

3-6 航空機搭載 3次元高分解能映像レーダ (Pi-SAR) 応用実験

3-6 *Flight Experiments of Airborne High-Resolution Multi-Parameter Imaging Radar, Pi-SAR*

佐竹 誠 浦塚清峰 梅原俊彦 前野英生 灘井章嗣
小林達治 松岡建志 真鍋武嗣 増子治信

SATAKE Makoto, URATSUKA Seiho, UMEHARA Toshihiko, MAENO Hideo, NADAI Akitsugu, KOBAYASHI Tatsuharu, MATSUOKA Takeshi, MANABE Takeshi, and MASUKO Harunobu

要旨

Pi-SARは通信総合研究所と宇宙開発事業団が共同で開発し、研究目的で実験運用を行っている航空機搭載映像レーダである。多彩な情報を得ることができるマルチパラメータ観測機能と高分解能性を併せ持ち、これまで日本各地で映像データを取得してきた。本稿はPi-SARのこれまでの実験成果についてまとめたもので、併せて実験の目的及び今後の計画を記す。

The Polarimetric and Interferometric Synthetic Aperture Radar (Pi-SAR) is an airborne high-resolution imaging radar system, having developed and being operated by Communications Research Laboratory (CRL) and National Space Development Agency of Japan (NASDA). It consists of an X-band synthetic aperture radar and L-band one, both of those are fully polarimetric and the X-band one has two receiving antennas located in cross-track direction for interferometric observation. It has been operated for research purposes since 1996, to produce high-resolution polarimetric radar images all over Japan. In this paper we summarize results of Pi-SAR observation experiments, as well as its purposes and future plans.

【キーワード】

航空機レーダ, 映像レーダ, 合成開口レーダ (SAR), ポラリメトリ, インタフェロメトリ
Airborne radar, Imaging radar, Synthetic aperture radar (SAR), Polarimetry, Interferometry

1 はじめに

通信総合研究所 (以下、CRL) が宇宙開発事業団 (以下、NASDA) と共同で開発した航空機合成開口レーダ (Polarimetric and Interferometric Synthetic Aperture Radar, Pi-SAR) は、極めて高い分解能及び先進的な多くの機能 (多周波、多偏波、インタフェロメトリック観測機能) を有し、世界的にもトップクラスの性能を持つ映像レーダシステムである [1] [2]。このレーダは、地表面の諸特性の観測に大変有効であると期待される。世界各国で開発された先進的な航空機 SAR の中

には、将来の衛星搭載 SAR で実現すべき新しい機能等のテスト版として実験的な要素のみを追い求めたものも少なくない。しかし、Pi-SAR は実利用に供することが可能なもの、すなわち、そのデータが本当に実生活に役立つこと、という点も重視して開発された。したがって、植生や海洋観測といった学問的应用への実証のほか、災害時の被害状況の観測等における有用性の実証にも重点を置き、本レーダの運用や実験を実施している。

このような高機能 SAR データとして、国内の研究者が入手できるものとしては、現時点で Pi-

SARが実質唯一のものであること、また、広範な応用分野の実証を当所内のみで実施することは困難であることから、外部関連研究者との連携は必須のものであり、Pi-SAR関連共同研究は積極的に推進されている。

本論文においては、Pi-SARを用いた観測実験に関して、まずその目的及び実施方法の概要を説明し、次にその研究成果について述べる。研究成果については、CRLが独自に行うべきレーダ較正等の性能確認実験の成果のほか、外部との連携で行ってきた幾つかの応用実験について、その成果の一部をまとめて報告する。最後に、今後の計画、まとめを述べる。

2 実験の目的

Pi-SARを用いた観測・実験は、大きく分けて次の三つの目的を持って、実施している。

- (1) 高分解能・高機能SARの評価と実証
- (2) 高分解能・高機能SARの各応用分野の実証
- (3) 災害時の被害状況把握等、国民の実生活へのSARの貢献の実証

通信総合研究所では、これまで、(1)の目的を中心に観測実験を実施し、(2)の目的については所外の関連研究機関(大学、国立研究機関等)と共同で観測と研究を進めてきた。(3)は一般に大規模災害が発生した場合等に実施されるもので、予算措置や航空機のスケジュール等、所内外の理解と協力を得て、例えば2000年の火山災害(有珠山、三宅島)時に積極的な観測を実施してきた。

取得されたデータは、当所内において解析を進めるだけでなく、外部機関と共同でも解析を進めている。さらに、データを積極的に公開していくことを意図して、例えばCD-ROMによるデータ集を作成して一般に配布したり、観測済みデータをカタログ化して検索可能とすること、データ要求に応じた配布等の体制作りも進めている。また、観測計画(データ取得)についても上記の目的に沿ってできるだけ広い分野への応用を進めるため、研究公募を含む研究提案の受入れ体制の整備を進めているところである。

以上のような考えの下で、我々の最終的な目的としては、Pi-SARを用いた実験・観測とその

成果の取りまとめを通じて、様々な応用分野に対しての合成開口レーダ(SAR)技術の有効性や限界を明らかにし、SARが実用的に様々な分野で活用されるためのニーズの開拓を目指す。このことは、SARデータが、研究者のためだけのものではなく、一般市民に身近なものとしての地位を得ることにつながるものである。さらに、Pi-SARの実利用における限界を明らかにすることにより、さらに高機能なSARの要求仕様の設定、開発につなげていくこと、また航空機搭載で実証された高機能SAR技術を衛星搭載へ移転することも目的としている。

3 実験成果

本章では、Pi-SARによる観測実験の成果について述べる。これまでに実施した観測実験の日程、主要観測場所等を表1にまとめて示す。

表1 Pi-SAR観測実験(1996年8月~2001年10月)

目的	観測日	バス数	観測場所
1.性能確認飛行	1996.08.06	2	能登半島
	1996.08.10	3	神戸・淡路
2.Lバンド較正	1996.11.19	9	新潟・長野
	1996.11.20	8	新潟・長野
3.油汚染事故 (ナホトカ号)	1997.01.15	9	能登半島沖
	1997.01.16	13	能登半島沖
4.流水観測	1997.02.22	6	オホーツク海
	1997.02.23	7	オホーツク海
5.Xバンド較正	1997.05.27	10	鳥取・日本海
	1997.05.28	11	鳥取・大阪
6.関東地方観測	1997.09.30	12	東京・つくば
	1997.10.01	8	尾瀬・長野・新潟
7.流水観測	1998.02.23	11	新潟・オホーツク
	1998.02.24	11	北海道・オホーツク
羽田公開	1998.02.25	11	北海道・オホーツク
	1998.02.26	6	岩手・茨城・大島
8.Xバンド較正	1998.05.26	12	鳥取・京都
	1998.05.27	11	鳥取・大阪
熊本飛行	1998.05.28	11	広島・熊本
	1998.10.22	9	鳥取・大阪
9.Xバンド較正	1998.10.23	7	鳥取・神戸
	1998.10.26	9	岩手山・苫小牧
植生観測	1998.10.27	8	岩手山・苫小牧
	1998.10.29	6	黒潮・熊本・瀬戸内海
10.流水観測	1999.02.23	12	オホーツク・苫小牧
	1999.02.24	11	オホーツク・苫小牧
11.夏季観測	1999.07.13	8	黒潮・尾島湾・名古屋
	1999.07.14	10	新潟・苫小牧・大潟村
	1999.07.15	1	富士山
12.SRTM観測	1999.10.08	11	鹿島較正
	1999.10.13	16	富士山・つくば
	1999.10.14	12	苫小牧
13.観測	2000.03.09	10	沖縄
	2000.03.10	9	西表・宮古
	2000.04.12	10	有珠山
14.有珠山観測	2000.04.06	10	有珠山
	2000.04.12	12	有珠山
	2000.05.30	13	有珠山
15.伊豆諸島観測	2000.07.06	8	三宅、神津、大島、八丈
	2000.08.02	10	有珠山、三宅島他
17.伊豆諸島観測	2000.08.30	7	三宅、神津、大島、八丈
	2000.10.01	1	筑波
18.FACRIM	2000.10.02	10	新潟、有珠、苫小牧、岩手山
	2000.10.03	8	富士山、奈良、京都、神戸
	2000.10.04	9	熊野灘、淡路、鳥取、福岡
	2000.10.05	7	雲仙、阿蘇、桜島、屋久島
	2000.10.06	7	三宅島、大島
20.三宅島緊急観測	2000.11.12	7	三宅島、大島
	2001.01.06	12	三宅島、大島
21.三宅島緊急観測	2001.01.31	8	三宅島、大島、富士山
	2001.03.01	8	三宅島、大島、富士山
23.三宅島緊急観測	2001.03.02	15	新潟、大潟村、オホーツク他
	2001.03.03	14	オホーツク、筑波他
25.三宅島緊急観測	2001.03.19	8	三宅島、大島、富士山
	2001.08.02	13	農環技研、CRL、富士山
27.2001年第2クール	2001.08.29	14	佐渡、大潟村、岩手山、釜石
	2001.08.30	13	仙台、鳩山、富士山
28.2001年第3クール	2001.11.06	24	鳩山、東京湾、富士山
	2001.11.08	14	熊野灘、四国、九州、沖縄
	2001.11.09	13	西表島、宮古、海洋レーダ
	2001.11.10	15	沖縄、奄美諸島、九州、中国、岐阜

3.1 性能確認

Pi-SARの映像データを種々の解析に用いるために、それが被観測体の散乱特性を正しく反映したものであることを、定量的あるいは定性的に確認する必要がある。そのためには、散乱特性が既知あるいは推定可能なターゲットを用いて、映像データとの対応関係を調べることが一般的である。これをレーダの較正(Calibration)という。ここでは、その性能確認実験の一つとして実施した、XバンドSARの較正実験について述べる。

なお、LバンドSARの較正は、主にNASDAが担当して実施している[3]。

(a) ラジオメトリック較正実験

得られた映像データと後方散乱係数との関係を求めるためのラジオメトリック較正実験を、3面コーナリフレクタを用いて行った。このラジオメトリック較正を行うことにより、他の映像レーダデータとの定量的な比較・解析が可能となる。3面コーナリフレクタは小型で大きな散乱断面積を得られること、ビーム幅が広いこと(設置角度の誤差の影響が比較的小さい)等の利点があるが、点ターゲットであるために航空機の軌道・姿勢変動によるフォーカスの劣化の影響を受けやすく、それが散乱電力の測定精度に影響を及ぼす。また、レーダの受信機入力の利得制御を適当に行わないと、受信機入力レベルの飽和が生じて、レーダ画像における点ターゲットからの散乱電力の減少を引き起こす。また、点ターゲットからの散乱電力を精度よく測定するためには、背景となる設置場所は、広い範囲で一様で散乱係数の小さい領域とする必要がある。乾燥した砂地は散乱係数が比較的小さいので、国内でこのような条件に合う場所として、鳥取砂丘を選択して多数のコーナリフレクタを設置して較正実験を行った。

図1に1998年10月に実施した較正実験において得られた映像をコーナリフレクタの配置と共に示す。この映像データから得られたコーナリフレクタの散乱電力を縦軸にとり、計算で得られる散乱断面積を横軸にとりプロットした結果を図2に示す。この結果からXバンドのラジオメトリック較正の値が決定された[4]。

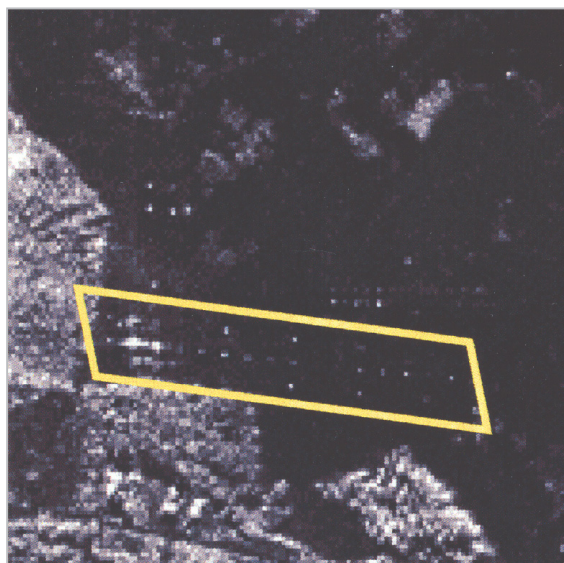


図1 ラジオメトリック較正実験において鳥取砂丘に設置されたコーナリフレクタの映像

(X バンドVV 偏波、飛行方向←、照射方向↓)

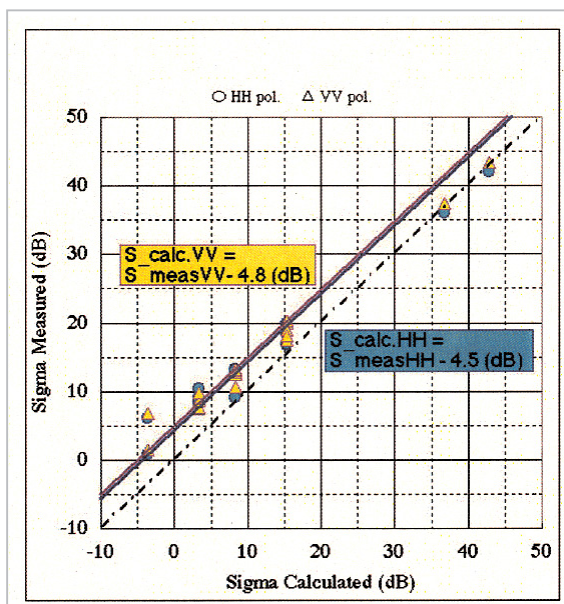


図2 コーナリフレクタの散乱電力の測定値対計算値

(b) ポラリメトリック較正実験

Pi-SARの長所の一つは、二つの直交する直線偏波(水平/垂直偏波)を用いてポラリメトリックな観測が可能なことである。しかし、観測で得られるデータは、一般にはシステムに依存する偏波チャンネル間の不均一(インバランス)や漏れ込み(クロストーク)を含んだものとなり、そのままではターゲットのポラリメトリック特

性を正しく反映しない。このような偏波チャンネル間のインバランス、クロストーク等を求め、それを補正するために行った偏波較正実験について述べる。

ラジオメトリック較正で通常用いられる3面コーナリフレクタは同一の偏波のみを反射する(水平偏波の入射に対しては水平偏波のみを反射)ため、それのみでポラリメトリック較正を実施することはできない。交差偏波成分を反射する(水平偏波の入射に対して垂直偏波を反射)リフレクタが必要となる。そのために、特殊な2面コーナリフレクタを開発し、実験に用いた。レーダからリフレクタを見た視線を軸として45度回転させた2面コーナリフレクタ(図3(a))は交差偏波成分のみを反射(水平偏波の入射に対しては垂直偏波のみを反射)する。また、22.5度回転させた2面コーナリフレクタ(図3(b))は同一偏波と交差偏波成分を同じ強さで反射(水平偏波の入射に対して水平偏波及び垂直偏波を反射)する。これらのコーナリフレクタを鳥取砂丘に設置して得られた画像を図4に示す。

なお、ポラリメトリック較正のためのデータ解析は進行中である[5]。

3.2 応用実験

Pi-SAR 応用実験として、これまでに取り組んだ代表的なものについて、分野別に述べる。

(a) 都市域観測

都市域の観測では、XバンドSARの1.5mという高い分解能が顕著に現れる。図5に示した皇居及び東京駅周辺の映像においては、丸ノ内周辺の高層ビル群の高い部分がレーダの方向に倒れ込む“レイオーバー(Lay Over)”現象によって、まるで斜め上方から目視しているかのように立体的に映っている。この建築構造物が高分解能SARによりどのように映像化されるかという問題は、その材質や形状(及びその向き)の依存性も含めて、今後の課題である。

リモートセンシングによる都市域の地震リスクの把握に関連して、Pi-SARデータを用いて、市街地構造を把握する試みもなされている[6]。

(b) 森林観測

図6(a)は2000年10月に苫小牧の国有林をXバンドSARのインタフェロメトリモードで観測し、

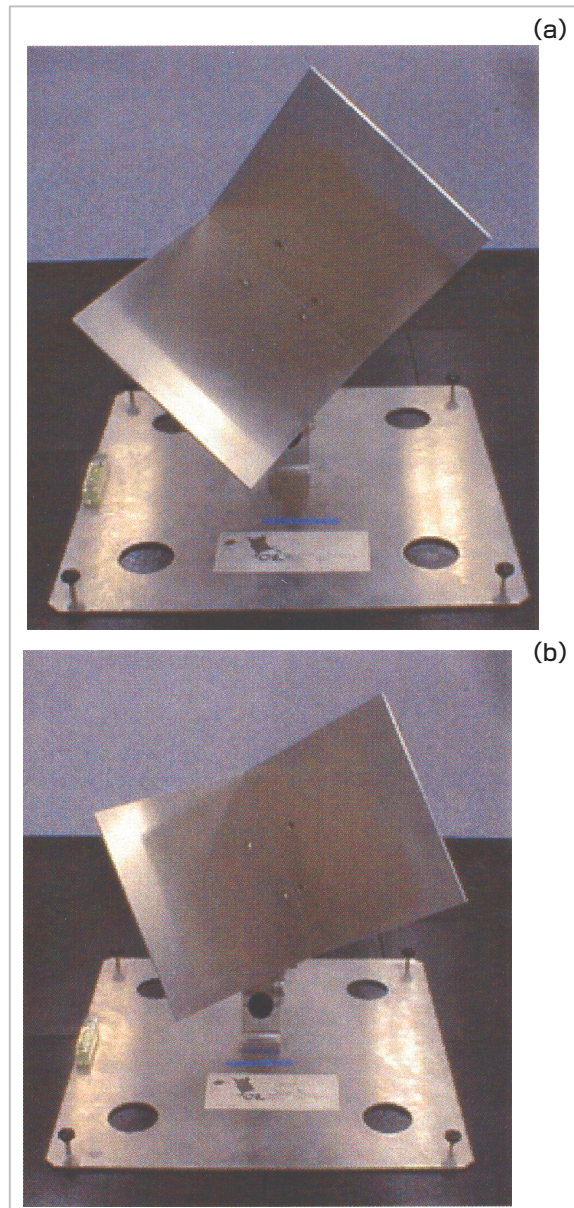


図3 (a)45度回転2面コーナリフレクタ
(b)22.5度回転2面コーナリフレクタ

その位相差情報から求めた地表の高度情報をカラー表示したものである。同図(b)は図(a)において白線で示した箇所の高度プロファイルである。森林に対してXバンドの電波はその樹冠において大部分が散乱されると考えられるので、森林域の高度は樹木の高度に対応する。これを利用して、Pi-SARを用いた樹木の高度の推定が考えられる。それと並行してXバンド、Lバンドのポラリメトリデータを用いた樹種の識別を行い、これらの情報を基に、適当なモデルを使って樹木のバイオマス量の推定が期待される。バイオマス量は森林資源の把握や、空気中の二酸

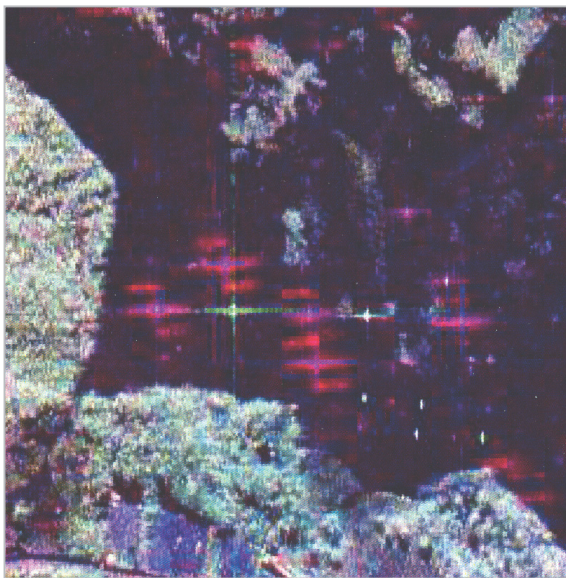


図4 ポラリメトリック較正実験において鳥取砂丘に設置されたコーナリフレクタの映像

(Xバンド、偏波カラー合成(HH: Red、HV: Green、VV: Blue)、飛行方向←、照射方向↓)

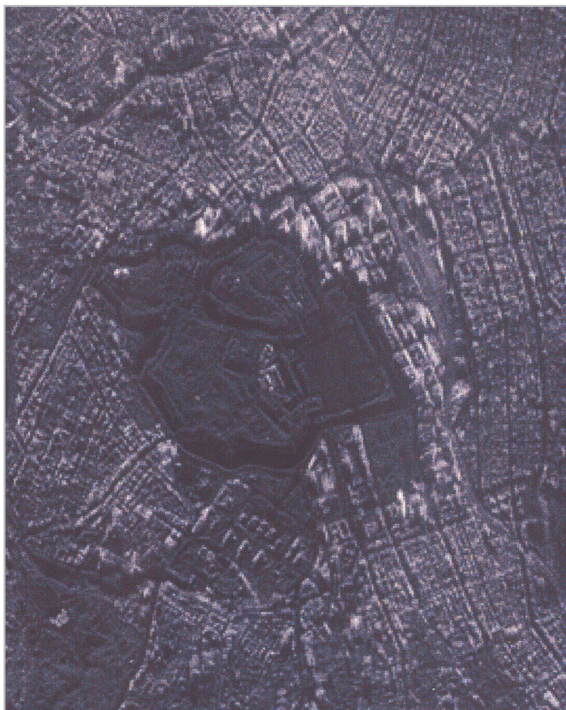


図5 皇居及び周辺の映像

(XバンドHV偏波、飛行方向←、照射方向↓)

化炭素の固定量の把握のために重要な量である。これらの解析のために、地上における樹高や直径といった樹木のデータ取得も並行して行っている[7][8]。

(c) 農産物観測

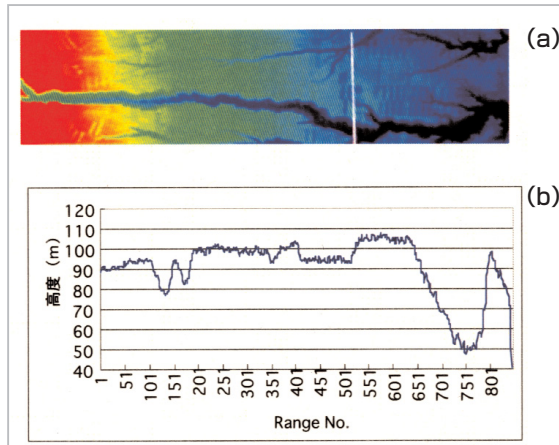


図6 苫小牧植生観測結果

(a)インターフェロメトリ観測より得られた高度画像(Xバンド、高: Red~低: Blue)、(b)図(a)の白線における高度プロフィール

1999年7月に秋田県大潟村の農地において取得されたXバンド、Lバンドそれぞれの映像を図7(a)、(b)に示す。図はHV、VV、HHの偏波チャンネルの散乱強度をそれぞれRGBカラーに割り当てて疑似カラー化してある。また映像範囲の農地の利用図を同図(c)示す。農地利用図との比較により、水田(大部分がこれに当たる)と畑作域とはXバンドのHH/VV偏波比により明確に分離できることが分かった[9]。また、畑作域では作物の種類(大麦、大豆等)により、偏波を利用したカラー映像における色調が異なり、農作物分類における多周波・多偏波観測の有効性が現れている。なお、航空機観測の特徴として、航空機に近いニア側(図では上側)と反対のファー側(図では下側)において地上における入射角が異なり、映像の強度等は入射角に依存する部分も大きいことに注意する必要がある。

また、岡山県児島湾干拓地においても、PiSARの多周波・多偏波観測特性を利用した農作物(稲作)観測についての研究が進められている[10][11]。

(d) 海水観測

1998、1999、2001年の冬季には北海道東部、オホーツク海沿岸の流水観測を行っている。図8は1999年2月に観測されたX及びLバンドの偏波カラー合成画像である。この観測の際には北海道大学等と共同して氷厚(喫水値)測定ソナーのデータを同時に取得し、Lバンドの交差偏波(HV)の散乱係数と氷厚がよい相関を示すことが

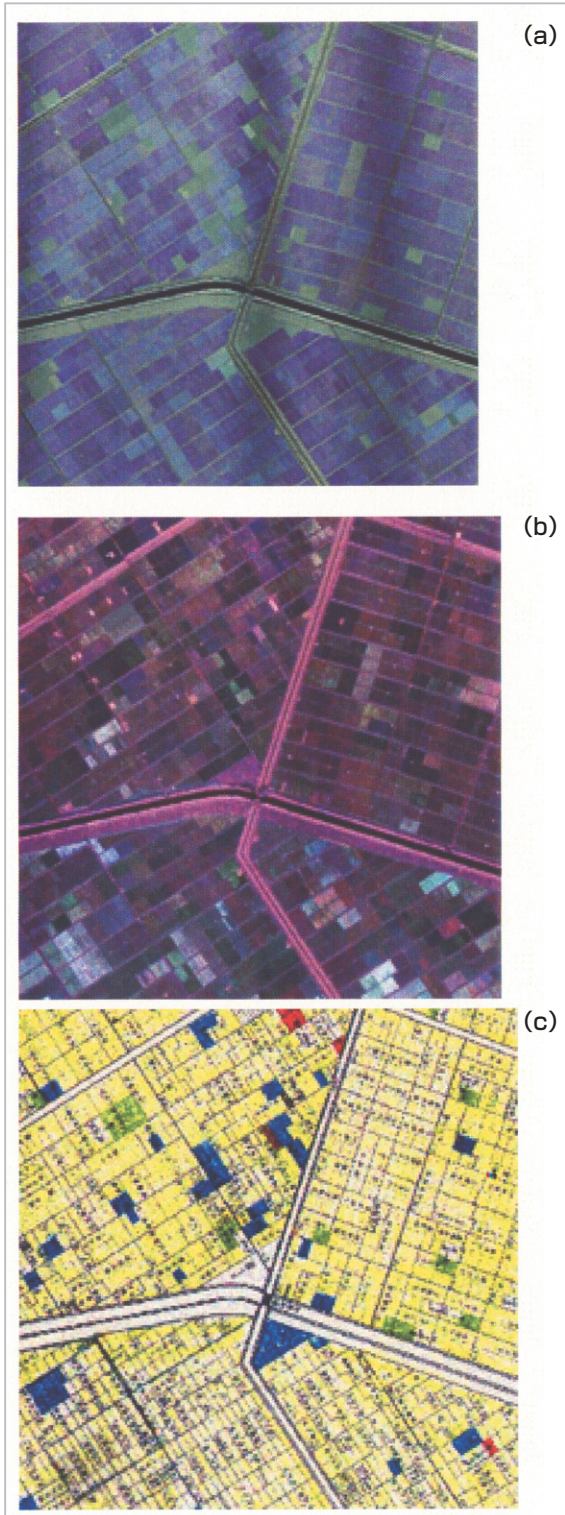


図7 大瀧村農地観測結果

(a)Xバンド、(b)Lバンド(偏波カラー合成(HH: Blue, HV: Red, VV: Green))、(c)農地利用状況図(黄色:水田、青・緑・赤:畑)

分かった(図8(a))。また、Xバンドの水平垂直偏波比(VV/HH)から、大気と海洋の熱交換において重要な役割を持つ薄氷域(10cm以下)の検出

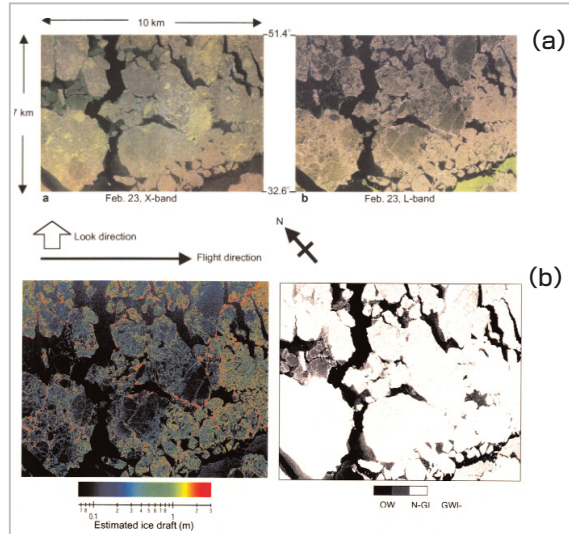


図8 流水観測結果

(a)Xバンド(左)、Lバンド(右)(偏波カラー合成(HH: Red, VV: Green, HV: Blue))、(b)表厚の推定結果(左)、氷種分類結果(右)

ができることが分かった(図8(b)) [12] [13]。

(e) 海洋観測

SARによる海洋観測のターゲットとして海洋波浪が目ざされている。しかしながら、従来のSARでは空間分解能が10m以下と低かったため、波長がかなり長いうねり成分に注目した観測しか行うことができず、波浪の空間変化を調べる上でもデータの密度が不十分であった。Pi-SARの高い空間分解能を利用することにより、広い波長領域にわたる精度の高い波浪観測を高い空間密度で行うことが可能となる。

1998、1999年には黒潮を横断するパスに沿った観測を行っており、黒潮の影響による海洋波浪スペクトルの空間変化(図9)が観測された。

(f) 古環境観測

シャトル搭載SARの観測により古代の水路の検出が報告されているように、電波の透過性を利用してSARの古環境観測への応用も期待される。特に、電波が透過しやすい乾燥した砂地では、地表面下の情報が得られる可能性がある。

Pi-SARのこの分野への応用を考えるための基礎実験として、鳥取砂丘において埋設した散乱体の検出実験を行った。図10にLバンドVV画像の例を示す。解析の結果、深さを変えて埋設した反射体からの散乱強度の違いは砂中の電波の減衰で説明がつくことが分かった[14]。

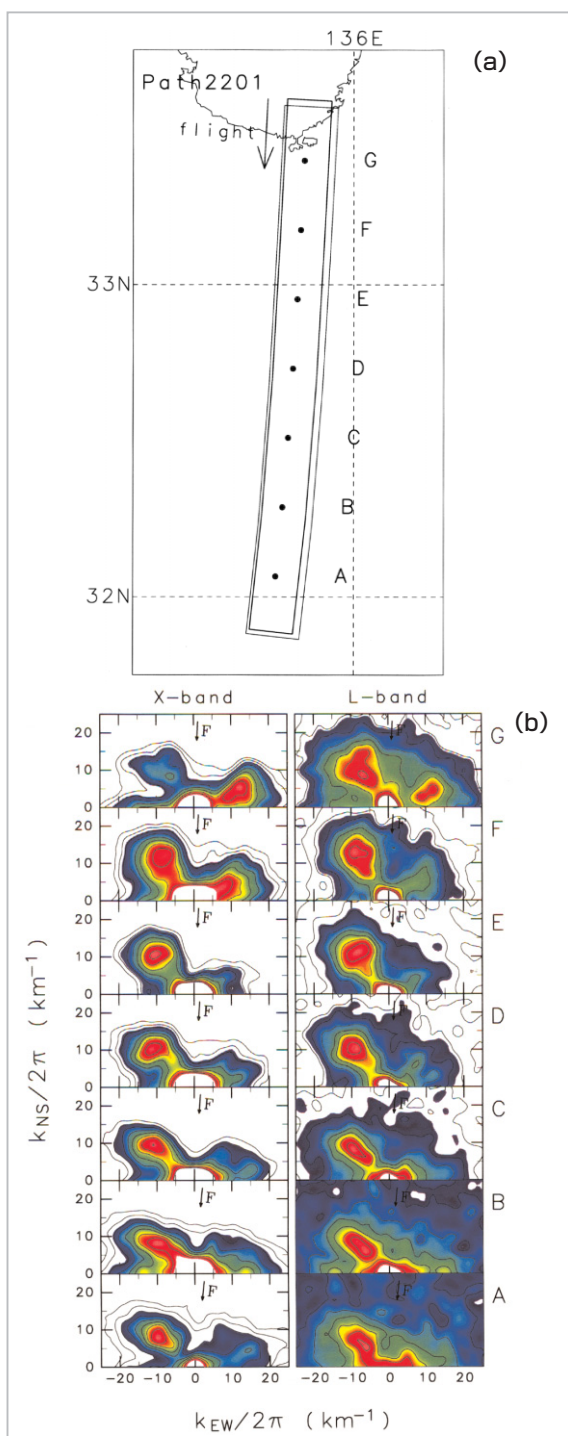


図9 和歌山沖(黒潮)観測結果
 (a)観測範囲、(b)SARデータから得られた海洋波浪スペクトルの空間変化

3.3 キャンペーン実験

米国航空宇宙局(NASA)やドイツ航空宇宙研究所(DLR)が主催する映像レーダのキャンペーン実験に、Pi-SARを用いて参加したものについて述べる。

(a) シャトル搭載映像レーダによる地形マップ

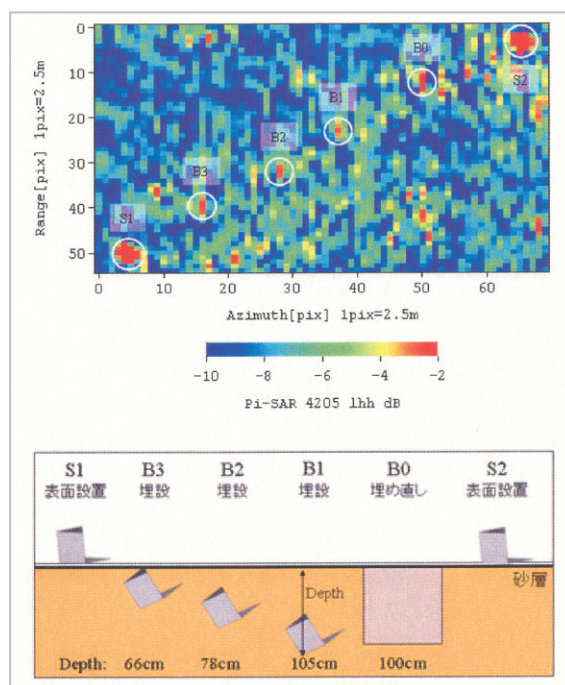


図10 埋設散乱体検出実験結果(LバンドVV偏波)

ング実験

1999年10月、スペースシャトル搭載SARによるSRTM実験(Shuttle Radar Topography Mission)との同期運用として、富士山や苦小牧の観測を行った。図11に富士山における映像とインタフェロメトリ観測結果より推定した高度プロファイルを併せて示す。この富士山の観測に合わせて、高度の検証データを得るために標高が既知の箇所、数点にコーナリフレクタを設置している(図12)。

スペースシャトルのフライト自体はシャトルの不具合等により延期され、2000年1月に実施された。SRTMは地球上の大部分の地表面の標高地図を作成するために、図13のようにシャトルに搭載されたXバンドSARの主アンテナと約60m離れた従アンテナを用いてインタフェロメトリ観測を行うものである。当所は、米国JPLと共同でSRTMを実施したドイツ航空宇宙研究所(DLR)の研究公募に採択され、同所よりXバンドによる標高画像(Digital Elevation Model, DEM)及び観測幅20kmのイメージデータが提供されることになっている。我々が提案した実験の目的は、SRTM(X-band)のDEM生成に対し、(1)高精度DEMとの誤差評価、(2)斜面の局所入射角の影響、(3)植生による影響をPi-SARデータ

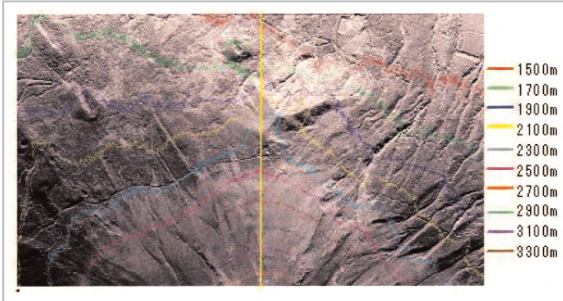


図 11 Pi-SAR/Xバンドによる富士山の観測結果

振幅画像(VV 偏波)上にインターフェロメトリ観測より得られた等高線を重ねて表示

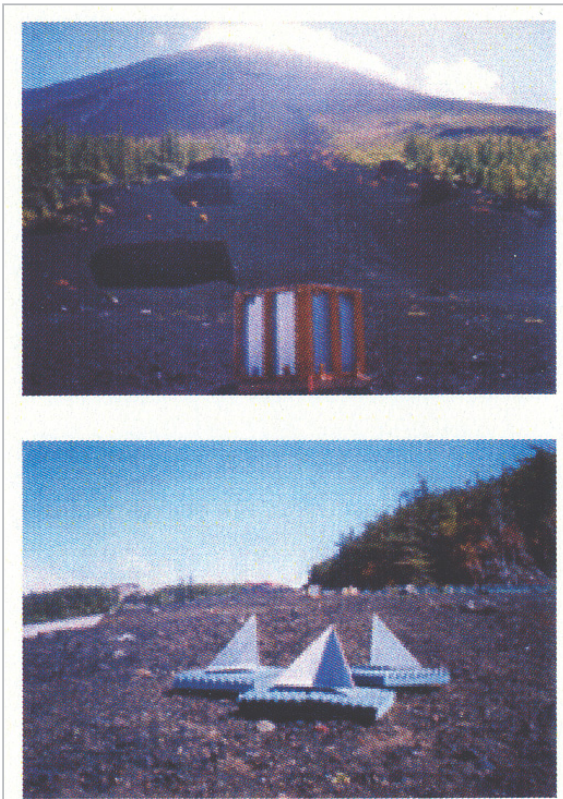


図 12 富士山地形マッピング実験のためのコーナーフレクタの設置(写真)

を用いて調べることである[15]。

(b) AIRSAR との同期観測実験

2000年10月には米国ジェット推進研究所(JPL)の航空機搭載映像レーダ(AIRSAR)の環太平洋観測キャンペーン(PacRim2)の日本観測と同期したPi-SAR観測を実施した(図14)。AIRSARは2日間で、Pi-SARは5日間にわたり日本全国の約30箇所の実験サイトを観測した。本キャンペーン実験においては、国内の研究者に参加を呼びかけ、積極的な地上データ収集も行われた。

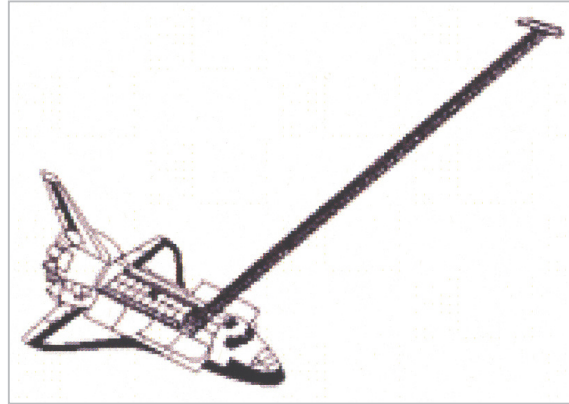


図 13 SRTM 実験におけるアンテナの展開概念図



図 14 PacRim2 実験において名古屋空港に駐機中のAIRSAR及びPi-SAR

AIRSAR との同時観測の目的の一つは、多周波つまり P、L、C、X の 4 周波による同時ポラリメトリ観測である。P バンドから X バンドに至る四つの周波数のデータを比較できることで、周波数による地上の物体への透過性が異なるため、様々な大きさの物体で構成されているような状態、たとえば森林の把握には非常に有効であると期待される。しかし、P バンドは、国内既存無線局との干渉を避ける必要があり、苫小牧及び鳥取においてのみ運用を行った。苫小牧の P バンドは、森林植生への応用の評価であるが、恐らくこれが我が国での最後の P バンド SAR のデータとなろう。鳥取砂丘での P バンドは、砂中の埋設物の探査を目的としている。さらに L バンドは、AIRSAR 及び Pi-SAR で共通の波長であり、これらを相互に較正することにより、二つのシステムのクロスリファレンスとなる。これにより、今後別の時期、別の場所で得られた二つの SAR のデータの正確な相互比較が可能となることを目的としている[16]。図 15 に鳥取砂丘に設置されたコーナーフレクタの (a) AIRSAR 及び (b) Pi-

SARの映像をそれぞれ示す。

3.4 災害時緊急観測

航空機SARの機動性や全天候性を生かして、災害時の緊急観測実験を行った結果について述べる。このような緊急時の観測に即応するために、2000年度から、名古屋空港に隣接した航空機運用会社内にPi-SAR格納用のシェルターを準備し、そこを常置場所とする体制をとった。その結果、それまでに実験準備時間として必要であったCRL(Pi-SAR常置場所)から名古屋空港への運送に要する時間が削減され、迅速な観測が

可能となった。

(a) 海洋重油汚染の観測：日本海におけるナホトカ号事故

1997年1月、日本海でロシアのタンカーの沈没事故が発生し、積載されていた重油が流出した。CRLとNASDAはPi-SARによる緊急対応観測を実施して、石川県沖で海面上の重油の広がりを観測した。海面上に事故等により流出した油が存在すると、その部分においては表面張力波の発生が抑えられ、SAR画像においては周囲より散乱係数が小さく(暗く)なることが知られている[17]。図16に示すように、Pi-SARでも本事故による流出油の領域が周囲より散乱係数が小さい領域として観測された。

(b) 火山災害の観測 I：北海道有珠山

2000年3月末に北海道有珠山の大規模な噴火活動が発生し、それに対応した観測を4月6日、4月12日、5月30日に行い、金毘羅山及び西山地

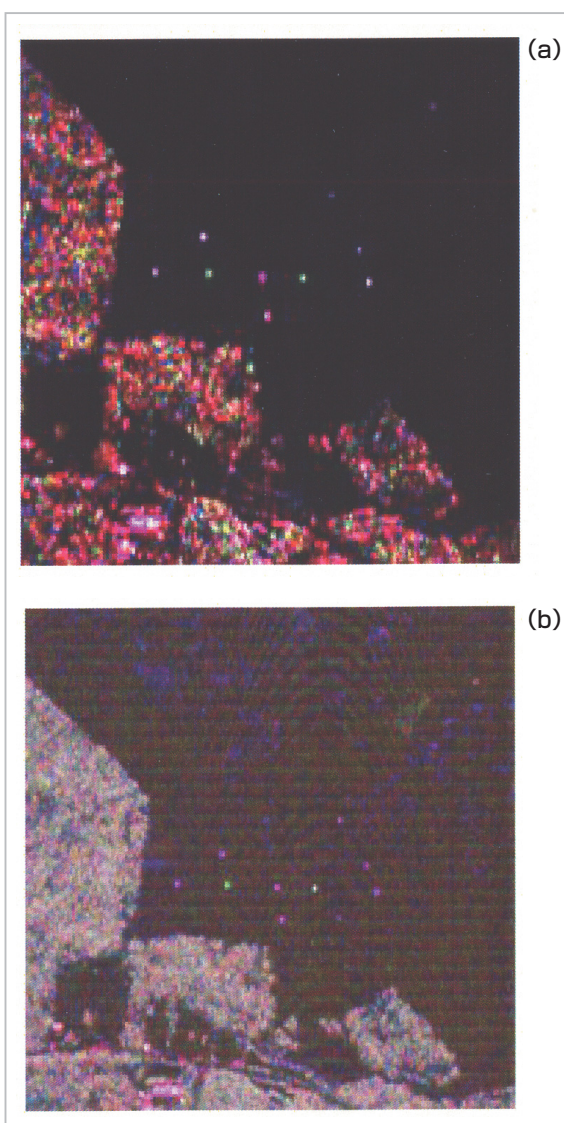


図15 PacRim2実験鳥取砂丘におけるLバンド用コーナリフレクタ映像

(a)AIRSAR、(b)Pi-SAR(ともにLバンド、偏波カラー合成(HH: Red、HV: Green、VV: Blue)飛行方向←、照射方向↓)



図16 ナホトカ号事故により流出した重油の映像

(LバンドVV偏波、能登半島沖)

域における噴火口や断層の消長をとらえた。火山災害時には、噴煙や雲により光学観測は妨げられることが多いが、マイクロ波観測ではその影響を受けずに常時観測することが可能である。

図17に4月6日及び4月12日に観測したXバンドの偏波カラー合成映像を示す。ここでの色の違いは次のように解釈することができる。一般に、植物のように複雑な形状をしているものからは、交差偏波成分(HV)が比較的大きく生ずるため、緑(Green)成分が強く現れ、市街地の構造物や表面が単純な構造のものは共偏波成分(HH+VV)が卓越するため紫色(Red+Blue)が強く出ている。火口付近の紫色の映像は、植生が火山灰等で覆われたためと理解することができる。映像の陰影から火口の形状、大きさ、位置を読み取ることが可能であり、それが二つの時期で変化していることが容易に見て取れる。また、西山の西の火口群付近には、東西方向に多くの筋が見られる。これは地殻変動に伴う断層及びクラックと推定される。さらに金毘羅山の北側では、偏波による色の違いから4月10日に発生した泥流の影響の広がりが見られる[18]。また、上記3時期のインタフェロメトリ・データから高度推定を行い、地殻変動による隆起/沈降を推定した結果、最大で約30mの隆起があったことが判った[19]。

(c) 火山災害の観測 II：三宅島

2000年6月末頃から三宅島の火山活動が活発になり、7月8日に大規模な噴火を起こし、噴火口の陥没を生じた。その後も火山活動が続き、全島民が避難を余儀なくされている。Pi-SARはこれに対応した緊急観測を、8月2日、8月30日、10月6日、11月12日、翌2001年1月31日、3月2日、3月19日に行った。

図18(a) (7月6日)は三宅島の最初の観測として実施されたもので、大きな陥没の直前のデータ取得となった。三宅島中央部の雄山山頂には、平らなカルデラ地形が観測されている。同図(b) (8月2日)では、雄山山頂のカルデラが陥没している様子が鮮明にとらえられている。一般に映像レーダでは、斜め上方から地上を観測するので、急峻な地形があると、電波が照射されない部分(シャドウ)が映像として黒く写る。陥没部分の多くが黒い領域となっているのはそのため

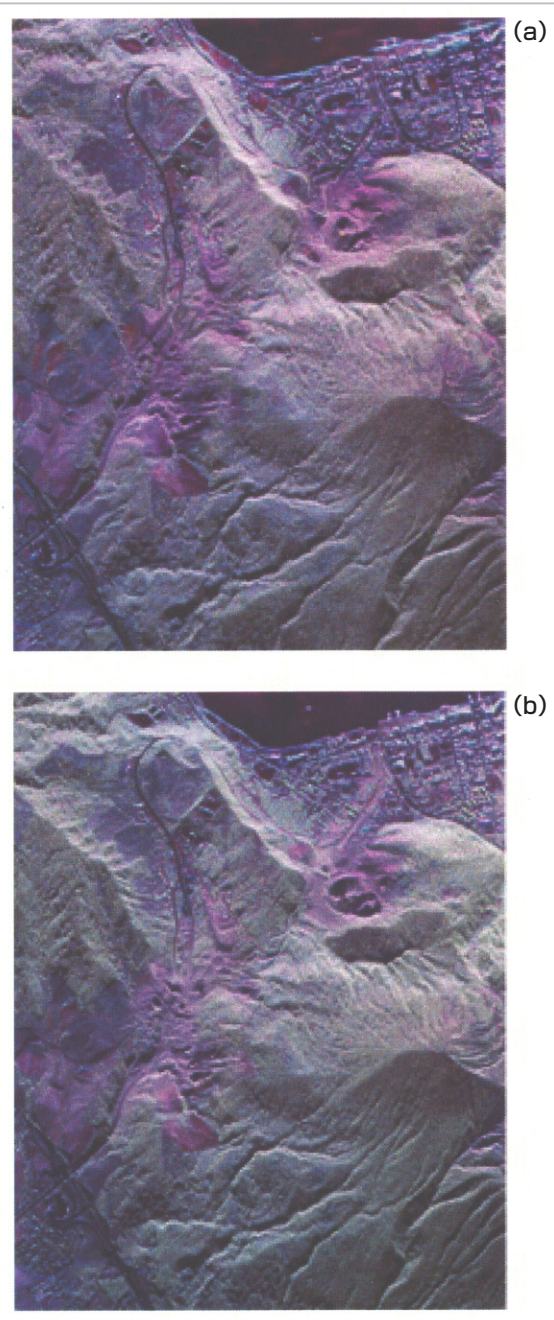


図17 有珠山火山災害時の観測結果

(Xバンド、偏波カラー合成(HH: Red, HV: Green, VV: Blue)、飛行方向←、照射方向↓)、(a)2000年4月6日、(b)2000年4月10日

である。図のシャドウの長さから、陥没の深さを推定することができ、410mの深さがあることが分かった[20]。また、各観測日のインタフェロメトリ・データより陥没部分の高度プロファイルを推定した結果を図19に示す。これより、7月6日と8月2日の間に大規模な陥没が起こり、その後8月30日までに火口の南側が更に陥没し、

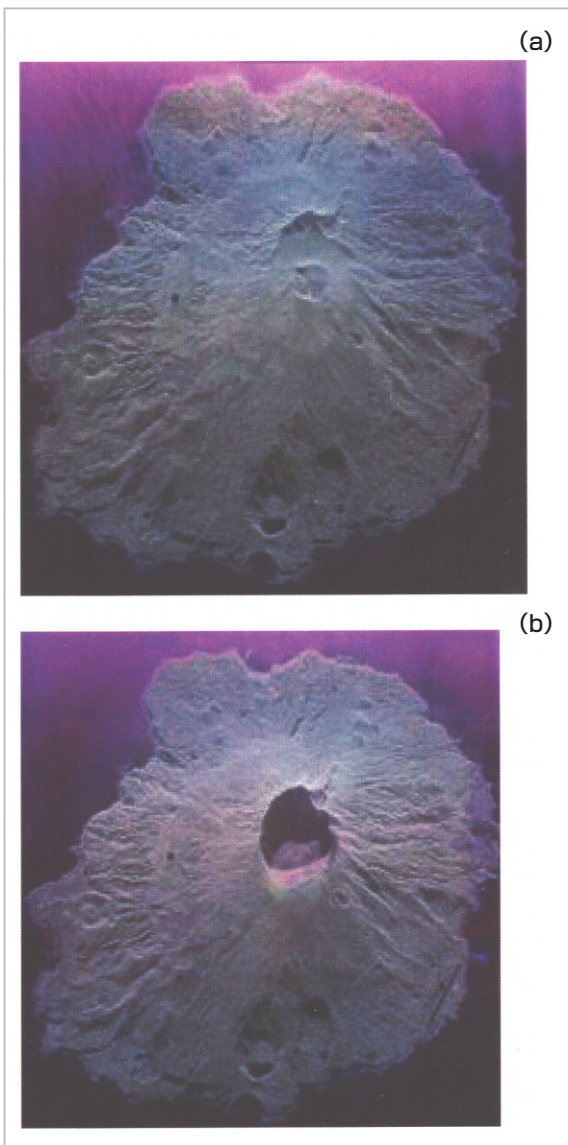


図 18 三宅島火山災害時の観測結果

(Xバンド、偏波カラー合成(HH: Red、HV: Green、VV: Blue)、飛行方向←、照射方向↓)、(a)2000年7月6日、(b)2000年8月2日観測

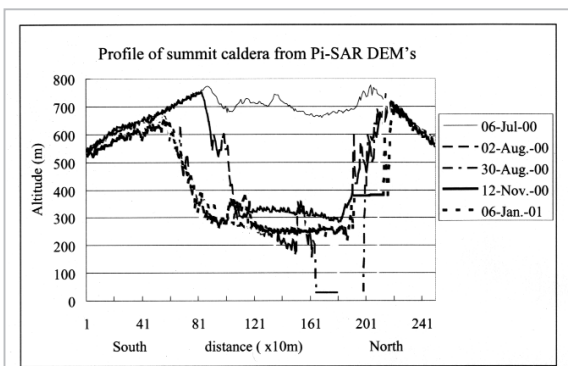


図 19 インターフェロメトリ観測により得られた三宅島(雄山)火口付近の高度プロフィール

それ以降はほとんど変化してないことが分かる。また、陥没口の傾斜は45度程度であることが分かる。

4 今後の計画

前章で述べたように、Pi-SARはこれまでの飛行観測実験において日本各地の高分解能のポーラリメトリック画像データを収集した。また、有珠山や三宅島の火山活動時期に連続したデータ収集も行った。今後も飛行観測実験を継続して実施するとともに、SARの地球環境計測や災害監視への応用を実証するために、これらのデータを解析することが必要である。

今後の観測実験においては、次の3項目に重点を置き、現在準備を進めているところである。

- (A) 映像レーダ関連研究の拡大、データの有効利用促進のため、Pi-SARの観測実験提案を公募する。
- (B) Pi-SARの日本国外での観測を実施し、国内では得ることの難しい地質調査や古環境探査等をターゲットとした研究のためのデータを取得する。
- (C) 2004年にNASDAが打ち上げる陸域観測技術衛星(Advanced Land Observation Satellite, ALOS)衛星搭載のフェーズドアレイ方式LバンドポーラリメトリックSAR(Phased Array L-band SAR, PALSAR)とPi-SARの相互較正等、関連研究を推進する。

5 おわりに

Pi-SARは1996年の初飛行以来、日本各地の映像レーダデータを収集した。これらのデータは日本国内で初めて得られた高分解能のポーラリメトリック画像として、SARの応用研究のために、関連研究者にとって重要なデータとなっている。また、有珠山や三宅島の火山活動時期に航空機搭載映像レーダの全天候性や機動性を生かして、連続したデータ収集を行い、災害状況把握などに役立つ映像データを提供してきた。今後も観測実験を続け、他機関の研究者と連携を取りつつ、SARの地球環境計測や災害監視という応用への実証を目指した実験研究を行う。

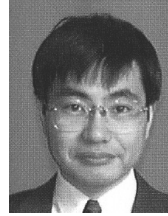
参考文献

- 1 T. Kobayashi, et al., Airborne Dual-Frequency Polarimetric and Interferometric SAR, IEICE Trans. Commun., Vol. E83-B, pp. 1945-1954, 2000.
- 2 梅原他, “航空機搭載 3次元高分解能映像レーダ(Pi-SAR)システムの開発”, 本特集。
- 3 若林他, “Lバンド航空機 SARの相互較正実験”, 日本リモートセンシング学会第30回学術講演会論文集, pp.261-262, 2001.04.
- 4 M. Satake, et al., Calibration of an X-band Airborne Synthetic Aperture Radar with Active Radar Calibrators and Corner Reflectors, CEOS 1999 SAR Workshop, Toulouse, France, 1999.
- 5 M. Satake, et al., Development of Polarization Selective Corner Reflectors and Its Experiments for Calibration of Airborne Polarimetric Synthetic Aperture Radar, IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australia, 2001.
- 6 青木久他, “都市域における航空機 SAR画像の特徴”, 日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集, pp.137-140, 1999.
- 7 杉中他, “レーザスキャナによる SAR森林観測の評価”, 日本リモートセンシング学会第29回学術講演会論文集, 2000.11.
- 8 三塚他, “高分解能多偏波航空機 SAR森林観測データの特性”, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.20, No.4, pp.47-66, 2000.
- 9 梅原他, “航空機搭載 SAR(PI-SAR)による農作物の観測”, 日本リモートセンシング学会第27回学術講演会論文集, 1999.11.
- 10 石塚他, “衛星搭載次世代 SARの陸域観測仕様に関する研究－児島湾干拓地における多種 SAR観測－”, 日本リモートセンシング学会第27回学術講演会論文集, 155-158, 1999.
- 11 石塚他, “PI-SAR観測における農地の散乱特性の違い”, 日本写真測量学会平成13年度年次学術講演会発表論文集, 229 – 230, 2001.
- 12 T. Matsuoka, et al., Deriving sea ice thickness and ice types in the Sea of Okhotsk using dual-frequency airborne SAR (Pi-SAR) data, Annals of Glaciology, Vol. 34, to be published.
- 13 T. Matsuoka, et al., CRL/NASDA airborne SAR (Pi-SAR) observations of sea ice in the Sea of Okhotsk. Annals of Glaciology, Vol. 33, p115-119, 2001.
- 14 本間他, “二つの航空機 SARデータを用いた砂中埋設物の散乱モデルの検証”, 日本リモートセンシング学会第31回学術講演会論文集, 2001.
- 15 浦塚他, “航空機搭載 SAR(PI-SAR)による X-SAR/SRTM地形観測検証実験”, 日本リモートセンシング学会第27回学術講演会論文集, 1999.
- 16 浦塚他, “パシフィックリム2000実験速報”, 日本リモートセンシング学会第29回学術講演会論文集, 2000.
- 17 M. Fujita, et al., SIR-B experiment in Japan: Sensor calibration and oil pollution detection over Ocean, IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens., Vol. 24, pp.567-574, 1986.
- 18 浦塚他, “航空機搭載映像レーダによる有珠山の観測(速報)”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-B, No.1, pp.134-136, Jan. 2001.
- 19 前野他, “Pi-SARのDEMにより得られた有珠山地表面変動量”, 日本リモートセンシング学会第30回学術講演会論文集, 2001.
- 20 浦塚他, “航空機搭載高分解能映像レーダによる有珠山・三宅島の噴火災害の観測, 通信総合研究所第99回研究発表会予稿集”, 2000.11.



佐竹 誠

電磁波計測部門環境データシステムグループ主任研究員
マイクロ波リモートセンシング
satake@crl.go.jp



浦塚清峰

電磁波計測部門環境データシステムグループリーダー 工学博士
マイクロ波リモートセンシング
pata@crl.go.jp



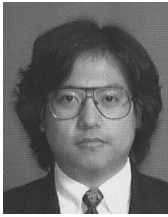
梅原俊彦

電磁波計測部門環境データシステムグループ主任研究員
地球環境リモートセンシング
umehare@crl.go.jp



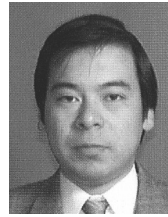
前野英生

電磁波計測部門環境データシステムグループ主任研究員
電波リモートセンシング
maeno@crl.go.jp



灘井章嗣

電磁波計測部門環境データシステムグループ主任研究員
海洋物理学、海洋リモートセンシング
nandai@crl.go.jp



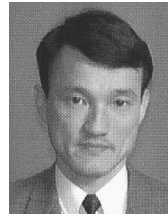
小林達治

電磁波計測部門環境データシステムグループ主任研究員 博士(理学)
マイクロ波によるリモートセンシング
tkoba@crl.go.jp



松岡建志

電磁波計測部門亜熱帯環境計測グループ研究員 博士(工学)
電波リモートセンシング、雪氷学
take@crl.go.jp



真鍋武嗣

電磁波計測部門SMILESグループリーダー 工学博士
マイクロ波、ミリ波帯の電波伝搬及びリモートセンシング
manabe@crl.go.jp



増子治信

電磁波計測部門長 理学博士
マイクロ波リモートセンシング
masuko@crl.go.jp