視の緑色bandでよく見えることが重なったためであろう。最近の例では田中・比企・小西(1990)を挙げることができる。

沿岸域での水質観測に関する研究もいくつか行われている。これらでは主にSSと可視光と関連が論じられている(神田・小山田・高原1987, 宇多・村井・竹淵1988など)。衛星計測では可視光が水中数mまでしか到達しないので、水面近くの水質なり流動なりを観察することになるのであるが、水深が浅い場合には水底の汚染などを観察することができる。灘岡・田村(1992)は沖縄の珊瑚礁における赤土汚染をLANDSAT/TMを使って解析することを試みている。

3.4 洪水の観察

洪水時に正確な氾濫範囲を把握することは衛星計測に頼っても容易ではない。分解能の高いLANDSATなどが飛来すると洪水とが一致する確率は限られているし、さらに台風などの荒天時に雲のない画像を期待することはきわめて困難であるからである。そうしたなか、1986年8月6日の台風10号による利根川水系子貝川の氾濫はLANDSAT/TMにより明瞭に観察されている。しかし、同日の鳴瀬川水系吉田川の氾濫は雲に覆われた画像しか得られていない。

洪水時の濁水は可視光では裸地との見分けが付き難いが近赤外を使えば容易に判別できる。近赤外光は水面での吸収が強いためである。前述のNDVIは、近赤外と可視光との差を定量化したものであり、これも洪水氾濫域の判別に使える。越智・Rahman・垣内(1991)はNOAA/AVHRRからNDVIを計算し、バングラデッシュの洪水の観察と洪水危険度の分析を行っている。氾濫が広域にわたる場合にはこの方法も有効である。バングラデッシュの洪水に関しては、MOS-1/MSRを用いた全天候観測も報告されている(田中・杉村・田中1991)。このような観測は、氾濫が長期かつ広域にわたる場合にはきわめて有効である。

4. これからの衛星計測—21世紀に向けて

地球環境が問題にされ出してから久しい。広域・地球規模の環境計測に衛星計測が有効であることは言うまでもなく、現在、21世紀に向けて多数の衛星観測計画が動いている。2節で紹介したもの以降の日本のものだけでも以下のようなものがある。

- ・ JERS 1 (Japanese Earth Resource Satellite) : 1992年に打ち上げられた資源衛星。SAR(合成開口レーダ), SWIR(Short Wavelength Infrared Radiometer), OPS/VNIR(Optical Sensor/Visible and Near Infrared Radiometer)の3つのセンサーが搭載されている。最近、その画像が出てきた。
- ・ ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) : MOS 1, JERS 1 に続く衛星で1995年に打ち上げられる。OCTS(Ocean Color and Temperature Scanner), AVNIR(Advanced Visible and Near Infrared Radiometer), NSCAT(NASA Scatterometer), TOMS(Total Ozone Mapping Spectrometer), IMG(Interferometric Monitor for Greenhouse Gases), POLDER(Polarization and Directionality of the Earth's Reflectance), ILAS(Improved Limb Atmospheric Sounder)が搭載される。
- ・ JPOP (Japanese Polar Orbiting Platform) : 1998年打ち上げの日本のPOP衛星である。アメリカNASAの2機、ヨーロッパESAの2機と合わせ計5機の大型衛星で1シリーズ5年の観測を3シリーズ行う計画である。改良型マイクロ波放射計、レーザーレーダー、可視～熱赤外放射計、降水レーダーがセンサーの第1候補となっている。
- ・ TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission):アメリカの衛星に日本のマイクロ波センサー(能動型)を搭載する。1997年が打ち上げ目標である。熱帯の降雨が地球の水循環に果たす役割を集中的に観測する。太陽同期でない、珍しい運用が予定されている。

アメリカについては、NASAのEOS(Earth Observing System)計画のもとに衛星打ち上げを含めた巨大な研究が進行中である。この計画のために2000年までに\$17billionが予定されている。NASA以外でも多くの計画が進行中である。

これらの衛星計測の将来構想を眺めると、いくつかの特徴が浮かび上がってくる。

1. そのデータ量の膨大さ。現在GMSだけでも全てのデータを受信すると2.5GBの情報量になる。その他すべてを合わせると、1桁大きい情報が毎日目には見えないが降って来ているわけである。それが2000年までには、さらに2桁?大きい情報量になる。雨のような情報が連日洪水のような情報になるのである。我々はそれだけのものをこなしていけるのであろうか? 当然、今の態勢ではとても無理である。
2. データは量も種類も増えていく。一見、選り取り見取りでデータが探せるような気もするが、反面、使いにくさも増してくる。上に例として挙げられたセンサーを見ても分かるように、各センサーが相当に専門化している。申請に応じて特殊な観測を行う機会も増える。これまでの衛星データはどちらかと言うと汎用的な色彩が濃い。だから、データのカatalogを前にして、目的に合った種類・精度のものがあれば、それから研究テーマを設定するというようなスタイルが可能であったが、今後は衛星・センサーの計画の時点から研究者のサイドからの提言が求められることとなる。及び腰では通用しなくなる。

3. 衛星計測は必然的に地球規模の観測に指向する。これまでの水工学や環境工学での衛星データの利用は、それぞれの専門分野で、「この部分では衛星データが使えるから使って見よう」といったスタンスが多かったような印象を持っている。例えば、実験室からフィールドに出ると現象のスケールの違いに圧倒される。そこで、「空からぱっと測れたらいいな」ということで衛星データを探すわけである。なければ、それで終わり。しかも、衛星データが使えるような現象を現在やっていなかったなら、「我、関せず」ということになる。しかし、衛星データが活かせる研究はもう少し空間・時間スケールが大きい。しかも、従来あまり手を付けられていなかったものが多い。また、地球規模の環境に指向した研究は誰かがやらなければならない。もう一度、我々が依って立っている研究分野を見直し、新たな大きな研究の枠組みを開発していく必要があるだろう。

[[付録]] 文献目録：どんな分野で、誰が何をやっているのか

調べた範囲：土木学会論文集(第II部門)、水工学(水理講演会)論文集、海岸工学論文集(海岸工学講演会論文集)、水文・水資源学会誌、日本リモートセンシング学会誌、写真測量とリモートセンシング、ながれ(日本流体力学会誌)/海洋学・気象学の分野にも多数あるが、それらは除く

[一般的教科書など]

日本リモートセンシング研究会編：図解リモートセンシング；308pp，日本測量協会，1992。
土屋清編：リモートセンシング概論；327pp，朝倉書店，1990。
坂田俊文：地球を観測する；174pp，NHKブックス カラー版，1988。
日本写真測量学会編：熱赤外線リモートセンシングの技術と実際；168pp，鹿島出版会，1986。
杉森康宏・坂本亘：海洋環境光学；356pp，東海大学出版会，1985。

[解説など]

田中総太郎：水工学におけるリモートセンシング技術利用の現状；1986年度(第22回)水工学に関する夏期研修会，B6-1--21，1986。
大西外明：水工学とリモートセンシング；土木学会論文集，No.393/II-3，9-19，1988。
小田巻実：沿岸海象調査とリモートセンシング；写真測量とリモートセンシング(特集「海を探る」)，Vol.29，No.2，46-50，1990。
後藤恵之輔：地球環境問題を宇宙から見れば；写真測量とリモートセンシング，Vol.30，No.2，41-49，1991。
村松皐月：リモートセンシングによる沿岸観測手法とその問題点；沿岸海洋研究ノート，Vol.24，No.2，134-144，1987。
シンポジウム「リモートセンシングの将来と水文・水資源学の発展」報告；水文・水資源学会誌，Vol.5，No.1，57-76，1992。
川村宏：地球観測衛星データとその地球流体現象解明への応用；ながれ，Vol.8，121-131，1989。
特集：防災分野でのリモートセンシング--II.洪水災害；日本リモートセンシング学会誌，Vol.9，No.4，49-67，1989。
沢本正樹：NOAA画像データベースTIDASの紹介；水文・水資源学会誌，Vol.6，No.2，1993。

[水文：雪]

武田要・高橋裕：LANDSAT雪線情報と積算暖度法による流域最大積雪水量算定に関する研究，土木学会論文

報告集, No. 311, 81-92, 1981.

堺毅・西川肇・木村淳一・田中総太郎・木村宏: 地表起伏の影響を補正したLANDSAT MSSデータによる積雪状況分類へのアプローチ; 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 2, No. 1, 49-57, 1982.

大西外明・村上龍一: リモートセンシングを導入した積雪深と融雪洪水流出解析に関する研究; 第27回水理講演会論文集, 365-371, 1983.

西川肇: 山岳地融雪解析における人工衛星リモートセンシングの応用に関する基礎的研究; 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 3, No. 3, 5-17, 1983.

小池俊雄・高橋裕・吉野昭一: 積雪面積情報による流域積雪水量の推定, 土木学会論文集, No. 357/II-3, 159-165, 1985.

高橋裕・小池俊雄・田原功: LANDSATデータを用いた流域積雪水量算定モデルの総合化に関する研究; 第31回水理講演会論文集, 227-232, 1987.

大澤崇・稲村早苗・横山隆三・小野泰正: 適応閾値によるLANDSAT画像からの積雪域抽出手法; 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 7, No. 3, 5-13, 1987.

小池俊雄・後藤巖・洲浜智幸: 受動型マイクロ波リモートセンシングによる積雪観測; 水工学論文集, Vol. 35, 33-38, 1991.

Jirayoot, K. S. Kazama and M. Sawamoto: The application of snow-cover area evaluation from remote-sensing data to snowmelt runoff tank analysis; 水工学論文集, Vol. 35, 57-62, 1991.

力丸厚: 画素内環境資源情報の抽出--NOAA/AVHRRデータによる積雪領域抽出の事例研究--; 写真測量とリモートセンシング, Vol. 30, No. 4, 51-58, 1991.

力丸厚: MSS融雪履歴情報の支援による気象データの画素内積雪領域の細密推定; 土木学会論文集, No. 438/II-17, 13-21, 1991.

風間聡・沢本正樹・Kittipong Jirayoot: NOAA-AVHRRデータを用いた残雪域の把握と融雪出水; 水文・水資源学会誌, Vol. 4, No. 1, 33-37, 1991.

風間聡・沢本正樹・Jirayoot Kittipong: 滝ダム流域における融雪期の積雪深モデル; 水工学論文集, Vol. 36, 611-616, 1992.

川村宏・風間聡・枝松芳枝・沢本正樹: AVHRR/NOAAデータによる積雪域抽出手法の研究; 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 12, No. 1, 31-41, 1992.

深山一弥・小川茂男: TMデータによるダム集水域の積雪深分布の推定; 写真測量とリモートセンシング, Vol. 31, No. 4, 27-36, 1992.

Sawamoto, M. K. Jirayoot and S. Kazama: Evaluation of snow covered area by using NOAA-AVHRR data and snowmelt runoff analysis in the Okutadami basin; Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol. 10, No. 2, 1-11, 1992.

風間聡・沢本正樹: 東北地方の積雪量の計算について; 水工学論文集, Vol. 37, 153-158, 1993.

〔水文: 蒸発, 流域情報〕

内田諭・星仰: ランドサットおよび国土数値情報標高データを用いた広域蒸発散量の算定; 写真測量とリモートセンシング, Vol. 26, No. 4, 13-23, 1987.

Sunada, K., S. Soroosh and L. W. Gay: A Basic study on estimation of regional evapotranspiration, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol. 7, No. 2, 27-38, 1990.

瀬口昌洋・渡辺潔・林稔人: リモートセンシングによる流域の土壌及び植生情報の収集に関する基礎的研究; 水工学論文集, Vol. 35, 237-242, 1991.

沢本正樹・藤本美樹子: 衛星データと国土数値情報を用いた流域データベースの設計; 水工学論文集, Vol.

34, 619-624, 1990.

金子大二郎・日野幹雄：蒸発散に伴う森林温度の低下に関するTMによる実態把握；日本リモートセンシング学会誌，Vol.13，No.1，1-13，1993.

〔沿岸・海峡・河口水理〕

大西外明・西村司：リモートセンシングを用いた密度流論的検討；土木学会論文集，No.289，75-87，1979.

大西外明・田中総太郎：Landsatによる急傾斜湾内密度流フロントの観測と安定性に関する考察；土木学会論文報告集，No.292，53-63，1979.

大西外明・田中総太郎・西村司：Landsatリモートセンシングを導入した海峡部海水交換現象の研究；土木学会論文報告集，No.298，63-75，1980.

大西外明・田中総太郎・西村司：リモートセンシングの海洋水理への応用に関する研究--(1)沿岸水理現象のdynamicリモートセンシング；第26回海岸工学講演会論文集，638-641，1979.

大西外明・田中総太郎・西村司：海峡水域の大スケール渦生成・挙動に及ぼす海底地形の影響について--リモートセンシングの海洋水理への応用に関する研究(2)--；第27回海岸工学講演会論文集，512-516，1980.

大西外明・田中総太郎・西村司：複数水路からなる海峡における潮流のLANDSATリモートセンシング--リモートセンシングの海洋水理への応用に関する研究 その(3)--；第28回海岸工学講演会論文集，564-568，1981.

横山隆三：リモートセンシングによる大船渡湾の海水交流機構の解明；日本リモートセンシング学会誌，Vol.1，No.1，15-32，1981.

橋本宏・宇多高明・新行内利隆：リモートセンシングによる海浜流循環の観測；第29回海岸工学講演会論文集，351-355，1982.

Aikoh, T. and M. Takahashi: Detection of vortex motion by satellite (AVHRR/NOAA-6) and regional upwelling off Izu-Oshima Island；日本リモートセンシング学会誌，Vol.2，No.3，3-10，1982.

大西外明：映像観察を基にした噴流の渦構造に関する若干の考察；日本リモートセンシング学会誌，Vol.2，No.4，27-43，1982.

宇多高明・竹淵勉・橋本宏：リモートセンシングによる海浜流と波向の観測；第30回海岸工学講演会論文集，475-479，1983.

大西外明・須山治・村上龍一：ランドサットデータを導入した本州周辺の河川水拡散状態の研究(1)；第28回水理講演会論文集，105-111，1984.

西村司・畠山祐二・田中総太郎・丸安隆和：リモートセンシングに立脚した沿岸海域自走渦の運動論的研究；土木学会論文集，No.351/II-2，173-182，1984.

大西外明・須山治：海洋の大規模渦が沿岸水の水理の挙動に及ぼす影響；土木学会論文集，No.351/II-2，183-191，1984.

宇多高明・古川博一・竹淵勉：ランドサット・航空機・船の同時観測による沿岸海域特性の把握；第31回海岸工学講演会論文集，690-694，1984.

沢本正樹・李立亜・村越潤：駿河湾および天竜川の河口流出の解析；第32回海岸工学講演会論文集，767-771，1985.

宇多高明・古川博一・竹淵勉：ランドサットによる沿岸水理の観測；第32回海岸工学講演会論文集，772-776，1985.

緒方純俊・工藤勝宏・吉仲利哲・土居浩範・篠原俊夫・幡司明：別府湾周辺沿岸水域のリモートセンシング；日本リモートセンシング学会誌，Vol.5，No.2，19-26，1985.

- 緒方純俊・工藤勝宏・篠原俊夫・幡司明：NOAA/AVHRRデータによる豊後水道周辺海域における水塊特性の把握；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 5，No. 3，5-13，1985.
- 横山隆三：リモートセンシングによる宮古湾の海水交流機構の解明（Ⅰ）；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 5，No. 4，19-30，1985.
- 横山隆三：リモートセンシングによる宮古湾の海水交流機構の解明（Ⅱ）；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 5，No. 4，31-44，1985.
- 宇多高明・村井禎美・竹淵勉：ランドサットによる沿岸流況調査；第33回海岸工学講演会論文集，591-595，1986.
- 大西外明・馬場恭平：ランドサットデータを導入したコリオリ力卓越場の河川水拡散特性の解析的考察；第30回水理講演会論文集，733-738，1986.
- 灘岡和夫・渋谷慎一・広瀬文人：LANDSATデータを用いた高波浪時の沿岸水理解析の試み；第34回海岸工学講演会論文集，217-221，1987.
- 宇多高明・村井禎美・竹淵勉：ランドサットによる沿岸海域調査における有効データの取得確率；第34回海岸工学講演会論文集，690-694，1987.
- 大西外明・大浦丈輝・ツァリン・ジャブ：リモートセンシングによる沿岸流動と沖合海流の干渉の可視化と考察；第35回海岸工学講演会論文集，782-786，1988.
- 宇多高明・村井禎美・竹淵勉：海域調査における衛星リモセンデータの実用的補正法；第35回海岸工学講演会論文集，787-791，1988.
- 灘岡和夫・山下俊彦・蒲田浩久・佐藤尚稔・牧野有洋：衛星画像ならびに現地データに基づいた石狩川河口周辺の沿岸水理解析；海岸工学論文集，Vol. 36，219-223，1989.
- 大西外明・河合弘泰：パソコンによる人工衛星データを用いた放流水拡散域評価法の提案；水工学論文集，Vol. 35，173-178，1991.
- 大西外明・河合弘泰：ランドサットTMデータによる河川放流水拡散域の定量的解析；海岸工学論文集，Vol. 38，196-200，1991.
- 湯藤義文・後藤恵之輔・草野和郎：衛星データを用いた大分県日出町城下カレイと海岸湧出地下水との関係調査；写真測量とリモートセンシング，Vol. 31，No. 1，31-39，1992.
- 上野成三・灘岡和夫・勝井秀博：NOAA-AVHRRデータを用いた東京湾における風による流動の時系列解析の試み；水工学論文集，Vol. 36，697-700，1992.
- 大西外明・河合弘泰：ランドサットTMデータによる河口流出の解析法の提案——新宮川への適用；土木学会論文集，No. 452/II-20，11-20，1992.
- 上野成三・灘岡和夫・石村明美・勝井秀博：NOAA-AVHRRデータを用いた東京湾の風に起因する涌昇現象の解析，海岸工学論文集，Vol. 39，256-260，1992.
- 長尾正之・橋元信裕・今村文彦・首藤伸夫：衛星データを用いた湾内海水交換予測の可能性について，海岸工学論文集，Vol. 39，921-924，1992.

【水質・環境】

- 神田勝己・小山田宇孝・高原千秋：リモートセンシングによる伊勢湾奥部水質調査；第34回海岸工学講演会論文集，680-684，1987.
- 村上和男・菅沼史典・宮原祐二：人工衛星と航空機の同時観測による内湾の水質把握について；第35回海岸工学講演会論文集，792-796，1988.
- 丹波澄雄・相馬孝志・吉田功・横山隆三：陸奥湾海況自動観測ブイデータとの照合によるNOAA/AVHRR海表面温度推定の精度検証；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 8，No. 4，27-38，1988.

- 水鳥雅文・片野尚明・安達欣也・大石みち子：MOS-1衛星による海域水温・水質観測の適用性；海岸工学論文集，Vol. 36，824-828，1989.
- Kouzai, K. and K. Tsuchiya：ESTIMATION OF SURFACE CURRENT VELOCITIES OF THE KUROSHIO USING SINGLE NOAA AVHRR IMAGE；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 10，No. 3，13-23，1990.
- 金子大二郎・日野幹雄：リモートセンシングによる松江・宍道湖の自然環境解析；水工学論文集，Vol. 35，597-602，1991.
- 水鳥雅文・坂井伸一・仲敷憲和：LANDSAT衛星による温排水モニタリングの実用性；海岸工学論文集，Vol. 38，886-890，1991.
- 灘岡和夫・田村英寿：衛星データによる沖縄リーフ海域における赤土体積状況把握の試み；海岸工学論文集，Vol. 38，906-910，1991.
- 灘岡和夫・田村英寿：LANDSAT/TMデータに基づいた沖縄赤土流出問題の解析の試み；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 12，No. 3，3-19，1992.

〔湖沼〕

- 岡見登・岸野元彰・宮崎忠国：霞ヶ浦湖水の分光反射率と水質；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 2，No. 1，21-31，1982.
- 安岡善文・宮崎忠国：リモートセンシングによる湖水域の水質分布計測--回帰分析を用いた大気補正と水質推定--；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 2，No. 3，51-62，1982.
- 大林成行・大西外明・丸安隆和・高橋康夫：琵琶湖を対象とした湖沼学的研究へのリモートセンシングの適用性に関する研究；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 2，No. 2，79-108，1982.
- 田中修三・比企三蔵・小西浩之：Landsatの捉えた霞ヶ浦のアオコの拡がりと吹送流；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 10，No. 3，25-34，1990.

〔洪水氾濫〕

- 竹内章司：ランドサットTMデータに見る子貝川水害の状況；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 6，No. 3，27-32，1986.
- 幾志新吉・大倉博・阿久津亮夫：ランドサットTMデータから分類した洪水氾濫状況のマッピング；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 6，No. 4，21-25，1986.
- 玉井信行・三浦一彦・田中総太郎・杉村俊郎：〔表紙解説〕1988年のバングラデシュ洪水；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 9，No. 4，199-201，1989.
- 瀬戸島政博・赤松幸生：画像解析により抽出した防災情報の高度利用に向けての試み；写真測量とリモートセンシング，Vol. 29，No. 4，4-15，1990.
- 越智士郎・Nizam M. Rahman・垣内博昭：バングラデッシュにおける洪水危険度の分析；写真測量とリモートセンシング，Vol. 30，No. 6，34-39，1991.
- 田中総太郎・杉村俊郎・田中美枝子：MOS/MSRによるバングラデシュ洪水域の全天候式観測；日本リモートセンシング学会誌，Vol. 11，No. 2，77-85，1991.

- ・ International Journal としては，次の2つに目を通しておくとよいでしょう。
International Journal of Remote Sensing, Taylor & Francis: 1993年で Vol. 14, 年18冊.
Remote Sensing of Environment, Elsevier: 1993年で Vol. 42, 年12冊.

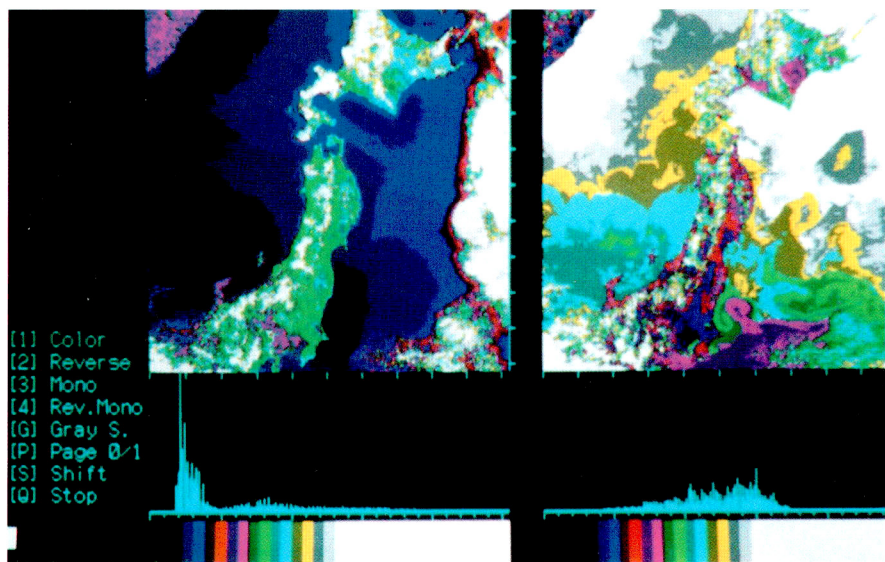


写真-1 東北画像データベースTIDASの例：(a) 1/4 に間引いた全体画像

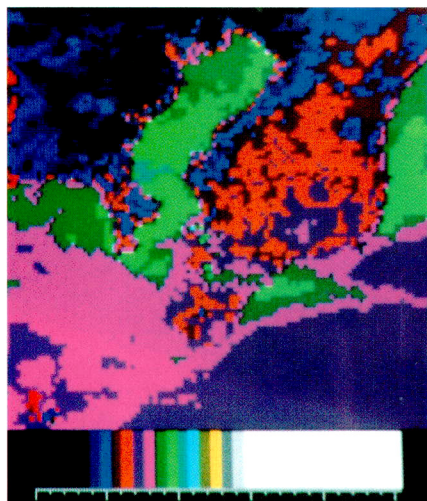


写真-1 (b) 3 倍拡大部分熱赤外画像

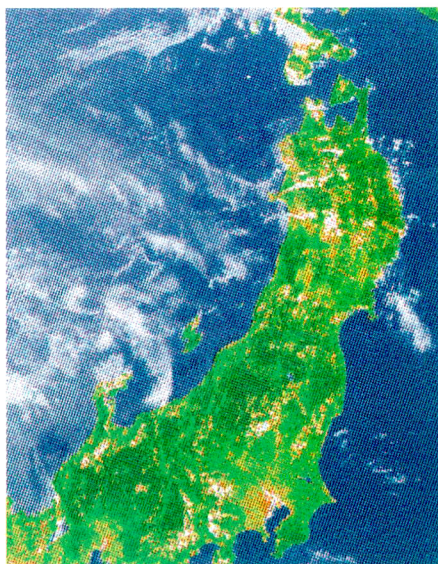
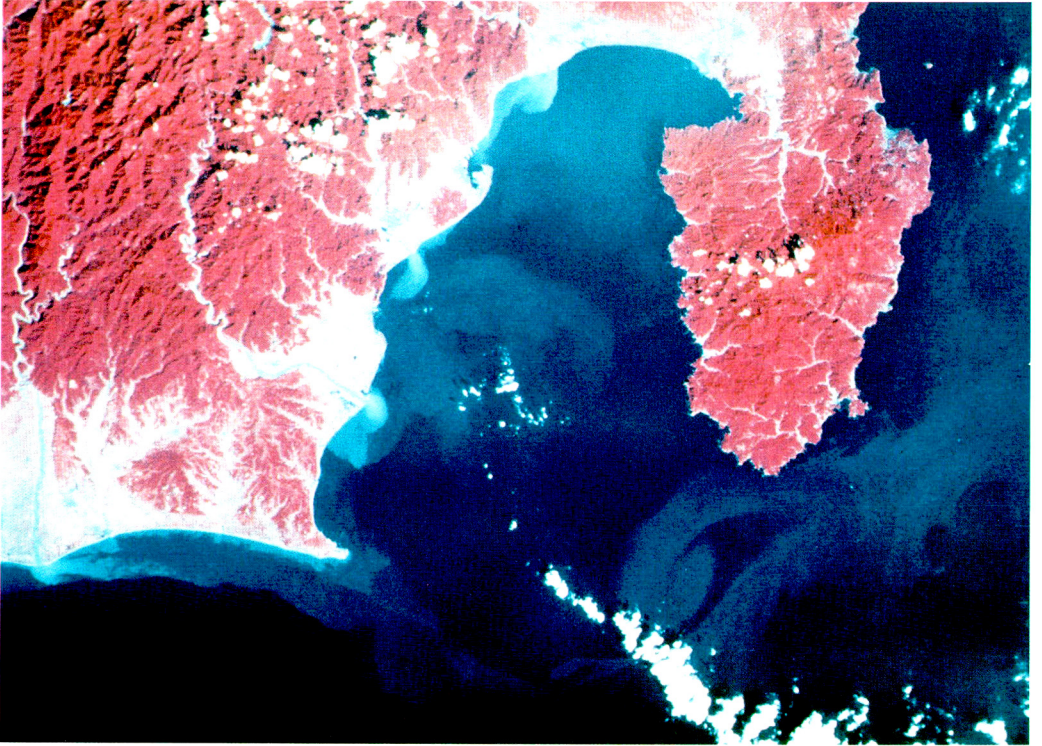
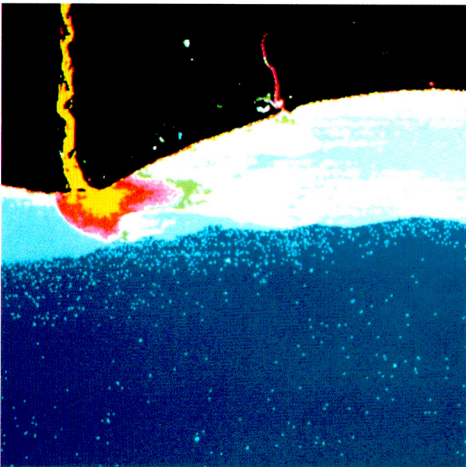


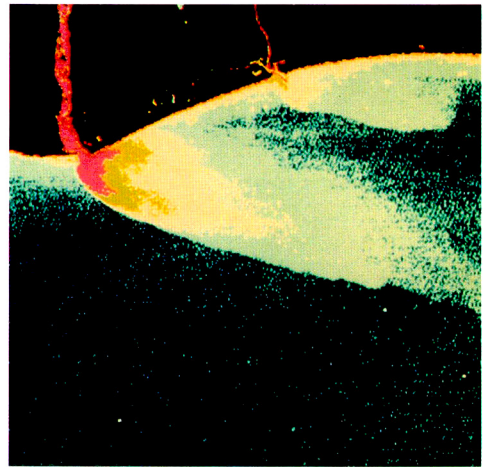
写真-2 東北地方の植生活性度



1979年10月22日 台風の翌日の駿河湾：天竜川，大井川，安倍川，富士川からの流出



1979年10月22日：天竜川



1983年5月9日：天竜川

写真-3 LANDSAT/MSSによる河口流出流の観察：宇宙開発事業団受信