

第 II 部 各 論

第1章 衛星画像解析

1-1 解析の目的

JERS-1 SAR 画像及び LANDSAT TM 画像を用いた判読作業により地質単元区分図及びリニアメント図を作成して広域的な地質構造を把握することにより、調査地域における鉱物資源賦存ポテンシャル評価のための基礎資料を提供することを目的とする。作成した判読図は、緯度・経度とも 30 分幅を 1 図画とするペルー国土地理院 10 万分の 1 地形図の 29-1、m、30-m、n、31-m、n、r、32-n、ñ、o、p、q、r の 13 図画である。

1-2 画像処理

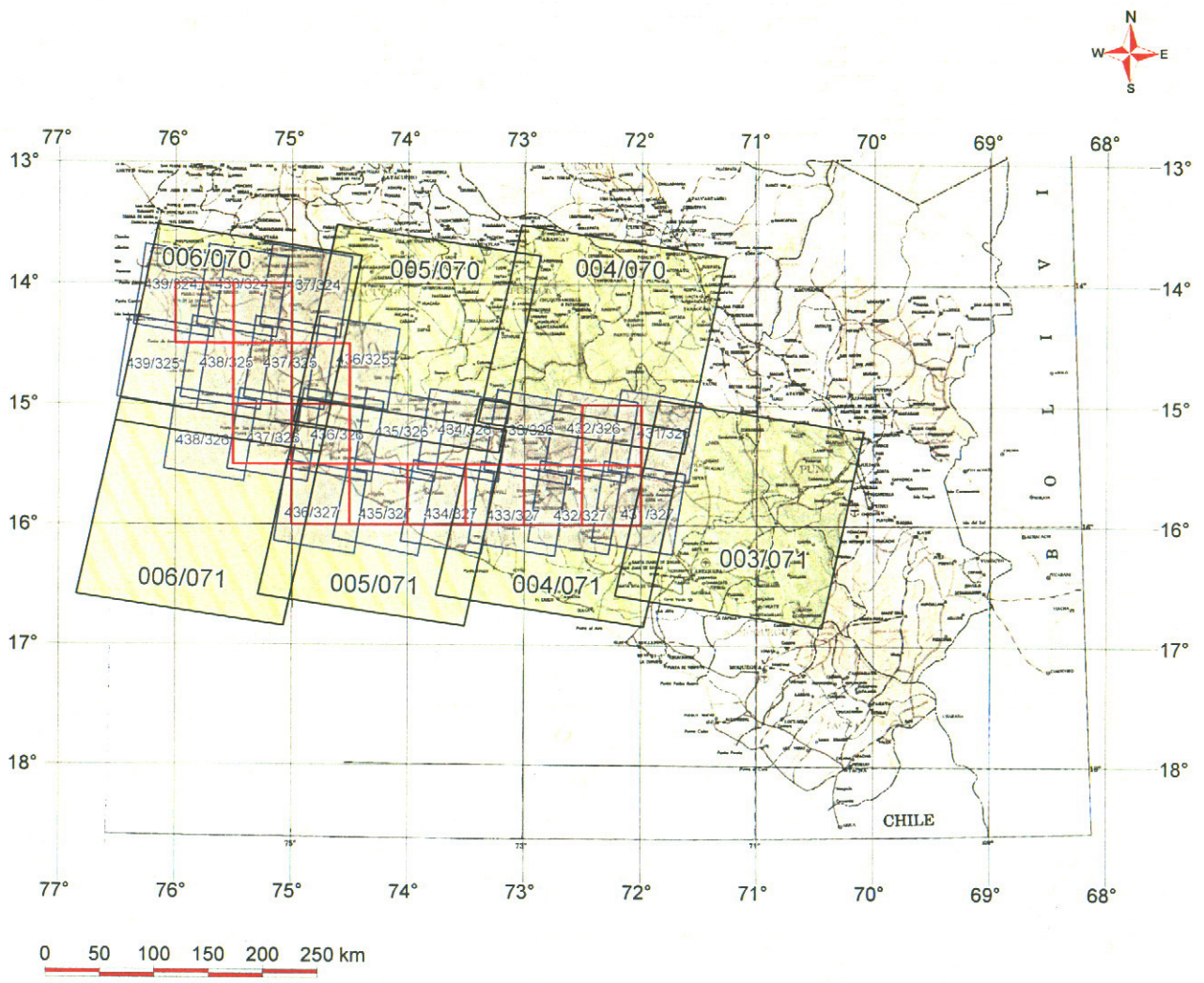
1-2-1 使用データ

衛星画像解析に使用した JERS-1 SAR データ 21 シーン及び LANDSAT TM データ 7 シーンを第 3 図及び第 4 表に示す。

1-2-2 JERS-1 SAR 画像作成手順

以下の手順に従い、判読用画像 13 枚を作成した。

1. データの読込：資源・環境観測解析センター(ERSDAC)から提供された JERS-1 SAR データが納められた 8mm 磁気テープから技術計算用ワークステーション(EWS)に接続されたハードディスク(HD)に全データを転送した。
2. ファイル変換：転送されたファイルに含まれる画像データをカナダ PCI 社製の画像処理ソフトウェア-PCI/EASI-PACE の標準画像データベース・フォーマット(PCIDSK 形式)に変換した。
3. ビット数変換：16 ビット画像データを 8 ビット画像データに変換した。
4. 正規化：ビット数変換と同時に輝度値ヒストグラムを正規化した。
5. 画像回転：画像データを時計回りに 90 度回転した。
6. アンテナパターン再補正：JERS-1 SAR データのアンテナパターン特性（補正のかけすぎにより、ニアレンジが暗くなりファーレンジが明るくなる現象）を再補正するため、各シーンのアジマス方向の平均値を求め、平均値で各ピクセルの値を除算した。
7. 座標値の付与：各シーンの画像四隅の UTM 座標をヘッダー情報から読み取り画像データに付与した。
8. モザイク用画像データベースの作成：モザイク画像を作成するための、UTM 座標系を持つ PCIDSK を作成した。
9. 中心画像の張り付け：調査地域の中心に最も近いシーンをモザイク用画像データベースに張り付ける。この時の張り付け位置はヘッダーの位置情報による。
10. モザイク：中心画像に隣接する画像から順次モザイクを実施した。この時、画像の重複部



- Survey Area
- LANDSAT ETM+
- JERS-1 SAR

第3図 衛星画像解析範囲図

第4表 使用衛星画像データ

JERS-1 SAR データ

	パス	ロウ	観測日	処理レベル
1	431	326	1996/02/01	2.1
2	431	327	1996/02/01	2.1
3	432	326	1996/02/02	2.1
4	432	327	1996/02/02	2.1
5	433	326	1997/01/20	2.1
6	433	327	1997/01/20	2.1
7	434	326	1996/02/04	2.1
8	434	327	1996/02/04	2.1
9	435	326	1996/02/05	2.1
10	435	327	1996/12/09	2.1
11	436	325	1994/03/04	2.1
12	436	326	1994/03/04	2.1
13	436	327	1996/06/17	2.1
14	437	324	1996/02/07	2.1
15	437	325	1996/02/07	2.1
16	437	326	1996/02/07	2.1
17	438	324	1996/02/08	2.1
18	438	325	1996/02/08	2.1
19	438	326	1996/02/08	2.1
20	439	324	1996/02/09	2.1
21	439	325	1996/02/09	2.1

LANDSAT データ

	パス	ロウ	観測日	センサー
1	003	071	2000/06/24	ETM+
2	004	070	2000/08/02	ETM+
3	004	071	2000/11/06	ETM+
4	005	070	2000/06/22	ETM+
5	005	071	2000/05/21	ETM+
6	006	070	2000/04/26	ETM+
7	006	071	2000/04/26	ETM+

分でタイポイントを数十点設定し、画像間のズレが1ピクセル未満になるよう幾何補正をかける。同時に画像間に輝度差が生じないよう輝度を調整した。

11. スペックルノイズの低減：Enhanced Lee フィルター(5×5)を適用し、スペックルノイズを低減させた。

12. ファイル変換：PCIDSK ファイルから TIFF 形式画像ファイルに変換の後、米国 Microimages 社製の統合型 GIS ソフトウェア TNTmips のデータ形式(.rvc)に画像データをインポートした。

13. 地図投影：TNTmips の地図投影機能を用いて、インポートした画像データを地図投影した。この際、川の合流点や都市などのランドマークをコントロール・ポイントとして、IGN 発行の 10 万分の 1 地形図のスキャン画像を参照画像として用いた。地図投影法は UTM(zone=18)、地球楕円体モデルは WGS1984 とした。

14. 図画毎の画像切り出し：地図投影データに基づき、調査範囲の図画毎のサブシーン画像 18 枚を作成した。

15. アノテーションの付与：それぞれのサブシーン画像に座標、スケール、図画名等のアノテーションを付与した。

16. ファイル形式の変換：出力機器に合わせて画像ファイルの形式を.rvc から TIFF 形式に変更した。

17. 画像解像度の変更：300dpi、縮尺 20 万分の 1 で出力するため、それぞれのサブシーン画像の解像度を調整した。この結果、画像の空間分解能は約 16.9 m/pix に変更された。

18. ハードコピー出力：デジタルフォトプリンター(ライトジェット 5000)により、各サブシーン画像を 2 枚ずつ、合計 26 枚の画像を 20 万分の 1 で出力した。作成した JERS-1 SAR モザイク画像を第 4 図に、同サブシーン画像の一部を第 9-1 図(Chuquibamba;図画 32-q) および第 10-1 図(Orcopampa;図画 31-r)に示す。

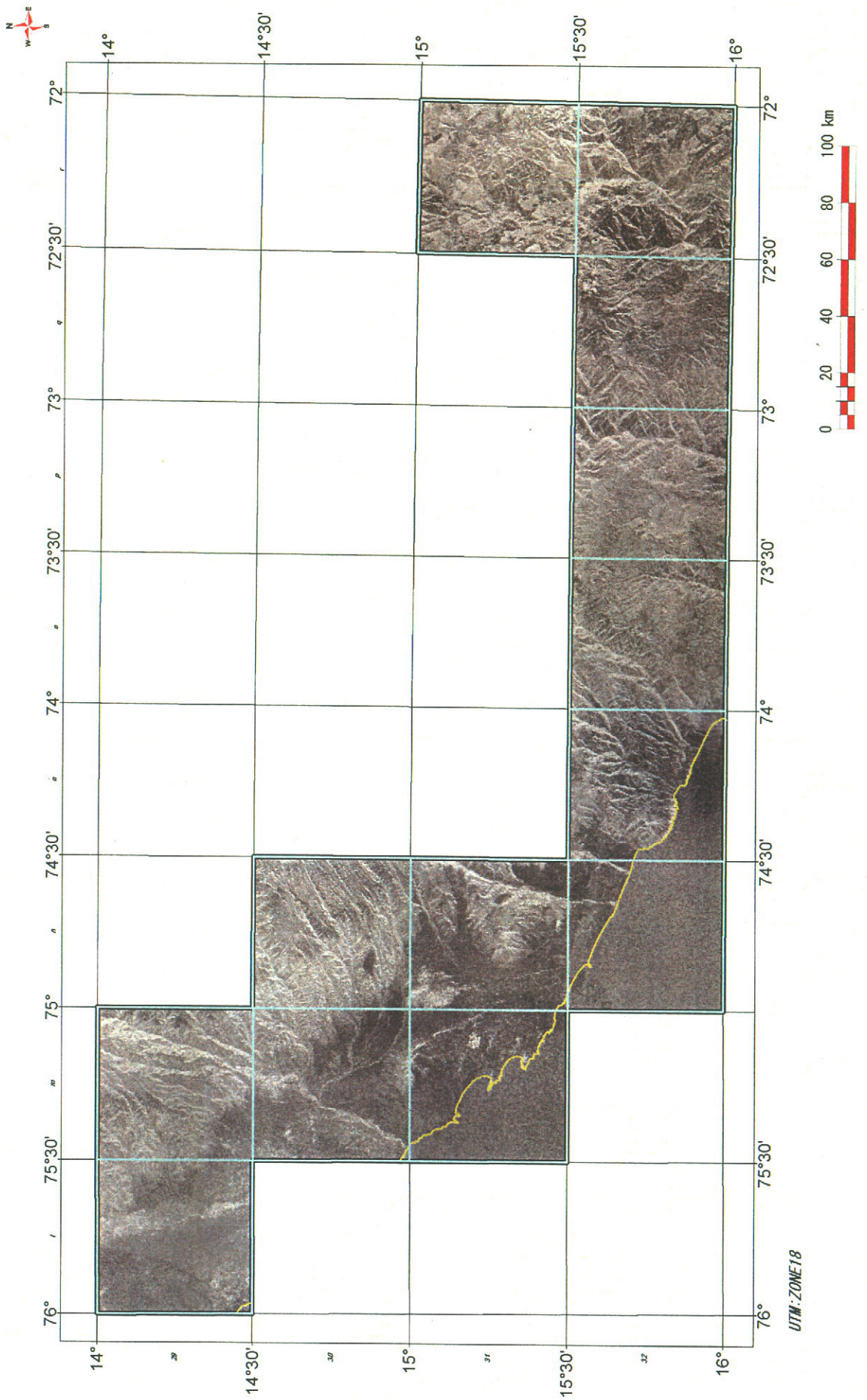
1-2-3 LANDSAT TM カラー合成画像作成手順

以下の手順に従い、判読用画像 13 枚を作成した。

1. データの読込及びファイル変換：リモートセンシング技術センター(RESTEC)から購入した LANDSAT TM データ CD から技術計算用ワークステーション(EWS)に接続されたハードディスク(HD)にデータを転送した。この際、画像データの形式を PCIDSK に変換し、使用するシーン毎に 7 つの PCIDSK を作成した。転送したデータは熱赤外域バンド(band 6)を除くバンド 1、2、3、4、5、7 の各バンドのデータである。

2. 座標値の付与：各シーンの画像四隅の UTM 座標をヘッダー情報から読み取り画像データに付与した。

3. モザイク用画像データベースの作成：モザイク画像を作成するための、UTM 座標系を持つ PCIDSK を作成した。



第4図 JERS-1 SAR モザイク画像

4. 中心画像の張り付け：調査地域の中心に最も近いシーンをモザイク用画像データベースに張り付ける。この時の張り付け位置はヘッダーの位置情報による。
5. モザイク：中心画像に隣接する画像から順次モザイクを実施した。この時、画像の重複部分でタイポイントを数十点設定し、画像間のズレが1ピクセル未満になるよう幾何補正をかける。同時に画像間に輝度差が生じないようにバンド毎に輝度を調整した。
6. 輝度強調：モザイク済みのバンド1、4、5のそれぞれについて、ヒストグラム標準化処理を行い、輝度を強調した。
7. エッジ強調：ラプラシアン・フィルタ処理によりエッジを強調した。
8. ファイル変換：PCIDSK形式からTIFF形式に変換の後、.rvc形式に変換した。
9. 地図投影：TNTmipsの地図投影機能を用いて、インポートした画像データを地図投影した。この際、川の合流点や都市などをコントロール・ポイントとして、IGN発行の10万分の1地形図のスキャン画像を参照画像として用いた。地図投影法はUTM(zone=18)、地球楕円体モデルはWGS1984とした。
10. 図画毎の画像切り出し：地図投影データに基づき、調査範囲の図画毎のサブシーン画像13枚を作成した。この時、バンド1、4、5をそれぞれ青、緑、赤に配色した。
11. アノテーションの付与：それぞれのサブシーン画像に座標、スケール、図画名等のアノテーションを付与した。
12. ファイル形式の変換：出力機器に合わせて画像ファイルの形式を.rvcからTIFF形式に変更した。
13. 画像解像度の変更：300dpi、縮尺20万分の1で出力するため、それぞれのサブシーン画像の解像度を調整した。この結果、画像の空間分解能は約16.9m/pixに変更された。
14. ハードコピー出力：デジタルフォトプリンター(ライトジェット5000)により、各サブシーン画像を2枚ずつ、合計26枚の画像を20万分の1で出力した。作成したLANDSAT TMモザイク画像を第5図に、同サブシーン画像の一部を第9-2図(Chuquibamba;図画32-q)および第10-2図(Orcopampa;図画31-r)に示す。

1-2-4 LANDSAT TM 比演算画像作成手順

以下の手順に従い、比演算画像13枚を作成した。

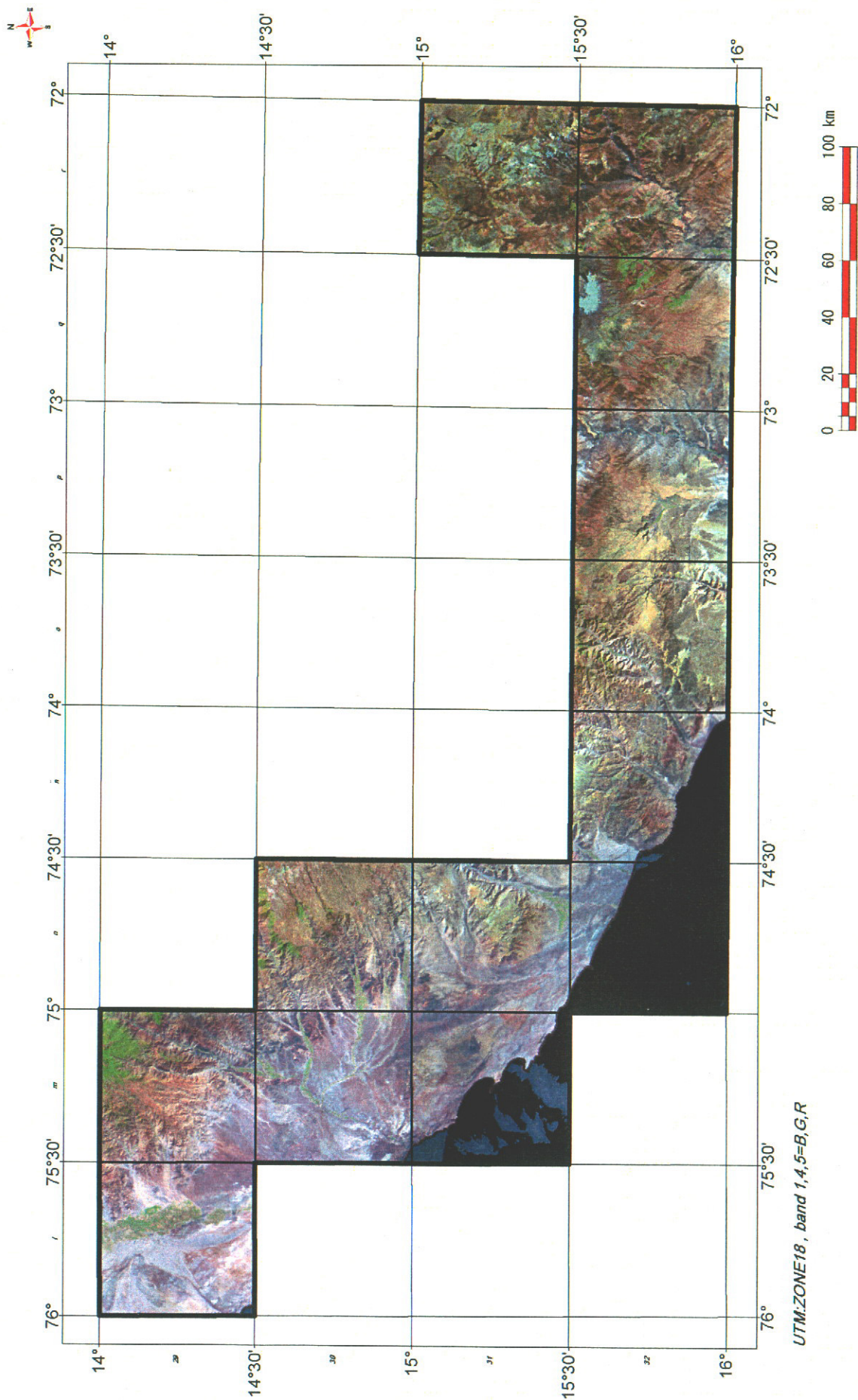
1. マスクの作成：植生、水域+影+ブランク、雲+雪+沖積層に相当するマスクを作成した。各マスクの閾値は下記のとおりである。

植生：NDVI > 0.1

NDVI (Normalised Differential Vegetation Index) = (Band4-Band3)/(Band4+Band3)

水域、影及びブランク：Band5 < 42

雲、雪、沖積層：Band1 > 120



第5図 LANDSAT TMモザイク画像

2. 比演算：上記マスクに含まれない画素を用いて、酸化鉄帯(以下、R21)の抽出を目的としたバンド(2-1)/(2+1)及び粘土化帯(以下、R57)の抽出を目的としたバンド(5-7)/(5+7)を計算し、それぞれを32ビット(実数)に書き出した。

3. アノマリー抽出：2つの比演算結果について単純統計値を計算し、平均値+2×標準偏差(2 σ)を算出した。それぞれの統計値は下表のとおりである。

	平均	標準偏差	2 σ
R21	-0.563	0.308	0.054
R57	-0.200	0.646	1.092

R21、R57ともに、この2 σ を閾値としてアノマリーを抽出した。

4. 画像合成：抽出したそれぞれのアノマリー領域を、バンド5モノクロ画像に合成表示した。この時、R21が2 σ 以上を赤、R57が2 σ 以上を緑色で表示した。

5. 図画毎の画像切り出し：地図投影データに基づき、調査範囲の図画毎のサブシーン画像13枚を作成した。

6. アノテーションの付与：それぞれのサブシーン画像に座標、スケール、図画名等のアノテーションを付与した。

7. ファイル形式の変換：出力機器に合わせて画像ファイルの形式を.rvcからTIFF形式に変更した。

8. 画像解像度の変更：300dpi、縮尺20万分の1で出力するため、それぞれのサブシーン画像の解像度を調整した。この結果、画像の空間分解能は約16.9m/pixに変更された。

9. ハードコピー出力：デジタルフォトプリンター(ライトジェット5000)により、各サブシーン画像を2枚ずつ、合計26枚の画像を20万分の1で出力した。

1-2-5 比演算処理結果(第6-1図および第6-2図)

以下に各図画毎のアノマリー抽出結果を対象地域西部から東部の順に述べる。

1) 図画29-1

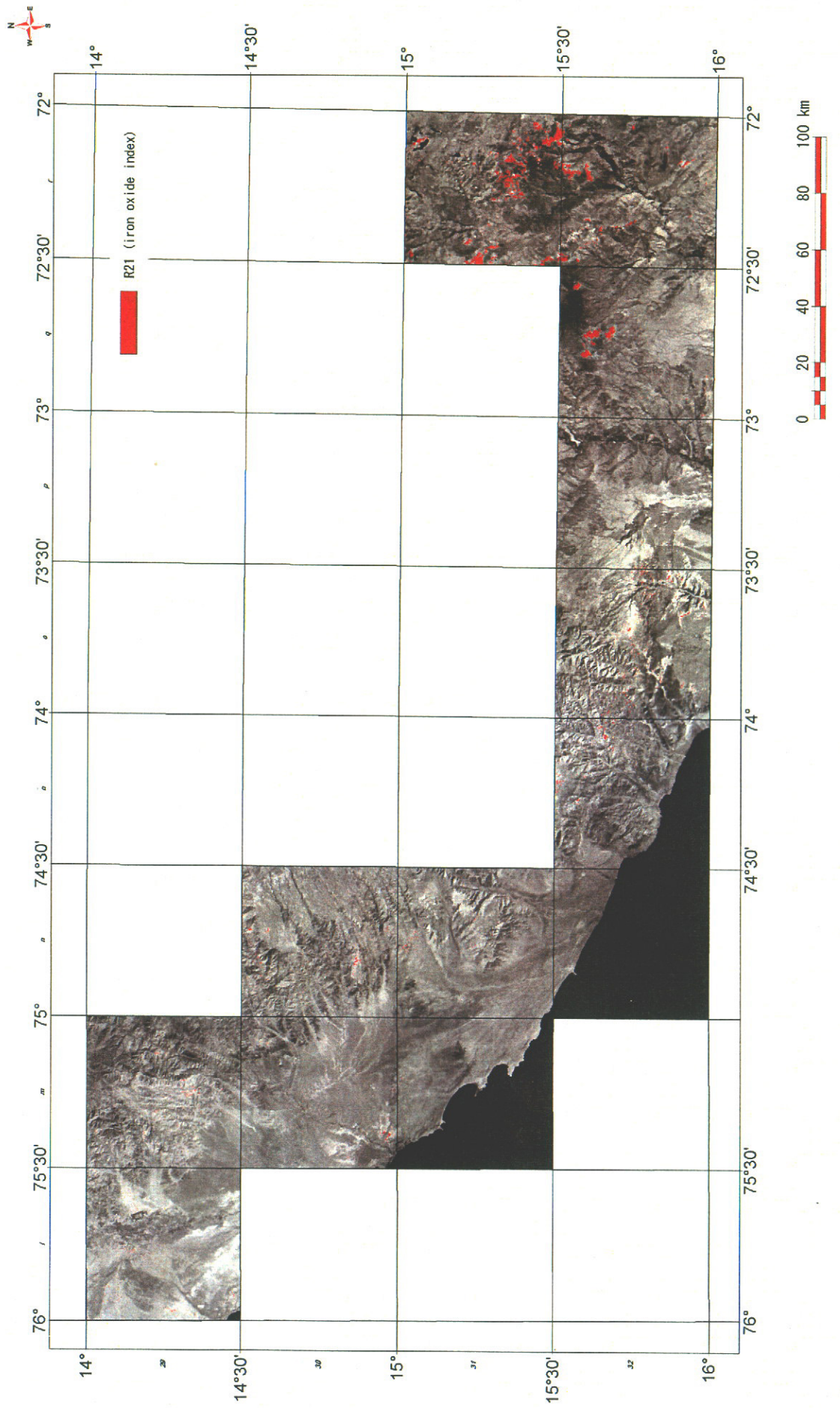
R21アノマリーは、図画西部に分布する単元P-sn(古生界貫入岩類)中に極弱い纏まりが抽出された。第四系分布域にも古河川流路を暗示する細い連続的アノマリーが認められる。

R57アノマリーは現河川の周辺の沖積層中に抽出されたのみである。

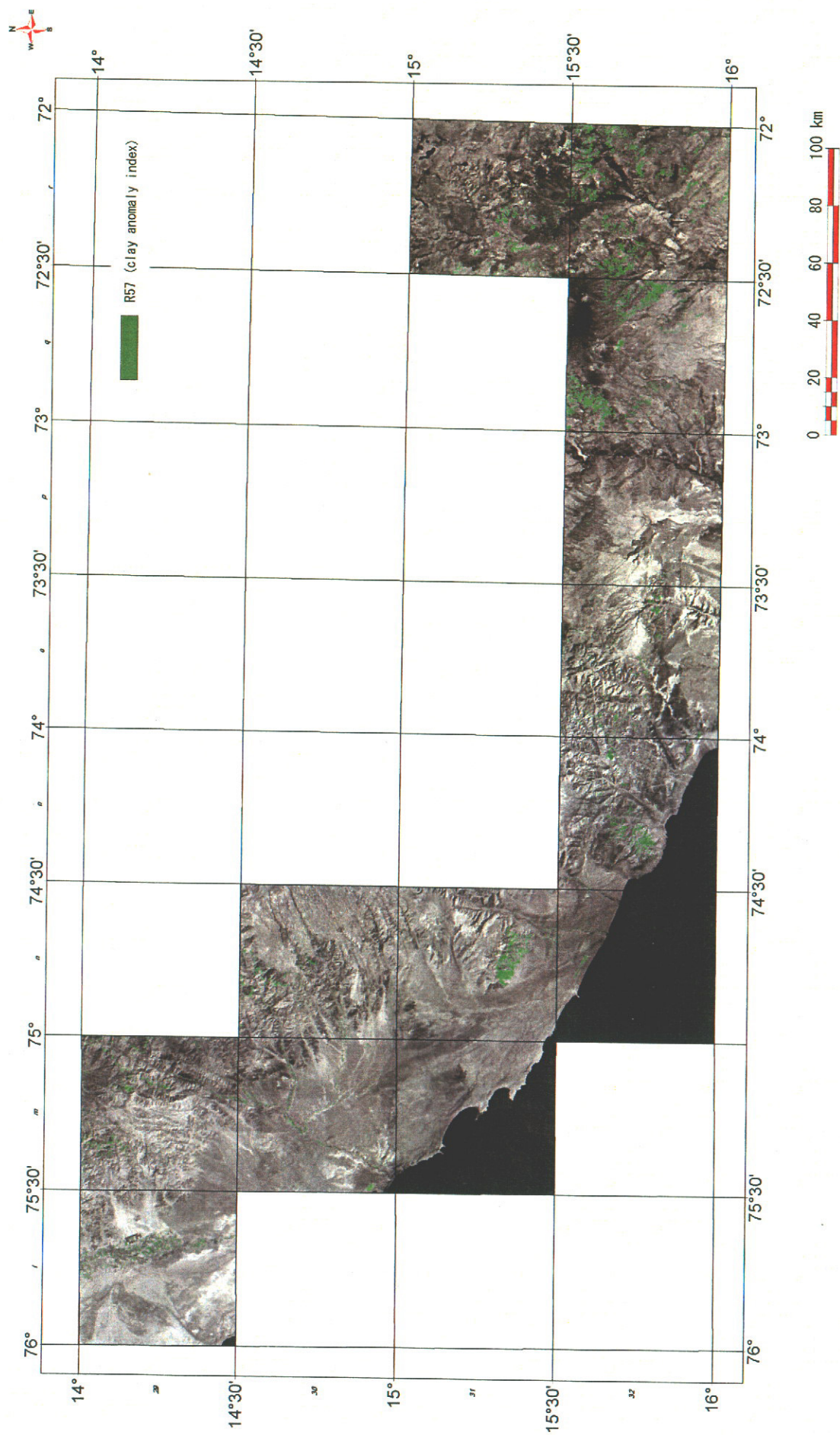
2) 図画29-m

R21アノマリーは、図画南部に分布する単元Nm-na(新第三系火山岩類)中に僅かに認められるが、現河川に平行する古河川の流路を暗示する配列を示す。

R57アノマリーは単元JK-yu(ジュラ系～白亜系堆積岩類)分布域に広範囲に抽出された。さらに、現河川沿いにも認められる。



第6-1図 LANDSAT TM 比演算解析画像1 (酸化鉄帯抽出結果)



第6-2図 LANDSAT TM 比演算解析画像2(粘土化帯抽出結果)

3) 図画 30-m

R21 アノマリーは、図画南西部に分布する単元 Pe-pa (古第三系堆積岩類) 周辺に小規模に認められる。

R57 アノマリーは同じく図画南西部に分布する単元 Pe-pa 中に小規模に抽出された。現河川沿いには堅著に分布する。

4) 図画 30-n

R21 アノマリーは、図画北部に分布する単元 JK-yu (ジュラ系～白亜系堆積岩類)、単元 Ks-ti (上部白亜系貫入岩類)、単元 Nm-na (新第三系火山岩類) および図画南部に分布する単元 Ks-ti 中に小規模に認められる。

R57 アノマリーは図画北部及び中部に分布する単元 JK-yu、単元 Ks-ti および図画北部に分布する単元 ks-ti 中に抽出された。また現河川の下流部沿いにも顕著に認められる。

5) 図画 31-m

R21 アノマリーは、図画北部に分布する単元 P-sn 中に、北部の図画 30-m に連続して僅かに抽出されただけである。

R57 アノマリーはこの図画には抽出されなかった。

6) 図画 31-n

R21 アノマリーは、図画中央部に分布する単元 Ki-pt (下部白亜系貫入岩類) および図画北東部に分布する単元 Nm-na 中にどちらも僅かに認められる。また第四系中の古河川流路と思われる筋状のアノマリーも認められる。

R57 アノマリーは、図画南部中央に非常に纏まって分布する。対応する地質単元は、JK-yu、Ki-ca (下部白亜系火山岩類)、Ki-bu、Ki-pt、Ki-li (下部白亜系貫入類) である。

7) 図画 32-n

R21 アノマリーは認められない。

R57 アノマリーは単元 Q-tm (海岸段丘堆積物) および現河川沿いに抽出された。

8) 図画 32-n̄

R21 アノマリーは、図画北部中央 から南東部へ掛けて分布する単元 Ks-ti 中およびその南部に分布する単元 Js-gu 中に散点状に分布する。

R57 アノマリーは、図画中西部に比較的纏まって分布する。構成する地質単元は、Ki-pt、Ki-li (下部白亜系貫入岩類) および Ji-ch (下部ジュラ系堆積岩類) である。図画西部中央に分布する単元 Js-gu と Ks-ti 接触部には R21 アノマリーと重複する R57 アノマリーが認められる。また図画の南西端には単元 Ji-ch、Ks-in に重複する小規模なアノマリーが認められる。

9) 図画 32-o

R21 アノマリーは図画中央部の東側に分布する単元 Nm-hu (新第三系火山岩類) に若干濃集するが、他は顕著な纏まりは無く、散点状に分布する。

R57 アノマリーは、図画西部中央から東部中央に分布する単元 Ks-ti、Ks-in および Ki-bu に小規模な纏まりが認められる。北部域のやや太めの線状の配列は谷地形と調和的であり、河川堆積物を抽出している可能性が高い。因みに母岩は単元 Ks-ti である。

10) 図画 32-p

R21 アノマリーは図画中央部以南の単元 Nm-hu(第三系火山岩類)中に極小規模な散点状分布を成す。

R57 アノマリーは図画西部中央のに分布する単元 Ki-bu 周辺、北部の単元 NQ-ba(第四系火山岩類)、Ks-ti 中に若干の纏まりを持って分布する。さらに現河川沿いにも弱い線状配列が認められる。

11) 図画 32-q

R21 アノマリーは、図画北部中央に分布する単元 PN-ta(古第三系～新第三系火山岩類)、単元 NQ-ba および Q-and(現世火山砕屑岩類)の北東端に顕著に纏まって抽出された。

R57 アノマリーは、図画北西部から南部に掛けてと東部中央において大規模に分布する。構成する地質単元は、西部域においては PeB、Ks-ti、Ks-in、Ki-bu である。図画東部においては PeB および NQ-ba である。なお小規模ではあるが、単元 PN-ta において R21 アノマリーに重複する分布も認められる。

12) 図画 32-r

R21 アノマリーは、図画北西部から南東部へと小規模に断続して分布するものと、北部中央から東部へと断続するものとが認められる。いずれも北部域は単元 PN-ta およびその隣接部に重複する。南部域は単元 Ki-ar(下部白亜系堆積岩類)、Ks-se(上部白亜系堆積岩類)、Ks-ti に小規模に分布する。

R57 アノマリーは、広範囲に分布する単元 JK-yu および単元 Ki-mu(下部白亜系堆積岩類)、単元 Ki-ar、単元 Ks-ti、単元 Q-and 中に抽出された。

13) 図画 31-r

R21 アノマリーは、図画西部～中部～南東部に断続する単元 PN-ta、南西端の単元 PN-ta、南東部に分布する単元 NQ-ba に比較的纏まって分布する。さらに図画北部の単元 PN-ta、単元 NQ-ba 中に小規模に纏まって分布する。

R57 アノマリーは、大局的には R21 アノマリーを取り巻くような分布をなす。特に図画南西部に分布する単元 JK-yu、単元 PN-ta に纏まる傾向を有する。

1-3 画像判読

1-3-1 作業方法

作成した縮尺 20 万分の 1 SAR 画像及び TM カラー合成画像の出力画像を用いて判読作業を実施した。判読結果をデジタル化し、米国 ESRI 社製の GIS ソフトウェア ArcInfo に互換の GIS デー

タに変換した。作業は以下の方法により実施した。

1. 地質単元区分：地表テクスチャーの違い及び地形的特徴に基づき、地質単元を区分した。同時に、各地質単元の写真地質学的特徴と既存地質図との対比を一覧表にまとめた。地質単元区分には INGEMMET による 10 万分の 1 既存地質図を参考資料とした。
2. リニアメント及び地質構造判読：微地形等を考慮し、断層・リニアメント及び褶曲構造等の地質構造要素を抽出した。
3. デジタイズ：手書きの地質単元区分図及びリニアメント図をスキャニングしてラスターデータとしてコンピューターに取り込んだ後、ラスター/ベクター変換によりベクターデータを作成した。ベクターデータに含まれる面及び線をコンピューター画面上で手動で修正した上で、それぞれの図形に単元名、構造名等の属性を付与した。これら一連の作業には TNTmips を使用した。
4. GIS データセット作成：INGEMMET から提供された Arc/Info のカヴァレッジと呼ばれる形式の地勢情報(水系、湖、道路、集落、国境等)を.rvc ファイルのベクターオブジェクトに変換し、判読結果と重ね合わせた後、凡例、縮尺、図画番号・名称等のアノテーションを付加して縮尺 20 万分の 1 で出力した。出力図面は、地質単元区分図とリニアメント図の 2 種類とした。.rvc ファイルに含まれる、地質単元境界、断層・地質構造、リニアメントのそれぞれのベクターデータから、Arc/Info カヴァレッジ形式のファイルを作成した。

1-3-2 地質単元区分結果

判読作業は、INGEMMET(1999)「501 Cuadrangulos Geologicos Digitales de la Carta Nacional 1960-1999」を参考として実施した。

判読した地質単元の一覧は第 5 表に示した。本表では「GEOLOGICAL CORRELATION」として INGEMMET(1999)の地質単元との対比を示した。

本判読では、調査地域を下記に記す 35 の地質単元に分類した。

第四系として「Q」、新第三系～第四系(更新統)として「NQ-ba」、新第三系として「Np-ch」、「Nm-hu」、「Nm-al」、「Nm-na」、「Nm-pi」および「Nm-ca」、古第三系～新第三系として「PN-ta」、古第三系として「Pe-pa」および「Pa-ca」、白亜系から古第三系として「KP-sj」、白亜系として「Ks-se」、「Ki-ar」、「Ki-pa」、「Ki-ca」および「Ki-mu」、ジュラ系～白亜系として「JK-yu」、ジュラ系として「Js-gu」、「Jm-so」および「Ji-ch」、二畳系として「Per-mi」、石炭系として「Cs-ta」および「Ci-am」、カンブリア系として「Cmb-ma」、先カンブリア系として「PeB」、さらに貫入岩類として「P-an/ri」、「Ki-lu」、「Ks-ti」、「Ks-in」、「Ks-pa」、「Ki-li」、「Ki-pt」、「Ki-tun」、「Ki-bu」、および「P-sn」に区分した。このうち単元「Q」については、「Q-tm」、「Q-g」、「Q-el」、「Q-e」、「Q-a1」、「Q-and」に細分した。

以下に各地質単元の特徴について述べる。

(1) 単元 Q