

第Ⅱ部 各 論

(1)

(1)

(1)

第1章 既存データ解析

1-1 調査対象機関および既存データの概要

(1) データ収集のため訪問した機関

Mines and Geosciences Bureau (MGB) in Manila
Mines and Geosciences Bureau (MGB) in Legazpi
Department of Energy
University of the Philippines
Philippine Institute of Volcanology and Seismology
Philippine National Oil Company (PNOC)
Philippine Geothermal Inc. (PGI)
Philex Mining Corporation

(2) 収集データの概要

約200件の文献を収集し、各文献の内容がカバーする地域を1/250,000の地形図にプロットし (Fig.II-1-1)、キーワードを付してリストアップした(Appendix Table 1-1)。

これらの文献から、鉱徴、変質帯情報を整理し、その情報から可能な鉱床タイプを推定し、有望地区抽出の選定基礎とした。

PNOCが実施している地熱調査地域では、レポートの他、ボーリング試料(コア、スラッジ)を入手し、岩石の性質、変質鉱物の性質等を調べた。

エネルギー省からは、世界銀行が実施した、フィリピン全土をカバーする空中磁気調査図を入手し、これも有望地区選定の材料とした。

1-2 収集されたデータの種類及び内訳

(1)複製化され収集された文献

収集した文献を Appendix Table 1-1 に示す。

(2)既刊地形図

本調査地域では 1:50,000 地形図 42 枚及び 1:250,000 地形図 5 枚により調査対象地域全域がカバーされている。収集した地形図の位置を Fig.II-1-2 に示す。

1:50,000 地形図としては、以下に示す 35 地域のオリジナルマップを入手した。

3462 - I, II 3561 - I, II, III 3562 - I, II, III 3563 - II, III 3627 - I, II
3660 - I, III, IV 3661 - II, III 3662 - II, III 3726 - II 3758 - I, II, IV, 3759 - I, II, III,

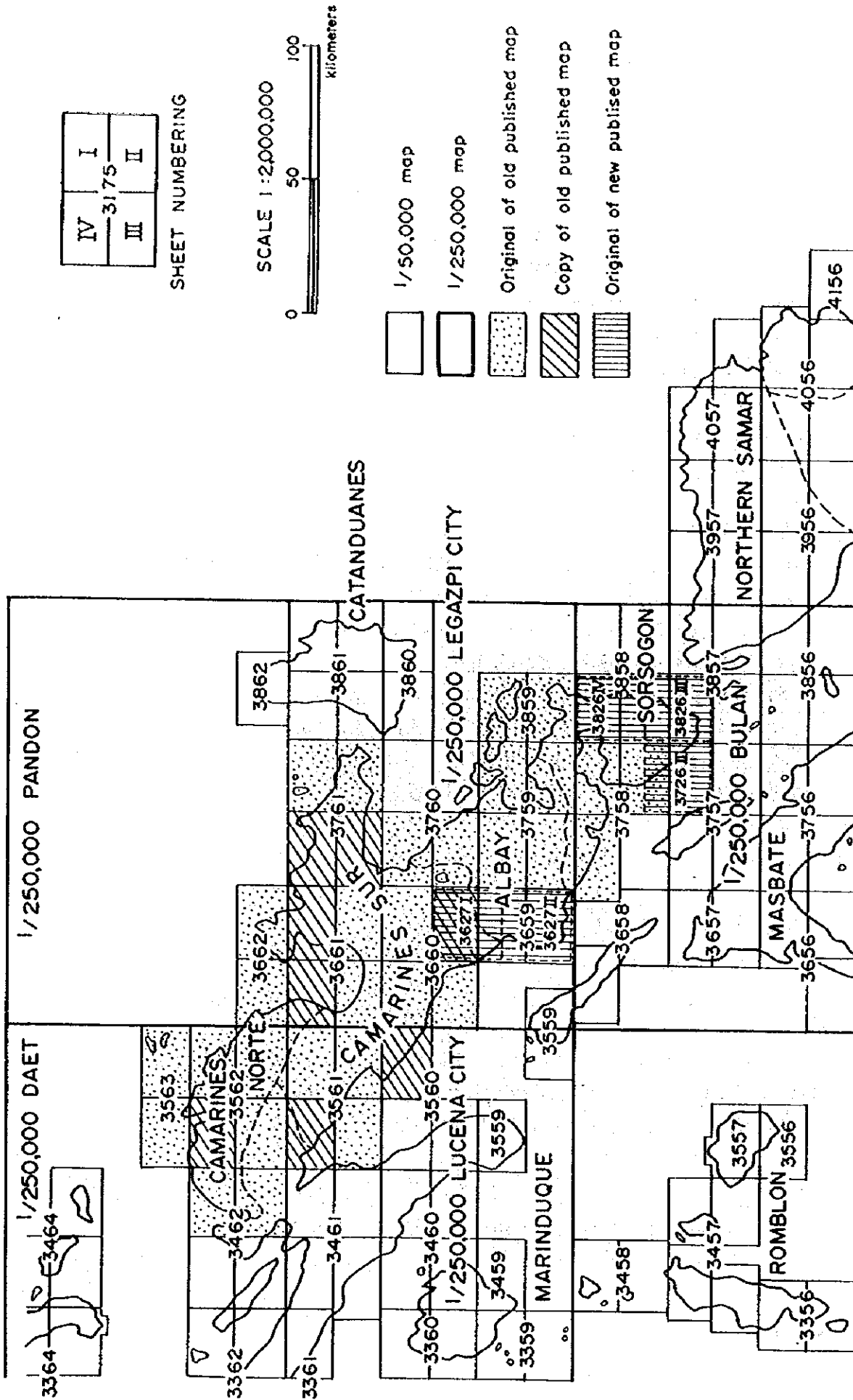


Fig.II-1-2 Index map of the obtained topographic maps

IV 3760-III,IV 3761-I,II 3826-III,IV 3859-III,IV

このうち、3627-I,II、3726-II、3627-I,II、3826-III,IVについては1990年以降に編集され新しく刊行された縦長の地形図であり、その他のものはそれ以前に編集された古いタイプのものである。

なお、以下の8地域はオリジナルマップが入手できなかったため、コピーを入手した。

3560-I 3561-IV 3562-IV 3660-II 3661-I,IV 3761-III,IV

1:250,000地形図としては、以下の4地域のオリジナルマップを入手した。

PCGS2513(PANDON) PCGS2515(LUCENA CITY) PCGS2516(LEGAZPI CITY)
PCGS2519(BULAN)

なお、PCGS2512(DAET)については、オリジナルマップが入手できなかったため、コピーを入手した。

この他、以下の地図を入手した。

• Administrative Map Region V Bicol	1:250,000
• Administrative Map Province of Camarines Norte	1:150,000
• Administrative Map Province of Camarines Sur	1:150,000
• Administrative Map Province of Albay	1:150,000
• Administrative Map Province of Sorsogon	1:150,000
• Map of Sorsogon Province Showing the Road System	1:100,000
• Legazpi City Urban Area and Vicinity Map	1:10,000

(3)地質図類

本調査地域では、地質図としてBMG既刊地質図(1:50,000)およびBMGのRegion V支局が作成したビコール地域の広域地質図(1:250,000)を収集した。収集した地質図がカバーする範囲をFig.II-1-3に示す。

調査範囲内のBMG既刊地質図(1:50,000)としては、以下に示す24地域のオリジナルマップを入手した。

3462-I,II 3560-I 3561-I,II,III 3562-I,II,III,IV 3563-II,III 3659-I,
II 3661-I,II,III,IV 3662-II,III 3761-I,II,III,IV

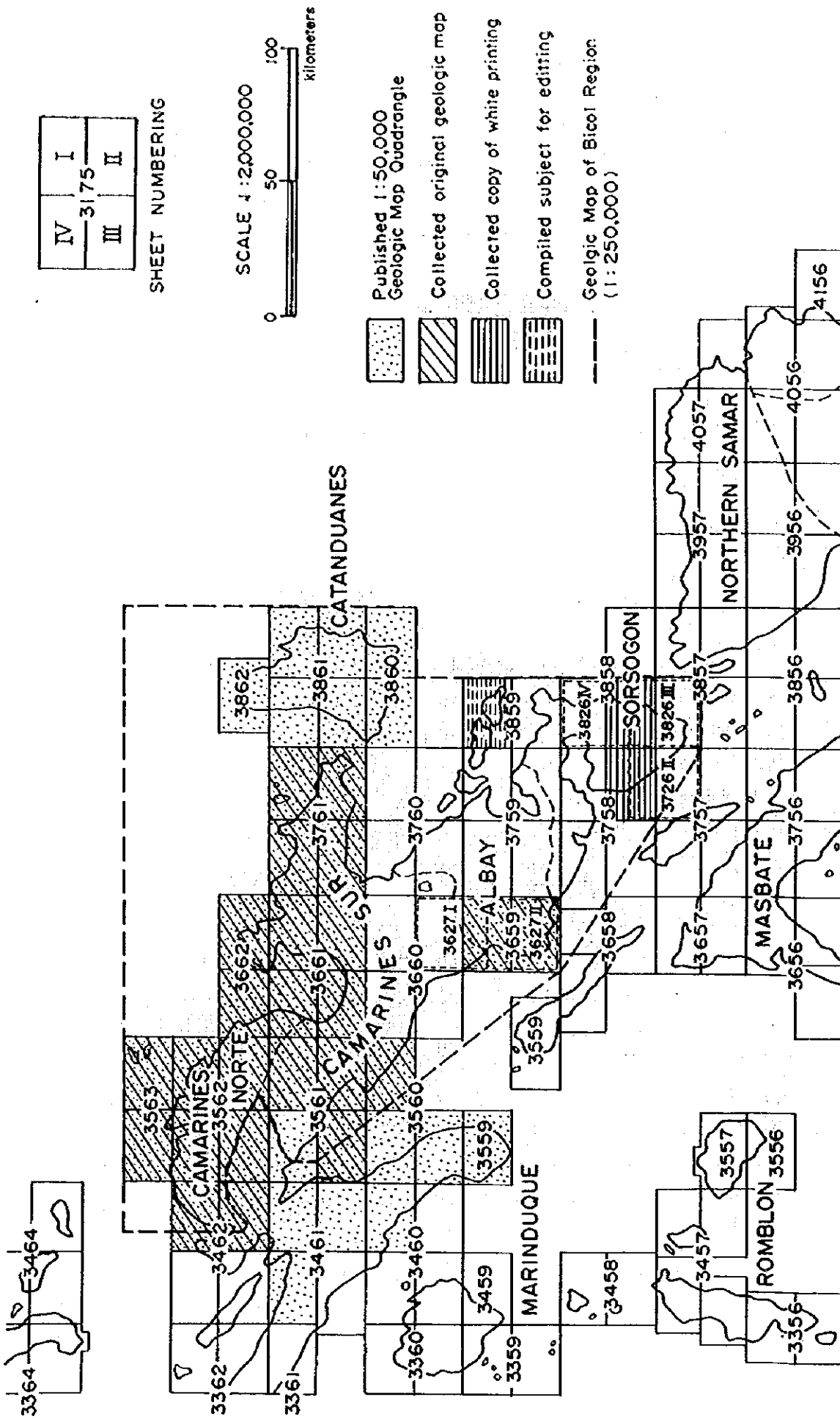


Fig. II-1-3 Index map of the obtained geological maps obtained

また、3858-Ⅲ、3758-Ⅱの2地域については白地図のコピーを入手した。
なお地質図以外の編集図面として、Mineral Potential of the Bicol Region(1:250,000)を入手した。

第2章 衛星画像解析

2-1 画像処理・作成

2-1-1 目的および方法

本調査は、調査対象地域の LANDSAT-TM 画像データおよび JERS-1/SAR 画像データを画像処理し、これらの処理画像について写真地質的判読を行い、その結果を既存資料と総合的に解析することにより、有望地域の選定に資することを目的とする。なお、調査対象地域における金属鉱床・レアメタル鉱床に関係するリニアメントの抽出、岩相・岩質・変質帯の区分を高い精度で行い、有望地域抽出に至るまでの解析を行うことを重点課題とする。

2-1-2 使用データ

本調査で使用した衛星画像データは、LANDSAT-TM 画像データ(4 シーン)および JERS-1/SAR 画像データ(13 シーン)である。各画像の諸元を Table II-2-1 に示す。

Table II-2-1 Specification of satellite imagery

LANDSAT-TM		date	Scene center		Sunlight		Quantity of cloud			
path	row		latitude	longitude	elevation	azimuth	Q1	Q2	Q3	Q4
114	050	05/03/1992	13:29:46	123:39:20	58.66	82.32	20	10	10	10
114	051	04/07/1994	13:14:47	123:38:54	55.24	98.00	10	10	10	10
115	050	02/14/1990	13:59:36	122:13:30	44.15	125.12	40	10	10	0
115	051	04/19/1996	13:44:49	122:13:20	54.36	90.34	10	0	20	10
JERS-1/SAR		date	Scene center		Sunlight		Quantity of cloud			
path	row		latitude	longitude	elevation	azimuth	Q1	Q2	Q3	Q4
083	278	12/09/1996	13:28	124:09	-----	-----	-----	-----	-----	-----
083	279	12/09/1996	12:52	124:02	-----	-----	-----	-----	-----	-----
083	280	12/09/1996	12:16	123:55	-----	-----	-----	-----	-----	-----
084	277	12/10/1996	14:04	123:43	-----	-----	-----	-----	-----	-----
084	278	12/10/1996	13:28	123:36	-----	-----	-----	-----	-----	-----
084	279	12/10/1996	12:52	123:29	-----	-----	-----	-----	-----	-----
085	277	12/11/1996	14:04	123:10	-----	-----	-----	-----	-----	-----
085	278	12/11/1996	13:28	123:03	-----	-----	-----	-----	-----	-----
085	279	12/11/1996	12:52	122:56	-----	-----	-----	-----	-----	-----
086	277	07/03/1995	14:04	122:38	-----	-----	-----	-----	-----	-----
086	278	07/03/1995	13:28	122:31	-----	-----	-----	-----	-----	-----
087	276	12/13/1996	14:39	122:11	-----	-----	-----	-----	-----	-----
087	277	12/13/1996	14:04	122:04	-----	-----	-----	-----	-----	-----

衛星画像のUTM地図投影には、アメリカ政府機関 Defense Mapping Agency 発行の航空地形図(1/50万、TPC K-11B:Philippine Islands)を使用した。

2-1-3 データ処理・画像作成

(1) LANDSAT-TM

1) 画像データの選定・入手

調査対象地域は熱帯地域であるため、常に雲がかかっており雲量 0%の LANDSAT-TM 画像データは観測されていない。そのため、調査対象地域をカバーする 4 シーン各々については、調査対象地域の雲量の最も少ない観測データを選定した。

調査対象地域の LANDSAT-TM 画像データは、タイ受信局(NRCT)にて受信されたものである。従って、選定したシーンの LANDSAT-TM 画像データは、タイ受信局(NRCT)より入手した。LANDSAT-TM 画像データの入手に際しては、選定した個々のシーンが広く対象地域をカバーするようにシーンセンターを南または北に移動し、南北両シーンのオーバーラップを大きくするよう指示した (Fig.II-2-1)。これは、南北のシーンで雲量の少ない範囲を組み合わせるにより、対象地域全体の雲の影響を減少するためである。各シーンのシーンセンター移動は、次の通りである。

パス	ロー	年月日	北緯	東経	センター移動
114	050	1992/05/03	13:29:46	123:39:20	南へ 40%
114	051	1994/04/07	13:14:47	123:38:54	北へ 10%
115	050	1990/02/14	13:59:36	122:13:30	南へ 30%
115	051	1996/04/19	13:44:49	122:13:20	北へ 50%

2) 画像処理

調査対象地域は、植生による被覆が非常に多く、地質・変質帯を反映した露岩地は殆ど見られない。したがって、地形的な特徴に注目した写真地質的判読が最も有効であると考えられる。この方針に基づいて、以下の画像処理・カラー合成画像の作成を行った。

a) 各種補正処理

ノイズ低減処理

画像の作成に際しては、判読作業の妨げとなる各種のノイズの除去が必要である。一般的には、欠損ライン・縞状ノイズ・ランダムノイズ等が考えられる。

欠損ラインについては、タイ受信局の標準処理により補正されているので、ここでは補正処理を行わなかった。

判読作業に影響を及ぼすようなサンプル方向およびライン方向の縞状ノイズは、使用した画像データには見られなかった。

判読用画像が 1/25 万であることを考えて、空間分解能の低下をさける意味からスム

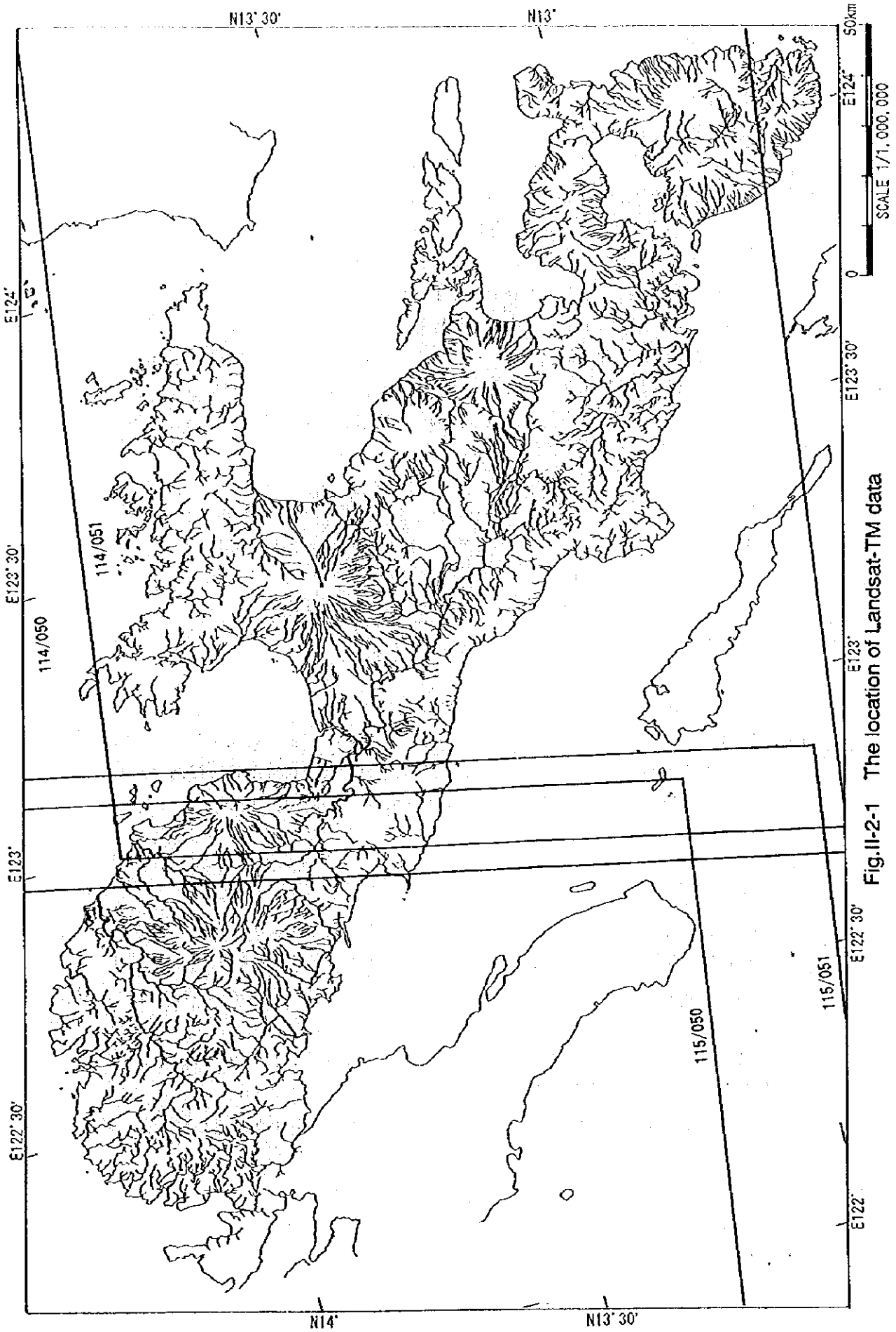


Fig.II-2-1 The location of Landsat-TM data

ージングや中央値フィルターを用いたノイズ除去は行わなかった。

使用した画像データには、バンド間レジストレーションのズレは確認されなかった。

UTM地図投影

LANDSAT-TM画像データは、基本的にはUTM投影されているが、その座標は衛星軌道情報から算出されるものであり、判読作業を目的とした場合には十分正確であるとは言えない。本調査では、アメリカ政府機関Defense Mapping Agency発行の航空地形図(1/50万、TPC K-11B:Philippine Islands)を使用し、GCPを設定することによりUTM地図投影を行った。

エッジ強調・輝度調整

空間フィルター(3×3ラプラシアン)を用いてエッジ強調を行った。写真地質的な判読では、地形的特徴に注目することになるので、地形変化やリニアメントを強調することが必要である。

使用した各シーンの画像データでは、観測日・太陽高度等の違いにより輝度値に系統的な差異が認められた。判読作業では各シーンの輝度値が同一であることが望ましく、また判読に適した輝度であることが好ましい。そこで本調査では、各シーンのバンド毎に係数を掛けることにより、シーン間の輝度値調整および判読に適した輝度値への調整を行った。

b)モザイク画像作成

本調査で使用した、4シーンの画像を用いて、調査対象地域の全域をカバーするデジタル・モザイク画像データを作成した。

各シーンの画像データは、既にUTM地図投影されているので、原理的にはUTM座標系上に各画像データを配置することにより、モザイク画像データを作成することが出来る。しかし、実際には接合部に数ピクセル(100m前後)のズレが生じることがある。そこで本調査では、接合シーン間でGCPを設定することにより、接合シーン間の精密位置合わせを行った。

さらに、接合シーン間のオーバーラップ領域に小領域を多数設定し、各小領域毎に雲の少ない方のシーンの画像データを採用した。このことにより、全体として雲の影響を低減することが出来た。

c) カラー合成画像作成

本調査では、地形判読に適したバンド組み合わせ(BGR=234)でシーン別(4シーン)および4シーン・モザイクのフォールスカラー画像を作成した(Fig.11-2-2)。調査対象地域は、植生による被覆が非常に多く、地質・変質帯を反映した露岩地は殆ど見ら

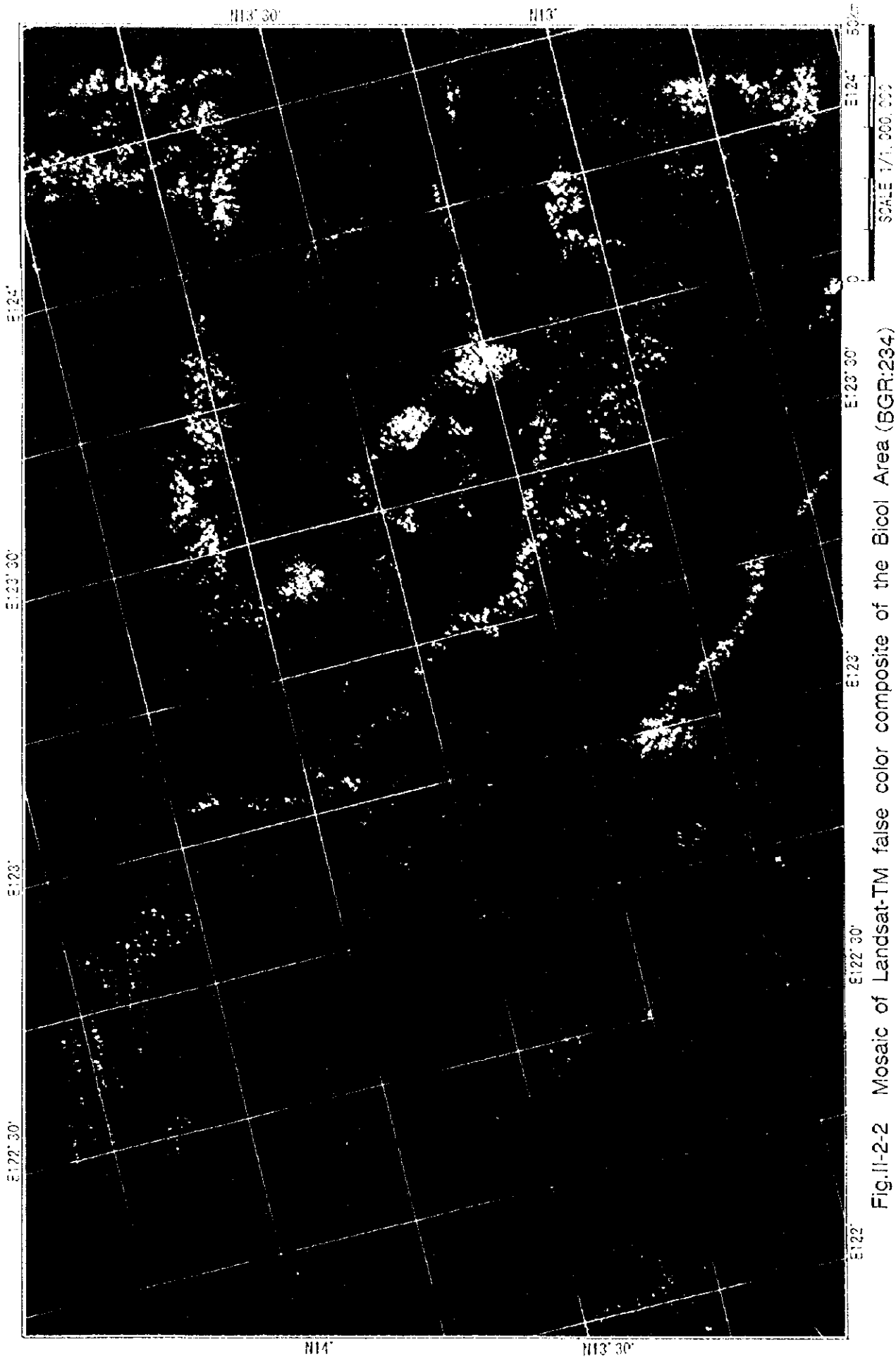


Fig.II-2-2 Mosaic of Landsat-TM false color composite of the Bicol Area (BGR:234)

0

0

0

れない。したがって、地形的な特徴に注目した写真地質的判読が最も有効であると考えられる。このバンド組み合わせ(BGR=234)では、殆どの種類の植生地域が赤橙色に発色し、植生の種類の影響が画像に現れないので、地形情報を判読しやすい。

また、地質図・地形図・鉱床位置図等の既存資料と判読結果を重ね合わせることを想定して、緯度・経度を画像周囲に配置した。また、印画紙焼き付けを正確に行うために、カラースケールおよび縮尺スケールを配置した。

d) 比演算カラー合成画像作成

可視近赤外～熱赤外領域に7バンドを有するLANDSAT-TM画像は、砂漠等の露岩地域では、岩相区分や変質帯判読に有用な情報を提供する。先にも述べたように、調査対象地域は、植生による被覆が非常に多く、通常のカラー合成画像では地質・変質帯を反映した露岩地は殆ど見られない。

ここでは、植生・雲(本体および陰)および水域以外の箇所を露岩地と想定して、比演算画像を作成した。植生・雲および水域の除去には、DN値またはバンド比に対してしきい値を設定することにより行った。しきい値は、各シーンに対して適切と思われる値を試行錯誤で決定した。

非植生地と想定される陸域に対しては一般的な変質帯判読に使用されるBGR = Band3/Band1 Band5/Band4 Band5/Band7の組み合わせで比演算画像を作成した(Fig.II-2-3)。また、海域に区分される領域を暗灰色、その他の領域を白色で表示した。この処理により、露岩地と想定される領域のみが着色され、さらに陸域と海域を区別されるので、植生地域における変質帯判読に有効である。

また、地質図・地形図・鉱床位置図等の既存資料と判読結果を重ね合わせることを想定して、緯度・経度を画像周囲に配置した。また、印画紙焼き付けを正確に行うために、カラースケールおよび縮尺スケールを配置した。

e) その他

既知鉱床の周辺に分布する変質帯のスペクトル情報を教師として、教師付き分類を行うことにより、鉱床・鉱徴地と関係する変質帯の抽出を試みた。しかし、植生被覆率が非常に多いことと、LANDSAT-TMのシーン間の輝度値校正が充分でないことから、良い結果を得ることは出来なかった。

(2) JERS-1/SAR

1) 画像データの選定・入手

JERS-1/SAR は、合成開口レーダー(SAR)であるので、雲や太陽には殆ど影響されない。そこで、観測データの選定には、同一パスのシーンでは同一観測日であること、隣接パスのシーンでは連続した観測日であることを条件とした。しかし、残念ながら全条件を満た

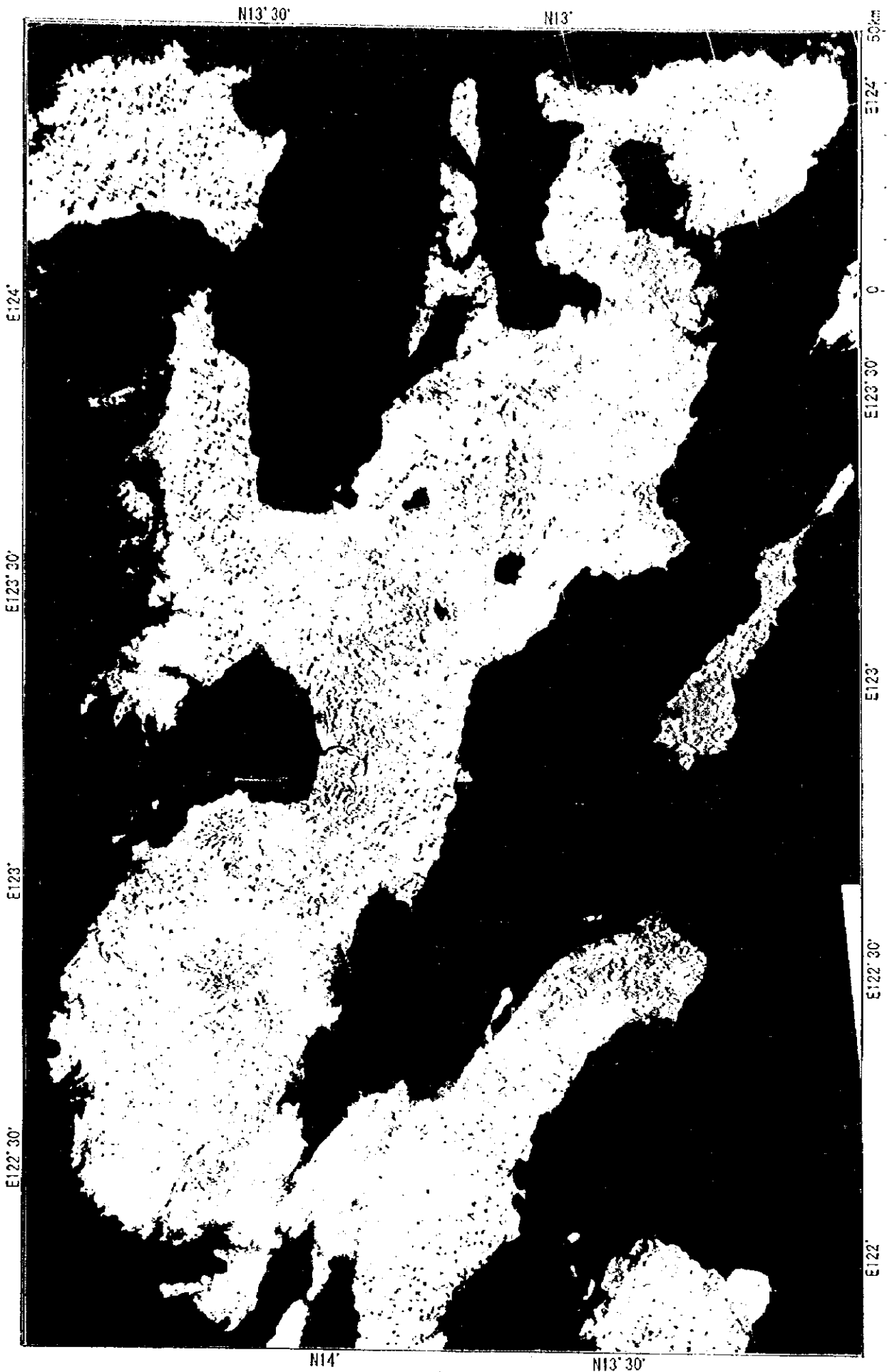


Fig. II-2-3 Mosaic of Landsat-TM color-ratio composite of the Bicol Area (BGR:3/1 5/4 5/7)

0

0

0

す観測データセットは存在していない。

本調査では、パス 083~085 と 087 の各シーンについては、上記の条件を満たすことが出来た。パス 086 の2シーンについては、隣接パスと連続観測日と言う条件は満たせない
ので、他のパスと最も観測日の近いものを採用した (Fig.II-2-4)。

2) 画像処理

a) 各種補正処理

ノイズ低減処理

画像の作成に際しては、判読作業の妨げとなる各種のノイズの除去が必要である。合成開口レーダー(SAR)では、光学センサー比べて一般にランダムノイズが大きい傾向がある。本調査では、ランダムノイズを低減することを目的として、空間フィルタ(5×5メディアン・フィルター)を採用した。

また、JERS-1/SARでは、上下(東西)方向に輝度値(DN)が変化する傾向が知られている。本調査では、P083/R277のL1-6400/S2601-4000の海域を用いて補正を行った。この海域の輝度値(DN')は、

$$DN'(line) = 564.63 - 0.0837 \times line + 1.2055E-5 \times line^2$$

に近似することが出来る。この近似式では、ライン方向の中央に最小値(約420)がある。そこで、上記の近似式と最小値を用いて補正後輝度値(DN'')を、

$$DN''(line) = DN(line) + 420 - DN'(line)$$

とした。

UTM地図投影

JERS-1/SAR画像データは、基本的にはUTM投影されているが、その座標は衛星軌道情報から算出されるものであり、判読作業を目的とした場合には十分正確であるとは言えない。本調査では、アメリカ政府機関Defense Mapping Agency発行の航空地形図(1/50万、TPC K-11B:Philippine Islands)を使用し、GCPを設定することによりUTM地図投影を行った。

輝度調整・エッジ強調

JERS-1/SAR画像データの輝度値は、ポアソン分布に近い分布を示すため、リニアな輝度調整では明部・暗部の両方を十分表現しうる画像は作成できない。写真地質的な判読に際しては、輝度値は正規分布に近いことが望ましい。そこで本調査では、判読

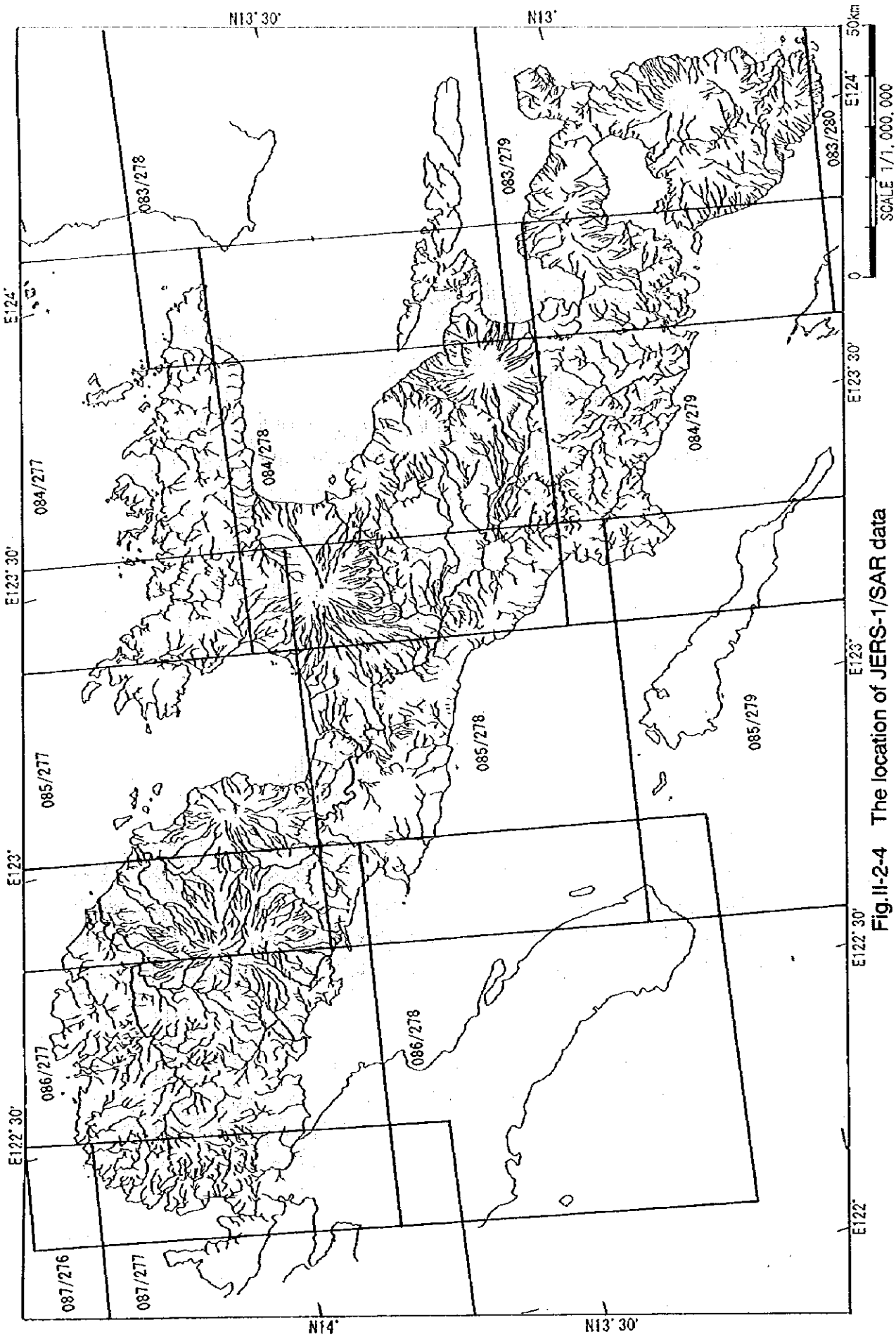


Fig. II-2-4 The location of JERS-1/SAR data

に適した輝度値(DN^{'''})への調整を行うことを目的として、

$$DN''' = \ln(DN'') \times 117 - 695$$

の変換式による輝度値の対数変換をおこなった。

さらに、空間フィルター(3×3ラプラシアン)を用いてエッジ強調を行った。写真地質的な判読では、地形的特徴に注目することになるので、地形変化やリニアメントを強調することが必要だからである。

b) モザイク画像作成

本調査で使用した、13シーンの画像を用いて、調査対象地域の全域をカバーするデジタル・モザイク画像データを作成した(Fig.II-2-5)。

各シーンの画像データは、既にUTM地図投影されているので、原理的にはUTM座標系上に各画像データを配置することにより、モザイク画像データを作成することが出来る。しかし、実際には接合部に数ピクセル(数十m前後)のズレが生じることがある。そこで本調査では、接合シーン間でGCPを設定することにより、接合シーン間の精密位置合わせを行った。

c) 合成画像作成

本調査では、地形判読用にシーン別(13シーン)および13シーン・モザイクの白黒画像を作成した。地質図・地形図・鉱床位置図等の既存資料と判読結果を重ね合わせることを想定して、緯度・経度を画像周囲に配置した。また、印画紙焼き付けを正確に行うために、グレースケールおよび縮尺スケールを配置した。

2-2 画像判読・解析

2-2-1 地質判読の基準

(1) 判読・抽出要素およびその基準

a) 地質単元判読

地質単元区分のための判読要素およびその基準は以下の通りである。

1) 写真的特徴(LANDSAT-TMフォールスカラー画像およびJERS-1/SAR白黒画像)

色 調：画像上の色

肌 理：滑らか、細粒、中粒、粗粒

2) 地形的特徴(主にJERS-1/SAR白黒画像)

水系模様：樹枝状、平行状、格子状、放射状、年輪状、蛇行

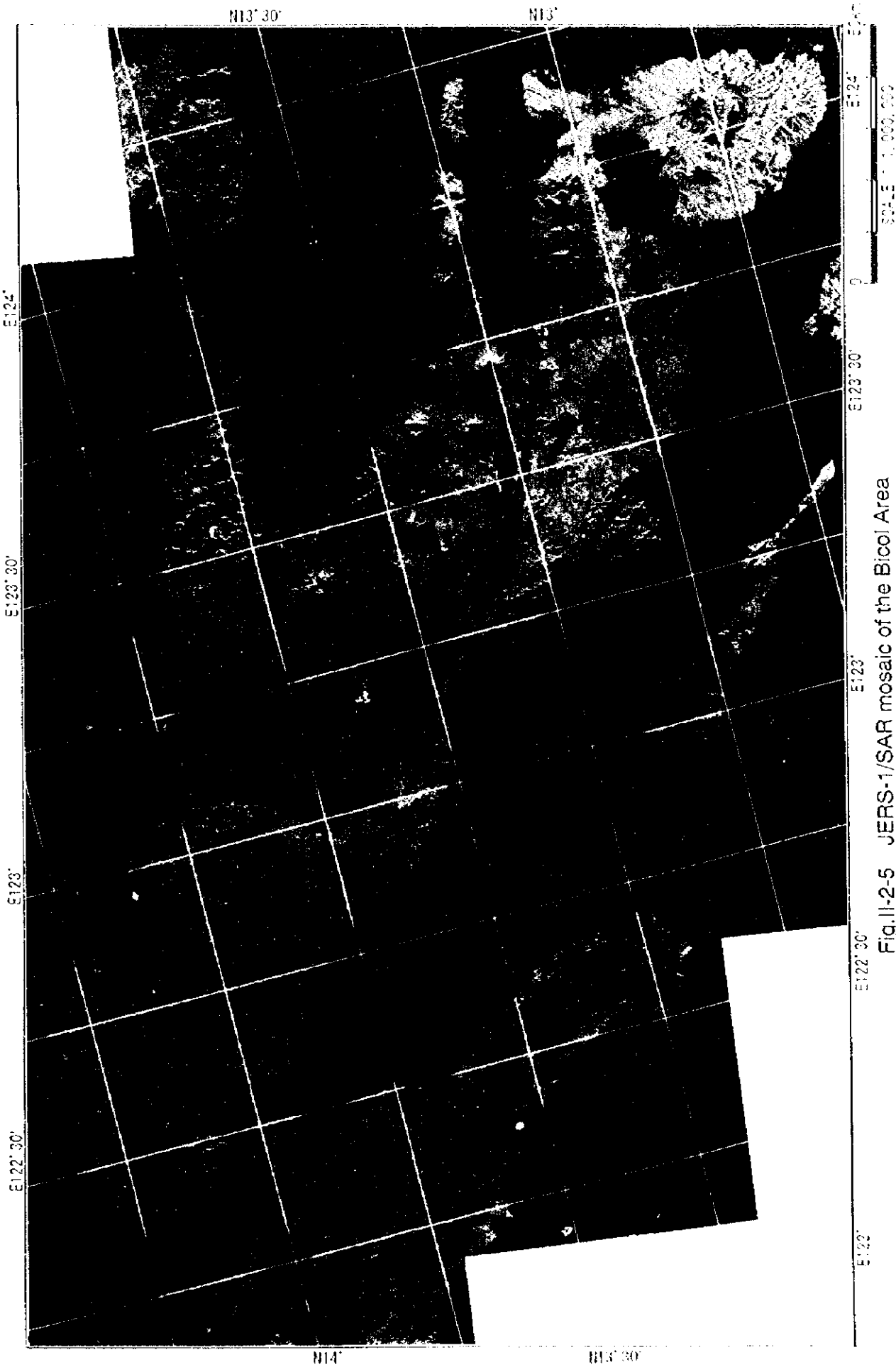
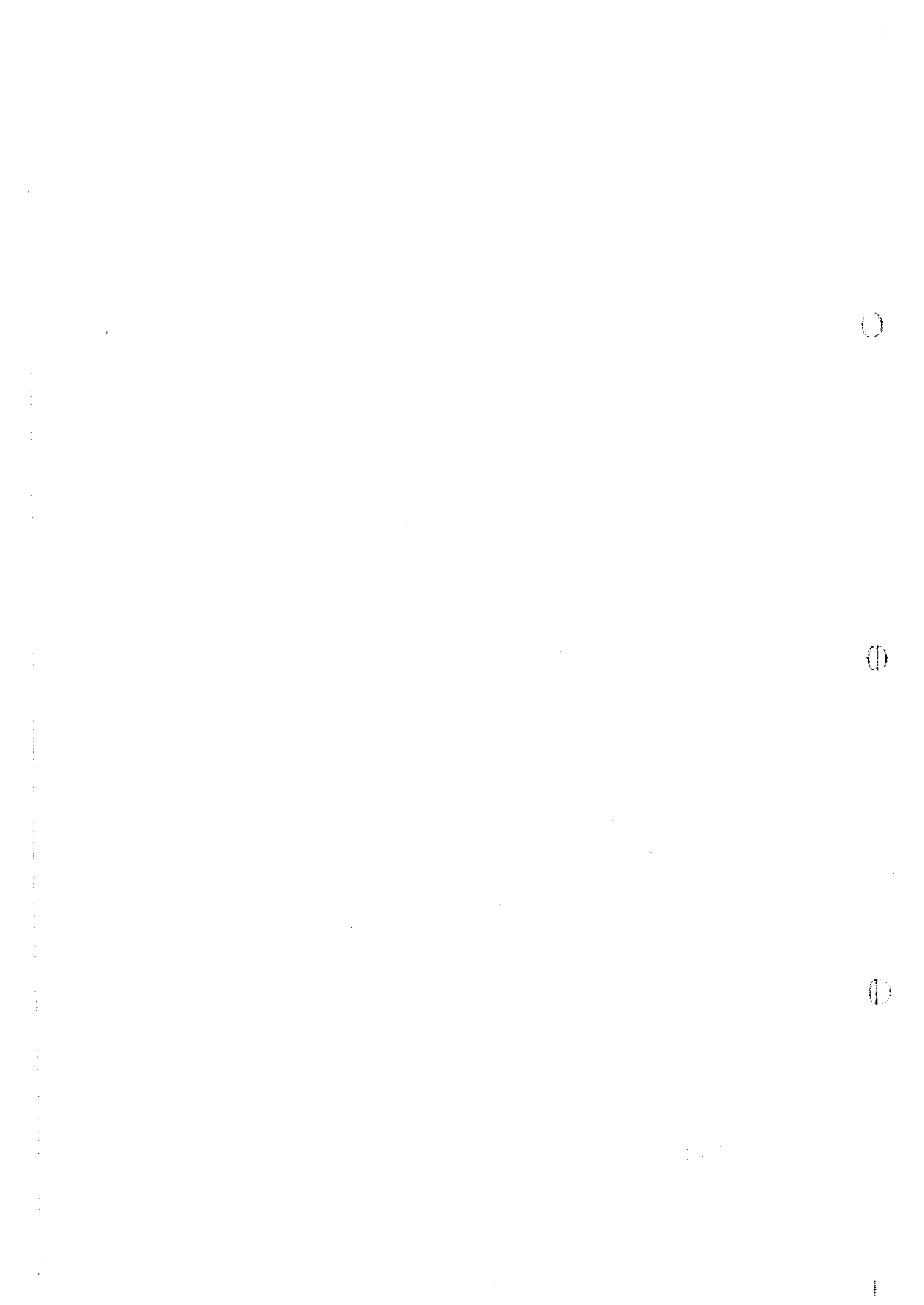


Fig. II-2-5 JERS-1/SAR mosaic of the Bicol Area



水系密度：極高、高、中、低、極低
抵抗性：極高、高、中、低、極低
地形断面：起伏度、尾根と谷の形態
層理の発達度：層理状～塊状

3) 植 生 (LANDSAT-TM フォールスカラー画像)

植生密度：密～疎

b) 地質構造判読 (LANDSAT-TM フォールスカラー画像および JERS-1/SAR 白黒画像)

地質構造の判読要素およびその基準は以下の通りである。

地層トレース：層理反映地形（ケスタ、フラットアイアンなど）の抽出によって判定する。

褶曲構造：識別した地質単元の分布状況および層理反映地形（ケスタ、フラットアイアンなど）の抽出によって判定する。

断層構造：識別した地質単元あるいは層理の不連続、河川・山稜などに現れる諸断層地形から判定する。

環状構造：カルデラ地形および火口地形は、陥没構造として抽出する。また、火山地形は、錐状構造として抽出する。

リニアメント：地下の断裂現象の反映と考えられる線状地形特徴をリニアメントとして抽出する。さらに、これらのうち断層および主要構造線と考えられるものについては区別して抽出する。

c) 変質帯抽出 (LANDSAT-TM 比演算画像)

比演算画像は、非植生地と想定される陸域に対して青 = Band3/Band1、緑 = Band5/Band4、赤 = Band5/Band7 の組み合わせで作成されているので、予想される変質鉱物は次の通りである。

赤 色：粘土帯

赤 紫 色：粘土 + 鉄酸化物帯

黄色～褐色：粘土 + 鉄酸化物帯

緑色～青色：鉄酸化物帯

比演算画像上でこれらの色調を呈する領域が集中する地域を変質帯として抽出した。なお、中間的な灰色系の色調については、周辺の色調を考慮して上記の何れかに区分した。また、非植生地と想定される陸域が露岩地であるか耕作地であるかは、現時点では区別不可能であるので、ここでは該当領域の全てを抽出することとした。

(2) 調査対象地域における判読要素の特徴

調査対象地域の衛星画像判読の地質単元区分に対しては、写真地質的要素のうち特に抵抗性、水系密度、水系模様、肌理が有効であった。

抵抗性は、地質年代の古い岩石および新期火山岩類の分布域で高い傾向があった。一方、水系密度は地質年代とは関係なく、むしろ断裂系や層理面の発達を反映していると考えられた。従って、本調査では抵抗性と水系密度を組み合わせることにより地質単元を大別した。ここでは、抵抗性をH~M~Lに、水系密度をh~m~lにそれぞれ3区分し、高抵抗性・高水系密度の地質単元をHh、中抵抗性・低水系密度の地質単元をMlの様な単元名とした。さらに、その他の要素の違いにより、Mh1~Mh6の様に細分した。

一方、新期火山およびその周辺域では、水系模様は放射状を呈し、地形断面は火山地形を呈する事が多く認められた。そこで、これらの特徴を有する地質単元には、VIIIm2の様に単元記号の先頭にVを冠する事とした。

LANDSAT-TM と JERS-1/SAR のリニアメント抽出結果は、見え方(明瞭~不明瞭)に違いはあるものの、多くのリニアメントについては良く一致する。LANDSAT-TM では、全方位のリニアメントが比較的均質に抽出された。但し、雲に被われた領域があること、JERS-1/SAR に比べて地表分解能が半分以下であること等の理由から、JERS-1/SAR と比べて抽出されるリニアメント数が少ない。一方、JERS-1/SAR では、雲の影響を受けないことと地表分解能が高いことを反映して、LANDSAT-TM よりも多くのリニアメントが抽出された。但し、リニアメントの出現頻度がNE-SW系およびNW-SE系に集中する傾向が見られる。この事は、合成開口レーダーではレーダー照射方向と斜交する方向の地形が強調されると言う特徴をJERS-1/SAR が反映している結果と考えられる。

変質帯候補地の多くは、地質単元解析の低地堆積物や火山周辺崩落層および一部の堆積岩類の分布域に集中し、何れも人口密集地や道路に近い所に対応する。これらのことから、変質帯候補地の多くが植生の薄い耕作地である可能性も考えられる。但し、比演算結果の色調にはバリエーションが見られるので、変質帯候補地が耕作地であるとしても、画像の色調は付近の地質状況に対応した土壌の種類を反映していると考えられる。

2-2-2 地質単元区分

(1) 写真地質的判読結果

写真地質的判読により地質判読単元を区分した(Table II-2-2, Fig.II-2-6)。抵抗性・水系密度および水系模様により大別し、さらに他の要素の違いにより細分した結果、38の地質判読単元に区分することが出来た。以下に抵抗性に基づく判読単元区分について概要をしめす。なお、これらの地質判読単元の分布範囲はTable II-2-3にも示した。

Table II-2-2 Detailed features of satellite imagery and geologic units

imagery	units	photographic aspects of SAR/TM imagery		geographical features				vegetation	distribution
		color tone	aspects of fabric	tributary pattern	density	resistivity	profile		
VH1	V5	medium / medium	fine / fine	radial	high	high		dense	Mt. Culasi, Mt. Bintaclar
VH2	NV3	medium / medium or light	fine / fine	radial	high	high		dense	Manobo/S
VHm1	V1	medium light / medium light	smooth / smooth	radial	medium	high		dense	V. Bulisan, V. Bacon/W
VHm2	V2	medium / medium light	fine / fine	radial	medium	high		dense	Mt. Masatoga, Mt. Isarog
VHm3	V3	medium / medium dark	fine / fine	radial	medium	high		dense	Mt. Labo
VH4	V4	medium / medium dark	fine / fine	radial	low	high		dense	V. Mayon, Mt. Malinao, Mt. Iroga
VHh	V	medium / medium	fine / fine	parallel	high	medium		dense	Mt. Labo, Mt. Culusi
VLI	V	medium light / medium light	fine / smooth	dendritic	low	low		dense	slope or depression of margin of volcano
Q	Q	dark or medium/dark or medium	spotted / spotted	dendritic or meander	low	low		thin or medium	depression
Hh1	BC1	medium / medium light	fine or medium / fine	dendritic	high	high		dense	Caramoan
Hh2	BC2	medium / medium	fine or smooth / fine or smooth	dendritic	high	high		dense	Caramoan Norte
Hh3	Pg	medium / medium light	fine / fine	laticed	high	high		dense	Panganitan
Hh4	NV4	medium / medium	fine / fine	dendritic	high	high		dense	Trosin/S, Mt. Marina/N
Hm1	BC1	medium light / medium or medium dark	smooth / fine	dendritic	medium	high		dense	Caramoan
H1	BC2	medium light / medium or medium dark	smooth / fine	dendritic	low	high		dense	Camarines Norte
Mh1	BC1	medium light / medium light	medium / smooth	dendritic	high	medium		dense	Caramoan
Mh2	G1	medium / medium	medium / medium	rectangular	high	medium		dense	Paracare
Mh3	G2	medium / medium	medium / medium	rectangular	high	medium		dense	Panganitan
Mh4	M4	medium dark / medium dark	coarse / coarse	rectangular	high	medium		dense	Caramoan
Mh5	N1	medium / medium	medium / medium	laticed or rectangular	high	medium		dense	Albay to Camarines Sur/SW
Mh6	N2	medium dark / medium	rough / rough	rectangular	high	medium		dense	Albay
Mm1	BC1	medium dark / medium	smooth / smooth	dendritic	medium	medium		dense	Rapu Rapu
Mm2	M4	medium / medium	coarse / medium	dendritic	medium	medium		dense or medium	Caramoan, Rapu Rapu
Mm3	M1	medium light / medium dark	fine / fine	dendritic	medium	medium		dense or medium	Albay to Camarines Sur/SW
Mm4	M2	medium / medium	medium / medium	dendritic	medium	medium		dense	Paracare
Mm5	NV1	medium dark / medium	fine / fine	dendritic	medium	medium		dense	Paracare to Sorsogon
M1	BC1	medium dark / medium dark	smooth / rough	dendritic	low	medium		dense	Rapu Rapu
M2	M1	medium / medium light	smooth / smooth	parallel	low	medium		dense	Albay to Camarines Sur/SW
M3	M1	medium / medium	smooth / smooth	parallel	low	medium		dense	Albay to Camarines Sur/SW
Lh1	M3	medium / medium	medium / medium	dendritic	high	low		dense	Camarines Norte
Lh2	N1	medium / medium	fine / fine	rectangular	high	low		dense	Albay to Camarines Sur/SW
Lm1	M1	medium / medium	medium / medium	dendritic	medium	low		dense	Camarines Norte
Lm2	M4	light / medium	fine / fine	dendritic	medium	low		dense	Bacon/E
Lm3	N3	medium light / medium	fine / fine	dendritic or parallel	medium	low		dense	Bacon/SE
Lm4	NV2	medium light / medium	fine / fine	dendritic	medium	low		dense	Sorsogon
L1	BC1	medium / medium light	fine or smooth / smooth	dendritic	low	low		dense	Caramoan/W
L2	M4	medium light / medium	fine / smooth	dendritic	low	low		dense	Rapu Rapu
L3	N3	medium or dark/medium or dark	smooth / spotted	meander	low	low		dense or medium	Legaspi/S

①

②

③

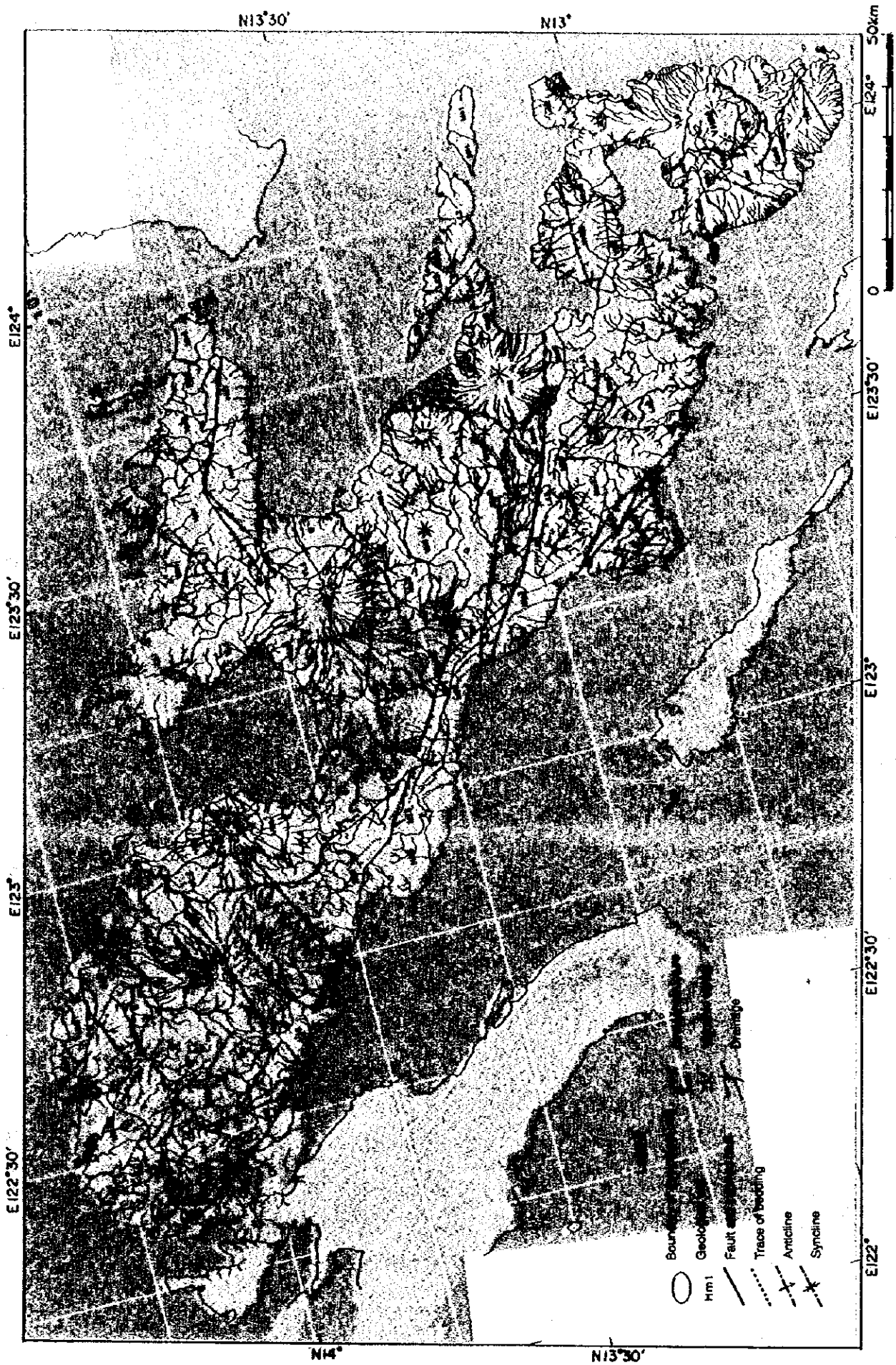


Fig.II-2-6 Geological units distribution from Landsat-TM/JERS-1 data analysis

0

0

0

地質判読単元：V**

火山地形で主に放射状水系を示す単元は8種類に区分され、その多くはVII（放射状水系模様・高抵抗性）であり、新期火山に対応する。ただし、火山周辺部ではVM～VL（放射状水系模様・中～低抵抗性）である。

地質判読単元：Q

起伏の殆どない低地部の地域は、地質判読単元：Qとしてまとめた。ピコール半島の中心部に広く分布するほか、海岸付近にも点在する。

地質判読単元：H**

高抵抗性（H）を示す地質判読単元は、水系密度や他の要素の違いにより、Hh1～4、Hm1、Hl1の6種類に区分された。何れも地形の起伏に富んだ地域であり、主にCaramoan半島、Sorsogon半島南部に分布する。

地質判読単元：M**

中抵抗性（M）を示す地質判読単元は、水系密度や他の要素の違いにより、Mh1～6、Mm1～5、Ml1～3の14種類に区分された。これらは、地形の起伏の小さな地域および緩やかな起伏の地域に対応し、調査範囲全体に広く分布する。

地質判読単元：L**

低抵抗性（L）を示す地質判読単元は、水系密度や他の要素の違いにより、Lh1～2、Lm1～4、Ll1～3の9種類に区分された。何れも地形の起伏の少ない地域に対応し、調査範囲全体に広く分布する。

(2) 地質解析の結果

写真地質的判読により区分された地質判読単元を既存資料と対比・解析した（Table II-2-3, Fig.II-2-7）。花崗岩類および新第三紀以降の火山岩類の殆どは、地質判読単元と解析単元が1対1に対応する。一方、基盤岩類および中生代以降の堆積岩類では、複数の地質判読単元が解析単元に統合される。特に基盤岩類および超塩基性岩の分布域では8地質判読単元を2解析単元に、中新世堆積岩類の分布域では10地質判読単元を4解析単元にまとめた。以下に各解析単元の特徴および分布域について述べる。

解析単元：Q

低地部を埋める堆積物であり、主に第四紀の低地堆積物・段丘堆積物および火山周辺の堆積物からなる。ピコール半島の中心部に広く分布するほか、海岸付近にも点在する。

Table II-2-3 Correlation between satellite imagery unit and geologic unit

imagery unit		geologic unit		geology and lithology suggested by comprehensive interpretation
Q		Q		Quaternary and/or alluvium
LI3	Lm3	N3		Pliocene to Pleistocene sedimentary rocks with coralline limestone
Mh6		N2		
Lh2	Mh5	N1		
Lm1	LI2	M1	M4	Miocene sedimentary rocks
Ml2	Lm2			
Ml3	Mh4			
Mm3	Mm2			
Mm4		M2		
Lh1		M3		
Hh3		Pg		Paleogene sedimentary rocks
Hh1	Mh1	BC1		pre-Tertiary and ultrabasic rocks
Hm1	Ml1			
LI1	Mm1			
Hh2	HI1			
		BC2		
VHm1		V1		Quaternary volcanic rocks
VHm2		V2		
VHm3		V3		
VHI		V4		
VHh1		V5		
VLI	VMh	V		volcaniclastic rocks
Mm5		NV1		Tertiary volcanic rocks
Lm4		NV2		
VHh2		NV3		
Hh4		NV4		
Mh2		Gr1		Intrusive body of Granitic rocks
Mh3		Gr2		



Fig.II-2-7 Interpreted geological map based on Landsat-TM/JERS-1 image analysis

0

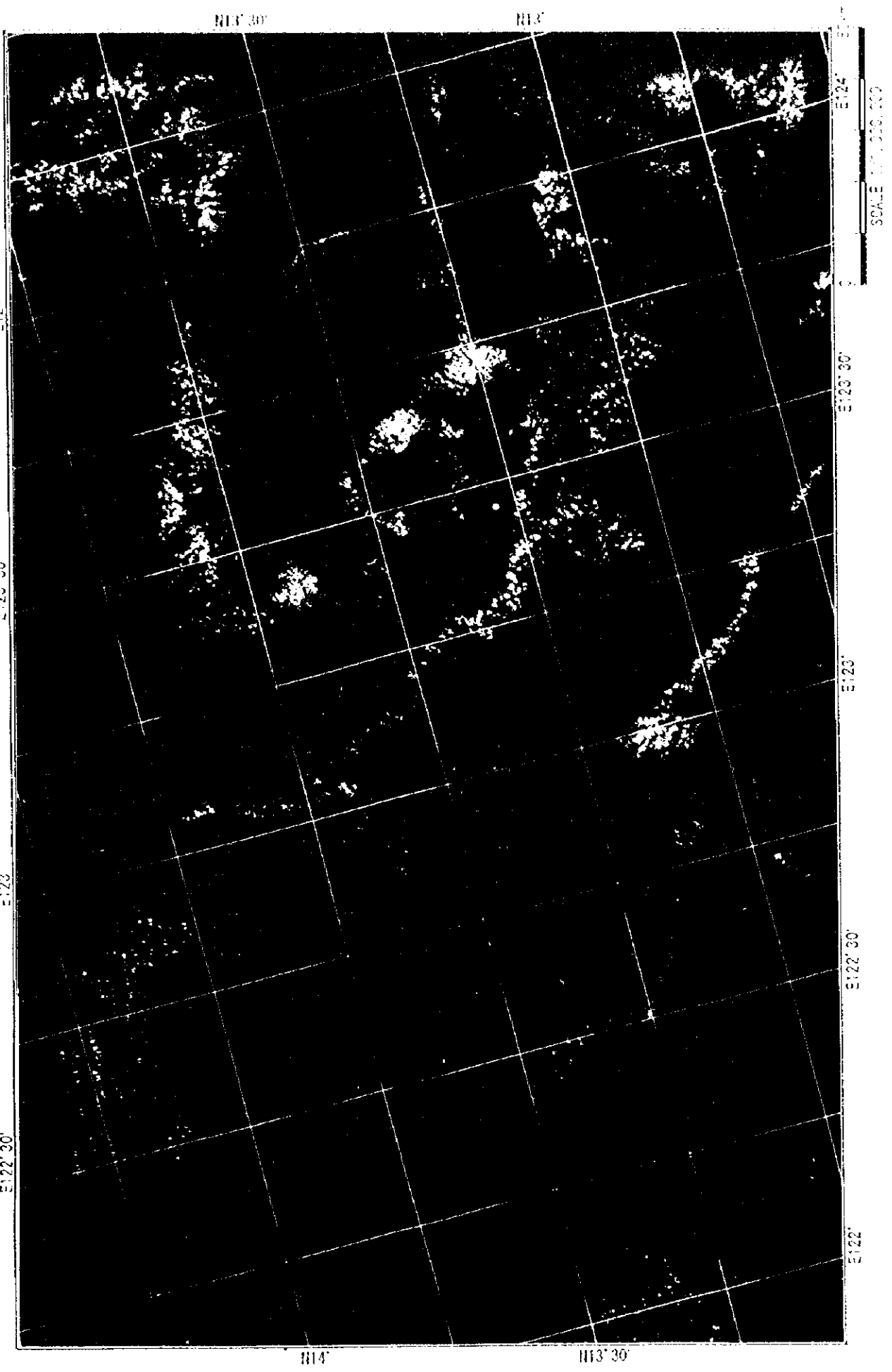
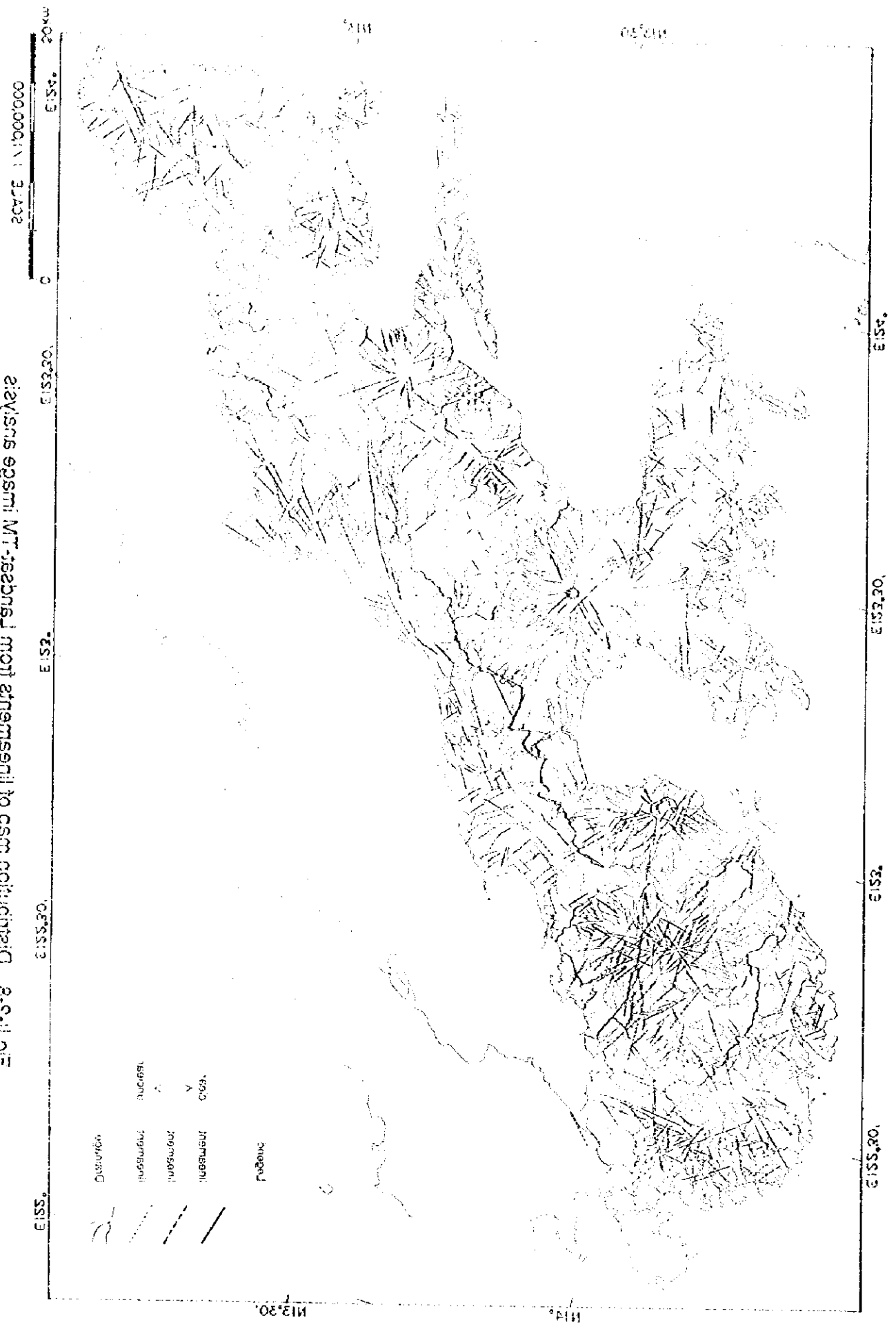
①

①



Fig.11-2-8 Distribution map of lineaments from Landsat-TM image analysis

Fig. 11-5-8 Distribution map of fissures in the Mt. Jasson area



0

0

0

解析単位：N*

鮮新世～更新世の海成～陸成の堆積物であり、特徴により3解析単位に区分される。N2は、礁性石灰岩の特徴を最も顕著に示す単位であり、N1は部分的に若干の礁性石灰岩の特徴を示す。これらは、Camarines Sur 西部～Albay 西部～Sorsogon 北部に細長く分布し、南西からN1-N2-N3の順に帯状配列する。

解析単位：M*

中新世～鮮新世の海成堆積物であり、凝灰質堆積物を伴い、特徴および分布域により4解析単位に区分される。M1は、ピコール半島の西南海岸に沿って Queson～Camarines Sur 西南部～Albay 西部に広く分布し、N1よりも南西側に位置する。M2～M3は Camarines Norte 西部に分布し、M4は Caramoan 半島東部および Rapu Rapu 島に分布する。

解析単位：Pg

古第三紀のワッケや頁岩等の堆積岩類及び安山岩溶岩であり、Panganiran 半島に分布する。下記の花崗岩類 (Gr2) と密接な関係にある。

解析単位：BC*

角閃岩・片岩・千枚岩等からなる基盤岩類および超塩基性岩・塩基性深成岩類であり、2種類に区分される。BC1は、Camarines Norte の Paracale 付近、Caramoan 半島中西部および Rapu Rapu 島に分布し、ピコール半島北東側に位置する。一方、BC2は、ピコール半島北西部内陸部の Camarines Norte～Queson の県境付近に分布する。

解析単位：V*

第四紀の火山に伴う火山岩類であり、その特徴により6解析単位に区分される。V1は、滑らかな肌理を呈する火山であり、Bulsan 火山、Bacon 西側の火山に対応する。V2は、Masatoga 山、Isalog 山に対応する。V3は、Labo 山に対応する。V4は、Mayon 火山、Malinao 山、Iriga 山に対応する。V5は、Culasi 山、Bintacan 山に対応する。また、Vは、以上の火山の周辺に堆積する火山砕屑岩類および崩落層に対応する。

解析単位：NV*

第三紀の火山に伴う火山岩類と考えられ、その特徴により4解析単位に区分される。NV1は、Paracale 付近、Camarines Sur～Sorsogon の第四紀火山の裾野に点々と分布する。NV2は、Sorsogon 半島西部に分布する。NV3は、Bacon～Manilo 間に分布する。NV4は、Sorsogon 半島南部および Albay 北東端に分布する。

解析単位：Gr*

花崗岩類の貫入岩体であり、分布域により2解析単位に区分される。Gr 1は Paracale 付近に分布し、Gr 2は Panganiran 半島に分布する。

2-2-3 地質構造の判読結果

地質構造としては、地層トレース、褶曲構造、断層、環状構造およびリニアメントが判読された (Fig. II-2-7)。以下に各構造の判読結果について述べる。但し、リニアメントについては次項で述べる。

(1) 地層トレース

堆積岩類に対応する解析単位は、前項で述べた N 1 ~ 3、M 1 ~ 4 および P g である。地層トレースは、これらの解析単位の一部で判読された。

Camarines Norte に分布する M 2 および M 3 では、NW-SE 方向に地層をトレースする事が出来るが、その傾斜方向を確定することは困難である。

Camarines Sur ~ Albay の西南海岸沿いに分布する M 1 および N 1 では、NW-SE ~ NS 方向に地層がトレースされる。これらの地層トレースは、逆ミの字型に雁行配列する。また、Panganiran 半島の北側では、褶曲構造により EW 方向に屈曲する。

(2) 褶曲構造

堆積岩類に対応する解析単位は、前項で述べた N 1 ~ 3、M 1 ~ 4 および P g であるが、褶曲構造は、M 1 の一部にのみ判読された。

Albay の西南海岸沿い (Panganiran 半島の北側) に分布する M 1 では、地層トレースが N-S 方向から E-W 方向に屈曲する。この屈曲部には、NW-SE 方向の向斜軸が推定される。

(3) 断層

直線的な地質判読単位境界、地質判読単元の連続性を断つリニアメントおよび水系の変移を伴うリニアメントにより断層が推定された。主要な推定断層の方向は、フィリピン断層と平行な NW-SE 系のものと、フィリピン断層と斜交する NE-SW 系のものが認められる。

ピコール南東の南西部海岸沿いの堆積岩類の分布域および境界部 (Queson ~ Camarines Sur 南西部 ~ Albay 南西部) では、NW-SE 系の推定断層が卓越する。一方、火山岩類の分布域 (Camarines Norte の Mt. Labo および Mt. Culasi, Sorsogon 南部) では、NE-SW 系の推定断層が卓越する。また、基盤岩類の分布域 (Caramoan 半島) および花崗岩類の古第三系の分布域 (Panganiran 半島) では、NW-SE 系と NE-SW 系の両系統の推定断層が認められる。

(4) 環状構造

環状構造としては、カルデラ地形および火山地形が認められた。

Sorsogon 半島中央部には、Bulsan 火山の南西側半分を取り囲む直径約 15km のカルデラ地形を示す環状構造が認められる。南西部の一部では二重の環状構造を呈する箇所も見られる。一方、Mt. Culasi、Mt. Isarog、Mt. Iriga および Mt. Malinao には、火口カルデラが認められる。

火山地形は、北西から順に Mt. Labo、Mt. Culasi、Mt. Isarog、Mt. Iriga、Mt. Malinao、Mt. Masatoga、Mayon 火山、Bacon 西の火山、Bulsan 火山 (含西側の 2 火山) に認められる。これらの火山地形の周辺には、ほぼ同心円状に地質判読単元が分布する。

2-2-4 リニアメント抽出

LANDSAT-TM および JERS-1/SAR の両画像についてリニアメントの判読・抽出を行った (Fig.II-2-8、Fig.II-2-9)。調査地域は、リニアメントの集中する地域とリニアメントの希薄な地域に明瞭に区分される。これらを解析単元と比較すると、リニアメントの集中する地域は、火山岩類、堆積岩類、基盤岩類、花崗岩類の分布域である。一方、リニアメントの希薄な地域は、低地堆積物、火山周辺崩落層、一部の堆積岩類の分布域である。以下に、リニアメントの集中する地域について述べる。

Camarines Norte~Queson~Camarines Sur 北西部には、ほぼ全域にリニアメントが分布する。その中でも特にリニアメントが集中する地域は、次の通りである。Camarines Norte 西部~Queson では、解析単元 (以下省略) の堆積岩類 (M1~M3) および花崗岩類 (Gr1) の分布域に NW-SE 系、NE-SW 系および N-S 系のリニアメントが卓越する。Camarines Norte 東部~Camarines Sur 北西部では、Mt. Labo の火山岩類 (V3) および Mt. Culasi の火山岩類 (V5) の分布域に NE-SW 系のリニアメントが卓越し、NW-SE 系、N-S 系および E-W 系のリニアメントを伴う。

Camarines Sur 北東部の Caramoan 半島では、ほぼ全域にリニアメントが分布するが、特に半島中央部の基盤岩類 (BC1) の分布域に NW-SE 系および NE-SW 系のリニアメントが集中する。

Camarines Sur 中部~Albay 北東部では、Mt. Isarog と Mt. Masatoga の火山岩類 (V2)、Mayon 火山と Mt. Malinao の火山岩類 (V4) および Buhi 付近の火山岩類 (NV4) の分布域に NW-SE 系および NE-SW 系のリニアメントが卓越し、NNW-SSE~NNE-SSW のリニアメントを伴う。また、Rapu Rapu 島には、WNW-ESE および ENE-WSW のリニアメントが分布する。

Camarines Sur 南西部~Albay 西部~Sorsogon 北西部では、堆積岩類 (N1~3、M1、Pg) の分布域に NW-SE 系および NE-SW 系のリニアメントが卓越する。

Albay 南東部~Sorsogon 北部では、火山岩類 (NV3) の分布域に E-W 系のリニアメン

(B)

(D)

(D)

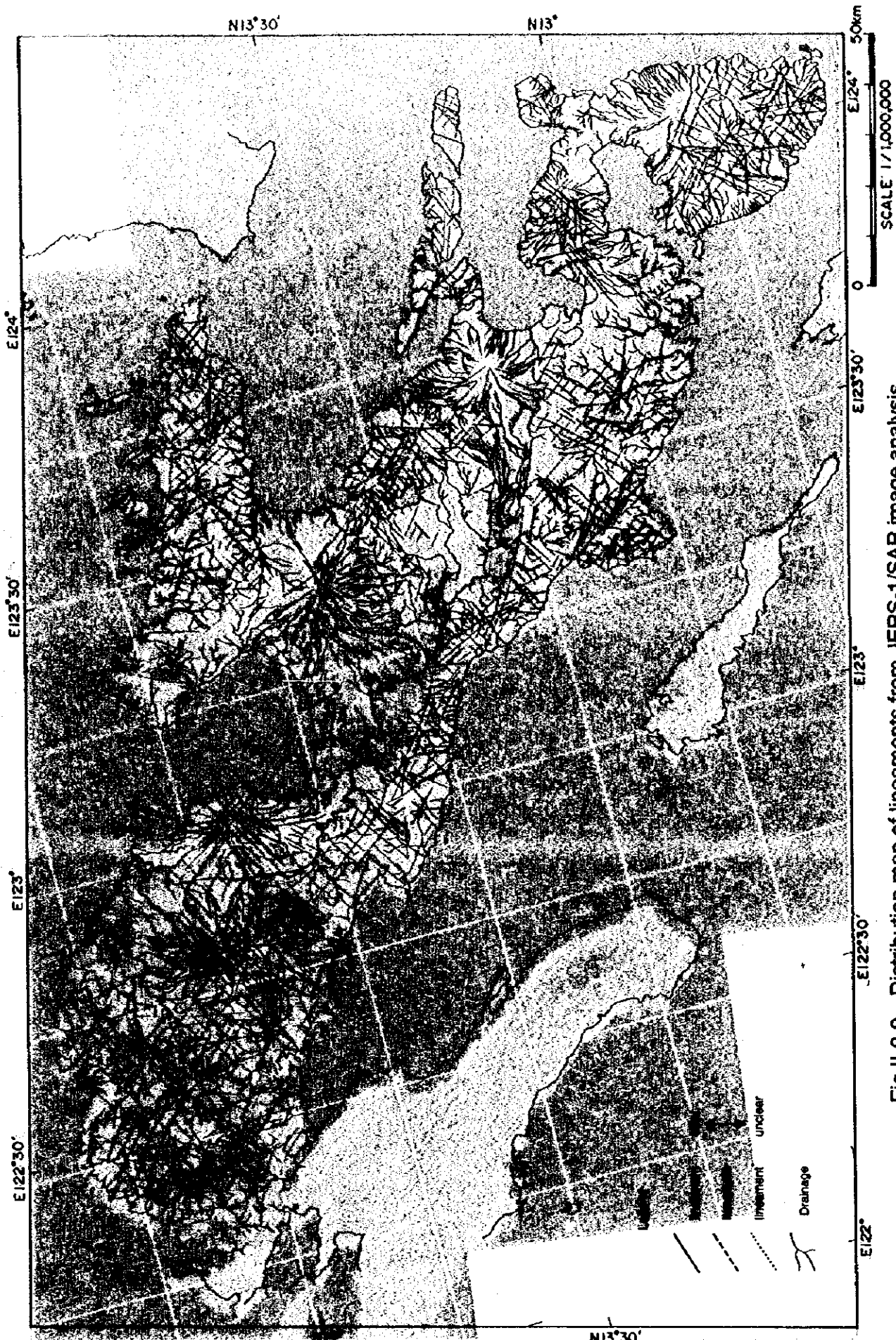
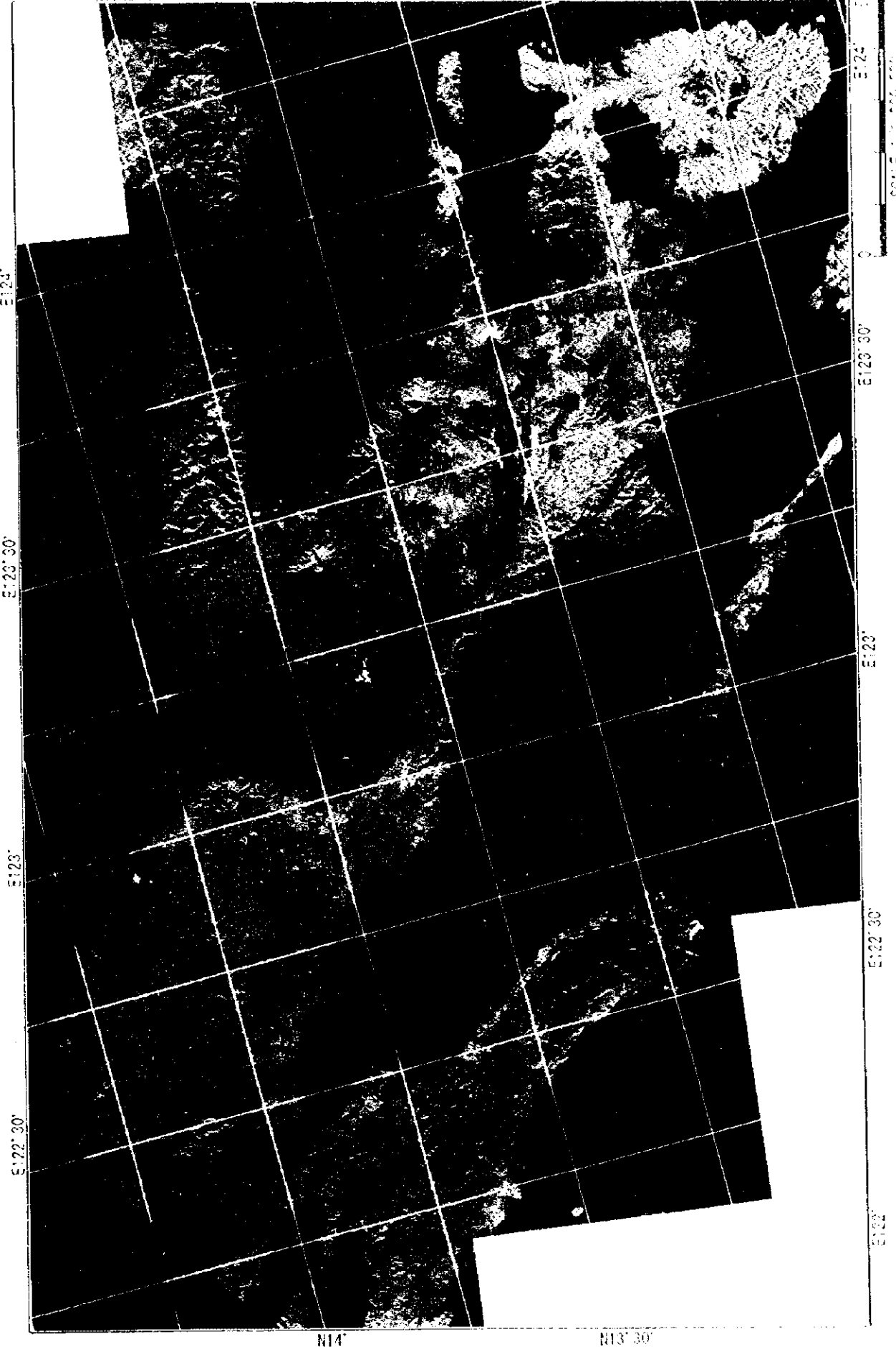
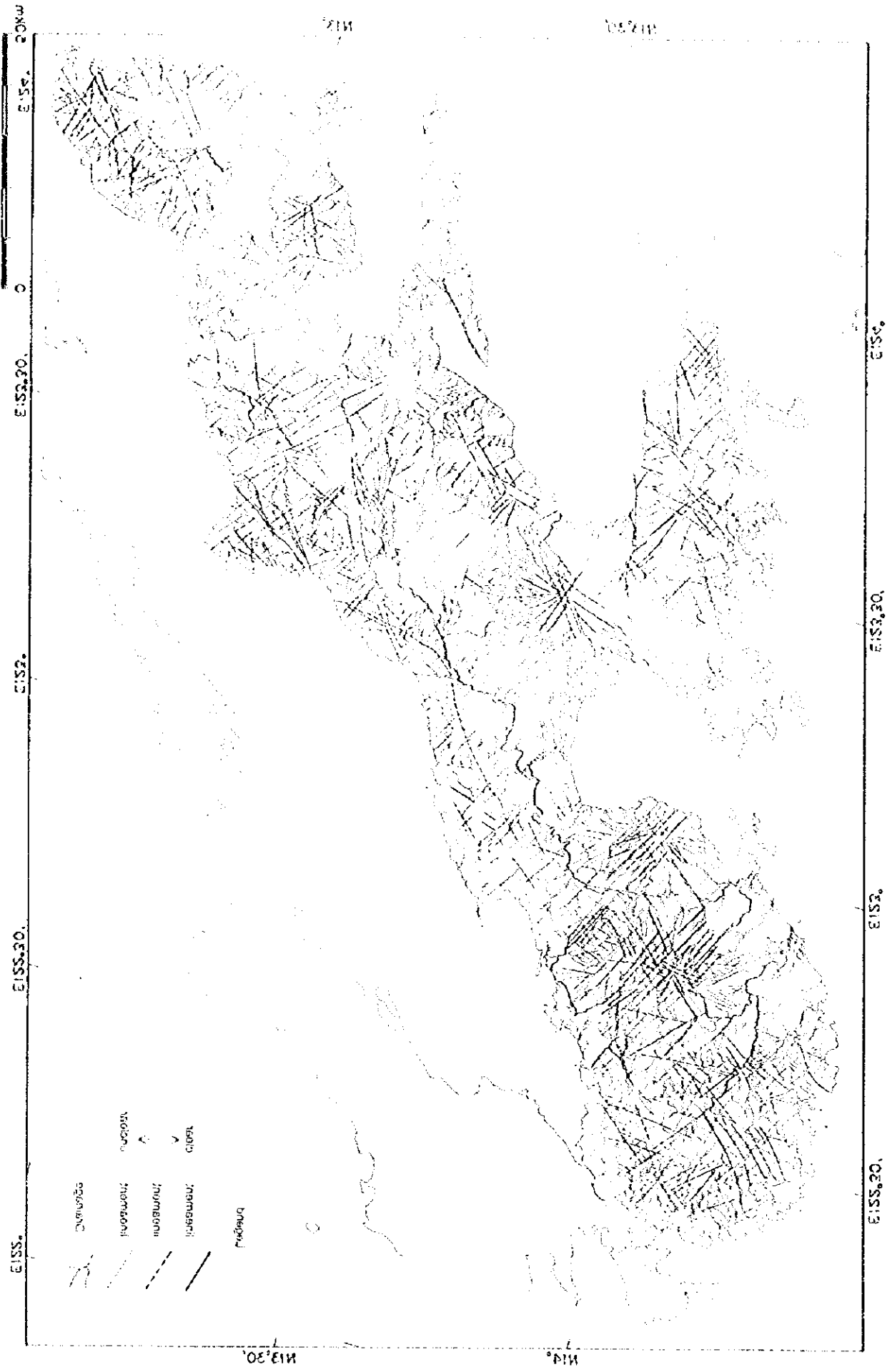


Fig.II-2-9 Distribution map of lineaments from JERS-1/SAR image analysis

Fig. 10. Distribution of the main types of vegetation

Scale 1:500,000



Scale 1:500,000

0

0

0

トが卓越し、NE-SW系およびN-S系のリニアメントを伴う。

Sorsogon 南部では、火山岩類 (NV 2、NV 4) および Bulsan 火山の火山岩類 (V 1) の分布域に NW-SE 系および NE-SW 系のリニアメントが集中し、N-S 系のリニアメントを伴う。

2-2-5 変質帯抽出

LANDSAT-TM 比演算画像について変質帯候補地の抽出を行った (Fig.II-2-10)。調査地域は、変質帯候補地の集中する地域と希薄な地域に明瞭に区分される。これらを解析単元と比較すると、変質帯候補地の集中する地域は、低地堆積物の分布域および一部の火山周辺崩落層や堆積岩類に対応する。その他の解析単元では、若干の変質帯候補地が抽出されたが、火山岩および基盤岩類の分布域では、変質帯候補地が稀少になる傾向が認められる。以下に、変質帯候補地の集中する地域について述べる。

Queson~Camarines Sur 北西部では、解析単元 (以下省略) の堆積岩類 (N 1、N 3、M 1) の分布域に広範囲に渡って変質帯候補地が分布する。変質帯候補地は、比演算画像で緑色系の色調を呈する鉄酸化物帯が主体であり、赤色系の色調を呈する粘土帯も伴う。

Camarines Sur 中南部~Albay 中央部では、低地堆積物 (Q) の分布域に変質帯候補地が集中する。変質帯候補地は、比演算画像で赤色系の色調を呈する粘土帯が主体であり、緑色系および青色系の色調を呈する鉄酸化物帯も伴う。

Albay 西部の Panganiran 半島およびその南東部では、堆積岩類 (N 1、M 1、P g) および低地堆積物 (Q) の分布域に変質帯候補地が分布する。堆積岩類の分布域では比演算画像で緑色系の色調を呈する鉄酸化物帯、低地堆積物の分布域では赤色系の色調を呈する粘土帯が分布する。

Sorsogon 北部では、堆積岩類 (N 3) および低地堆積物 (Q) の分布域に変質帯候補地が分布する。堆積岩類の分布域では比演算画像で緑色系および青色系の色調を呈する鉄酸化物帯、低地堆積物の分布域では赤色系の色調を呈する粘土帯が分布する。

Sorsogon 南部では、火山岩類 (NV 2、NV 4) および低地堆積物 (Q) の分布域に変質帯候補地が分布する。火山岩類の分布域では比演算画像で緑色系の色調を呈する鉄酸化物帯、低地堆積物の分布域では赤色系の色調を呈する粘土帯が分布する。

2-2-6 衛星画像解析のまとめ

(1) 解析結果のまとめ

LANDSAT-TM フォールスカラー画像と JERS-1/SAR 白黒画像の写真地質的判読では、38地質判読単元が判読され、既存資料との対比・解析により23解析単元にまとめられた。解析による地質単元は、基盤岩類および堆積岩類が11解析単元、火山岩類が10解

0

0

0

1

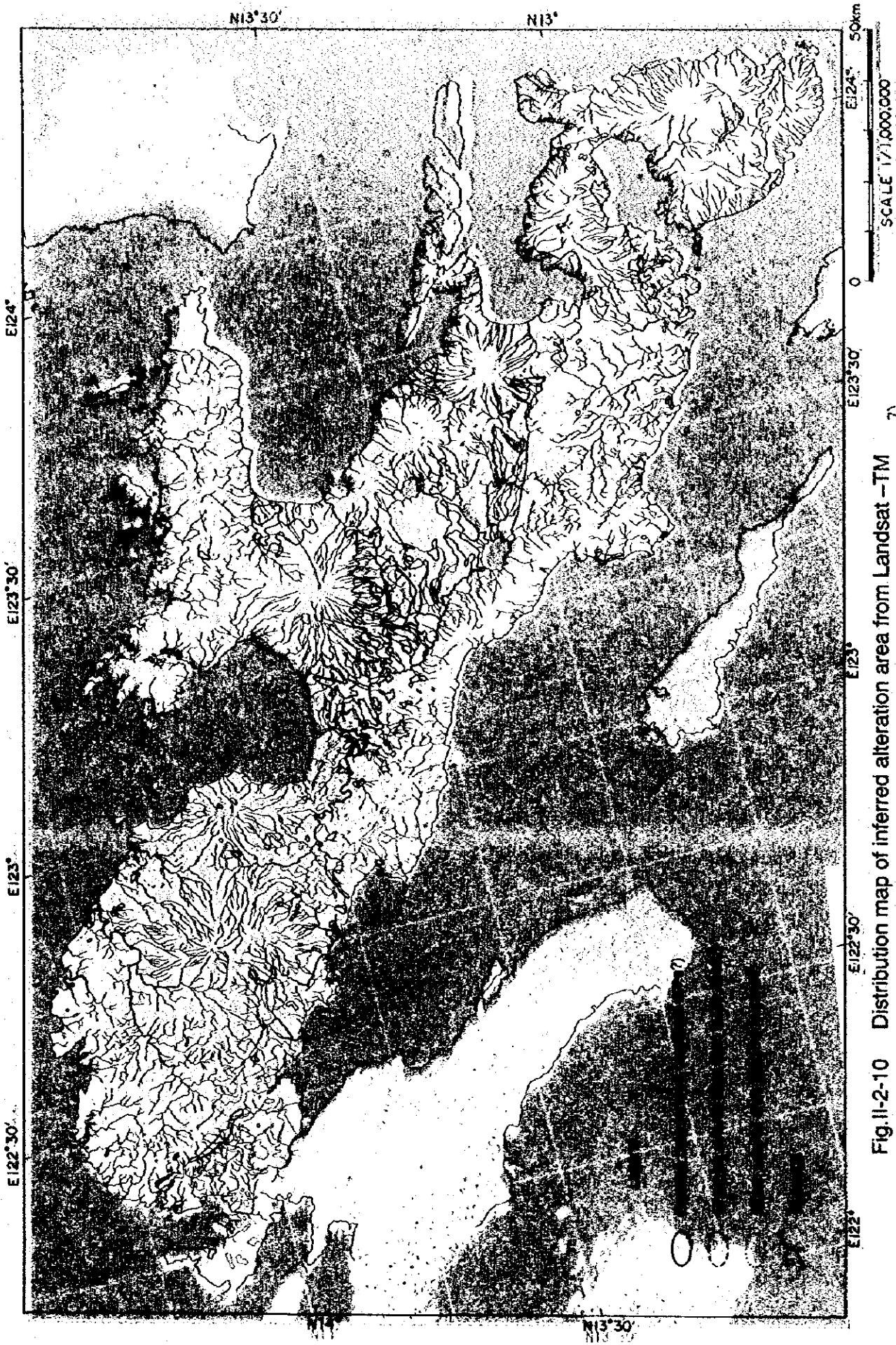
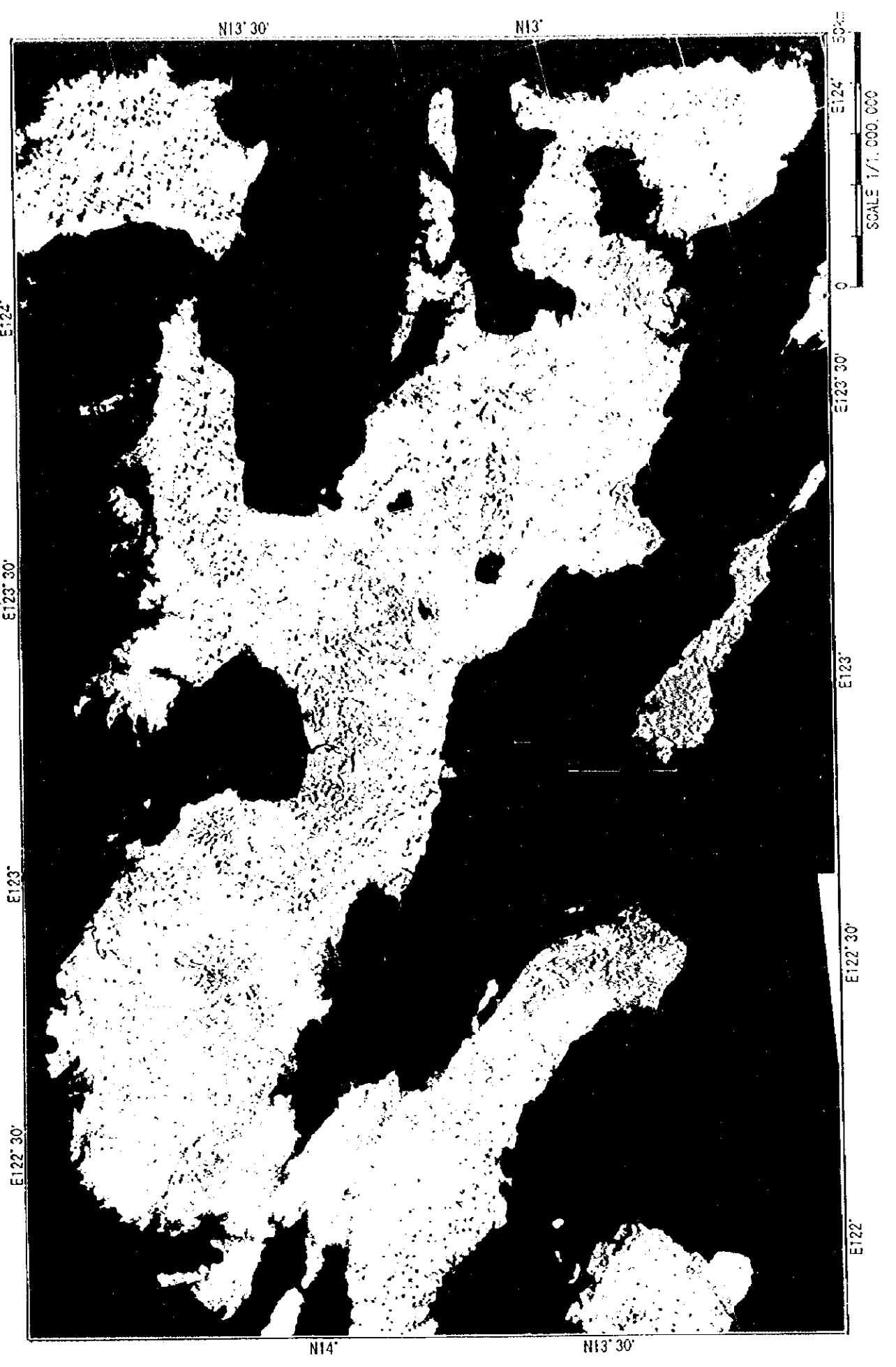
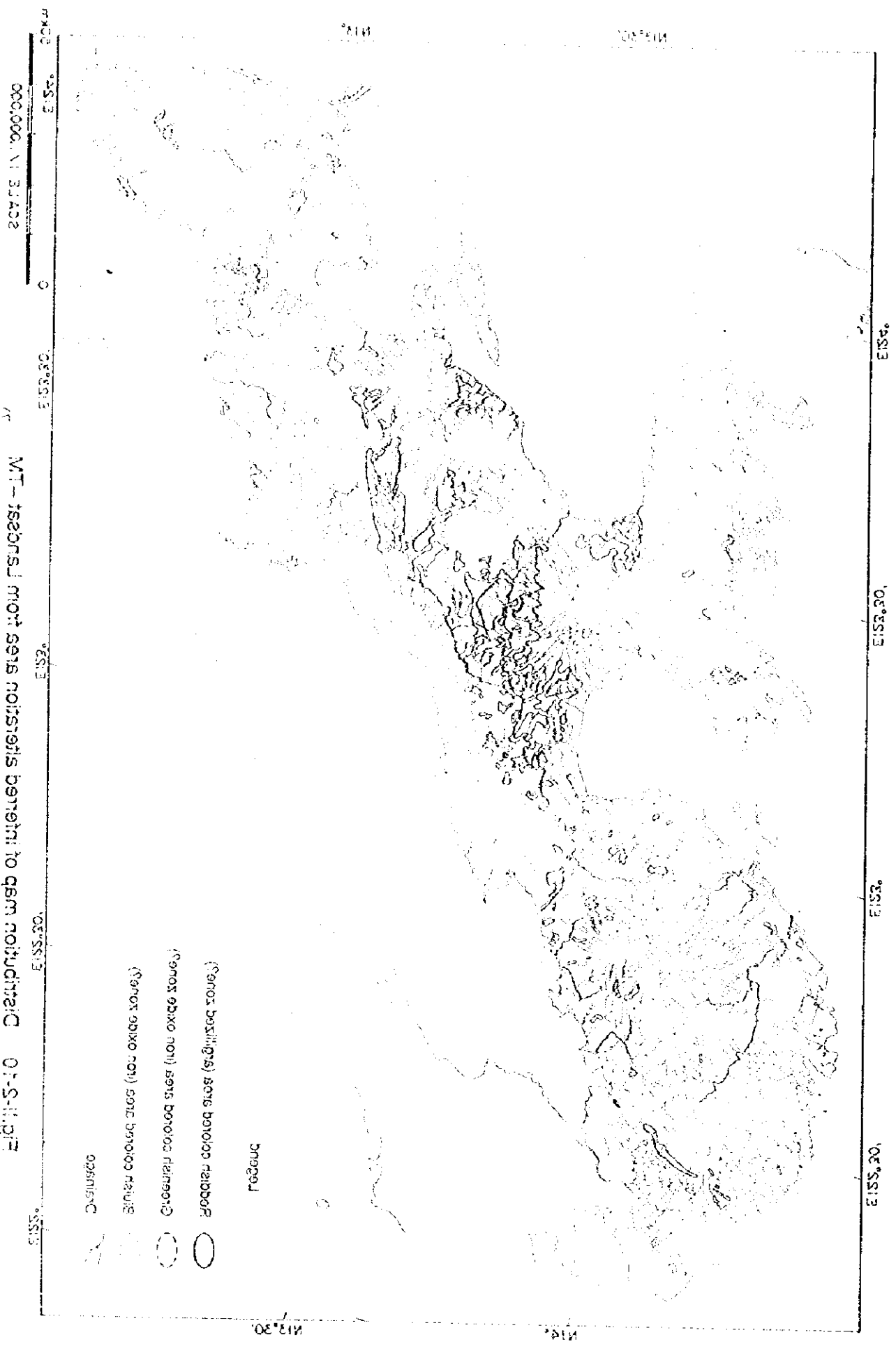


Fig. II-2-10 Distribution map of inferred alteration area from Landsat -TM
rational image analysis (BGR:3/1 5/4 5/7) 7)

Fig. 1-5-10 0-2-11-01 (TAS AIG H:RDB) aialvans agamI lanofia:



①

②

③

析単元、花崗岩類が2解析単元である。これらは、大略的にはピコール半島の北東から基盤岩類-火山岩類-堆積岩類の順に帯状分布し、フィリピン断層と平行な NW-SE 系の伸びを示す。Sorsogon 半島南部には再び火山岩類が分布する。

地質構造としては、地層トレース、褶曲構造、断層、環状構造が判読された。地層トレースおよび褶曲構造は、上記の帯状分布と調和的に NW-SE 系を示す。推定断層は、フィリピン断層と平行な NW-SE 系の他に NE-SW 系のものも認められる。環状構造には、カルデラ地形と火山地形が認められる。Sorsogon 半島中央部には、Bulsan 火山の南西側半分を取り囲む直径約 15km のカルデラ地形を示す環状構造が認められる。火山地形の周辺には、ほぼ同心円状に地質単元が分布する。

LANDSAT-TM および JERS-1/SAR の両画像から抽出されたリニアメントの分布は、集中する地域と希薄な地域に明瞭に区分される。地質単元解析結果と比較すると、リニアメントの集中する地域は、火山岩類、堆積岩類、基盤岩類、花崗岩類の分布域である。一方、リニアメントの希薄な地域は、低地堆積物、火山周辺崩落層、一部の堆積岩類の分布域である。リニアメントは、フィリピン断層と平行な NW-SE 系および NE-SW 系が最も多く、その他に N-S 系、E-W 系および中間方向のものが認められる。

LANDSAT-TM 比演算画像から抽出された変質帯候補地の分布は、集中する地域と希薄な地域に明瞭に区分される。地質単元解析結果と比較すると、変質帯候補地の集中する地域は、低地堆積物の分布域および一部の火山周辺崩落層や堆積岩類に対応する。その他の地質単元では、若干の変質帯候補地が抽出されたが、火山岩および基盤岩類の分布域では、変質帯候補地が稀少になる傾向が認められる。

(2) 衛星画像解析の有効性と限界

本調査では、LANDSAT-TM 画像データと JERS-1/SAR 画像データを用いて、地質・変質帯の判読・解析を行った。ここでは、両画像の特徴と本調査地域の特徴を照らし合わせて、今回の画像解析の有効性と限界について検討する。

LANDSAT-TM は、可視～短波長赤外～熱赤外領域に7バンドを有し、地質的な解析に用いるのはバンド1～5とバンド7である。LANDSAT-TM の地表分解能は 30m×30m であるので、1/25 万の画像では 0.12mm/pixel である。これらのバンドは全て光学センサーであるので、太陽高度や大気の影響を受けることになる。

本調査では、調査対象地域が熱帯雨林地域の植生地域であることを考慮して、LANDSAT-TM フォールスカラー画像による写真地質的判読・解析を行った。今回用いた LANDSAT-TM 画像データでは、多数の観測日の中から雲量の少ないものを選択したにも係わらず、地表が雲自体および雲の陰に被われた地域が多くあった。雲の無い地域の殆どでは地質判読は良好に行えたが、雲の付近では判読要素の連続性を追跡することが出来なかった。

さらに、試験的に LANDSAT-TM 比演算画像による変質帯抽出を試みた。今回の調査対

象地域は、植生地域であり、広範囲な露岩地域は認められない。そこで、DN 値や植生指数にしきい値を設定することにより、非植生地域を抽出した上で比演算処理を行った。このことにより、一応は、変質帯候補地を表現する比演算画像を得ることが出来たが、幾つかの問題点もあり、変質帯抽出に充分有効な画像を作成することは困難である。

第1の問題点は、しきい値や比演算値が非常に微妙な事である。撮影時期の異なるシーンを用いたモザイク画像では、太陽の方向・高度の違いによる地形陰影の差異、植生の差異およびセンサー特性の差異などの影響を受けて、異なるシーンでは同一条件で処理を行うことは出来ない。本調査では、これらの影響を極力低減するために、シーン毎に異なるしきい値や比演算処理パラメーターを設定し処理を行ったが、それでも得られた処理結果には依然としてシーン間の微妙な差異が残存した。例えば、東側の P114/R051 と西側の P115/R050 の処理結果は比較的類似した色調傾向を示したが、西側の P115/R050 の処理結果の色調傾向には大きな差異が認められた。特に、Mt. Labo の周辺では、P115/R050 を用いた場合は変質帯候補地が認められないが、P115/R051 では赤色系の変質帯候補地が多数分布する。そのため、本調査の変質帯判読では、類似した色調傾向を示す画像として東側に P114/R051、西側に P115/R050 を用いている。第2の問題点は、非植生地が散点状である事である。そのため、同一シーン内での処理結果も散点的となり、面的には解析することは出来なかった。

また、既知鉱床の周辺に分布する変質帯のスペクトル情報を教師として、教師付き分類を行うことにより、鉱床・鉱徴地と関係する変質帯の抽出を試みた。しかし、植生被覆率が非常に多いことと、LANDSAT-TM のシーン間の輝度値校正が充分でないことから、良い結果を得ることは出来なかった。この様な地域では、LANDSAT-TM の特徴である多バンドデータを十分に生じたスペクトル解析は困難である。

一方、JERS-1/SAR は、画像は1バンド（白黒）であるが、能動的センサー（合成開口レーダー）であるので、太陽高度や大気の影響を受けない。但し、合成開口レーダーに特有の倒れ込み現象による地形の歪みが生じる。JERS-1/SAR の地表分解能は $12.5\text{m} \times 12.5\text{m}$ であるので、1/25 万の画像では 0.05mm/pixel である。

本調査では、JERS-1/SAR 白黒画像を用いて写真地質的判読・解析を行った。ノイズ低減処理等の影響で地表分解は 12.5m よりも低下していると思われるが、LANDSAT-TM よりも鮮明に画像要素を判読することが出来た。また、LANDSAT-TM に見られた雲の影響が無いことにより、対象地域の全域を判読することが出来た。地質単元区分の多くは、JERS-1/SAR の情報に基づいている。リニアメント抽出に際しては、レーダー照射方向と斜交する方向の出現頻度が高くなる傾向が見られたが、LANDSAT-TM による抽出結果と良く一致した。また、標高の高い火山では地形の倒れ込みが認められた。