

地球資源衛星1号(JERS-1)を利用した プログラムとその成果

平成11年5月

宇宙開発事業団
財団法人資源・環境観測解析センター

平成 11 年 5 月 17 日

1. まえがき

地球資源衛星1号(Japanese Earth Resources Satellite - 1: JERS-1)は2台の高分解能映像センサ(合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar:SAR)と光学センサ(Optical Sensor system:OPS))を搭載し、1992年2月11日に打ち上げられた。1998年10月12日に電源系の故障により運用を終了した。途中、一部機器の不具合による性能劣化があったものの、設計寿命の3倍を上回る6年半もの運用がなされた。この期間における全取得データ量はSARで746,199シーン、OPSで344,525シーンに及んだ。これは、地球全陸域の約97%をSARで、約63%をOPSで観測したことになる(表1参照)。

衛星打ち上げ以降、宇宙開発事業団(NASDA)と通商産業省(MITI)では共同でJERS-1システムの検証と、JERS-1データの土地利用、資源、海洋、植生、防災、雪氷等の9分野について有効性を評価した。NASDAは内部研究として、主に土地利用、防災(特にSARインターフェロメトリの応用)、雪氷、植生等の分野について有効性を評価した。一方、MITI(及び関連機関)は主に資源分野における実利用への有効性を評価した。

本成果報告書は、上記JERS-1データの有効性の評価を整理したものである。2節ではJERS-1プログラムの概要を解説し、3節及び4節でJERS-1データ利用の成果をまとめる。

2. JERS-1プログラムの概要

2.1. 衛星及びセンサについて

JERS-1には1)マイクロ波の合成開口レーダー(SAR(波長23.5cm))、2)可視近赤外及び短波長赤外センサ(OPS)、3)観測データを衛星上で蓄えるテープレコーダ(MDR)、そして4)観測データを地上に送信するミッションデータ送信装置(MDT)が搭載された。センサの地表分解能はともに18m(より正確には、SARは3ルック処理で得られる値、OPSはクロストラック方向の値、OPSのアロングトラック分解能は24m)であり、世界ではじめてマイクロ波、光学を用い両面での高分解能観測を可能とした(表2参照)。SARは衛星進行方向右側の75kmの幅を観測し、OPSは直下75kmの幅を観測した。残念ながら両センサの同時観測はできないが9日の差でデータ取得は行えた(緯度によって異なる。9日は中緯度地域の値)。光学センサの特徴はバンド3と4で同一軌道内ステレオ観測機能を有し、ステレオ視による画像判読ができること、地形の高度情報がされること、さらに短波長赤外を複数のバンドで構成し、特に資源探査に有効なことがあげられる。また、SARの特徴は、入射角が約35度と大きく、地形によるひずみ

が小さいこと、Lバンドのため熱帯雨林地域など植生が密な地域でも地表状況の情報が得られることなどがあげられる。衛星は図1に示すように打ち上げ時重量1.3トンの箱形であり、長さ8mの太陽電池パドルの発生する電力は約2kWに及ぶ。衛星は高度約568mを飛行し、地球を約96分で周回する。一日あたり約15周地球を周回し、44日で地球全域を観測する。

2.2 衛星運用について

JERS-1はOPSとSARの初画像をそれぞれ1992年3月12日、4月15日に取得し、同年5月初頭に、定常運用を開始した。以降、1998年10月12日に寿命を全うするまでの約6年半に大量の観測データを取得した。設計寿命である2年の約3倍以上生きたことになる。運用停止の直接的原因は太陽パドルと本体の電源供給結合部が長期にわたる宇宙線の被災を受けコーティング材が劣化、クラックが発生、そして最終的に電気的な短絡現象に至ったものと推定された。長期運用の間に搭載機器は以下のようないくつかの故障を生じた。1) SARのアンテナ内放電により画像にゴースト現象が現れる不具合が発生し、これをさけるために送信電力を1/4に下げた(送信電力を325Wにして1992年9月18日運用再開)、2) 3台ある送信アンプの内1台が機能停止したが、バックアップ送信機で補填した(1993年10月31日)、3) OPSは冷却器の機能停止によりSWIRを運用停止させた、4) MDRの経年劣化により運用停止にいたった(1997年9月)等の問題の発生。しかしながら、予想を上回る長期運用の間に得られた多くの観測データはなにもまして地球観測の基盤拡大に有効である。参考のためにJERS-1プログラムの主たるイベントを表3に示す。

2.3 システム検証について

システム検証とは衛星システムが設計当初のミッション目的(測ろうとしたこと)を達成しているか否かを、センサの観測データと地上データを解析し確認することである。同時に、新しい知見を得ることも目的としており、日本では海洋観測衛星1号(MOS-1)以降行われている。JERS-1システム検証はNASDA-MITIの共同作業として実施し、1990年11月に研究テーマを国内外から幅広く募集し、合計249名の研究テーマの採択を行った(日本人87人、外国人162人)。研究テーマは地質、エネルギー資源、農業森林、海洋湖沼、地形情報等であった。これらの研究成果に関して中間報告会を1993年8月に、最終成果報告会を1994年12月に実施し(いずれも、東京)、研究報告書を1995年3月に発行した。この中では、研究者の研究報告が束ねられており、当時の研究内容に目をふれることができる(参考文献4参照)。表4に当初想定されたJERS-1の有効分野とその評価結果を示す。本表は、JERS-1システム検証、NASDA内部研究、通産省の研究を整理したものである。この結果、JERS-1で特に有効な分野として、1) SARインターフェロメトリによる地殻変動、DEM抽出、2) SARによる熱帯雨林、北方林等の植生モニタリング、3) OPSやSARステレオ手法による高度情報抽出、4) SARとOPSを組み合わせての資源利用があげられる。参考としてSARに関する評価結果について、ERS-1との比較結果も併せて示す。

2.4 校正検証について

校正とは成果物内容を正しく工学値(OPSの検知する光の強さやSARが計測する地表面の反射係数)に変換できるように、センサや処理装置の特性を評価したり、入出力特性を明確にしたりすることである。そのため、特性の分っている地上設置型あるいは航空機搭載型機器をセンサと同期して使用する。SARの校正是地上に設置したコーナー反射鏡やトランスポンダーを用いて年約3回の割合で実施した。校正係数の一覧はEORCのホームページ上(<http://www.eorc.nasda.go.jp/JERS-1/>)で見ることができる。

OPSについては、ジェット推進研究所(JPL)の所有する校正済み航空機搭載光学センサとの同期実験を米国カリフォルニア州の砂漠を共通の観測対象物として実施した(1992年8月以降2年間に亘って合計4回実施、参考文献5参照)。

2.5 世界各国における受信状況

JERS-1データの受信局は当初、宇宙開発事業団・地球観測センター(EOC)とアメリカ航空宇宙局(NASA)・アラスカSAR施設ASFの2局だったのが、運用終了時にはフチノ局、キルナ局、トロムセ局、タイ局等、16局に増大した(図2参照)。はじめの2局は直接観測データの受信のみならず、MDRの再生データの受信が可能である。ASFはJERS-1の取得する世界規模のデータを効率的に収集する目的で極域に位置しており、ここで受信されたデータはEOCに空輸された。その他は直接受信のみが可能である。ハワイ、タスマニア局は比較的新しい局である。

2.6 データ処理とその配布

希望者の要求に基づきEOCでは観測要求の立案、観測データの収集、処理を行い要求者に配布する。これまでに、SARは67,825シーンの処理提供を、OPSは49,530シーンの処理提供を行った。外国局ではその受信カバレッジ内のデータについて処理配布を行った。(財)資源・環境観測解析センター(ERSDAC)では、SAR/OPS各30シーン/日のデータ提供を受け、主に資源解析技術の開発、環境調査への応用技術の開発を実施した。

3. 宇宙開発事業団・EORCにおけるJERS-1利用成果について

1995年春、宇宙開発事業団・地球観測データ解析研究センター(EORC)が六本木に設立され、JERS-1サイエンスプログラムがスタートした。そこでは、JERS-1システム検証の中からより効果が期待される、1)森林観測と関連する物理量の抽出、2)干渉処理の2点を研究テーマとして絞ったが、それ以外にも、JERS-1 SAR/OPSの利用に関する研究を実施した。研究は国内外の主研究者と共同実施した。本プログラムの中で得られた成果は幅広く発表することを心がけており1995年以降数多くのCD-ROMを発表した。また、JERS-1に関する情報はEORCのホームページ上でも公開している(2.4項記述URL参照)。

3.1 SAR インターフェロメトリ

SAR インターフェロメトリはわずかに異なる 2 つの軌道から観測した信号の位相差を利用して、1) 地形高度、2) 地殻変動量、3) 土地利用変化、そして 4) マイクロ波遅延と関連の深い水蒸気分布量を求めるものである。近年大いに注目を集める処理法である。観測の精度は周波数のみならず、観測時期の違い、SAR の送信帯域幅などに関係する。日本のように植生に覆われている地域で地形高度や地殻変動量を SAR インターフェロメトリから求めるには、L バンドを有する JERS-1 SAR から多くの成果が期待でき、本項目を NASDA は基幹研究の一つとして位置づけた。

干渉処理画像の品質は軌道間隔、信号品質、観測物の時間変化に依存する。JERS-1、ERS-1/2、RADARSAT のような 1 つの衛星を回帰して用いるリピートパス干渉処理では観測対象物の時間変化が一番の問題である。C バンド信号(波長 5.6 cm)では反射が主に木々の表面で行われるため、季節による時間変化が大きく、一方 L バンド信号(波長 23.5 cm)では反射が地面で行われるために時間劣化は一般的に少ない。これが阪神淡路の大震災の地殻変動を 2 年 6 ヶ月離れた JERS-1 SAR 画像から抽出できた理由である。ランダース地震地殻変動図は CNES のマソネラによって C バンドレーダーで求められたが、これは観測対象地が時間変化の少ない砂漠地帯であったことによると考えられる。添付図は、JERS-1 SAR のインターフェロメトリ処理から得られた阪神淡路の地殻変動分布図(図 4)と富士山の高度情報(図 5)である。前者は 1.7 cm の精度で地殻変動量を、後者は 31m の精度で高度情報が得られた。L バンドが C バンドに比べ劣る点は「高さ方向の分解能」だけである。

SAR インターフェロメトリは地殻変動(地震、火山噴火)だけではなく、氷床の移動、氷河の変動等のモニタリング、研究に積極的に活用されている。また、SAR インターフェロメトリの副産物である相関係数は、2 時期の植生の活性度を示すことが報告されており、植生指標の一部としての利用が増えてきた。現在、SAR に関するワークショップをのぞいてみると発表件数にしめるインターフェロメトリの割合は非常に大きい。JERS-1 SAR を用いたインターフェロメトリとしては、阪神淡路を始め、鹿児島県薩摩地方、岩手山近辺、ノースリッジ、サハリンなどで起こった地震による地殻変動の抽出と、比較的多くの例をみることができる(参考文献 6)参照)。

3.2 SAR による熱帯雨林、北方林モニタリング

高さ 60m にもなる広葉樹林がところ狭しとはびこり動植物の宝庫となっている熱帯雨林は地球の赤道帯を中心としてほぼ緯度 ±10 度の間で広がっている。主たる分布地域は南米アマゾン、東南アジア、中央アフリカの 3ヶ所。その総面積は合計 24,000,000 km² を越える。熱帯雨林の減少はブラジルロンドニア州で顕著に見られる。熱帯雨林は大気中の二酸化炭素の吸収源でもあり、熱帯雨林の減少による大気中二酸化炭素の増加は気温上昇の要因の一つである。毎年減少する熱帯雨林は日本の半分とも言われており、衛星を使用したモニタリングは非常に重要である。高温多湿な熱帯性気候のために、ほとんどが雲、雨でおおわれており光学センサによる観測は困難である。L バンド SAR は雨、雲による減衰はほとんどなく熱帯雨林の観測が可能である。

地球温暖化に関係が深いといわれる熱帯雨林地域及び北方林地域を L バンド SAR で観測し、そのモザイク画像の作成および植生分類を目的とし、NASA(ASF: アラスカ SAR 施設、JPL: ジェット推進研究所)、JRC(ジョイントリサーチセンター)との共同研究を開始した(1995 年)。NASA は乾季雨季のアマゾンを、JRC は乾季雨季の中央アフリカを、NASDA は東南アジアを担当領域とした。上記の対象地域において JERS-1 SAR による集中観測を 1995 年に開始し、アマゾンは 1995 年 9 月～1996 年 8 月、中央アフリカは 1996 年 1 月～1997 年 1 月、東南アジアは 1996 年 3 月～1997 年 2 月まで MDR を用いて観測した。JERS-1 軌道は毎日西へ移動してゆき(赤道上で約 60 km)、広い領域をほぼ同じ時期に観測できる。熱帯雨林に続き北方林観測が 1997 年に開始された。北方林としては、4) 北アメリカからアラスカにおよぶ北米大陸、5) 東、中央、西シベリア、6) 北部ヨーロッパを含む広大な領域である。モザイク作成は、NASDA、ASF、JPL、JRC が分担して実施し、1999 年 5 月現在ではアマゾンの乾季雨季、中央アフリカの乾季雨季が完成している。1999 年からは東南アジアのモザイク処理を実施する予定である。引き続き、北方林のモザイク処理に着手の予定である(参考文献 6)参照)。

L バンド信号は C バンド信号に比べて波長が長く森林に対する透過性が強い。木々は波長数 cm～数 10cm の葉、もう少し大きな枝、幹で構成される。電磁波は波長と同程度のものからより強く散乱する。C バンドで森林を観測した場合はほとんどが葉の表面から散乱されるのに対し、L バンドは、葉、枝、幹、地面から散乱される。つまり、L バンドでは植物全体を包み込むように反射信号が得られ、その結果、植物量(バイオマス量)推定が可能となる。L バンドレーダーを用いた植物量の推定は、JERS-1 のシステム検証以降、欧米、国内で行われており、L バンドの観測量とバイオマス量の実験式が得られている。他のレーダー波長を使用した研究も行われるが、C バンドではバイオマス量の推定は困難との見方が共通している。乾季雨季の 2 種類の画像から合計 5 種類(森林、山岳植生、河川、市街地、洪水域等)の利用分類と植生量の推定が可能である。図 6 にアマゾンのモザイク画像、図 7 に植生分類図を示す(その他の成果については参考文献 6)参照)。

3.3 SAR による流氷モニタリング

マイクロ波を用いた SAR では氷と海面における後方散乱係数が大幅に異なっており(氷が大きく、海面が小さい)、海面を漂う氷の識別が可能である。JERS-1 の軌道は極軌道をとっているため、北極、南極付近は軌道が重なっており、日々のデータの重複する範囲が広いため、差分処理により氷の移動量を計測することができる。図 8 はこのようにして求めた氷移動分布の一例である。赤は静止、青は 1 km/日の移動量を示す。場所はベーリング海の中央部北緯 73.253 度、西経 149.54 度近辺である(Path 633-176: 観測日は 1992 年 9 月 23 日、1992 年 9 月 24 日である)。図中移動ベクトルが回転する場所が見られる。これは氷の回転と解釈できる。観測の継続により、さらに広い海域全体での氷の移動分布がわかる。MDR 運用の制約により、極地方での記録データはあまり多くない。しかし、SAR のリアルタイム運用が多く行われた ASF の受信範囲内で毎日の受信データを比較処理することで流氷の流れをモニタリングできる。流氷は温度ゼロの塊であり、その移動量は気候変動モニタリングに貢献する。

3.4 SAR OPS による土地利用分類(植生分類)

SAR と OPS(植生指標)の組み合わせにより森林と芝生の分類精度は向上できる。しかし、都市域の分類研究では、余り結果は芳しくなかった(資料 2 参照)。また、SAR 単独でゴムの木、稻作、油椰子の散乱特性を用いた分類研究では、植物毎にその散乱強度と植物の高さ、バイオマス量との関係を計測し、比較的明確な関係があることがわかった。更に、異なる時期の複数の SAR 画像を組み合わせることにより土地利用分類が可能であり、八郎潟をテストサイトとしての分類精度を評価すると JERS-1 SAR の分類精度が ERS-1 のそれに比べて良かった。

3.5 OPS ステレオ手法や SAR ステレオ手法による高度情報抽出

衛星画像を解釈する上で地形高度は大きく影響する。たとえば、SAR ではフォアショートニングによる幾何学的なひずみ、また、入射角が標準楕円体と異なることによる後方散乱断面積の差(極端な場合、5 dB にも及ぶ)となって現れる。光学センサでも幾何学的なひずみを生じる。その結果、画像判読、画像分類を実施する上で障害となり、これらの地形ひずみを補正する意味でも地形高度情報が要求される。

OPS のバンド 3 と 4 は軌道面内で 15.3 度の角度差がある。このステレオ視により得られる高度情報(Digital Elevation Model: DEM)の精度は画像の空間分解能と角度差に依存し、JERS-1 OPS では理論的には約 80m となる。データ処理技術の向上によりこの精度は 50m まで向上している。本技術により作成された DEM を用いた鳥瞰図の例(博多市)を図 9 示す。

光学センサによるステレオ視は OPS 以外に SPOT HRV、ADEOS AVNIR でも可能であるが、SPOT では最低 2 回晴天画像が必要なのに対し、OPS では 1 回でも晴れていればステレオ画像が得られるのが強みである。全世界平均して約 20% しか晴天データはないことから、2 回の晴天データを得る確率は数パーセント以下とかなり低くなる。

現在、全世界の DEM を整備する動きがある。特に、南米アマゾン、東南アジアは DEM がそろっていないため OPS の貢献は期待できる。しかしながら、最大の問題は雲である。ペルーの山岳部熱帯雨林を観測したデータは 1,000 シーンであったが、晴天画像はわずか 6 シーンしかなかった。これに対して SAR のステレオ処理による DEM 抽出が期待できる。JERS-1 SAR の連続した 2 シーンは入射角が 2~3 度異なる。このわずかな差を利用して DEM が抽出できる。精度的には光学センサに比べて落ちるが天候に関係しないために、特に熱帯地域における DEM 作成には有効である。図 10 にステレオ処理で得た DEM を用いた日光、男体山、中禅寺湖近辺の鳥瞰図を示す。

3.6 OPS ステレオ視による海上交通分類

OPS のバンド 3 と 4 は衛星進行方向に 15.3 度角度差を有しているために、観測時間には約 22 秒の差がある。海上を航行している船舶は、この間、数百メートル移動する。OPS の分解能は 24m であり、この移動距離差を検出すれば、海上交通の把握が可能となる。東京湾の一例が示された(図 11 参照)。実用化に関しては、評価対象となる船舶を自動的に識別できるかどうかに依存する。

3.7 SAR による海洋波浪スペクトラムの検出

SAR 画像の二次元周波数解析により海洋波浪スペクトラムの抽出が行える。波浪スペクトラムは海上風と関連がある。しかしながら、SAR の散乱強度は海面の荒さと関係しており、風速 10 メートル以上の強風下においてしか JERS-1 SAR の海面画像は得られない。図 12、13 は、台風の接近時の海洋波浪スペクトラムから求められた波の方向の二次元方向分布図である。併せて、NOAA の画像を表示するが、両者のパターンが類似していることが確認できる。

3.8 SAR/OPS による海上オイルの検出(災害モニタリングとして)

海上オイルの検出はデータ取得条件に依存し、可能な場合とそうでない場合に分かれた。OPS では全階調が 64 と低く、SAR でも送信電力が通常の 1/4 と低いことが不成功の理由と思われる。たとえば、英國シェトランド島沖合イタンカー座礁事故(1993 年)、米国サンタカタリーナ島沖合海底油田からの油流出、インドネシア沖合イタンカー座礁による油流出の検出試行はいずれも不成功に終わった。一方、ナホトカ号のオイル流出(1997 年)(図 14)、メキシコ湾のオイル流出、ダイヤモンドグレース号からのオイル流出確認が SAR、OPS でも行われており、検出可能性はデータ取得条件に大きく依存する。C バンドの SAR では海上汚染オイルの抽出ができたとの報告がある(例 RADARSAT、ERS-1/2)。ともに送信電力が 5kW と高いことが要因の一つであろう。

4. 通商産業省/ERSDAC における JERS-1 利用成果について

通商産業省/(財)資源・環境観測解析センター(ERSDAC)では、石油資源探査及び鉱物資源探査などに対する JERS-1 SAR/OPS データの利用技術開発を実施してきた。

4.1 石油資源探査

JERS-1 打ち上げ後、JERS-1 SAR/OPS データを使ってリモートセンシング技術の石油・天然ガス探査への応用が積極的に行われてきた。石油・天然ガスは地下深部に埋蔵しているため、衛星データのみで石油探鉱を行うことは出来ないものの、地質情報・各種探査データ(物理探査、地化学探査等)と組み合わせることにより、次のようなデータ利用がなされてきた。石油探鉱において JERS-1 SAR/OPS データを使用する最大の利点は、一度に広大な地域の主要地質現象を一様な観測条件のもとで迅速に、しかもかなりの精度で判読できることである。これにより、探鉱活動に重要な地質構造図の作成において、断裂系と褶曲構造の摘出に最大限応用できることである(図 15)。具体的には、堆積盆地の炭化水素賦存ポテンシャルの評価を行う際に、対象地域が発展途上国など既存の地質資料が乏しい場合、画像を用いた地質評価や先行する地質調査への基礎情報提供などの手段として有効利用されている。また、石油探鉱に不可欠な地震探査データを取得するには、地質的・地形的及び環境的な面で種々の制約がある。このため事前にこれらの情報を把握し、調査地域に最適なデータ取得法を立案・計画することが重要であるが、この方面においても JERS-1 SAR/OPS 画像データで広域的に取得された調査地の種々の情報は、調査計画立案に効率的に利用されている。

陸域で石油の生産されている地域では、しばしば地下における石油の存在を示す天然徵候である油微(oil seepage)が地表に認められるが、海域においても同様な現象が生じ、オイルスリック(oil slick)として知られている。SARデータでは気象・海象面の制約があるものの、この現象が捉えられることが知られている。欧米のいわゆるメジャーと呼ばれる世界的な石油開発会社においても、その成果を公表しないものの、オイルスリックは海底堆積盆地の石油・天然ガス胚胎の可能性を推定する一つの手段として石油探鉱に利用されている。JERS-1 SARデータにより、石油・天然ガスのポテンシャルが高いといわれている日本海、メキシコ湾等でオイルスリックが捉えられている(図 16)。

4.2 鉱物資源探査

鉱物資源探査に応用される衛星データは大きく形態情報とスペクトル情報に分けられる。形態情報は水系パターン、浸食度(形態)、テクスチャなど写真地質学的手法の基礎をなすものであり、地質構造解析に主に利用される。スペクトル情報は岩石表面の固有の色や金属鉱床形成に伴う変質鉱物(粘土鉱物)のスペクトル吸収特性などから岩質判別に利用される。JERS-1 OPSのSWIR(短波長赤外域)は変質鉱物の分類を目的として、 $2.0 \sim 2.4 \mu\text{m}$ 帯を3バンドに分けてデータの取得をしている。SAR/OPSデータを利用した鉱物資源解析手法の有効性については、気候帯、鉱床タイプにより評価した(参考文献 3)参照)。

1) 気候帯別評価

乾燥～半乾燥地域:

乾燥～半乾燥地域は、植生が疎で岩石の露出地域が多いため、OPSによるスペクトル解析は岩相識別の最も有効な手法として用いられ、鉱物資源探査に利用されている。また、SWIRデータは変質鉱物の同定を可能にしている。

寒～温帶地域:

日本の様な温帶地域では植生に広く覆われ、また、寒帶地域では冰雪等により地表が直接露出しないことが多い。このように地表が露出しない場合には、OPSによる岩相識別及びスペクトル解析は困難である。しかしながら、地質構造に代表される形態情報の取得は可能であり、地域の情報源としての利用がなされている。

熱帶雨林地域:

雲量の少ない画像を得るチャンスは非常に少なく、また、植生が密で地表の露出する地域が殆どないため、OPSによる岩相識別及びスペクトル解析は困難である。従って、雲や密な植生を透過することが可能なSARを使用し、主として地質構造判読により、鉱物資源胚胎の関連性の高い構造の抽出を行うとともに、浸食によって形成される特徴的形態から岩相識別にも利用される。

2) 鉱床タイプ別評価

ケーススタディの結果より、①ポーフィリー型銅鉱床、②熱水性金鉱床、③塊状硫化物鉱床、④スカルン型鉱床等は変質鉱物を伴うとともに、鉱床形成の過程で形成される地形、裂化などの特徴が現れることから、OPSとSARの利用により抽出できる可能性が確認されている。

3) センサ別評価

OPS:光学センサによる変質帯抽出解析は岩石が直接露出している地域においてその能力が最大限に発揮される。JERS-1 画像 1 シーン当たりの観測幅は 75km と LANDSAT TM の半分以下で、広い領域の解析には複数枚画像を結合させるためモザイク処理が必要となり、作業が煩雑となる場合がある。JERS-1 OPS の SWIR(短波長赤外域)はスペクトル分解能が約 100nm で 4 バンドを有し、この利用により TM 等の従来センサよりも変質帯識別能力がより優れていると判断された。

SAR:乾燥地帯など OPS が有効に利用できる地域では SAR の情報量は OPS と比べ少ない。その反面熱帶雨林など常時雲量の多い地域では、透過性のある SAR データが有力な地表情報を提供する。また、JERS-1 の L バンド SAR データは密生した林であっても 10% 前後ではあるが透過が確認され、地表情報をよくとらえるため、植生地域などにおける地質構造解析の主要な手段となる。またこのような植生の密な地域においても地形の特徴から岩相境界を抽出できる。しかしながら、地形起伏の大きい地域に見られる SAR 画像特有のフォアショートニング等に対する対応は完成されておらず、画像を解釈する上で注意を要する。(図 17、図 18)

4.3 資源探査用データセットの作成

石油・ガス資源、鉱物資源の賦存有望地域において、鉱区の取得やプロジェクト参入などの意思決定前の検討に貢献することを目的として、JERS-1 データを用いたデータセットの整備を進めている。これは JERS-1 画像をモザイク処理、地図投影処理を施し、国際地図規格にあわせて、数種類の縮尺の画像を作成・整備したものである。平成 10 年度までにインドシナ地域、カリマンタン島北部、パプアニューギニア島及び南米エクアドル地域における JERS-1 SAR を用いたデータセットが作成済みである。このうちインドシナ地域の作成範囲を図 19 に示す。この範囲では、JERS-1 SAR 画像 600 シーンを用いた。

5. 結論

JERS-1 は世界初の光学、マイクロ波両面による高空間分解能観測システムであり、打ち上げ以降、各種試験的な利用や実利用への研究が進められてきた。本資料は、特に有効性が確認された点を整理した。1) SAR インターフェロメトリ、2) SAR による森林監視、3) OPS による DEM 作成、4) OPS 及び SAR による資源開発への有効利用である。残念ながら、SAR、OPS ともに打ち上げ後機器の故障が続き、本来の性能が発揮できなかった(SAR では送信電力の劣化、OPS では縞の発生と SWIR の故障)。本来の性能通り動作すれば、更に多くの成果が得られたものと思われる。地球観測データの有効利用が強く求められている昨今、本誌で整理した点をもとにさらに利点の多い衛星システムの開発が望まれる。

6. 参考文献

- 1) 宇宙開発事業団、通商産業省、「平成6年度、JERS-1システム検証成果報告書」、平成7年3月31日発行
- 2) 島田、ほか、「JERS-1システム検証結果について、「電子情報通信学会技術研究会報告」、平成7年2月23日、SANE94-92/100、信学技報、Vol.94, No. 516, pp. 1-6.
- 3) 通商産業省、資源エネルギー庁、「金属鉱物資源探査のための JERS-1 データ利用マニュアル」、鉱物資源探査技術開発調査、資源衛星による探査技術開発、総括報告書、平成8年3月
- 4) 宇宙開発事業団、通商産業省、「Final Report of JERS-1/ERS-1 System Verification Program」Vol. 1/2 1995年3月
- 5) 宇宙開発事業団、通商産業省、「JERS-1 情報交換会議発表資料集」1993年8月
- 6) 宇宙開発事業団、「JERS-1 Earth View」1999年3月

表1 データ取得率一覧

センサ名	シーン数	全陸域に対する取得率	備考
SAR	49,280	97.04%	重複なし・陸域・EOC保存
OPS	32,525	62.97%	重複なし・陸域・EOC保存
OPS	18,553	35.92%	雲量率30%以下(重複なし) ・陸域・EOC保存
SAR	746,199		運用全数
OPS	344,525		運用全数

表2 JERS-1の基本的仕様

波長	SAR 23.5 cm	OPS 可視近赤外(4バンド、うち1バンドはステレオ視)、 短波長赤外(4バンド)
入射角	38度	ステレオ視機能、前方視(15.3度)
偏波	HH	
観測幅	75 km	75 km
データレート	60 Mbps	60 Mbps
量子化数	3ビット(I/Q)	6ビット
分解能	18m(3ルック)	18 m × 24 m(クロス×アロングトラック方向)

表3 主なイベント

番号	項目	年月日	備考
1	打ち上げ	1992年2月11日	
2	OPS 初画像	1992年3月12日	
3	SAR 初画像	1992年4月15日	SARアンテナ展開(4/4)
4	運用開始	1992年5月初頭	
5	SAR 送信機を一台に減らす	1992年9月18日	放電からの回避
6	SWIR の運用停止		冷却器の不具合
7	PI 成果報告会中間報告	1993年8月15日	工学院大学
8	SAR 送信機一台故障	1993年11月2日	短絡
9	PI 成果報告会(最終報告)	1994年11月29, 30日	芝パークホテル
10	干渉処理による阪神淡路	1995年2月	
11	熱帯林観測始まる	1995年9月	
12	北方林観測始まる	1997年1月	
13	MDR 不具合	1997年9月	1997年11月に機能停止
14	衛星機能停止	1998年10月12日	運用終了

表 4 有効性比較表

観測項目	JERS-1 SAR	ERS-1 AMI(参考)
SAR 干渉	◎	◎
森林監視	◎	○
砂漠識別	×	○
水圏土壌水分	○	○
海洋湖沼(波浪スペクトラム)	○	◎
トポグラフィー	○	○
オイル流出(環境汚染)	○	◎
土地利用(識別)	△	△
資源利用	◎(SAR と OPS の組合せ)	

凡例

(出典:参考文献 4)より一部改編

◎有効性が特に認められたもの

○有効性が認められたもの

△有効性が条件により認められたもの

×有効性が認められなかったもの

注 1)AMI:Active Microwave Instrumentation

注 2)システム検証では ERS-1 も同時に行ったために、その評価結果も併せて示した。



図 1 JERS-1 衛星外観図

■ Coverage map

JERS-1 Ground Stations and its coverage

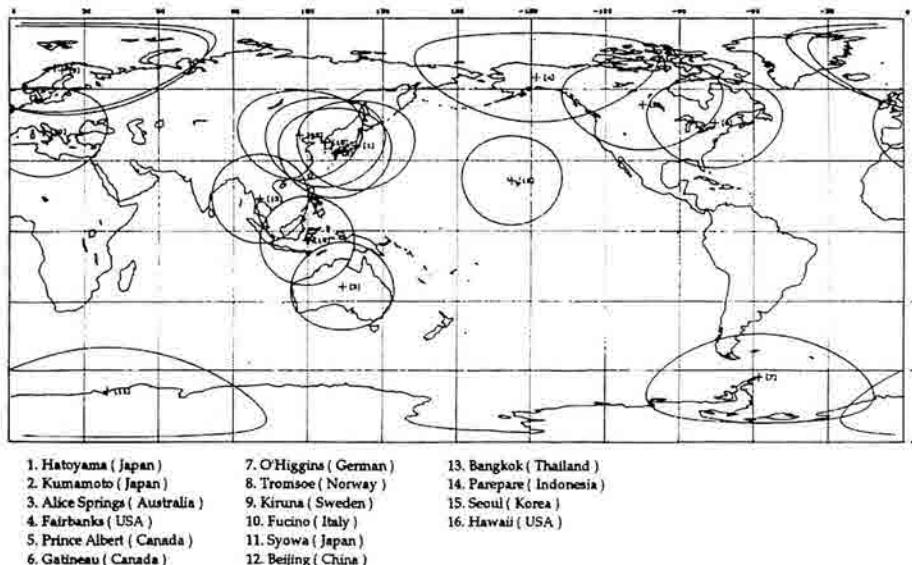


図 2 JERS-1 地上局の分布

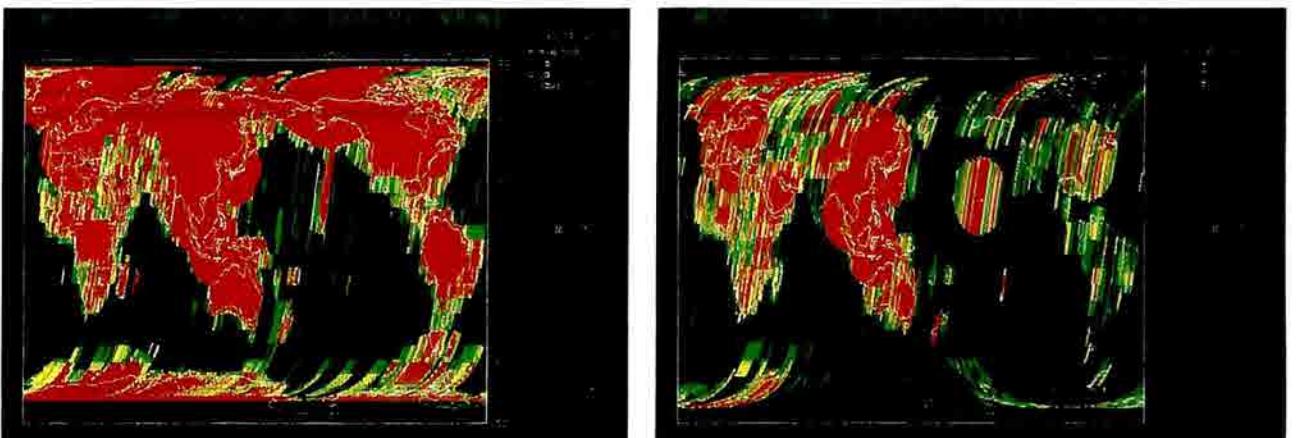


図 3 データ取得マップ

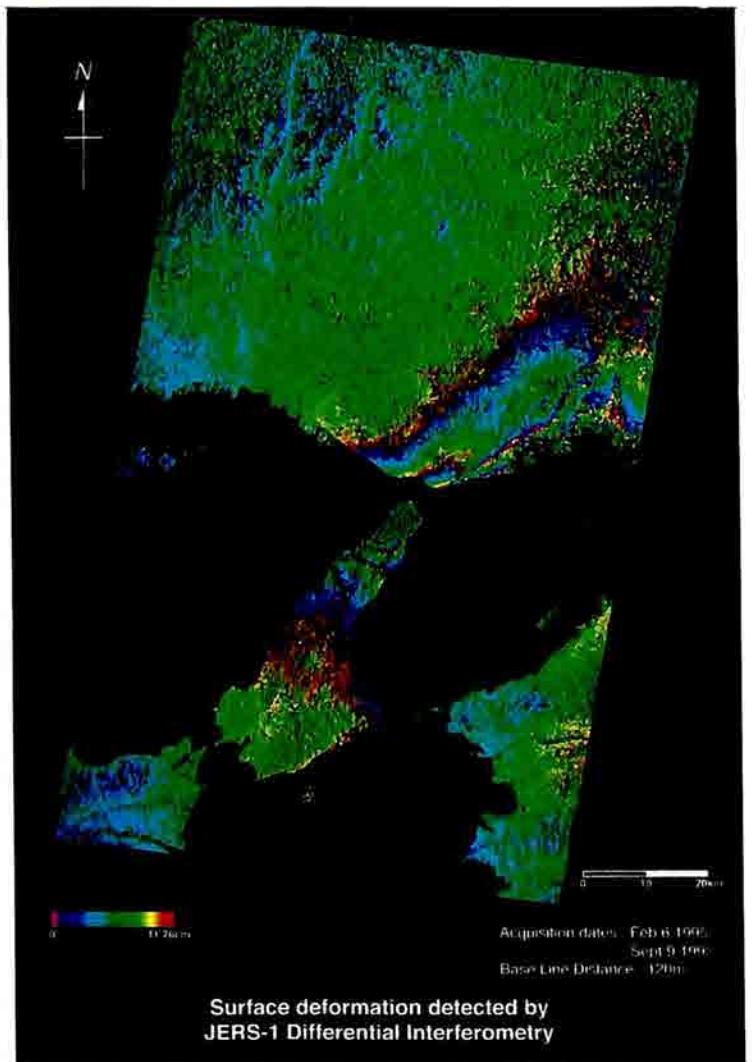


図 4 阪神淡路の地殻変動分布図(SAR インターフェロメトリ)



図 5 富士山鳥瞰図



図 6 ブラジル、ロンドニア地方の 100m 分解能モザイク

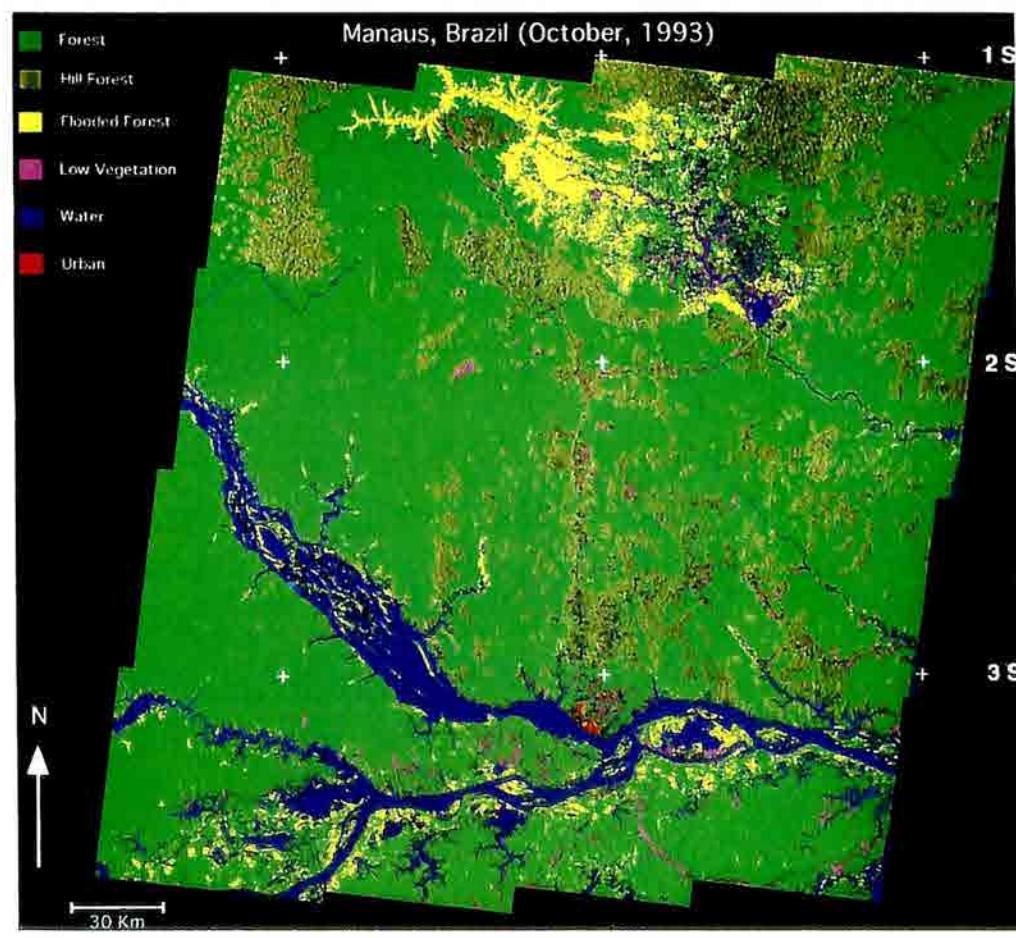


図 7 アマゾン、マナウス近辺の植生分類図

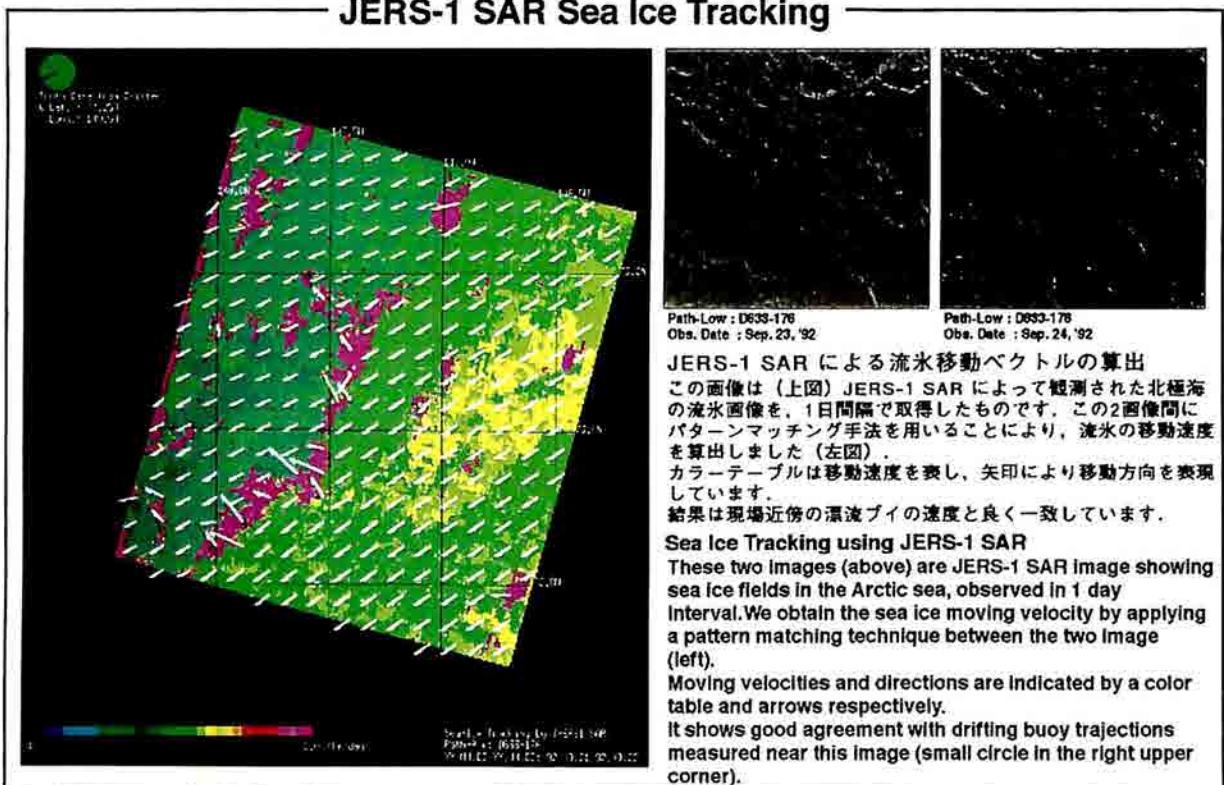


図 8 流氷の移動ベクトル図



図 9 博多の鳥瞰図(OPS)



図 10 日光中禅寺湖近辺の鳥瞰図(SAR)

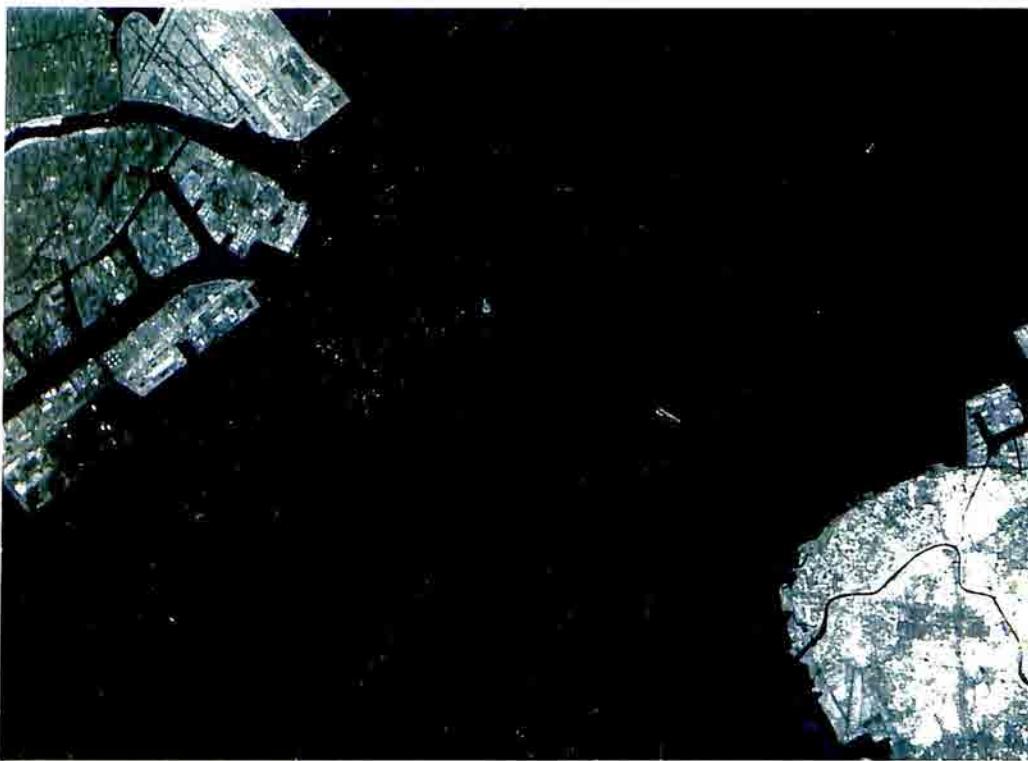


図 11 東京湾内海上交通図

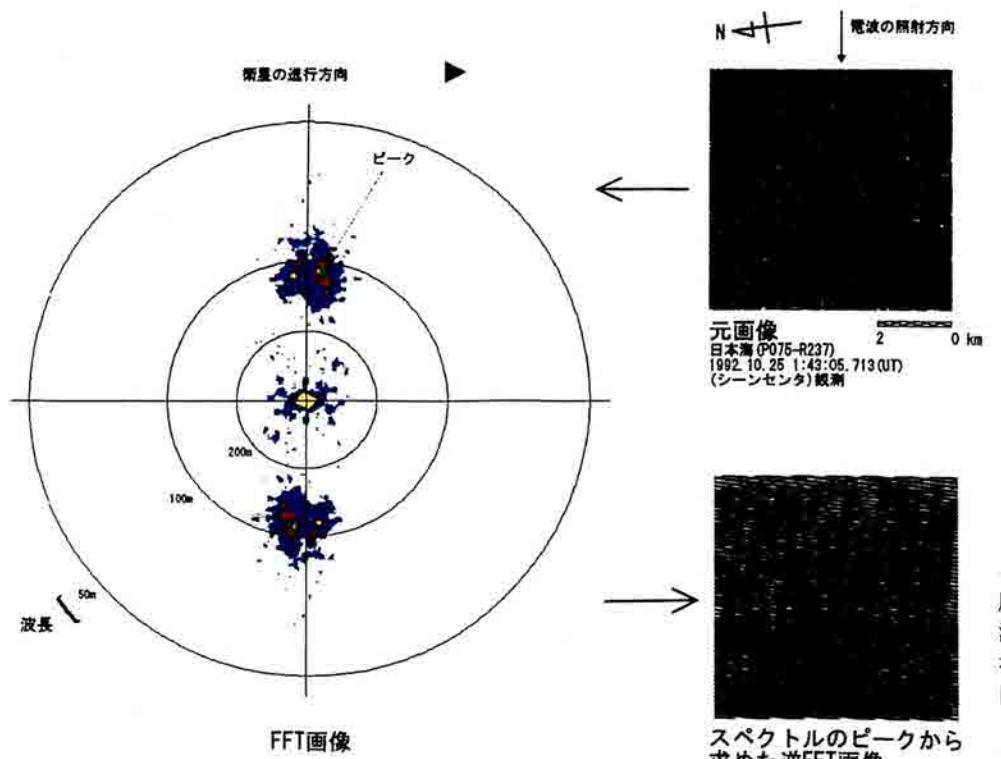
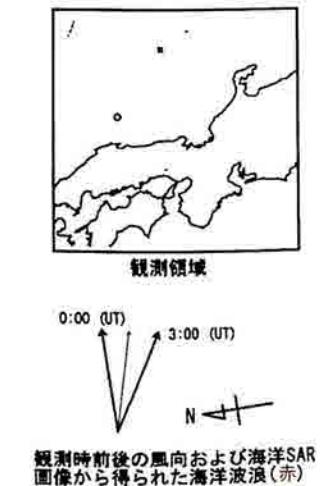


図 12 海洋波浪スペクトル図



海洋SAR画像をフーリエ変換処理することにより、海洋波浪と考えられる反射強度の大小による周期的な模様の波長および波向が求められる。左記の場合、波長107m、波向は衛星の進行方向に対して反時計回り83.2°にスペクトルのピークが検出できる。この海域では約12時間前から10m/secを越える強い西風が吹き続けており、SAR観測時前後の風向と抽出されたピークの向きはほぼ一致している。

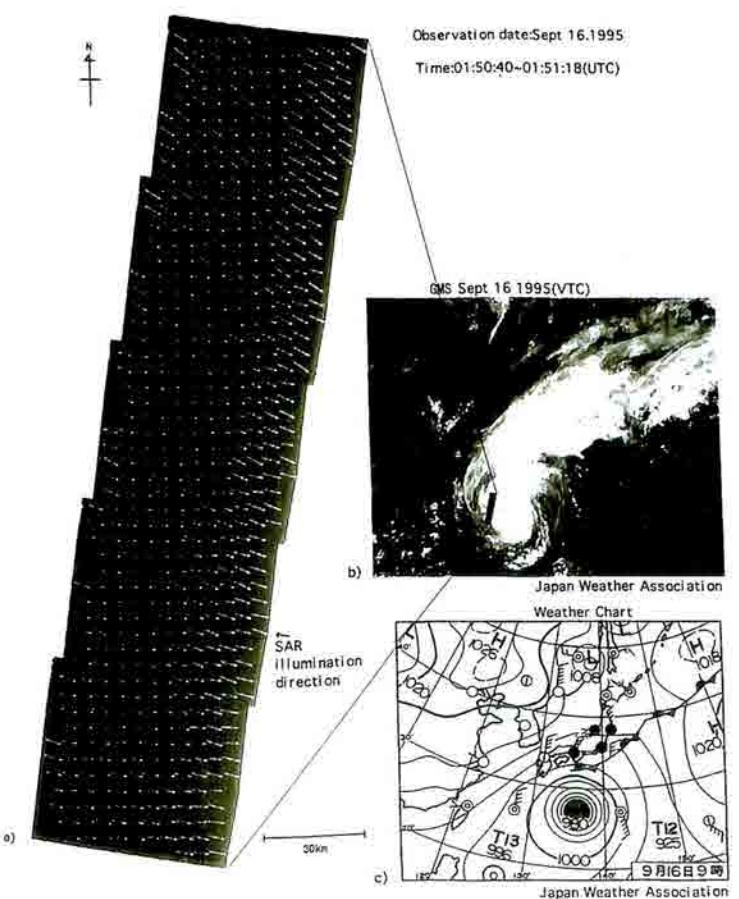


図 13 台風接近中の日本近海図(SAR、気象衛星、気象図)

JERS-1/OPSデータを用いた 漂流油の検出

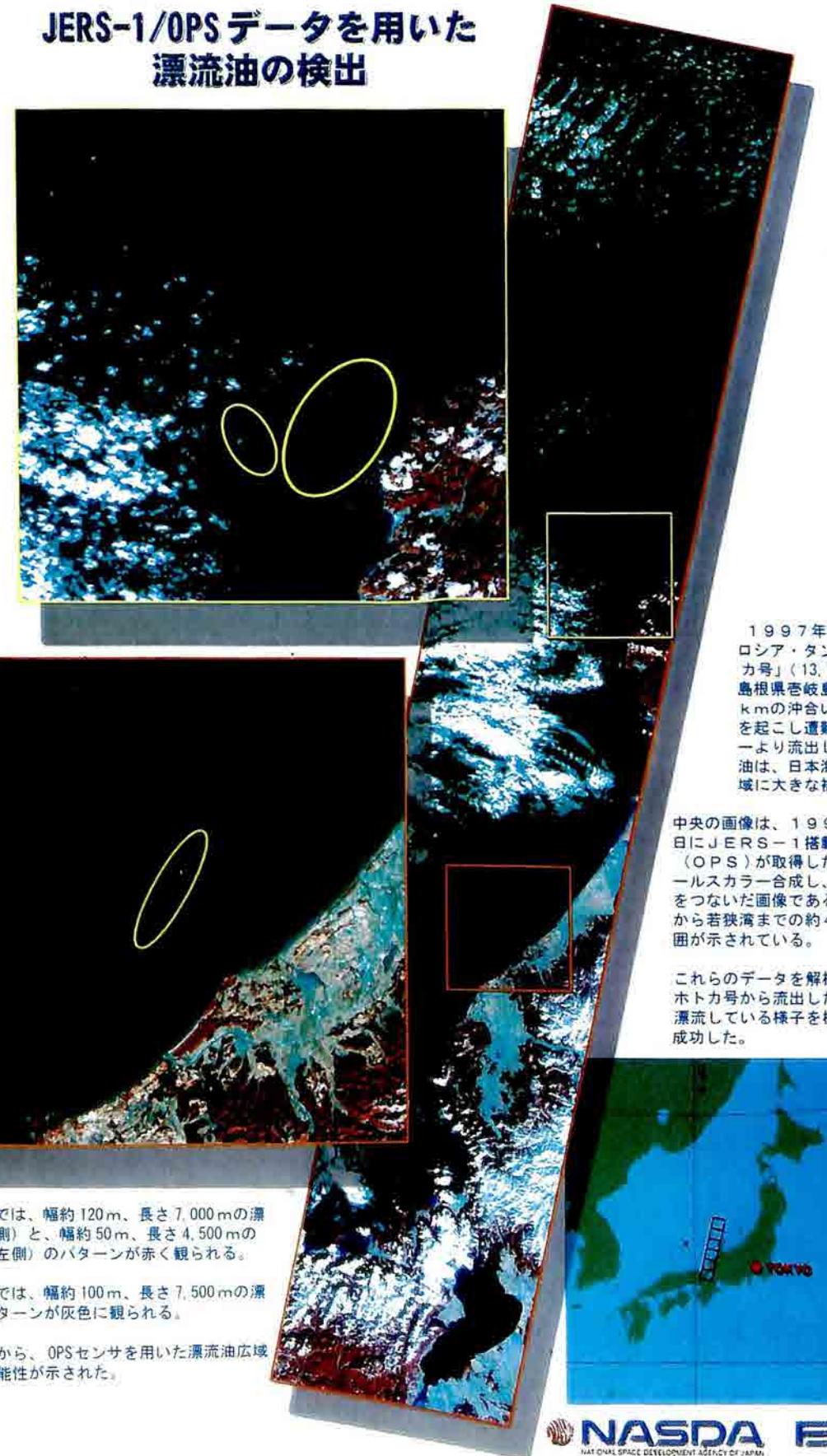


図 14 ナホトカ号のオイル漏れ(OPS)

1997年1月2日未明、ロシア・タンカー「ナホトカ号」(13,157総トン)が島根県宍道湖沖の北東約百kmの沖合いで船体の破断を起こし遭難した。タンカーより流出した積み荷の重油は、日本海を漂流し沿岸域に大きな被害を与えた。

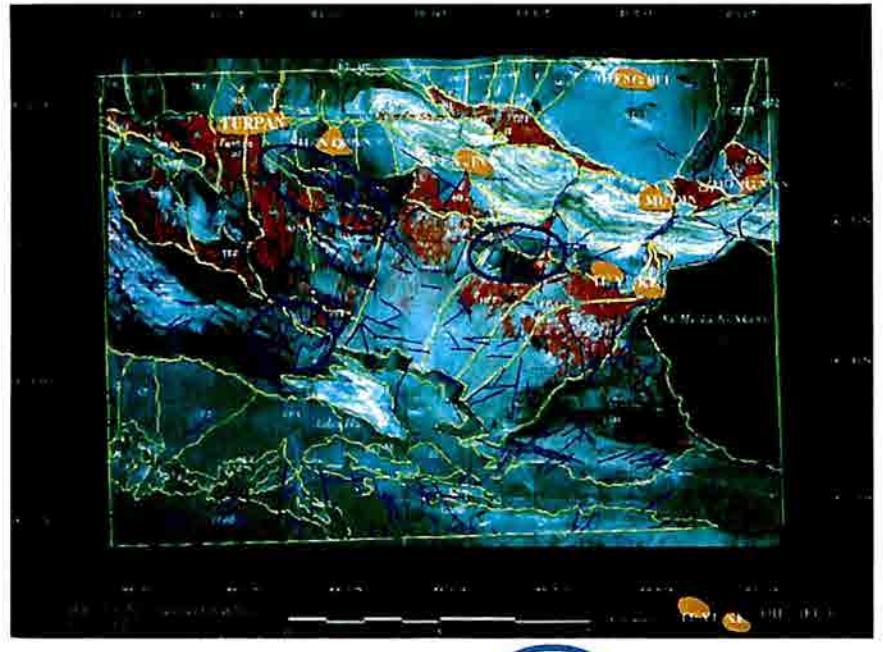
中央の画像は、1997年1月17日にJERS-1搭載の光学センサ(OPS)が取得したデータをフォールスカラー合成し、約6シーン分をつないだ画像である。能登半島沖から若狭湾までの約450kmの範囲が示されている。

これらのデータを解析した結果、ナホトカ号から流出した油が日本海を漂流している様子を検出することに成功した。

上の画像では、幅約120m、長さ7,000mの漂流油(右側)と、幅約50m、長さ4,500mの漂流油(左側)のパターンが赤く観られる。

下の画像では、幅約100m、長さ7,500mの漂流油のパターンが灰色に観られる。

このことから、OPSセンサを用いた漂流油広域監視の可能性が示された。



リニアメント密集地域
火焰山南部地域の地表は第四系の河成平野で、そのほとんどが広大かつ平坦な扇状地として分布している。ここで黄色枠で示される地質ユニットは扇状地を区分したものであり、赤色の直線はリニアメントとして解釈されたものである。火焰山南部地域で抽出された3ヶ所のリニアメント密集域が、地質・地質構造解析により同地域における特徴的な地表面形態を持つ地域とほぼ一致する傾向が認められた。さらにリニアメント密集域が第四系上に発達する劣か系と火焰山背斜帯周辺域の構造運動や石油天然ガスが胚胎する伏在構造との関連が指摘されている。

図 15 JERS-1 OPS データによる地質構造解析例 中国トルファン堆積盆地

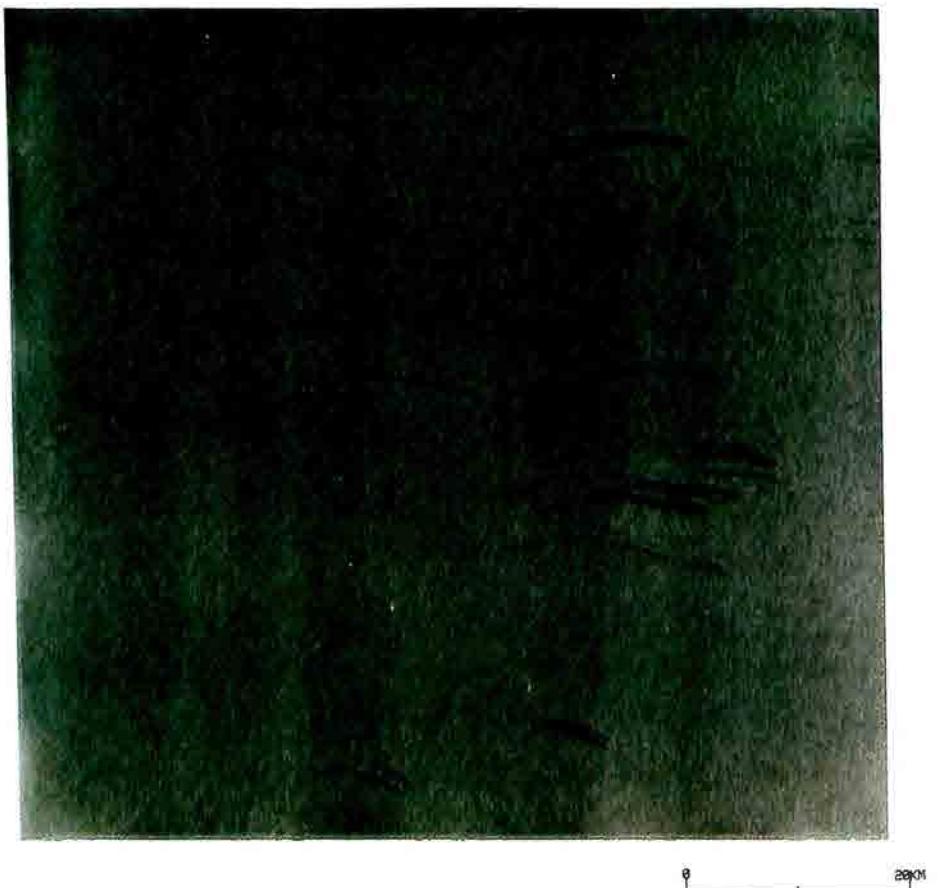


図 16 JERS-1 SAR 画像に見られるメキシコ湾のオイルスリック群: 風向きは西から東
(484-255 1995.5.21)

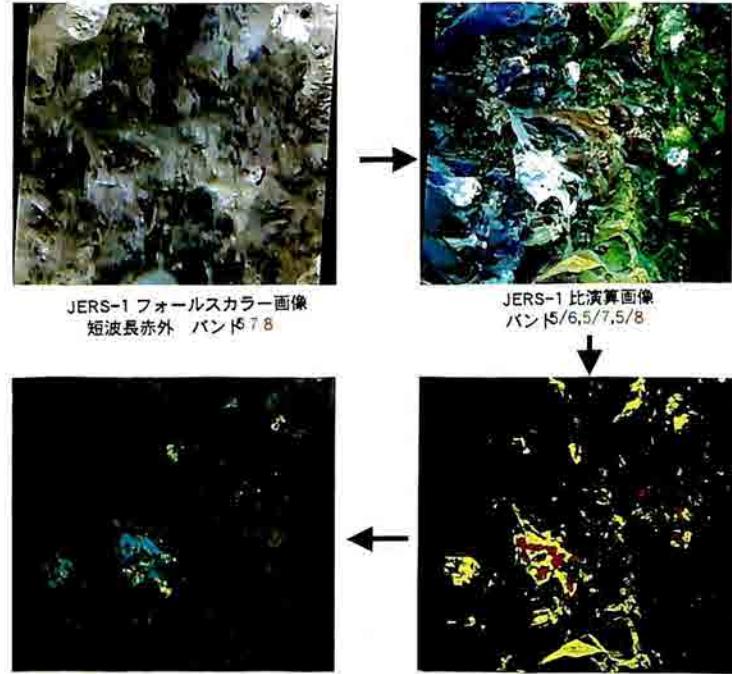


図 17 JERS-1 OPS データによる変質帯抽出例 チリ共和国エスコンディーダ地域

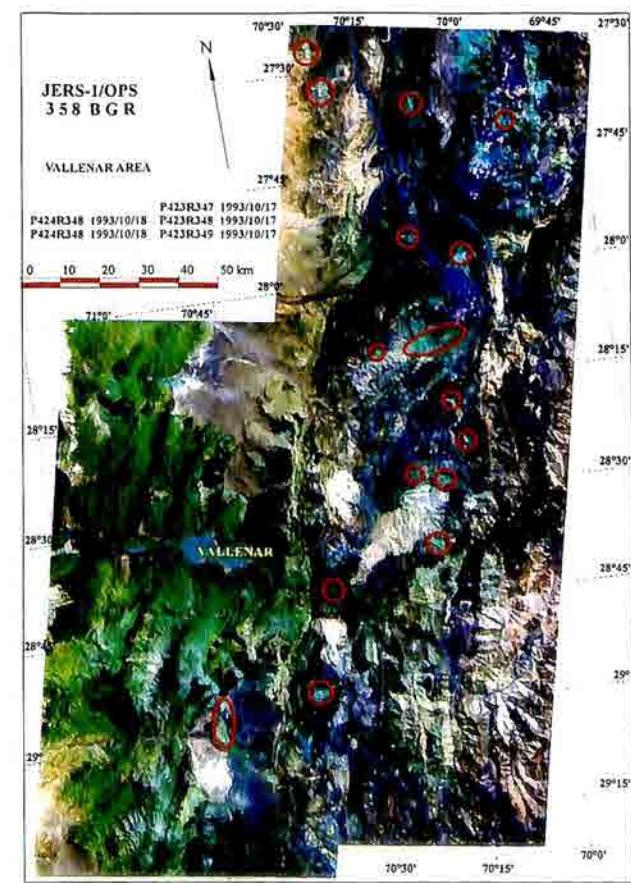


図 18 JERS-1 OPS データによる金属資源胚胎ポテンシャル評価例: チリ共和国アタカマ地域

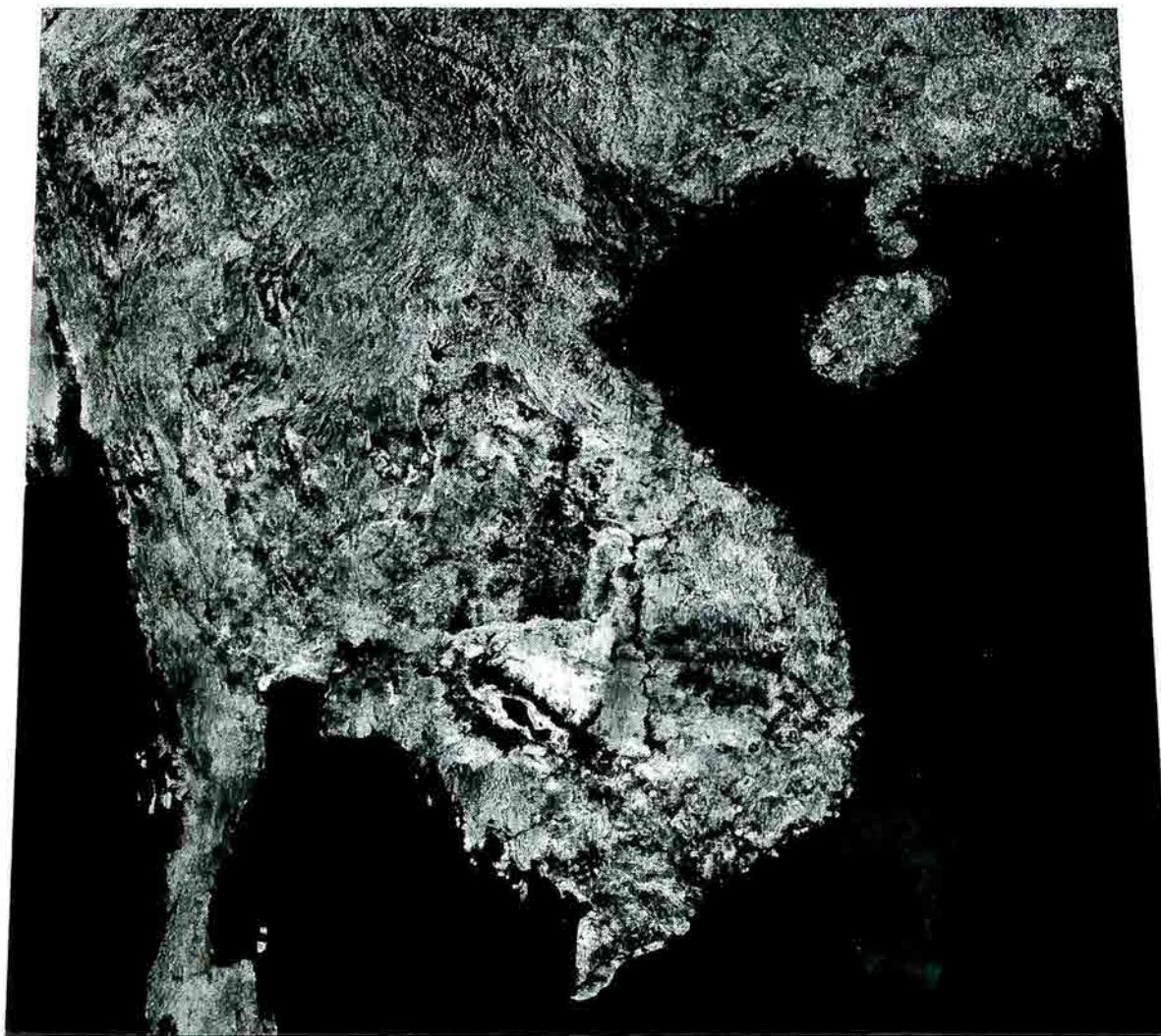


図 19 JERS-1 SAR データによるインドシナ地区のモザイク