

レーダーで見た日本の地形・地質

山口 靖・村岡 洋文・長谷 紘和 (地殻熱部)
Yasushi YAMAGUCHI Hirofumi MURAOKA Hirkazu HASE

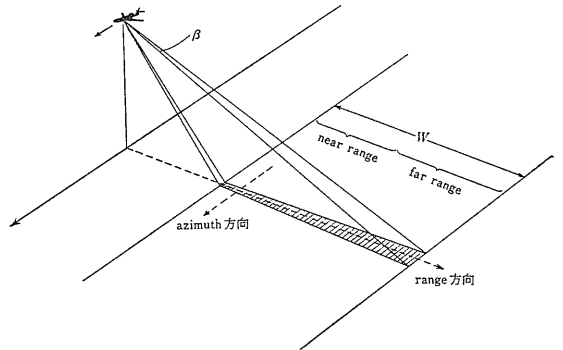
1. はじめに

近年のリモートセンシング技術の発展は目ざましいものがある。テクノロジーの急速な進歩によって新しいセンサーの開発が可能となり これまでは得られなかったデータが入手できるようになってきた。ここで紹介しようとする画像レーダーは 1960年代から地表のマッピングに使われるようになってきた技術であるが 日本列島のほぼ全域が画像レーダーによって撮像されたのはこれが初めてである。また 通商産業省と科学技術庁が昭和65年度に打ち上げを計画している地球資源衛星にも画像レーダーが搭載される予定であり より高度なセンサーやデータ処理技術の研究開発が精力的に進められている。

このような時期に 日本全国のレーダー画像が公開されたことは (新エネルギー総合開発機構 1984) 本来の目的である地熱資源探査のためにはもちろんであるが リモートセンシング技術の評価という面からも意義が大きい。レーダー画像は 新エネルギー総合開発機構 (NEDO) が全国地熱資源総合調査の一環として取得したものである。ここでは 今回公開されたレーダー画像の特徴について簡単に述べ 代表的ないくつかの画像例を示して 今後レーダー画像を使われる方々の参考としたい。

リモートセンシングでは 情報を得るための媒体として電磁波を用いている。たとえば 空中写真やランドサット衛星の MSS (Multi Spectral Scanner) は 可視光から赤外線にかけての領域 (波長0.4~10 μ m) を対象としたものである。これに対して 画像レーダーでは波長 1~30 cm 程度のマイクロ波を用いているので 空中写真や MSS とは違った特徴を有している。まず第1に マイクロ波は雲を透過するため ある程度まで天候に関係なく地表面の撮像が行なえることがあげられる。雲の全くないランドサット MSS 画像の取得機会は 特に熱帯から温帯域では非常に少ないことを考えると これは大きな利点である。国土全域の空中写真がなかなか得られない熱帯の国々では レーダー画像を地形図の代わりにしている例もある。

第2には レーダーが能動 (active) 方式であることによる利点がある。すなわち レーダーではアンテナが



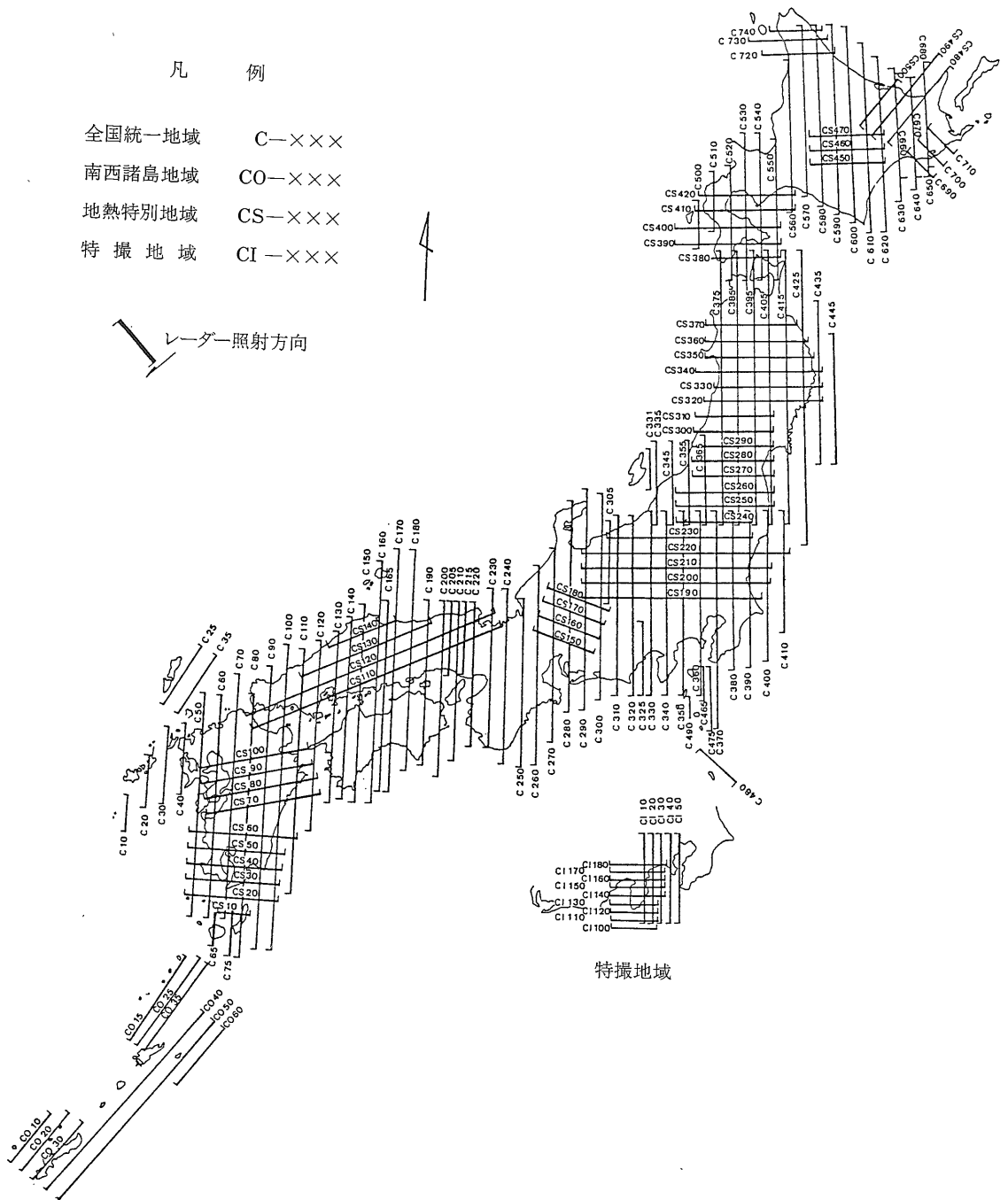
第1図 SLAR 概念図

受信器であると同時に送信器でもあり 地表に向けてアンテナから人工的にマイクロ波が照射される。このため 調査対象地域への照射マイクロ波の方向や俯角などは 調査目的に応じて設定することができる。これに対して 空中写真や MSS のように 太陽光を照射源として対象物からの反射波を感知する受動 (passive) 方式では 得られる画像は撮像時刻における太陽の位置 (方位・高度) に依存することになる。

画像レーダーでは SLAR (Side Looking Airborne Radar) という方式が採られている (第1図)。すなわち マイクロ波は 航空機の下に取り付けられたアンテナから 航空機の進行方向に対して垂直な面内で 側方斜め下方に向けて扇形に発射される。そして航空機が飛行しながらマイクロ波の発信 受信を断続的に繰り返すことによって 幅Wの帯状の地域がカバーされてゆく。画像レーダーには合成開口 (Synthetic Aperture) と実開口 (Real Aperture) という2方式があるが 前者のほうが技術的には進んだ方式であり 衛星に搭載されるのはすべて合成開口レーダー (SAR) である。

NEDOによるレーダー撮像は 1982年6月17日から 8月21日にかけて行われた。第2図に飛行測線を示す。この図からわかるように ほぼ日本列島全域が撮像対象となっている。撮像時間は ちょうど梅雨時と重なってしまったが 雲を透過するという利点を生かして作業は順調に進められ わずか2ヶ月余で日本列島をカバーしてしまった。

撮像調査を請負実施したのは 米国ヒューストンに本



第2図 調査飛行測線

第1表 レーダー撮像システム諸元

Xバンド・レーダー（HH方式）	
周波数	9.6GHz
波長	約3cm
帯域幅	15MHz
分散率	15対1
送信電力	50kw（ピーク時）
受信機雑音指数	5db
送信パルス	1μs
記録パルス幅	0.06μs
分解能	
方位分解能	全距離で10m
距離分解能	12m
記録データ	
2チャンネルで画像幅	37km
グランド距離表示	

社をもつエアロサービス社である。撮像装置はグッドイヤーエアロサービス社製のGEMS（Goodyear Electronic Mapping System：第1表）プラットフォームにはカラベル双発ジェット機が用いられた（第3図）。使用マイクロ波は波長約3cmのXバンド。照射俯角は約10～30°。地上分解能は約10～12m。一測線当りの撮像幅は約37km（撮像高度12,000m）である。撮像データはホログラムとして記録され、光学処理を経て縮尺40万分の1で実画像化される。最終的には、国土地理院の地勢図に準拠した縮尺20万分の1のモザイク画像が作成された。使いやすさからいけば20万分の1モザイク画像がよいが、モザイク作成に要するプロセスを経ている分だけ画質は劣っている。したがって、狭い範囲を詳細に検討しようとする場合には、短冊状のストリップ画像を使用したほうがよい。次章以下で示す画像のなかには、照射方向に直交する不自然な線が見られることがあるが、これは隣接するストリップ画像をモザイクしたつなぎ目である。

2. レーダー画像の特徴

前章で述べたように、レーダー画像はマイクロ波を用いた能動方式のシステムによって撮像されている。したがって、空中写真やランドサット画像とは異なったいくつかの特徴を持っている。ここでは、それらのうち地形・地質判読をする際に知っておいたほうがよいと思われるいくつかの特徴について述べることにする。

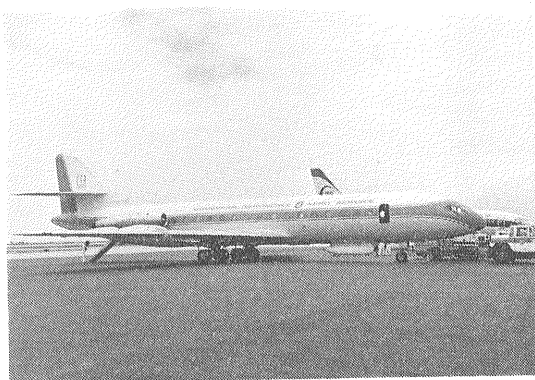
2.1 雷雲による影響

画像レーダーは雲や雨による減衰が少ないため、全天

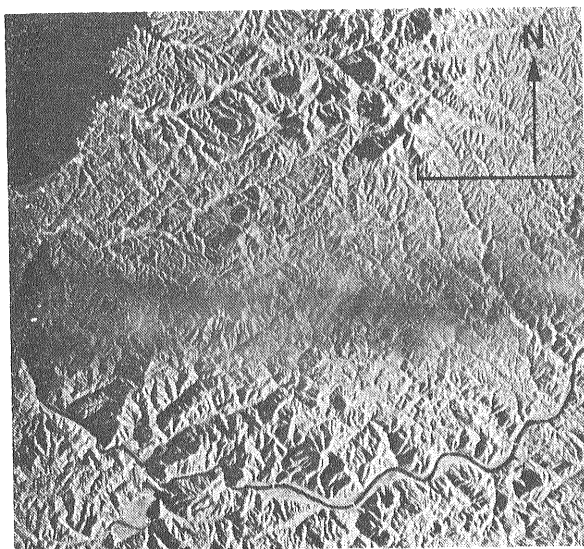
候型リモートセンシングであると言われている。しかし、滞電した積乱雲や著しく厚い雲からは、マイクロ波の散乱・吸収などの影響を受けることがある。第4図に示したのは、雷雲によってデータの欠落を起こした例で、画像中央の部分が黒く流れたように欠けている。こうした場合には、再撮像が行われた。

2.2 イメージウォッシュアウト

合成開口レーダー（SAR）ではレーダーアンテナを常に飛行方向に対して90°方向に向ける必要がある。これは受信反射波のゼロドップラ方向によって決定・制御される。しかし、海域では海面での鏡面反射により反射



第3図 カラベル双発ジェット機胴体の下にレーダーアンテナが見える。



第4図 雷雲による影響の例（島根県大江高山付近（画像中の矢印は北方向を、横棒は約5kmの長さを示す。以下すべての画像についても同様。この画像は西照射により撮像された）。

信号が得られないため アンテナ方向は多少の誤差を生ずる。したがって 海域から陸域に入る境界部分ではこの誤差を含んだ位相情報が記録されることがある。その結果 第5図に示したような不鮮明な画像となることがあり これをイメージウォッシュアウトと呼ぶ。これは ホログラムから実画像化する際に 装置を調整することによって画質の回復がある程度までは可能である。また 撮像コースを海域から陸域に入るのではなく 陸域から海域方向に抜けるように設定することによって回避することができる。

2.3 陰影効果

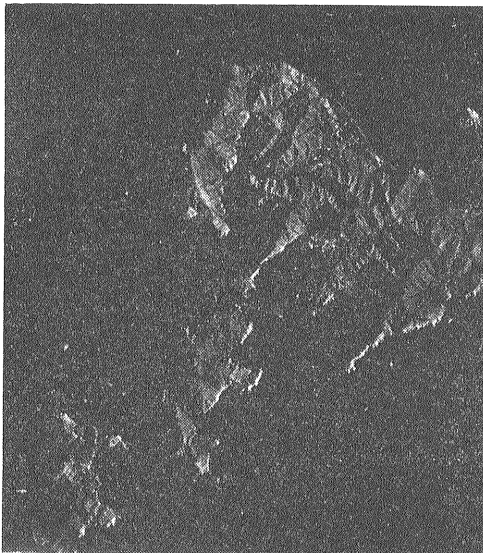
画像レーダーが地質構造の解析に有効であるのは 地表面に対して低い俯角で照射されるマイクロ波が 陰影によって地形起伏を強調するからである。その反面 能動型センサーである画像レーダーでは 地形の影となる部分にはマイクロ波が全く照射されておらず したがって画像上で陰影となっている部分の情報は全く得ることができない。つまり 陰影は画像レーダーが能力を発揮するために有効なものではあるが 多すぎても情報が失われて困るといった二面性を有しているわけである。このため 陰影の面積を決めるビーム俯角の範囲の選択が 重要な意味を持つてくる。一般には直交する撮像コースを設定するなど異なる照射方向からの撮像を行うことによって 情報の得られない部分を減少させることが行われる。

第6図に示した北アルプスの例では 急峻な山々と深

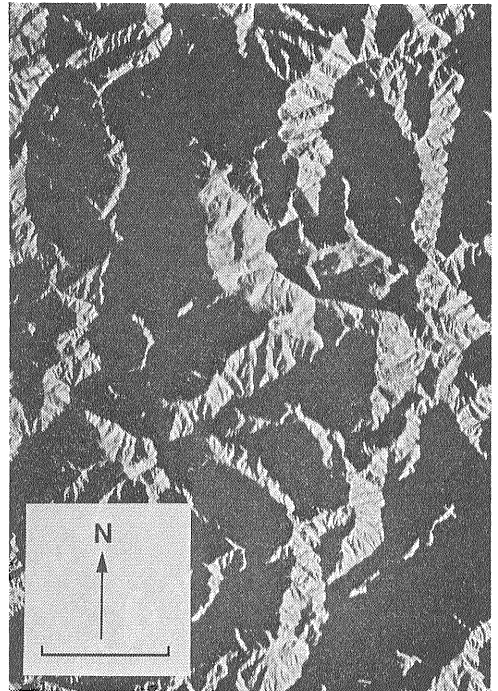
い谷のために 陰影の占める面積の割合が特に大きくなっている。この地域は こうした地形を考慮して通常の28kmよりも狭い測線間隔で撮像されており near range (第1図参照)の記録が優先的に用いられる。このため 20万分の1モザイク画像作成の際には ここに示した部分は使用されていない。

2.4 コーナーリフレクタ

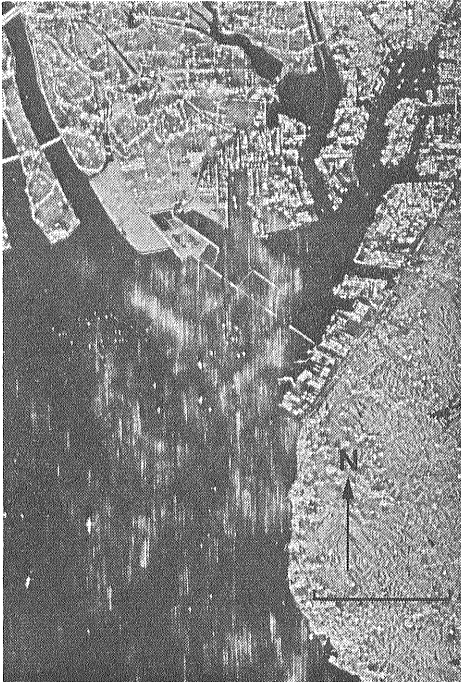
建物や道路などの人工構造物の表面は 自然の地形と比べてはるかに平坦であり しかもマイクロ波に対してはほぼ完全な鏡面としてふるまう。これらの2つの面が 直角に組み合わさってコーナーを作ったとき 2面の交線に直角にレーダービームが照射されるとビームの大部分が反射され アンテナに戻ることになり 画像上には非常に輝度の高い明点として現われる。これをコーナーリフレクタと呼ぶ。市街地にはコーナーリフレクタが無数に存在するため グラビア写真4の例のように名寄市 風連町 士別市などの市街地が 周囲の田畑や山林とは著しい対照をなして明るい格子状に見える。また 名寄盆地内のビーム方向に直交する道路や水路 鉄道の線路も輝度の高い明るい線となっている。



第5図 イメージウォッシュアウトの例 鹿児島県甕島列島のレーダー画像(西照射)



第6図 陰影の例 北アルプス薬師岳周辺のレーダー画像(西照射)。



第7図 レンジアンビギュイティの例 名古屋港沖の伊勢湾にカスリ模様状のノイズが現われている(西照射画像).

スの反射波に混入し 画像上にノイズとなって現われることがある. この現象をレンジアンビギュイティと呼ぶ. レンジアンビギュイティの起こる距離 R は マイクロ波のパルス繰返し周波数 P が $1,351.1\text{Hz}$ マイクロ波の速度 C が $299,923.8\text{ km/sec}$ であるから $R=C/2P=111\text{km}$ となる. 第7図の例では 約 100 km 西方の京都市街からの反射波によって 名古屋港沖にカスリ模様状のノイズが生じている. このように海上の場合は明瞭であるが 山地の陰影の中にとときき見えるカスリ模様のようなパターンにも レンジアンビギュイティによるものがある. レンジアンビギュイティは レーダーの性質上回避できない.

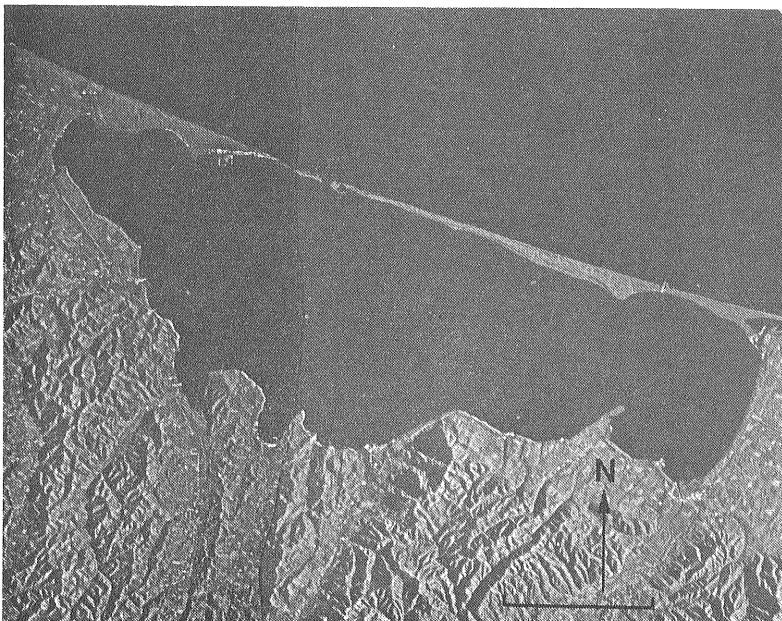
2.6 照射方向の効果

画像レーダーに限らず空中写真やランドサット画像にもあてはまることであるが 地表面からの電磁波の反射を捕えて画像化するときには 電磁波の照射方向によって得られる画像情報に差異が生ずる. とくに照射波が低俯角のレーダー画像の場合 陰影効果によって微細な地形起伏が強調されるという利点もあるが その反面で陰影による方向性を持った選択的な強調効果が強く生ずる. その結果 画像上での地形的特徴の判読のしやすさが照射方向の違いによって著しく変化する.

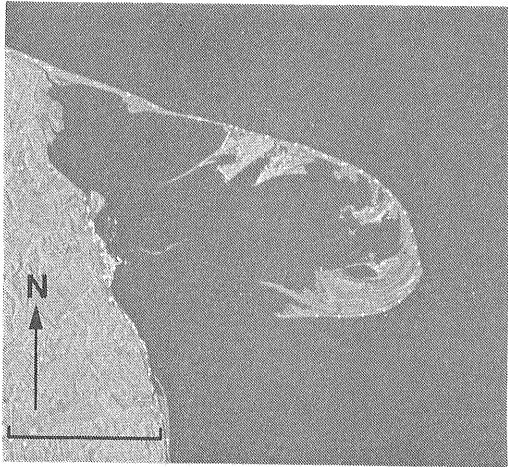
グラビア写真6は 同一地域について直交する2方向から撮像された画像の例である. 照射方向が異なると同じ地域であってもかなり異なった印象の画像となるのがわかるであろう. たとえば この地域には画像の中

2.5 レンジアンビギュイティ

人工構造物などによるコーナーリフレクタの集合が撮像範囲の遠方に存在すると それからの強い反射信号が1パルス繰返し周期分遅れて 撮像範囲からの次のパル

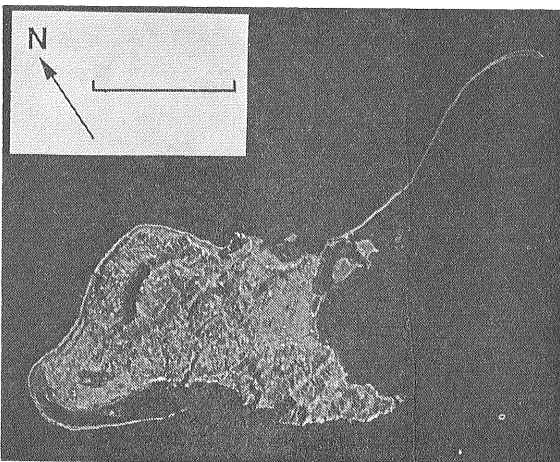


第8図 砂州 北海道サロマ湖のレーダー画像(西照射)



第9図 分岐状鉤形砂し 北海道野付崎のレーダー画像（東照射）

中央や東側を南北に縦断して 活断層である丹那断層が延びているが 西照射の画像では丹那断層の位置は明瞭であるのに 北照射の画像でははっきりしない。これは MacDonal et al. (1969) が指摘したように 一般に照射方向に平行な地質構造は判読しにくいことによる。また 日本のように細かい山ひだが発達する地域では 照射波と地形との間の幾何学的な関係により 照射波に対して 20~30° 方向をなす直線的な谷が リニアメントとして強調されやすい傾向がある (山口, 1984)。したがって リニアメントの方向別傾度分布などを取り扱う際には こうした方向性のある選択的強調効果に十分留意する必要がある。



第10図 離水サンゴ礁 沖縄県久米島のレーダー画像（北西照射）
1985年9月号

3. いくつかの画像例

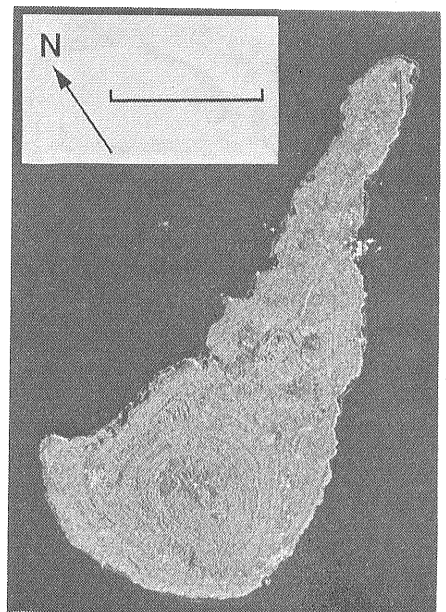
3.1 砂嘴および砂州：サロマ湖 野付岬

“沿岸流によって運ばれてきた砂礫が岬や半島から海へ細長く突き出した砂礫の州”を砂嘴と呼び そのなかでも 湾または入江をほとんど閉塞するものを砂州という。

第8図の画像は 日本最大の汽水湖であるサロマ湖であるが 延長約30kmの砂州によってオホーツク海と境されている。このような湖を潟(ラグーン)という。砂州の幅は200~700mあり 高さは最高16mである (黒田・寺岡, 1964)。中央やや東側では 砂州が2帯の砂丘からなっているのが読み取れる。第9図は 分岐状鉤形砂しの典型として有名な野付崎である。知床半島と国後島の間を通ってきた北東方向からの波浪は 野付崎以北約20kmの海岸を侵食し 多量の砂礫を供給している。この砂礫は 南東方向への沿岸流によって運搬され 野付崎付近に堆積しつづけ 南東方向に延びた砂嘴を形成した。また 分岐の形成については 海水準の変動に対応すると考えられている (高野, 1978)。画像上では 砂嘴を構成する高さ数m以下の浜堤が判読できる。外洋沿いにほぼ等間隔で並ぶ明るい点列は 地形図によれば人工構造物である。

3.2 離水サンゴ礁：久米島 沖永良部島

離水サンゴ礁とは 海水面直下で形成されたサンゴ礁



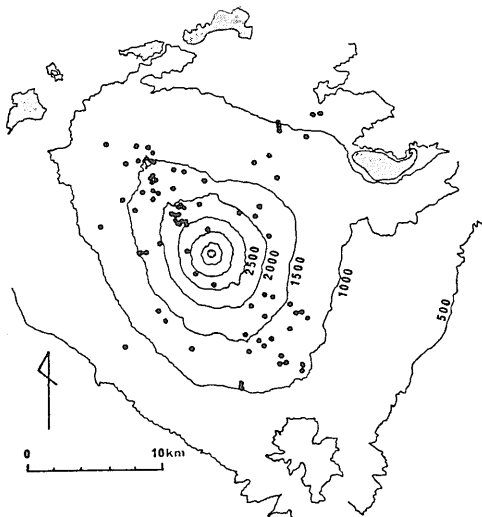
第11図 離水サンゴ礁 鹿児島沖永良部島のレーダー画像（北西照射）

が その後の海水準の低下によって離水し 海面よりも高いところにとり残されたものである。わが国では琉球列島に顕著に発達しており 第四紀の海水準変動を解明するうえで貴重な情報を提供している。第10図の画像では 久米島の東側に延長約15kmにおよぶ釣状の離水サンゴが発達する。その南側にほぼ平行して断続的に見えているのは砂嘴である(中川・村上, 1975)。また 島の西側にもラグーンを抱いた離水サンゴ礁が見られるが これを形成した約4,000年前の海水準は 現在よりもおよそ2.5m高かったと考えられている(TAKAHASHI and KOBA, 1977)。第11図は 沖永良部島である。島の西部部に 同心円状の構造を読みとることができる。これは 古生界の基盤岩を中心として その周囲を更新世の隆起サンゴ礁堆積物(琉球層群)が取り囲むようすを示している(中川, 1972)。

3.3 火山および地熱地帯

(a) 富士山

富士火山は 典型的な円錐火山であり 山頂からその広い山麓への断面は美しい指数曲線を示している。グラビア写真1でわかるように 溶岩流からなる広い平坦な裾野がみごとである。しかしながら この美しい外形の下には 3つの複合した火山体が存在することが明らかにされている(TSUYA, 1935)。また 滑らかな火山表面上には 数多くの側火山が突起しているのが明瞭に読みとれる。第12図に側火山の分布を示してあるが これらの山頂火口からえた方向別傾度分布は N35°W

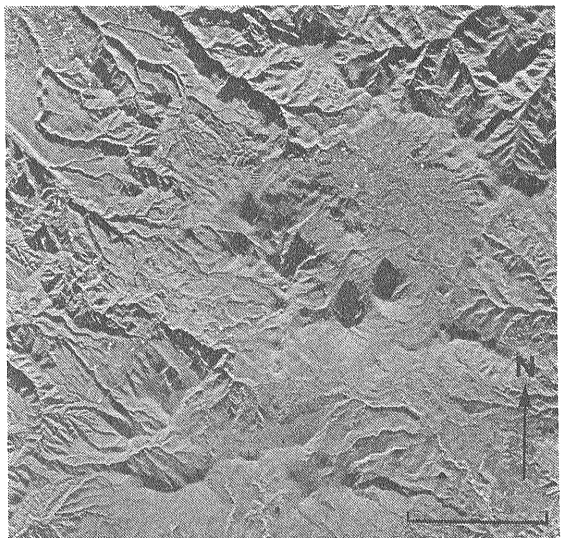


第12図 富士山の側火山分布 (TSUYA, 1943)
グラビア写真1参照

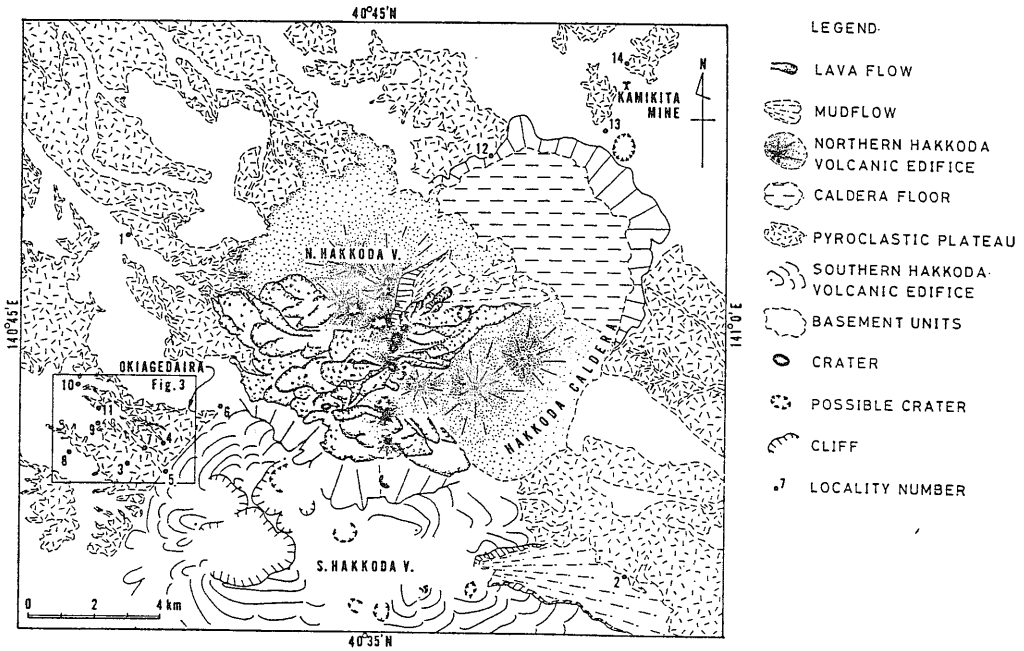
方向に著しい集中が認められ すくなくとも最近1万年間程度の間は N35°W・水平方向に平均的な圧縮応力軸があるような応力場が存在していたと考えられている(中村, 1969)。

(b) 八甲田山

第13図の画像中には 北八甲田火山 南八甲田火山 八甲田カルデラなどが見られる(第14図参照)。八甲田カルデラは 八甲田溶結凝灰岩の噴出により形成されたクレーターレーク型カルデラで 地形的に明瞭なのはカルデラ北東縁のみにすぎない。このため 従来カルデラ南西縁は その後の侵食や中央火口丘の活動によって原形を失ったものと考えられてきた。この場合 北八甲田火山は中央火口丘であり 南八甲田火山の活動時期はこれより若干古いものの 八甲田溶結凝灰岩の噴出後とするのが一般的な見方であった。しかし 本画像および同じ地域の“西方視”画像からは 北八甲田火山の火口や溶岩流が明瞭であるのに比べ 南八甲田火山は山体の開析程度が著しいことがわかる。第14図に示すように 八甲田火山周辺には八甲田溶結凝灰岩の成す火砕台地が広く認められ 北八甲田火山の溶岩流はこの台地上に流れた様子を示すが 南八甲田火山の裾野はこの台地となめらかな境界をもち 標高800m前後の所まで火砕流堆積物に埋められた様子を示す。このことから 南八甲田火山は八甲田溶結凝灰岩の噴出前に活動した先カルデラ火山であることが推定され 現地調査からもこの推定が証明された(村岡他, 1983)。従って 南八甲



第13図 八甲田山周辺のレーダー画像(北照射)

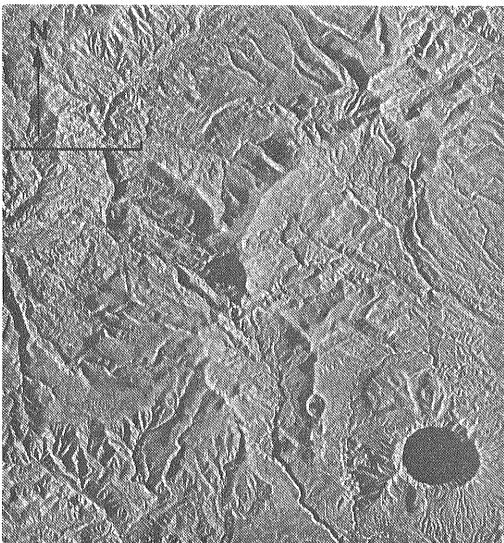


第14図 八甲田山周辺のレーダー画像判読図(村岡他, 1983)

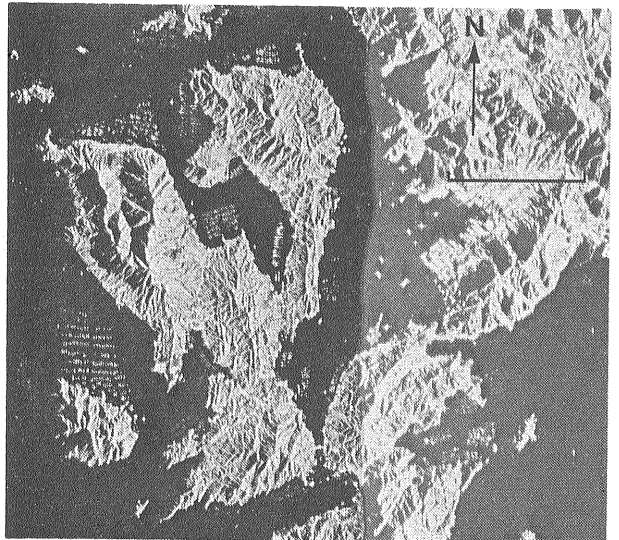
田火山は八甲田カルデラの南西縁そのものである。なお 八甲田火山にみられる火口の南北配列は広域応力場から期待される方向と異なっており 火山基盤中に潜在する褶曲軸または断層を反映している可能性が強い。

(c) 霧島山

霧島火山は 20以上の火山の集合からなっている。グラビア写真2に見られるように 直径200~1,000mの多数の火口群が 全体としてNW-SE方向に配列しているのが読みとれる。さらに霧島火山の北西側には 加

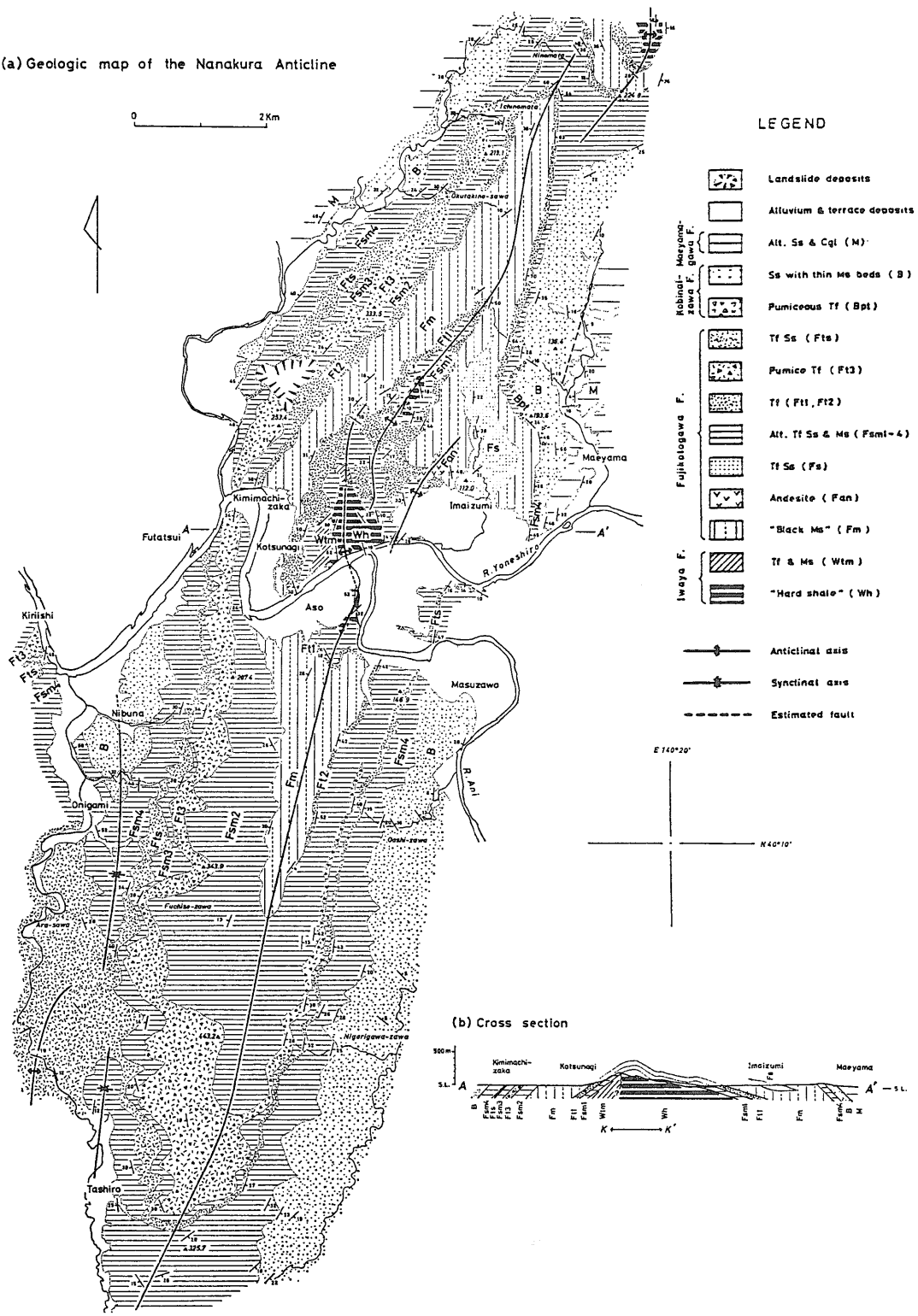


第15図 登別周辺のレーダー画像(西照射) 右下の湖は倶多楽湖。



第16図 平行岩脈群 広島江田島周辺のレーダー画像(西照射)

(a) Geologic map of the Nanakura Anticline



第17図 秋田県七座背斜周辺の地質図(伊藤, 1977) グラビア写真5参照。

久藤カルデラ(有田, 1957)の存在が知られているが画像上ではその西半部のみが地形的に明瞭である。カルデラ縁の南西部には NE-SW 方向のリニアメントが多数判読できる。また 霧島火山南方の国分市周辺には入戸火砕流堆積物の形成する平坦面が発達しており注意深く観察するとその上に作られた鹿児島空港の滑走路も見つけ出せるであろう。

霧島火山周辺では 地熱資源の探査が行われている。

(d) 登別周辺

室蘭の北東 20km に位置するこの火山地域は 第15図画像南端を経て内浦湾に注ぐ長流川 千歳川 毛敷生川等による開析が開始されているが 全般に原地形がよく保存されている。本地域の最下部層を構成する先第三紀層(スレート 輝緑凝灰岩)は南東部に小規模窓状に分布するが 画像上で特徴があらわれる程分布域は大きくない。

画像上では 侵食されずに残っている鮮新世から更新世の平坦な火砕流台地が滑らかな肌理を示すのに対し 侵食が進むにつれて一次の沢が急速に発達するようになる。いっぽう このような樹枝状の一次の沢が形成する細かい流系パターンとは異なり 凹凸の多い不規則侵食パターン(例えば西縁部)は地すべりによる原岩の移動と その後の侵食活動との組み合わせによるものと思われる。北東部に位置する域内の最高峰 ホロホロ山(1,322.4m)を中心に放射状に発達する谷地形は 谷頭部での侵食量が大きく 谷幅は中～下流で狭くなっている。これは谷頭部における地すべりまたは泥流の発達が大きかったことを示すもので その要因としては 地熱活動を考えることもできる。火山・地熱性の大規模な地すべり地形は 中央部のオロフレ岳周辺にも顕著である。

本地域内には登別 北湯沢 鱒溪^{はなづけ}など泉温 80°C 以上の温泉 カルス 弁景など泉温 60°C～80°C の温泉が知られ 北海道を代表する地熱・温泉地域のひとつである。

3.4 花崗岩地域：屋久島

花崗岩類からなる岩体中には しばしば系統的な断裂系が発達している。グラビア写真3に示した屋久島地域は 周縁部には古第三紀の四万十層群の砂岩泥岩が分布しているもの 島の大部分は新第三紀中新世の花崗岩類からなり 非常に急峻な山地を形成している。画像上では NE-SW および NW-SE 方向のほぼ直交する2系統のリニアメントが多数判読される。これらのリニアメントは 屋久島花崗岩分布地域に顕著に発達する格子状の水系や鞍部の直線的配列などに対応したもので 1985年 9月号

あり そのようにして地形に表現された花崗岩中の系統的な断裂系の存在を示している。この2方向の断裂系の成因については 花崗岩の冷却後に起こった四万十帯の広域的な隆起・剝削によって 島弧に直交する方向に最小圧縮主応力軸 平行な方向に中間圧縮主応力軸が配置するような広域的な引張り応力場が地下比較的浅所に生じたためであると考えられている(茂野, 1980)。また これらの系統的断裂系の頻度と画像分解能の関係について レーダー画像 ランドサット画像 空中写真による解析結果を比較検討した研究例がある(山口・長谷, 1983)。

3.5 平行岩脈群：広島県江田島

呉市周辺の画像地域(第16図)には 花崗岩類や流紋岩類など白亜紀火成岩類が広く分布している。例えば江田島のやや低い山地の細かな開析パターンは前者の岩相を 呉市東方の高い山地の大柄な開析パターンは後者の岩相を表している。

他方 注目されるのは能美島付近における南北性の陰影の縞紋様である。その形態は一見ケスタ地形に似ているが山稜両斜面の幅が一定の比率にならない点で異なっており むしろ一定幅の山稜間に不定幅の谷地帯がはさまれていることを特徴とする。本地形はこの特徴や地質状況からみて おそらくマサ化した花崗岩類の分布域にモノドック状に残った平行岩脈群を表すのであろう。事実 音戸の瀬戸や江田島付近では N-S 性ないし NE-SW 性の岩脈群が含角閃石花崗閃緑岩を貫き 音戸岩脈群として知られている(吉田, 1962)。岩脈はいずれも含角閃石-黒雲母花崗斑岩である。画像の東半に当る地域については最近 5万分の1地質図幅「呉」が公表され 岩脈群についても最近の調査結果が示されている(東元他, 1985)。第16図西半の能美島中央部には南北方向に長軸をもつ特異な地形配列がレーダー画像上に明瞭に示され 岩脈群の発達が容易に読みとれる。それら岩脈の幅は 100m のオーダーと推定され その南北性の走向は瀬戸内海沿岸の花崗岩体に随伴する岩脈の広域的卓越方向(横山他, 1976)に調和的である。なお ここでは一応 平行岩脈群と解したが 例えば音戸町付近(図中央下部)に収束点をもつ放射状岩脈群である可能性も残されているので検討を要す。

3.6 褶曲構造・秋田県七座背斜

秋田県八郎潟の北東約 30km に位置する本地域は 東北日本北部における広域的な東西方向の圧縮応力場の下で 南北に長軸をもつ褶曲構造が発達する場所である。これらの褶曲構造が最もよく地形に反映されている一例

として七座背斜構造をあげることができる。背斜構造はそのほぼ中央部を東西に屈曲しながら西流して日本海に注ぐ米代川により南北に両断される。背斜構造の地形的特徴は南半のブロックにおいて顕著である。背斜軸の両翼に発達するケスタ地形は本地域を構成する第三紀中新世後期の黒色泥岩と厚い軽石凝灰岩との差別侵食に大きく因っている。

グラビア写真5に示すレーダー画像は near range (第1図参照)でありマイクロ波の照射俯角は20数度である。他方背斜西翼の山体の傾斜は地層の傾斜角と近似的であり俯角とほぼ同角度を示す。このような状況下ではマイクロ波の被照射面のみの情報が輝度の高い部分として記録され他の斜面はレーダ陰影となるか(俯角<斜面傾斜角)被照射面が輝度の高い直線上に表現され他の斜面の情報のみが画像上に表現される(俯角=斜非傾斜角)場合が生じることが考えられる。このような観点から本地域はレーダー画像の詳細評価のための好モデル地域を提供しているといえる。

本地域の地質地質構造についてはこれまでも詳細な研究がなされており第17図に伊藤(1977)による地質図を示した。

4. おわりに

NEDO から公表されたレーダー画像についてその特徴といくつかの例について紹介してきた。このような新しいデータを取り扱う際に特に注意しなくてはならないのはそのデータのもつ有効性と限界を正しく把握することである。レーダー画像に過大な期待をいだき地質構造がすべてわかると考える人がいるがこういう人はレーダー画像を実際に見たときに一種の失望を感じるかもしれない。反対にはじめからレーダー画像などは役に立たないと決めてかかる人もいるがこれも誤りである。レーダー画像の利点は全天候での撮像能力の他にも広域概観性(Synoptic view)や低俯角照射での地形強調効果などがありそれらをよく認識したうえで使えば十分に役立つ情報が得られるはずである。NEDOのレーダー画像は貴重な公表データでありなるべく多くの方々が有効に使われることを祈っている。

文 献

- 1) 有田忠雄(1957) 加久藤カルデラの提唱. 地質学雑誌 v.63, p.443-444.
- 2) 地学辞典(1970) 平凡社 1540p.
- 3) 東元定雄・松浦浩久・水野清秀・河田清雄(1985) 5万分の1地質図幅「呉」および同説明書. 93p.
- 4) 広島県(1964) 20万分の1広島県地質図および同説明書. 182p.
- 5) 伊藤谷生(1977) 秋田県ニッ井付近七座背斜の成長と堆積環境の解析. 地質学雑誌, v.83, p.509-521.
- 6) 黒田和男・寺岡易司(1964) 5万分の1地質図幅および同説明書「サロマ湖・三里番屋」. 北海道開発庁. 34p.
- 7) MacDonald, H. C., J. N. KIRK, L. F. DELLWIG and A. J. LEWIS (1969) The Influence of Radar Look-Direction on the Detection of Selected Geological Features. *Proc. 6th Int. Symp. Remote Sensing of Environment*, p.637-650.
- 8) 村岡洋文・山口 靖・仲澤 敏(1983) 南八甲田火山と八甲田カルデラの相互関係——レーダー画像判読とその現地検証—— 地質学雑誌 v.89, p.661-664.
- 9) 中川久夫(1972) 農業用地下水調査 開発調査沖永良部地区調査報告書別冊 九州農政局計画部 36p.
- 10) _____・村上道雄(1975) 沖縄群島久米島の地質. 東北大地質古生物研報 n.75, p.1-16.
- 11) 中村一明(1969) 広域応力場を反映した火山体の構造——側火山の配列方向—— 火山 第2集 v.14, p.8-20.
- 12) 茂野 博(1980) 西南日本外帯 四国沖ノ島花崗岩類に発達する引張り節理系——新第三紀後期の四万十帯の広域応力場について—— 九大理研報(地質) v.13, n.2, p.145-153.
- 13) 新エネルギー総合開発機構地熱調査部 地熱調査第二課(1984) 全国地熱資源総合調査(第一次)の調査成果図等の公開について. 地質ニュース n.362, p.58-62.
- 14) TAKAHASHI, T. and KOBAYASHI, M. (1977) Emerged Holocene Coral Reefs around Kume Island, Ryukyus. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 1st ser.*, v.27, n.2, p.87-108.
- 15) 高野昌二(1978) 野付崎における分岐砂嘴の発達. 東北地理 v.30, n.2, p.82-90.
- 16) Tsuya, H. (1935) On Some Lavas of Volcano Huzi (Fuji). *Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Imp. Univ.*, v.13, p.645-659.
- 17) 山口 靖・長谷紘和(1983) 多様な画像によるリニアメント頻度の解析——レーダー画像の屋久島地域への適用例について——. 写真測量とリモートセンシング, v.22, n.3, p.4-13.
- 18) _____(1984) リニアメント解析における低俯角SAR画像の照射方向効果. 日本リモートセンシング学会誌, v.4, n.1, p.5-15.
- 19) 横山俊治・小島丈児・原 郁夫(1976) 小島丈児先生還暦記念文集, p.266-273.
- 20) 吉田博直(1962) 地質巡検案内書. 広島大学地質教室 14p.