

観測衛星 (JERS-1) データ利用セミナーの概要
 Overview of Training Seminar for the use of Japanese Earth
 Resources Satellite-1 (JERS-1) data.

田口 晴夫*
 Haruo Taguchi

Abstract

This report shows the outline of the training seminar on the applications of JERS-1 data, which was held in Remote Sensing Technology Center of Japan (RESTEC) from 14 until 23 October, 1992.

1. はじめに

当セミナーは、1992年10月14日から23日までの土日を除く8日間、財団法人リモートセンシング技術センター (RESTEC: Remote Sensing Technology Center of Japan) において、科学技術庁の委託により開催された。

このセミナーは、1992年2月に種子島宇宙セ

ンターから打ち上げられた地球観測衛星1号 (JERS-1) のデータの利用促進を目的としたもので、その内容は各種観測衛星の構造からセンサの特性など多岐にわたり、実際にパソコンを使ってデータ解析の実習も行われた。本稿はその中から各センサの紹介を中心に、気象庁に関連すると思われる解析実習についてもとめたものである。

Antenna size	11.9×2.4 m
Off-nadir angle	35 deg.
Ground resolution	range 18 m azimuth 18 m (3 look)
Swath width	75 km
Digitization	3 bits
Frequency	1275 M Hz

Fig. 1 Synthetic Aperture Radar Characteristics

View angle	7.55 deg.
Stereo angle	15.3 deg.
Ground resolution	18.3× 24.2 m
Swath width	75 km
Digitization	6 bits
V N I R spectral bands	Band 1 0.52-0.60 μm Band 2 0.63-0.69 μm Band 3 0.76-0.86 μm Band 4 0.76-0.86 μm (forward viewing)
S W I R spectral bands	Band 5 1.60-1.71 μm Band 6 2.01-2.12 μm Band 7 2.13-2.25 μm Band 8 2.27-2.40 μm

Fig. 2 Optical Sensor Characteristics

*気象衛星センター解析課

(1992年12月14日受領 1月12日受理)

2. JERS-1の特徴

JERS-1は、太陽同期準回帰軌道をとり44日周期で巡回しており、高分解能の合成開口レーダ（SAR：Synthetic Aperture Radar）と8バンドの光学センサ（OPS：Optical Sensor）を搭載している（Fig.1・2参照）。OPSは可視近赤外放射計（VNIR：Visible and Near Infrared Radiometer）と短波長赤外放射計（SWIR：Short Wavelength Infrared Radiometer）の4バンドずつで構成されている。

VNIRのうち近赤外域のバンド3,4は同じ波長帯でバンド3が直下を、バンド4が約15°前方を観測しておりステレオ視による地形の観測が可能になっている。SWIRは資源探査を目的に中間赤外バンドを細分化したもので鉱物等の識別が可能になっている。SARは雲の影響を受けないマイクロ波を照射し、地上からの反射波を受信することにより、天候に左右されずに地表面の特性や起伏（凹凸）を観測することができる。

また、ミッションデータ記録装置（MDR：Mission Data Recorder）を搭載しており地上受信局のない地域のデータを記録し、地上受信局のある地域で再生することにより全地球を観測することが可能となっている。

3. OPS

OPSセンサは、対象物の分光情報と共に画像情報も取得する光学センサの一種で、主に画像の強調処理・反射物のスペクトル特性・形状の特徴による分類処理・時間的変化情報（同じ地域を異なった時期に観測したデータの違いから、その間の変化を抽出する）などの解析に使用される。太陽エネルギーが集中するスペクトル帯域である可視・近赤外域の直接的な反射現象を

観測するため高い分解能を得るのに有利で、非常に広い地域を見渡す概観的なイメージが得られる。

主な利用方法としては、土地利用・森林・環境破壊等の調査や、異常な自然現象の監視、災害発生状況（集中豪雨・洪水・地滑り・火山災害・雪害・森林火災等）及び災害からの復旧・回復状況等の調査に使用されている。

3. 1 概要

VNIRは、可視域の緑と赤の波長帯と近赤外域の波長帯のセンサで構成されている。SWIRは近赤外1バンドと、ランドサットのTM（Thematic Mapper）バンド7と同じ2.0～2.4 μ mの中間赤外（短波長赤外）波長帯を細分化した3バンドで構成されている。これらの観測幅は75kmで、像面走査（pushbroom）方式を採用しており、一列に並んだ4096個のCCD（Charge Coupled Device：電荷結合）素子が、それぞれ地上の画素に対応し衛星本体の移動により走査し、分解能は18mとなっている。この方式は走査範囲が光学系の視野角により決まるために狭い反面、信号積分時間が長いと高い分解能が得られる。

3. 2 画像表示方法

観測データには、CCDセンサの各素子間の感度特性のバラツキや、地上と衛星の間に存在する大気の影響による歪など様々な補正が加えられる。また、衛星の軌道と地図上の座標系がずれている為に、必要に応じて幾何補正を行い画像座標を地図座標に変換して再配列する。

観測データを画像として表示させる方法には2通りあり、それぞれ擬似カラー（Pseudo color）表示、合成カラー（False color）表示と呼ばれている。

擬似カラー表示は、特定の1つのバンド帯の輝度レベルを幾つかの分布範囲に分割し、それぞれ違う色で表示させる（カラースライスと呼ばれている）方法で濃淡情報の強調手段の1つとして良く利用されている。

合成カラー表示は、3つまたは2つのバンド帯の輝度レベルを色の3原色（R,G,B）にそれぞれ割り当てる方法で後述するマルチスペクトル分類等に利用される。この表示では、一般的に可視域の緑と赤のバンドにそれぞれ青と緑を割り当て、近赤外のバンドに赤を割り当てる為に、近赤外域の放射が強い植物が赤色に発色する。この為、赤と緑のバンド割り当てを逆にして植物を緑色に発色させる（True color）場合もある。

これらの表示においては物理的なカラー空間は、人間の色彩感覚の3要素（色相：Hue, 彩度：Saturation, 明度：Intensity）を強調することにより見かけ上高分解能で表示される。また、画像演算処理により画像のエッジの強調を行う他、各バンド毎に輝度分布をヒストグラム解析し分布範囲をストレッチすることにより

コントラストを強め分類を容易にすることができる。

3. 3 利用方法

地上被覆の分類には、地表対象物が太陽光の反射に関してそれぞれ固有のスペクトル特性を持つことを前提としたマルチスペクトルデータによる判別法が使われる。この方法は、各画素毎に得られている複数のバンドのデータを使い「多次元の空間（特徴空間）に於いて同様の性質を持つ物質は、同一の点又はその近傍に分布する。」という原理から特徴空間でのクラス分けを自動的に行う方法で、現地調査などで存在が確認されている領域のマルチスペクトル情報をサンプルとして指定し、同じ特性を持つ領域を同一被覆として抽出する教師つき分類（Supervised Classification）が良く使用される。また、衛星データの同時広域性や繰り返し観測性という特徴を生かし、同じ地域を異なった時期に観測したデータの重ね合わせによりその期間の変化を抽出することができる。

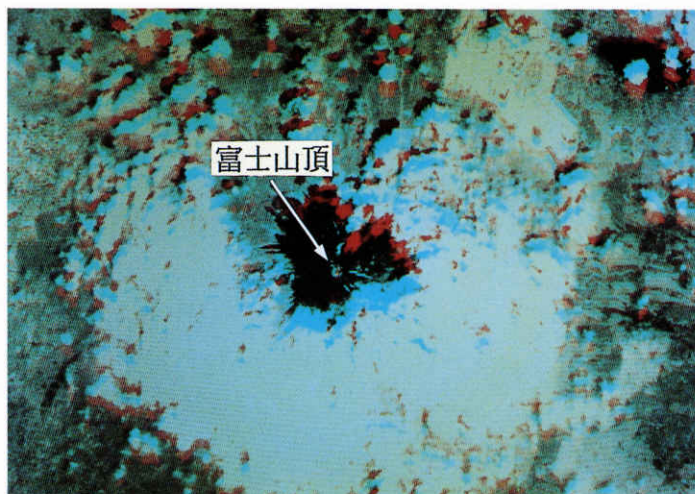


Plate 1 JERS-1 OPS false color composite image of Mt. FUJI with color coding, band 3:blue, band 3:green, band 4:red, on July 29,1992.

VNIRのバンド4はバンド3と同じ波長15°で前方視しており、立体視（ステレオ）画像（Plate 1）が得られる。これは、地質学的形態やデジタル高度モデル（DEM）を得るのに有効に使われる。立体視により地表の標高を求める場合の誤差はOPSでは理論上54~80m程度となるが、実際には100m程度と予想され、既存の地形図が十分整備されていない地域での地図作成等への利用が期待されている。

SWIRのバンド6~8は鉱物資源探査等に有効であるが、火山噴火等により非常に高温になった地表の温度測定にも利用できる。また、この波長帯では地表対象物の含水量により分光反射特性が変化するために、土地被覆分類にも有効に使用することができる。

4. SAR

SARは、能動型のセンサで発振源を内蔵し、電磁波の送信機能と受信機能を持っている。一般のPPIレーダがアンテナの回転で方位方向の走査をするのに対して、衛星や航空機に搭載された映像レーダは、レーダ自体の移動を利用して方位走査をする（斜め下方向へ電磁波を照射するためにSide looking radarと呼ばれている）。能動型のセンサでは対象物との距離の情報が入るために、座標の取り方が光学センサと異なっている。分解能は、波長や距離に関係なくアンテナの1/2になるため6mとなるが、実際にはノイズを減らすためにマルチルック処理（画素を数個重ね合わせるによりノイズを減少させる処理、JERS-1は3ルックのため分解能が3倍になる）が行われ18mとなっている。

SAR画像からは、地質構造（断層の識別）や土地区画の特徴（例えば、新宿高層ビルなどは電波投射方向と建物の向きにより、見えるビルと見えないビルに区分される）等の情報が得

られる。

4. 1 概要

衛星が移動しながらある目標を観測できる距離をdとすると、SARでは、dの距離を衛星が進行する間に数千のパルス送信しパルスドップラー方式により受信信号の位相を記憶して、実質的にdの大きさのアンテナを空間に合成する。このdを合成開口長と呼び、JERS-1では13.9kmとなっている。

電波の反射特性は、波長・表面の粗さ・表面物質の電気的性質により決まり、表面の粗さが波長に比べて小さい時は鏡面反射に近く、大きい時は拡散し弱くなる。このため波長の短い地形の細かい粗さに良い感度を示す。

レーダ電波がどの程度散乱体に進入できるかは媒質中の水分量に関係し、侵入の深さは波長 λ と $\tan \delta$ （ δ は有電体損失角）の比 $\lambda / \tan \delta$ に比例し、波長の長い方が透過性がよくなり侵入の深さは深くなる。JERS-1はLバンド（周波数1275MHz）のレーダを搭載しており、理論的には乾燥した2mの積雪ならば透過して地表面を観測でき、また、砂漠では数mの砂に埋もれた古代の水路を観測できる。

4. 2 表示方法

受信信号データのレーダホログラムからは、ターゲットとレーダの相対運動によるドップラー効果などが取り除かれ、レーダ画像が作成される。画像形成後には地表距離、標高歪などの補正が行われる。

レーダ波の特性として距離が同じ点は同一場所に表示されるために、斜め下方向へレーダ波を照射しているSARでは、対象物の高度による影響を受け位置ずれを生じる。すなわち標高の高い地点Aは衛星からの距離が近くなるため

に、表面上の直下点ではなく衛星からの距離の等しい地点に認識されてしまうことになる。このため地点Aの画像上の位置は近くなってしまふ (Fore shortening)。また、入射方向側の地形の傾斜角がレーダの入射角を越えた範囲では、この間の反射波が衛星からの距離の等しい地点の反射波と重なるために強まり、画像が明るくなってしまい (Layover)、入射方向の逆側で地形の傾斜角がレーダの入射角を越えた範囲では、影となり電波が当たらないために情報が失われて暗くなる (Shadow)。

4. 3 利用方法

SAR独自の画像データ処理は未だ開発されておらず、光学センサと同じ一般的な手法が使われている。表示画像からは断層などが識別でき、都市部ではレーダ波照射方向と建築物との角度により見え方が変わる (両者の直交する場合は反射が強まり明るくなる)。利用方法としては、光学センサ、入射角の異なるSAR画像、軌道が僅かにずれた時の画像との重ね合わせ等のマルチ画像解析が考えられ、それぞれ土地被覆分類や植生解析、ステレオ画像による地形標高の抽出、干渉データによる地表の起伏 (凹凸) の検出等が可能となる。

また、マルチテンポラル画像 (同じ場所を観測した時期の違う画像データに異なった色を割り当てて合成した画像、その間に变化した部分が抽出される) により時刻変化する植生や海水等の解析にも有効に利用できる。

5. 観測データの取得

利用者は、利用目的に適合したデータをデータカタログ又は、クイックルック写真を見て所定の注文書に希望の観測日、観測コード (パス、ロウ) 等を記入して直接あるいは郵送でRESTEC

に申し込む。

データカタログや衛星の運用情報は、宇宙開発事業団 (NASDA) の地球観測センター (EOC: Earth Observation Center) で運用されている地球観測情報システム (EOC-IS: EOC-Information System) により一般公衆回線を経由してパソコン通信で検索することができる。またEOCで受信していない諸外国のデータもRESTECを通じて入手することができる。

データの種類は、電子計算機適合テープ (CCT: Computer Compatible Tape)、写真、フロッピーディスク等があり、CCTには各衛星の観測した1シーン画素毎のデジタル値が記録されており、写真は各衛星データの1シーン毎の白黒及びカラーのフィルムや写真、フロッピーディスクには各衛星データの1シーンから任意の限定した地域を抽出したパーソナルコンピュータ用のデータが入っている。

6. リモートセンシングデータの環境

観測データを環境監視へ効率的に活用できるようにするために、世界各国が協力して各国のデータ保有機関のデータベースをネットワーク化し、オンライン検索により必要な情報を得ることのできるシステム (地球観測情報システム) の構築構想があり、その初期段階として米国のNASAが開発した観測データの所在システム「地球観測データディレクトリネットワークシステム (CEOS-IDN: Committee on Earth Observation Satellites Prototype International Directory Network)」がEOCにあり、1992年12月から運用されている。

7. パーソナルコンピュータによる観測データの解析

これら衛星による観測データはパーソナルコ

ンピュータにより、容易に解析することができる。本セミナーでは、PC-9801シリーズ本体とアナログRGBディスプレイ、光磁気ディスクシステム (MO)、フレームメモリボード (R, G, Bをそれぞれ256階調に表示させ一度に約1678万色を同時発色できる) を使用した。

MOは、多チャンネル観測データを1シーン全て格納することができ、ここから任意の範囲をサンプリングしながらフロッピーディスクに切り出し解析した。プログラムの言語は、光ディスクを使用するデータ部分のみMS-DOSで、その他のプログラムにはDISK-BASICを使用していた。JERS-1の観測資料がまだ少ないために、OPSセンサとほぼ等しい波長帯のあるMOS-1のMESSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer) やLANDSATのTMのデータをかわりに使用して、土地被覆や土地利用に関する実習を中心に行った。

SARに関しては、データの処理技術がまだ確立されていないために、一部を除き画像の見方やデータ使用上の注意点を画面上で確認するのみであった。

実習で使用したデータの使用方法の一例を簡単に述べる。フロッピーディスクに格納されている衛星データはIBMフォーマットで512ピクセル×400ラインが切り出してある。ディスクのサーフェイス0の第1トラック第1セクタの内容を表示させることにより、データの範囲、バンド、日時、などの情報が得られる。データがどのような輝度レベルで構成されているかを各バンド毎にヒストグラムを作成して調べた後、有効な輝度レベルの範囲をストレッチして強調し、カラー映像を合成する。必要に応じて、画像データを地図に合致させるために、地図座標が既知の地上基準点 (GCP: Ground Control Point) を用いて変換する (処理レベルの指定

により幾何補正済のデータも入手できる)。最後に前述のマルチスペクトルデータによる分類 (3.3項参照) を行い画像に表示する。この処理では、現地調査等で存在が確認されている領域を画面上で指定すると、同じマルチスペクトル情報を持つ領域が自動的に抽出されて色別に表示される。この時の表示色は自由に設定することができる。

このような方法で、石垣島の珊瑚や石狩川河口の濁度の減衰パターン、関西国際空港の工事進行状況、小貝川の氾濫および濁水の拡散状況、鳥取砂丘の植被、霞ヶ浦のアオコの発生状況等について画像を使用して解析を行った。八郎潟の土地被覆分類ではLANDSATのTMのデータを使用し、可視・近赤外域の波長帯によるマルチスペクトル分類と中間赤外域の波長帯による分類との比較をした。結果は中間赤外域の波長帯を使用した方が、より細かい部分まで分類できることがわかった。以下の実習例では、事例1~3はLANDSAT/TM (Fig.3参照) のデータを使用した。OPSのバンド1~3はそれぞれTMのバンド2~4に、バンド5はバンド5に、バンド6~8はバンド7と波長帯がほぼ等しい。

Ground resolution	30.0 × 30.0 m 120 × 120 m (Band 6)
Swath width	185 km
TM spectral bands	Band 1 0.45-0.52 μm Band 2 0.52-0.60 μm Band 3 0.63-0.69 μm Band 4 0.76-0.90 μm Band 5 1.55-1.75 μm Band 6 10.4-12.5 μm Band 7 2.08-2.35 μm

Fig. 3 Thematic Mapper Characteristics

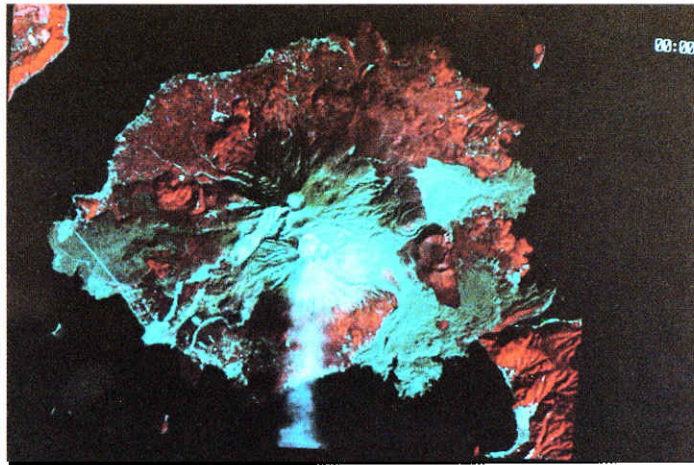


Plate 2 LANDSAT TM false color composite image of Mt.SAKURAJIMA with color coding, band 2:blue,band 3:green,band 4:red, on October 22,1984.

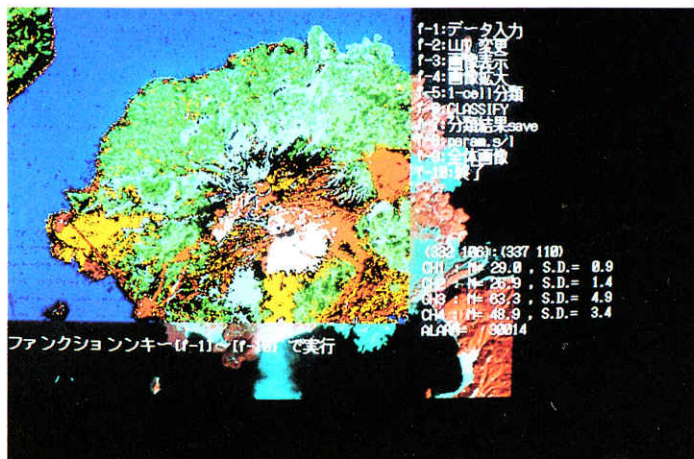


Plate 3 Supervised classification scene of Mt.SAKURAJIMA, on October 22,1984. White and gray area show volcanic ash area.

事例. 1 桜島の火山灰の分布

近赤外域 (TMバンド4の波長帯に対応) で観測される放射は植物からの放射の影響が強く、火山灰からの放射の影響は弱い。このため、植物被覆の上に火山灰が降下すると放射が弱くなる。この性質を利用すれば、降灰の分布を知ることができる。一方TMのバンド2,3の波長帯は可視域のために植物や裸地の放射が弱く両者

の放射の差もあまりない。この為に (R,G,B) にそれぞれ (バンド4:近赤外域, 3:赤色光域, 2:緑色光域) を割り当てた赤外カラー表示 (Plate 2) では、通常の植物被覆地域はバンド4の放射のみが強いために赤くなるが、降灰した植物被覆地域は放射が弱まり暗い赤になる。マルチスペクトル分類画像 (Plate 3) では通常の植物を緑、降灰部分を灰色に設定し分類した。

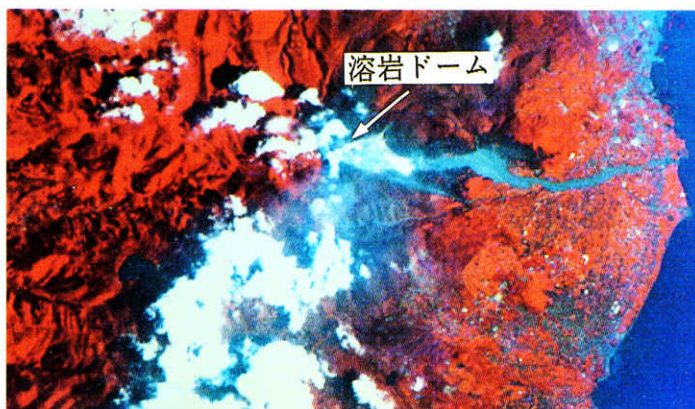


Plate 4 LANDSAT TM false color composite image of UNZENDAKE VOLCANO with color coding, band 2:blue,band 1:green,band 4:red,on August 14,1991.

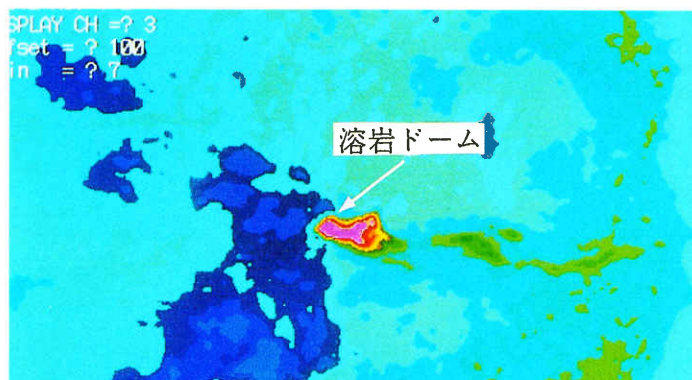


Plate 5 LANDSAT TM 6-Band pseudo color composite image of UNZENDAKE VOLCANO, on August 14,1991.

事例. 2 雲仙普賢岳溶岩ドームの温度推定
一般的に衛星による地表面温度の観測には大気の影響が少ない赤外の窓領域 (10~12 μ m: TMバンド6の波長帯に対応) が用いられているが、高温の地表面温度の推定には高温域に感度がある中間赤外域 (短波長赤外域: TMバンド7の波長帯に対応) が有効である。溶岩ドームの放射成分には、太陽からの電磁波による反射成分の他に、それ自身の熱による電磁波の放射が含まれている。そこで、常温のほぼ同一被

覆物の地域で放射量を測定し、溶岩ドームの放射量から差し引くことにより太陽光の反射成分を取り除き、黒体放射に対応する放射量を推定する。この事例では、溶岩ドームと周辺の常温な同一被覆物 (火砕流跡) の観測値の差から溶岩ドームの熱による放射量を推定した。温度への変換には、バンド7の放射量に対する温度の一覧表を参照した。(Plate4,5 中央の高放射部が溶岩ドーム、東へ延びるやや放射が高い部分が火砕流跡)

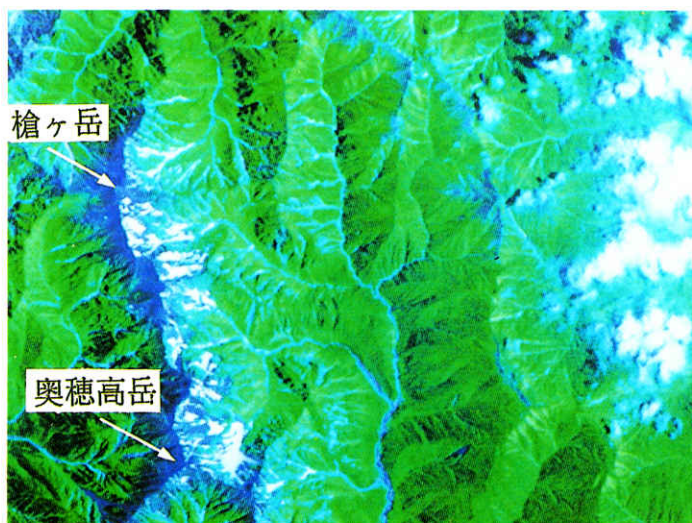


Plate 6 LANDSAT TM true color composite image of KITA-ALPS with color coding, band 1:blue,band 4:green,band 2:red,on July 16,1985.

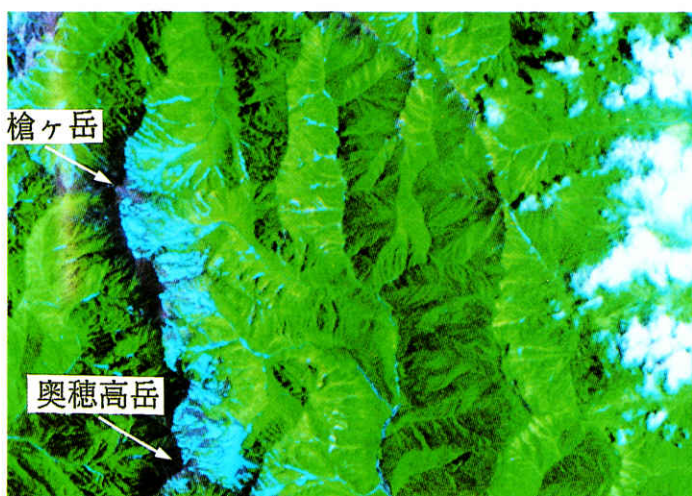


Plate 7 LANDSAT TM true color composite image of KITA-ALPS with color coding, band 4:blue,band 5:green,band 7:red, on July 16,1985.

事例. 3 北アルプスの積雪

可視・近赤外域 (TMバンド1~4の波長帯に対応) では、雲と雪は非常に高い反射率を示すために識別は困難だが、中間赤外域 (TMバンド7の波長帯に対応) では雪の反射率は急激に

減少しているために両者の識別が容易にできる。バンド2~4を使用したカラー表示 (Plate 6) では、積雪の識別は困難だが、バンド4,5,7を使用したカラー表示 (Plate 7) では、槍・穂高岳連峰東側の積雪が水色に抽出されている。

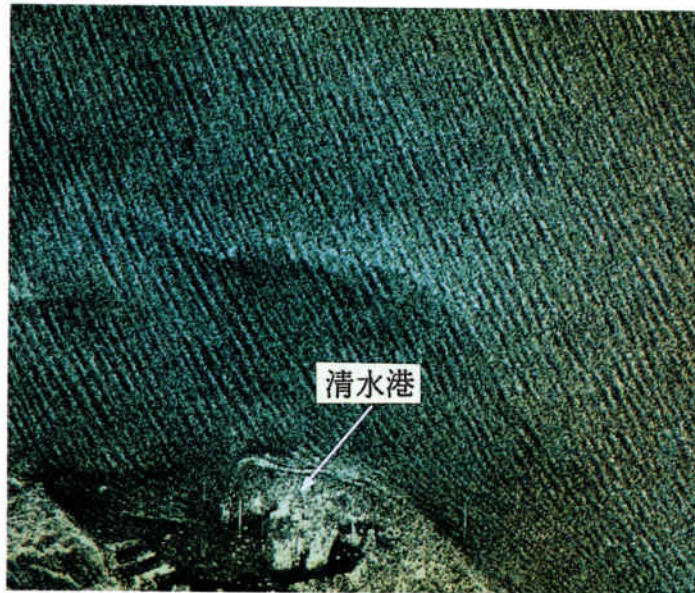


Plate 8 EERS-1 Synthetic Aperture Radar image of SIMIZU BAY, on September 8, 1985.

事例. 4 EERS-1 (European Earth Resources Satellite-1) のSAR画像による波速の推定

EERS-1は、海洋の観測を目的としており、海上の波を画像状の縞模様として識別できる (Plate 8)。縞模様の周期は波の波長を表しているので、画像上で縞の間隔を画素単位で測定し、画素の値を掛けることにより波長Lを測定することができる。波速Cは、表面張力を除けば次式であらわされる。

$$C = \sqrt{\frac{g L}{2 \pi} \tanh \frac{2 \pi h}{L}} \quad (1)$$

T : 周期 (sec) h : 水深 (m)

g : 重力加速度 (9.8m/sec²)

実習では、(1) 式を基にした水深・周期・波長・波速の関係の一覧表を用いて波速を求めた。水深の推定には国土地理院の地形図を使用した。

8. おわりに

本セミナーにより、静止気象衛星とは異なるチャンネルを搭載している極軌道衛星によるリモートセンシングの一般的理論と解析手法を知ることができた。今回の研修の中にも雲仙普賢岳や桜島等の火山観測、洪水の解析、海上の波の観測など、気象庁の業務に関連した事例が幾つかあったが、今後の解析手法の改良等によってはさらに有用な情報を得られる可能性がある。

静止気象衛星もGMS-5号から水蒸気チャンネルや赤外スプリットチャンネルを搭載し、センサが4チャンネルとなる。気象衛星センターではこれらのチャンネルのデータによる雲型の

判別や雲頂高度の算出等の調査・研究が行われてきており、マルチスペクトル情報の解析が必要になってきている。これらの調査・研究に研修結果を利用していきたいと考えている。

参考文献

- 日本リモートセンシング学会出版委員会、1989：パソコンによるリモートセンシングデータ解析。
- リモートセンシング技術センター、1992：パーソナルコンピューターによるリモートセンシングデータ解析実習。