

人工衛星 SAR による火山性変色水の検出可能性についての検討

土出昌一：水路部海洋研究室

大谷康夫：水路部沿岸調査課

蔭山邦幸：リモートセンシング技術センター解析利用本部計画推進室

Can SAR Images Detect the Discolored Waters Spouting from the Submarine Volcanoes?

TSUCHIDE masakazu : Ocean Research Laboratory

OTANI yasuo : Coastal Surveys and Cartography Division

KAGEYAMA kuniyuki : Planning Office, Data Analysis and Application Division, RESTEC

1. まえがき

日本には89の活火山があるが、そのなかには大島、三宅島のような火山島もあれば明神礁や福徳岡ノ場のような海底火山もある。火山活動をしていない海底火山は海面からはその存在さえわからないが、火山活動を始めると山頂の水深が100m程度より浅い場合には海面を乳白色～褐色に染める現象（火山性変色水と呼ばれる）を呈することがよくある。

火山性変色水を LANDSAT 等の地球観測衛星に搭載されている光学センサーで捉えることは容易である。図1は ADEOS の AVNIR が福徳岡ノ場海底火山の火山性変色水（以後変色水と記す）を捉えた例である。バンド1～バンド3の画像上部に見られる水平な細い白線が変色水であり、白線の右端の噴出点（海中の噴火口）から左（西）方向に流れていることがわかる。変色水は一種の懸濁物であり（小坂ほか、1977）海水中を浮遊しているためバンド4（近赤外バンド）には写らない。また、1点（場合によっては数点）から湧き出し海表面近くを拡散しつつ漂流するため雲と識別できる。

画面中央下には山頂部が雲に覆われた南硫黄島が写っているが、海底火山は簡単には移動しないことから島の近くにある海底火山については島からの距離と方向によっても変色水の出現位置（噴火口的位置）をあらかじめ想定することができる。

このように変色水は衛星搭載の各種光学センサー

で捉えることができるが問題は雲である。図1でも画面上に多くの雲があるが、福徳岡ノ場付近の数年間にわたる衛星写真を調べた結果では、福徳岡ノ場付近の海面が雲に覆われていない画像は2～3割程度であった。

マイクロ波を用いた合成開口レーダー（SAR）は雲の有無に関わらずいつでも海表面を調査することができる。変色水は通常は海表面下の現象であるが、変色水が下から激しく噴出すれば海表面は波立つであろう。また、激しく噴出すれば変色水の一部は海表面上にも分布し海表面の波の状態が変化するかもしれない。これらの海表面の波を SAR で検知できれば、波の状態から海底火山の活動状況を知ることができるかも知れず、海底火山近傍を撮影している SAR データを調べてみた。

2. SAR データ解析

(1) 福徳岡ノ場

写真1は1996年4月4日の福徳岡ノ場海底火山変色水を北東から見たものであり、乳白色の変色水は写真上で中央の噴出点から右方向に流れている。変色水後方の島は南硫黄島である。

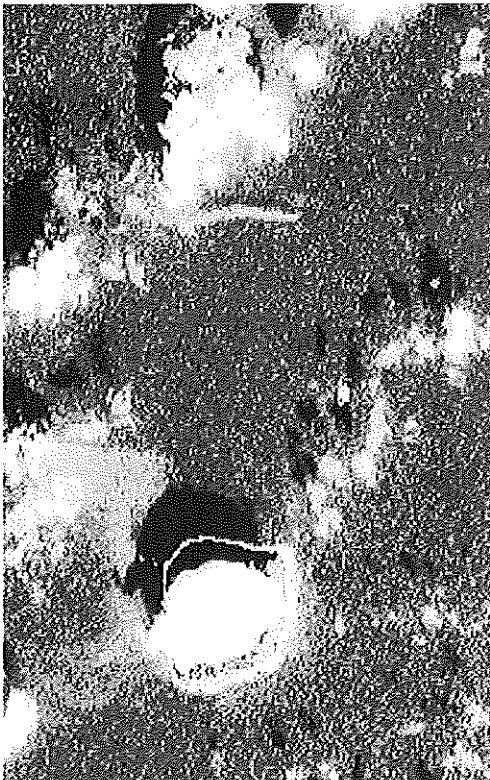
JERS-1の SAR 画像を図2、図3に示す。図2は1993年2月16日に、図3は1998年1月25日に撮影されたものである。福徳岡ノ場海底火山は南硫黄島の北北東約5kmの地点にある。図2及び図3には縮尺は入っていないが図1とほぼ同尺であり、東西約2



バンド1



バンド2



バンド3



バンド4

図1 南硫黄島と福徳岡ノ場海底火山変色水 (1996年12月17日 ADEOS AVNIR) [衛星データ所有・提供：宇宙開発事業団]

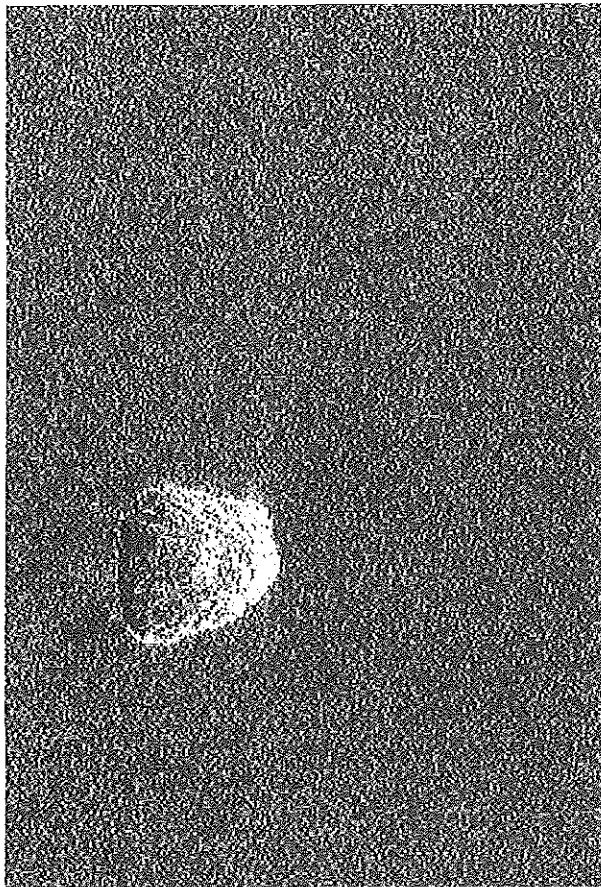


図2 南硫黄島と福徳岡ノ場 (1993年2月16日 JERS-1SAR) [衛星データ所有：通商産業省/宇宙開発事業団，衛星データ提供：宇宙開発事業団]

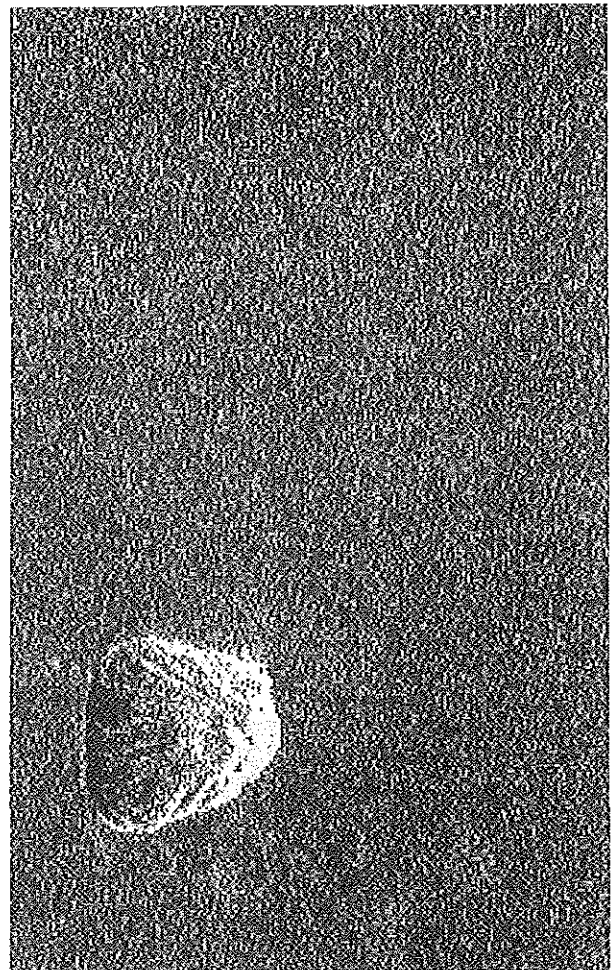


図3 南硫黄島と福徳岡ノ場 (1998年1月25日 JERS-1SAR) [衛星データ所有：通商産業省/宇宙開発事業団，衛星データ提供：宇宙開発事業団]

km，南北約2 kmの南硫黄島を基準にすれば福徳岡ノ場の画像上の位置は容易に推定できる。図の方向はいずれも上が北である。

1993年2月15日と1998年1月22日には海上自衛隊の航空機によって福徳岡ノ場で変色水が確認されている。SAR画像が撮影された日の1日前～3日前であり撮影当日に変色水があったことを示すものではないが、変色水は継続して出続けていることが多いため少なくとも図2，あるいは図3のSAR画像が撮られた時のいずれかには変色水があった可能性が高い。いずれにせよ図2には南硫黄島以外まったく何も写っていない。図3には南硫黄島の南側から東方向に何か写っているようにも見えるが少なくとも変色水ではない。

(2) 硫黄島

SAR画像を図4，図5に示す。福徳岡ノ場と同じJERS-1のSARによるもので図4は1993年2月16日の，図5は1998年1月25日に撮影されたものである。写真2はすり鉢山越しに見た硫黄島の南東側の海岸付近，写真3は硫黄島の北側の海岸線付近であり，いずれも黄褐色の変色水が見られるが，図4及び図5のSAR画像には海の情報は何にも認められない。

(3) 噴火浅根

SAR画像を図6，図7に示す。これまでと同じくJERS-1のSARによるもので図6は1993年2月17日の，図7は1996年4月6日に撮影されたものである。画像の中央右寄りに写っている島が東西約2 km，南北約3 kmの北硫黄島であり噴火浅根は北硫黄島の

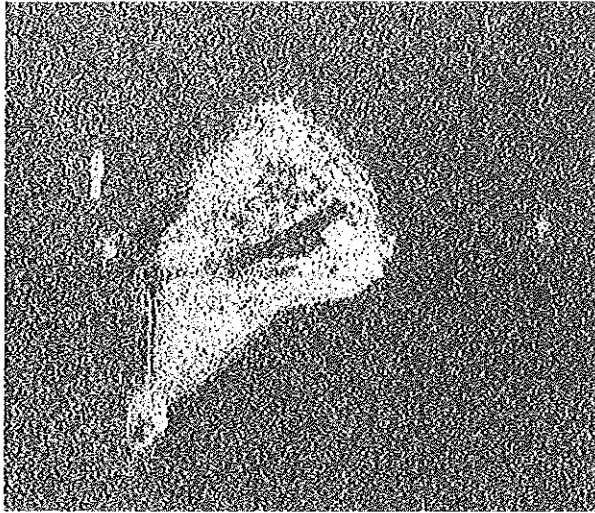


図4 硫黄島 (1993年2月16日 JERS-1SAR) [衛星データ所有：通商産業省/宇宙開発事業団, 衛星データ提供：宇宙開発事業団]

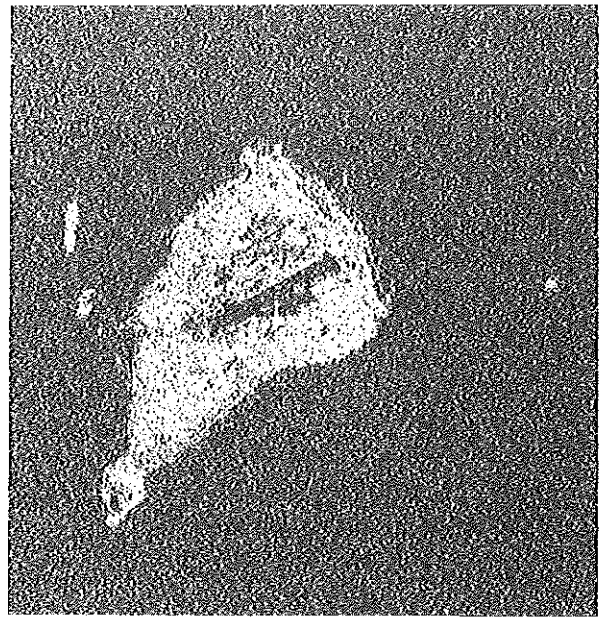


図5 硫黄島 (1998年1月25日 JERS-1SAR) [衛星データ所有：通商産業省/宇宙開発事業団, 衛星データ提供：宇宙開発事業団]

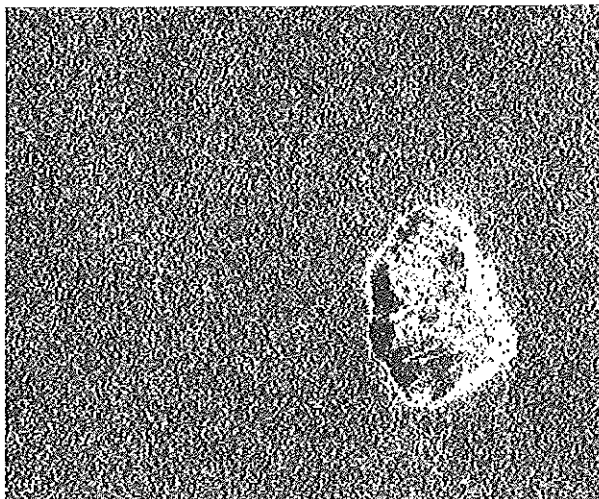


図6 北硫黄島と噴火浅根 (1993年2月17日 JERS-1SAR) [衛星データ所有：通商産業省/宇宙開発事業団, 衛星データ提供：宇宙開発事業団]

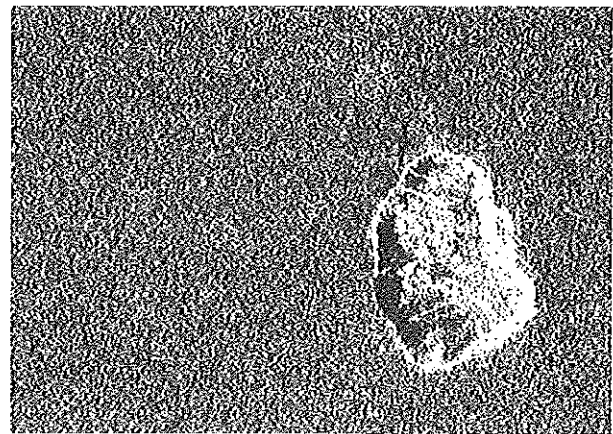


図7 北硫黄島と噴火浅根 (1996年4月6日 JERS-1SAR) [衛星データ所有：通商産業省/宇宙開発事業団, 衛星データ提供：宇宙開発事業団]

西北西約4 kmの地点(画像左上)にある水深14 mの海底火山(浅瀬)である。1930年頃から1950年頃にかけてかなり活発に海底火山活動を行っていた記録があるが、最近では変色水が見られることは極めて希であり、ここ20年間ではごく弱い変色水が3回認められた程度である。

福徳岡ノ場、硫黄島の場合と同じ様に図6、及び

図7の画像には海の情報は何も写っていない。

噴火浅根は周囲の水深約300~400 mから高まるほぼ円錐形の火山であり、山裾からの湧昇流によって付近の流れが変わっていることがある。噴火浅根の火山活動が活発化して水深が浅くなれば(火山が成長すれば)湧昇流も変化するであろう。この湧昇流を捉えることができれば海底火山の成長を知ること

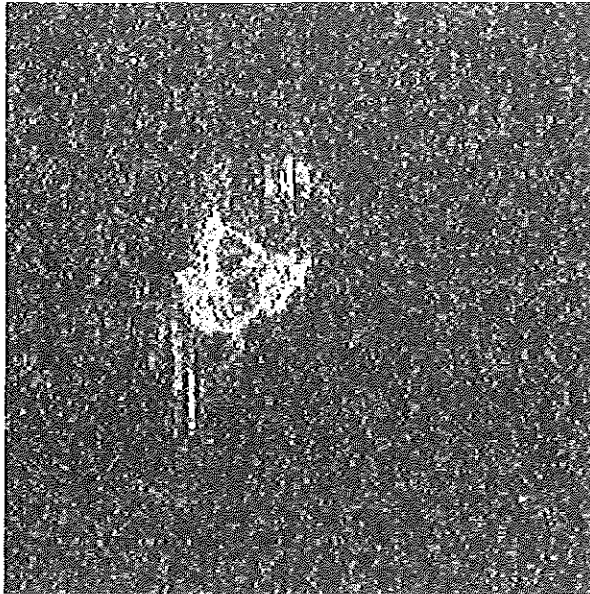


図8 西之島 (1993年2月18日 JERS-1SAR) [衛星データ所有：通商産業省/宇宙開発事業団, 衛星データ提供：宇宙開発事業団]

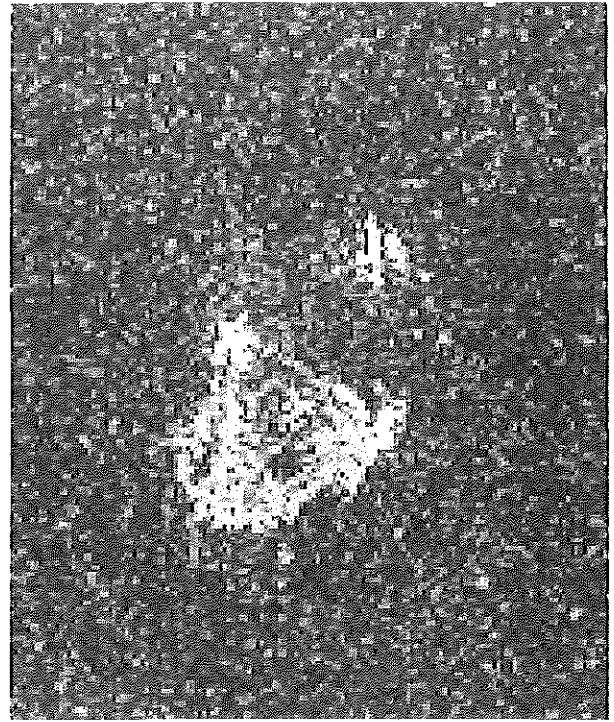


図9 西之島 (1993年4月7日 JERS-1SAR) [衛星データ所有：通商産業省/宇宙開発事業団, 衛星データ提供：宇宙開発事業団]

ができるかもしれない。また、噴火中であれば変色水等が海中から激しく噴出することから噴出点を中心に何らかの流れ模様、あるいは波紋が検出できるかもしれない。

(4) 西之島及び西之島新島

JERS-1の SAR 画像を図8, 図9に示す。図8は1993年2月18日の、図9は同年4月7日に撮影されたものである。これまでと同じく海の情報極めて乏しい。

図10に西之島及西之島新島の地形図を示す。島の北東には大小9個あまりの岩礁があり、島の南には比較的大きな岩が1個と小さな岩礁が2個南北方向に並んでいる。図8, 図9にはそれらの岩礁のいくつかを認めることができ、特に図9では北東の岩礁については4~5個が、南側の岩礁については2個認めることができる。10mにも満たない岩礁をJERS-1の SAR は写し出しており、海底火山が成長して島(岩)を形成した場合には SAR で十分確認することができることを示す画像である。

(5) 薩摩硫黄島

1995年8月26日に撮影された SAR 画像を図11に

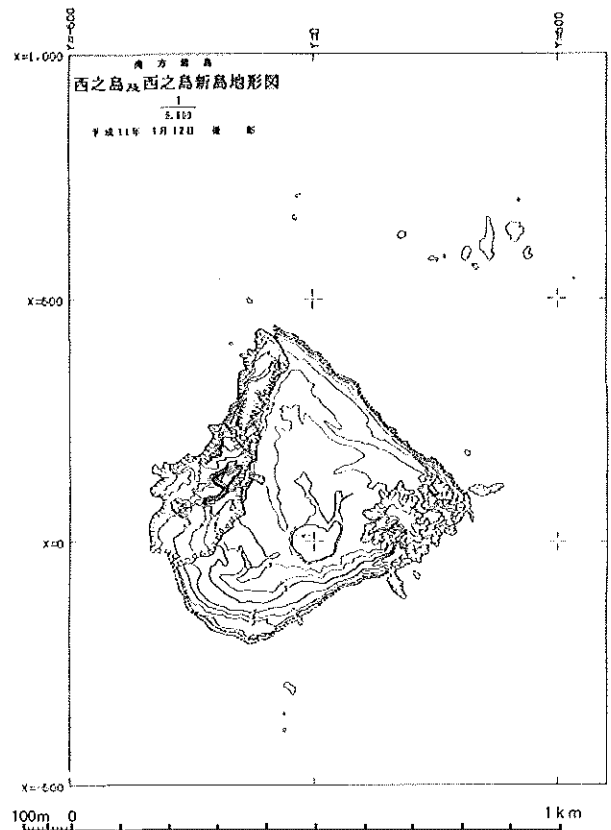


図10 西之島及西之島新島地形図 (1999年1月12日撮影)



図11 薩摩硫黄島 (1995年 8 月26日 ERS-1AMI-SAR) [衛星データ所有：© ESA (1995), 衛星データ提供：宇宙開発事業団]

示すが、これはいままでの JERS-1の SAR ではなく ERS-1の SAR (AMI) である。ERS-1の SAR は Cバンド(5.3GHz)であり、JERS-1の SAR の Lバンド (1.275GHz) よりも波長が短く、海洋(波浪)を比較的良好に写し出すといわれているが確かに海面模様がよく現れている画像である。島の東側には標高約700mの硫黄岳がそびえており、島の東側の海岸線はその硫黄岳に隠されていて見えない。

写真4は島を東から見たものであり、写真5は島を南西から見たものであるが、変色水は乳白色(写真4)あるいは茶褐色(写真5)に写っている。これらの変色水は陸地に湧き出したいわゆる温泉が海岸から海に流れ込んで生じたものであり海表面上および海水中を沖に向かって拡散している。

図11では島の北側あるいは南側の変色水がある場所あたりの画面が白くなっているように見えるが、茶褐色の変色水が一番よく現れている島の南西にある港内(写真5の左下、茶褐色の範囲が広い場所)は SAR 画像にはなにも写っていない。また、SAR 画像では島の南西の岬(図の左下部分)から東(右)方向に流れ模様が見られるがこの海域には変色水は

ない。少なくとも図11を見た限りでは変色水と SAR 画像の白い部分との対応はあまりよくない。

3. 今後の課題

火山性変色水、あるいは海底火山活動に因る何らかの海面模様を SAR が捉えているかどうかを調べてみたが、海底火山活動を示すようなものは SAR 画像には認められなかった。

今回の事例から、硫黄島のように火山島の周囲に見られる変色水を SAR 画像から検出することは単純に衛星データを画像化するだけでは極めて困難であることがわかった。

海底火山の周囲には湧昇流が起きている場合が少なくない(湧昇流によってプランクトン等の栄養素が上昇しそれを餌とする魚が集まるため海底火山周辺は格好の漁場となっている場合が多い)。湧昇流によって海流・波浪が変化すれば、それらを SAR 画像は捉えることができるかも知れない。海底火山活動が盛んになれば変色水が下から吹き上げるように上昇するが、この場合には噴火口上に波が立つ。海流あるいは波浪を通しての海底火山活動の把握は可能

南硫黄島



写真1 南硫黄島と福徳岡ノ場火山性変色水 (1996年4月4日撮影)



写真2 すり鉢山方向より硫黄島南東側海岸を望む



写真3 硫黄島北側海岸線付近



写真4 薩摩硫黄島を東側から望む



写真5 南西側から見た薩摩硫黄島

と思えるが、実証するためには火山活動が激しいときの(海底火山の噴火口上の海表面が波立っている)衛星データを調べることが必要である。

海底火山が成長して島(岩)になると、西之島で見られたように(図8, 図9) SAR画像で新島を捉えることができる。今まで何もなかった海底火山の噴火口上の海表面になにかが現れればそこで激しい火山活動が起こっている、あるいは新島が形成された(新島が形成されつつある)のではないかと期待される。もちろん漁船であるかも知れないが、海表面の何らかの変化を衛星データで捉えることができれば航空機によってそれが何であるかの確認をすればよい。航空機の効率的な運用が可能となる。

まず、海底火山活動の激しい時期の SAR画像を入手し、SARデータが海底火山活動に起因する何らかの現象を捉えていることを確認することが必要であろう。

衛星データにより海底火山の周辺海域に何らかの異常が捉えられた場合には航空機によって現場の詳細な調査を行う、あるいは船舶による観測を行う等船舶・航空機を用いての効率的な観測が可能となる。もう少し事例検証を続けることが必要である。

本論文に使用した人工衛星のデータは、衛星リモートセンシング推進委員会の活動の一環として、宇宙開発事業団より提供されたものである。

参 考 文 献

小坂丈予・大平洋子・平林順一・森彰；海中で生成したシリカーアルミナ含水低結晶物質と沈殿アロフェンとの比較, 鉱物学雑誌特別号, 13, 178-186 (1977)