

第II部 各論

第II部 各論

第1章 調査対象地域の概要

本章では、本年度の調査対象地域周辺における位置および交通、地形および水系、気候および植生について記述する。地質調査および土壌地化学探査地域の位置およびその周辺の地質図を Fig. II-1-1 に示す。

1-1 位置および交通

ウルグアイは、南アメリカ大陸の東海岸に位置し大西洋に面している。北はブラジルと国境を接し、南および西はラプラタ川およびウルグアイ川（ラプラタ川支流）を挟んでアルゼンチンと接している。国土面積は 176,000 km² で日本の約半分、人口は約 316 万人(1996 年時)で、首都のモンテヴィデオ(Montevideo)に全人口の半分弱が居住している。

本調査の対象地域はサンホセ(San Jose)地域とアロジョグランデ(Arroyo Grande)地域の 2 地域にあり、これらはモンテヴィデオの北方に位置し、国土全体からみると南部にあたる。サンホセ地域は、首都モンテヴィデオの北西約 90km の地点を中心に東西約 220km、南北約 50km で、東西に細長い長方形となっている。

本年度の現地調査のベースキャンプ地としたサンホセデマーヨ(San Jose de Mayo)市は、首都モンテヴィデオから国道 1 号線で約 50km 北西に向かい続いて国道 3 号線を 30km ほど北上した位置にあり、所要時間は自動車ですら約 1 時間半である。

アロジョグランデ地域は、首都モンテヴィデオの北西約 140km の地点を中心に東西約 50km、南北約 20km の東西に長い長方形となっている。サンホセデマーヨ市より国道 3 号線を北北西に 90km ほどで当地に至る。モンテヴィデオ市より自動車ですら 2 時間半程度である。

国道は全線舗装されており、調査地域には国道のほか県道や農道が網の目のように走り交通の便は極めてよい。

なお、空中物理探査を実施した地域は 12,000km² でグリーンストーン帯をカバーしており、地質調査および地化学探査を実施した地域は 400km² であり、ともにサンホセ地域およびアロジョグランデ地域に位置する。

1-2 地形および水系

ウルグアイは、標高 514 m が最も高い地点であり、国全体が緩やかな傾斜の丘陵地となってい

る。調査対象地域を含む国の南部は特に平坦に近い丘陵地形を呈しているが、全体として対象地域の東部では南側に、西部では南西側に緩く傾斜している。風化土が広く分布し岩石の露出が少ない。しかし、地形は地質を反映することがあり、花崗岩質岩の貫入岩などはローカルな丘を形成していることがある。

サンホセ地域では、東部をサントルシア (Santa Lucia) 川が、中部をサンホセ川が南流し、西部ではロザリオ (Rosario) 川やサンファン (San Juan) 川が南西方向に流れ、これらの河川が水系の骨格を形成し、いずれの河川もラプラタ川に注いでいる。アロジョグランデ地域では、ネグロ (Neguro) 川が西方に流れウルグァイ川に合流し、当地の主要な水系を構成している。いずれの地域においても、これらの河川の支流は樹枝状で均等に発達し、網の目のような分布を示している。

年間の降雨量は日本と比べ少ないが、一度雨が降ると傾斜が緩く粘土質の土壌で透水性が悪いため、支流の合流点付近は湿地帯状になるところが多い。

1-3 気候および植生

世界の気候区分によれば、ウルグァイは温帯多雨の気候帯に区分される。温暖な気候で年間の平均気温は約 16°C である。冬季の 6 月から 9 月においても平均気温が 10°C を下回することは少ない。夏季の 12 月から 3 月の平均気温は 23°C である。モンテヴィデオの年間平均雨量は 1000mm 程度であり、多雨地域としては降雨量が少なく、調査対象地域の降水量もほぼこの程度と考えられる。9 月から 12 月が、雨量も少なく気候が安定しフィールド調査に適している。

調査対象地域は、傾斜の緩慢な丘陵地形を活用した牧草地となり、河川に沿いに広葉樹が点在している。西欧人が入植する以前からこの地域は一面草原で、民家の周囲の防風林や街路樹などは輸入したユウカリやパームなどが植えられている。

第 2 章 調査対象地域周辺の地質概要

第 2 年次で実施した空中物理探査、地化学探査および地質調査地域は、第 1 年次に実施した調査地域内にあるので、第 1 年次の結果を基に地質、鉱床を述べ調査対象位置周辺の地質概要とする。本年度、地質調査および土壌地化学探査を実施した合計 5 箇所の地域は、サンホセ地域で 4 箇所、アロジョグランデ地域で 1 箇所である。

2-1 地質

調査地域周辺の地質図は、Fig.II-1-1 に示したとおり、基盤の複合岩類 (pCCcb、pCCanf) およびグリーンストーン (pCCsjo、pCCsj、pCCps、pCCag) を主体とし、これらに貫入する古期花崗岩類 (pCCG) および新期花崗岩類 (pCC) 等の貫入岩から構成される。上位には白亜、新第三系、第四系が不整合に被覆する。サンホセ地域とアロジョグランデ地域の模式柱状図を Fig.II-2-2 に示す。

2-1-1 基盤岩類

基盤の複合岩類は、始生代の時代未詳の岩石であるが、少なくともグリーンストーンが堆積した約 26 億年前以前に形成された。サンホセ地域主要地区の西縁部および東部、サンホセ地域西部地区の北側、アロジョグランデ地域の南縁部に分布する。上位層とは、サンホセ地域西部地区では北西-南東方向の断層で、アロジョグランデ地域では東西方向の断層でそれぞれ接している。主として、片岩類、片麻岩、珪岩、角閃岩、花崗岩類等の岩石からなり、ミグマタイト、ホルンフェルス化等を伴う。花崗岩類は、変成作用により弱く片理構造が発達する。

2-1-2 堆積岩類

(1) グリーンストーン

グリーンストーンを構成する地層は、比較的高度の変成作用を被ったサンホセ層(pCCsjo)、セロデサンファン層 (pCCsj) およびアロジョグランデ層(pCCag)、ならびに弱変成作用を被ったポソセベリノ層 (pCCps) より成る。

サンホセ地域主要地区では、主として東西方向の断層を境界として、南側に比較的高度の変成作用を受けたサンホセ層が、北側に弱変成作用を被ったポソセベリノ層が分布する。サンホセ地域西部地区には、一部基盤の複合岩類と断層を境して弱変成作用を受けたセロデサンファン層が分布する。アロジョグランデ地域には、弱～中程度の変成作用を受けたアロジョグランデ層が広く分布する。

グリーンストーンを構成する各岩石は、いずれも変成作用を受けており、原岩は堆積岩と火山岩に区分される。

原岩を堆積岩とするグリーンストーンは、泥岩から砂岩を起源とする泥質片岩、砂質片岩、雲母片岩、珪質岩を起源とする石英片岩、および塩基性から中性の火山噴出物を起源とする緑色片岩が主なものである。

顕微鏡観察結果によると、泥岩や砂岩などの堆積岩を起源とする結晶片岩の主要な変成鉱物は石英、斜長石、白雲母、炭酸塩鉱物、燐灰石、チタン石、褐鉄鉱、不透明鉱物等であり、塩基性から中性火山噴出物を起源とする緑色片岩は、アクチノ閃石、緑泥石および緑レン石の組合せで特徴づけられ、石英、曹長石、炭酸塩鉱物、チタン石、褐鉄鉱等を伴う。

火山岩は酸性から塩基性の多種類の岩石が分布すが、塩基性のものには変成し緑色岩となっているものが多い。サンホセ層には玄武岩、流紋岩および角閃岩等の変成岩が、ポソセベリノ層には玄武岩、ハンレイ岩、角閃岩等の変成岩が、アロジョグランデ層には玄武岩、流紋岩、角閃岩等の変成岩が分布する。アロジョグランデ地域を除く地域では玄武岩、ハンレイ岩および角閃岩等の塩基性の変成岩類が卓越する。

各々の代表的な岩石の顕微鏡観察結果は、以下のとおりである。

緑色岩は、細粒の緑レン石、チタン石、緑泥石、石英、曹長石、炭酸塩鉱物、磁鉄鉱などから構成される塊状の岩石である。その変成鉱物の組合せにより、塩基性火山岩を原岩とする低変成度の緑色岩と判断される。変成した玄武岩は、カンラン石を斑晶とする玄武岩の斑状組織が残存しているが、曹長石、アクチノ閃石、緑泥石、緑レン石等の変成鉱物によって完全に再結晶化している。変成したハンレイ岩は、緑泥石、方解石、緑レン石、チタン石、ブドウ石、アクチノ閃石等の変成鉱物によって原岩組織の大部分が消失している。変質を受けた角閃岩は、角閃石、石英、斜長石、磁鉄鉱等の変成鉱物から構成され、原岩組織は完全に失われている。変質を受けた流紋岩は、石英、斜長石、カリ長石、白雲母等の変成鉱物から構成され、まれに細粒の変成鉱物を基質とする中に石英およびカリ長石の残斑晶が残るポーフィロクラスティック組織を示す。

(2) 上位の地層

グリーンストーンの上位の地層は、白亜系(Ksa)、新第三系(Tr)および第四系(Q)で、本地域の全域に散在するが、その分布範囲は狭い。

白亜系は、アロジョグランデ地域において下位層を不整合に被覆する。主として珪化岩、めう化した地層、細粒砂岩等から構成される。

新第三系は、サンホセ地域主要地区の東部、サンホセ地域西部地区の中央部に散在し、下位層を不整合に被覆する。主として泥岩、細粒砂岩、円礫岩、角礫岩等から構成される。

第四系は、礫、砂、粘土等から構成される。

2-1-3 貫入岩

本地域には、古期花崗岩類(pCCG)、新期花崗岩類(pCC)、およびドレイイト(dd)やハンレイ岩(gb)が分布する。

古期花崗岩類は、サンホセ地域主要地区の西部～中東部、サンホセ地域西部地区、アロジョグランデ地域の中央部および北部においてそれぞれストックとして分布する。主として中粒～粗粒の等粒状もしくは斑状の黒雲母花崗岩、白雲母花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、石英閃緑岩等から構成され、変成作用を受けている。全体的に風化が著しく、褐鉄鉱で鉱染されている。一般に塊状であるが、断層近傍では圧砕作用を被ることが多い。これらの岩石のうち花崗閃緑岩が最も普遍的に分布する岩石で、サンホセ地域主要地区の中西部に分布する花崗閃緑岩における東-西、北西-南東方向の断層付近では、断層の方向と調和的なマイロナイト化による著しい面構造が発達する。顕微鏡下では、斑晶として石英、斜長石、角閃石および少量の磁鉄鉱を含み、角閃石は緑泥石化や緑簾石化している。石英は波動消光を示し、斑晶にはわずかに変形構造が認められる。

新期花崗岩類は、サンホセ地域主要地区、サンホセ地域西部地区およびアロジョグランデ地域の全域においてストックとして散在する。主として中粒～粗粒の等粒状もしくは斑状の黒雲母花崗岩、白雲母花崗岩、両雲母花崗岩、角閃石花崗岩、優白質花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、トータル岩等の岩相を示し、部分的にアブライトを伴う。古期花崗岩類と比較してやや不均質である。これらの岩石のうち黒雲母花崗岩が最も普遍的に分布する岩石で、石英、カリ長石、斜長石、黒雲母を主体とし、微量のジルコン、燐灰石、磁鉄鉱を伴う。緑泥石化および褐鉄鉱化を被る。

ドレイイトは、サンホセ地域主要地区の中央部および西縁部において北東-南西方向の岩脈として分布し、主に新期花崗岩類を貫き、緑色塊状の岩質を特徴とする。顕微鏡下におけるドレイイトは、主として角閃石、斜長石、緑レン石、磁鉄鉱等の変成鉱物から構成される塊状の緑レン石角閃岩相を示す。

ハンレイ岩は、主にサンホセ地域主要地区の中西部においてサンホセ層およびパソセベリノ層を貫き、ストック状に露出する。暗緑灰色の堅硬、緻密な岩質を特徴とする。顕微鏡下でのハンレイ岩は、主にカンラン石、普通輝石、斜長石、磁鉄鉱等から構成され、変成鉱物として滑石、緑泥石、緑レン石、炭酸塩鉱物、蛇紋石等を含む。

サンホセ地域主要地区の中西部、マホマ鉱山の母岩に相当する古期花崗岩類の花崗閃緑岩は、 $1960 \pm 140 \text{Ma}$ の K-Ar 年代値である。この値は既存資料の 22 億年以前の年代値に比べて有意に若い値である。これは、マイロナイト化による再結晶化およびマホマ鉱山の鉱化変質作用による若返りの影響が考えられる。

新期花崗岩類は、サンホセ地域西部地区の両雲母花崗岩より $1690 \pm 120 \text{Ma}$ 、サンホセ地域主要地区の中西部に分布する白雲母花崗岩および黒雲母花崗岩よりそれぞれ $1240 \pm 100 \text{Ma}$ 、 $1750 \pm 120 \text{Ma}$ 、アロジョグランデ地域の優白質花崗岩より $1980 \pm 130 \text{Ma}$ の値が得られた。既存資料による新期花崗岩類の形成年代は約 18~20 億年であり、トランスアマゾニアン造山運動 (Transamazonian orogenesis) 時の火成活動に関連づけられている。

サンホセ地域西部地区の両雲母花崗岩、サンホセ地域主要地区の黒雲母花崗岩 (AR129)、およびアロジョグランデ地域の優白質花崗岩の年代値は、誤差の範囲内で既存資料の年代値に一致している。若い年代値が得られたサンホセ地域主要地区の白雲母花崗岩は、鏡下において著しいマイロナイト化を被っていることから、再結晶化による年代値の若返りが考えられる。

サンホセ地域主要地区の東部の角閃岩が示す年代値は $2000 \pm 280 \text{Ma}$ である。この岩石は既存資料のうち 50 万分の 1 地質図では基盤岩の複合岩類に分類されている。

2-2 石英脈帯

2-2-1 石英脈帯の位置

第 1 年次の現地調査の結果、石英脈が発達するの箇所は、以下に示す 13 箇所であった (Fig. I-3-1、Tab. I-3-1 を参照)。

- ① サンホセ地域主要地区 (10 箇所)
- ② サンホセ地域西部 (1 箇所)
- ③ アロジョグランデ地域 (2 箇所)

石英脈帯は、基盤の複合岩類、古期花崗岩類、グリーンストーン (pCCps、pCCsj、pCCag、pCCsjo) に発達している。

2-2-2 石英脈帯の概要

第 1 年次の現地調査の結果、調査地域およびその周辺の石英脈近くにおける母岩の変質は、

露頭の発達状況が不良のため、マホマ鉱山の露天掘採掘跡や限られた露頭の観察結果を基に類推した。石英脈の脈際の母岩中には、花崗岩類、グリーンストーン共に珪化が肉眼的に認められ、その範囲は脈幅に比例しており、脈幅が大きいほど広い範囲に珪化が広がる傾向が認められる。また、ほとんどの緑色岩類および一部の花崗岩類中には、緑泥石化および緑レン石化が認められる。X線回折解析結果では、石英脈脈際から外側に向かって、石英-セリサイト-(黄鉄鉱)帯、緑泥石-緑レン石-(アルバイト)帯の帯状分布が推定される。

石英脈および鉱床母岩の鉱石研磨片の観察結果では、石英脈中には少量の褐鉄鉱、一部のごく微量の黄鉄鉱以外、鉱石鉱物はほとんど認められなかった。緑色岩類および一部の石英脈に微量の黄鉄鉱-(黄銅鉱) 鉱染が認められた。

石英脈の脈質については、乳白色砂糖状の半透明石英、無色~白色透明な石英および暗灰色透明石英に分類される。これらのステージの違いについては、局部的に認められる帯状分布や産状から、これらの順に新しくなる関係が推定される。しかしながら、露頭状況が一般には悪く、これらが混在するために鉱化のステージ分けを決めることは難しい。

各石英脈帯から石英を全部で 14 個を採取し、流体包有物を測定した結果、均質化温度は最大 447.7°C、最低 85.6°Cを示した。均質化温度のピークは 300°C、250°C、200~150°Cの 3つがあり、この順で乳白色半透明石英、無色~透明石英、暗灰色不透明石英に対応する傾向が認められる。塩濃度の測定結果では、4.2~35%を示し、高い圧力下で生じたものと、低い圧力下で生じたものが混在していることがわかる。

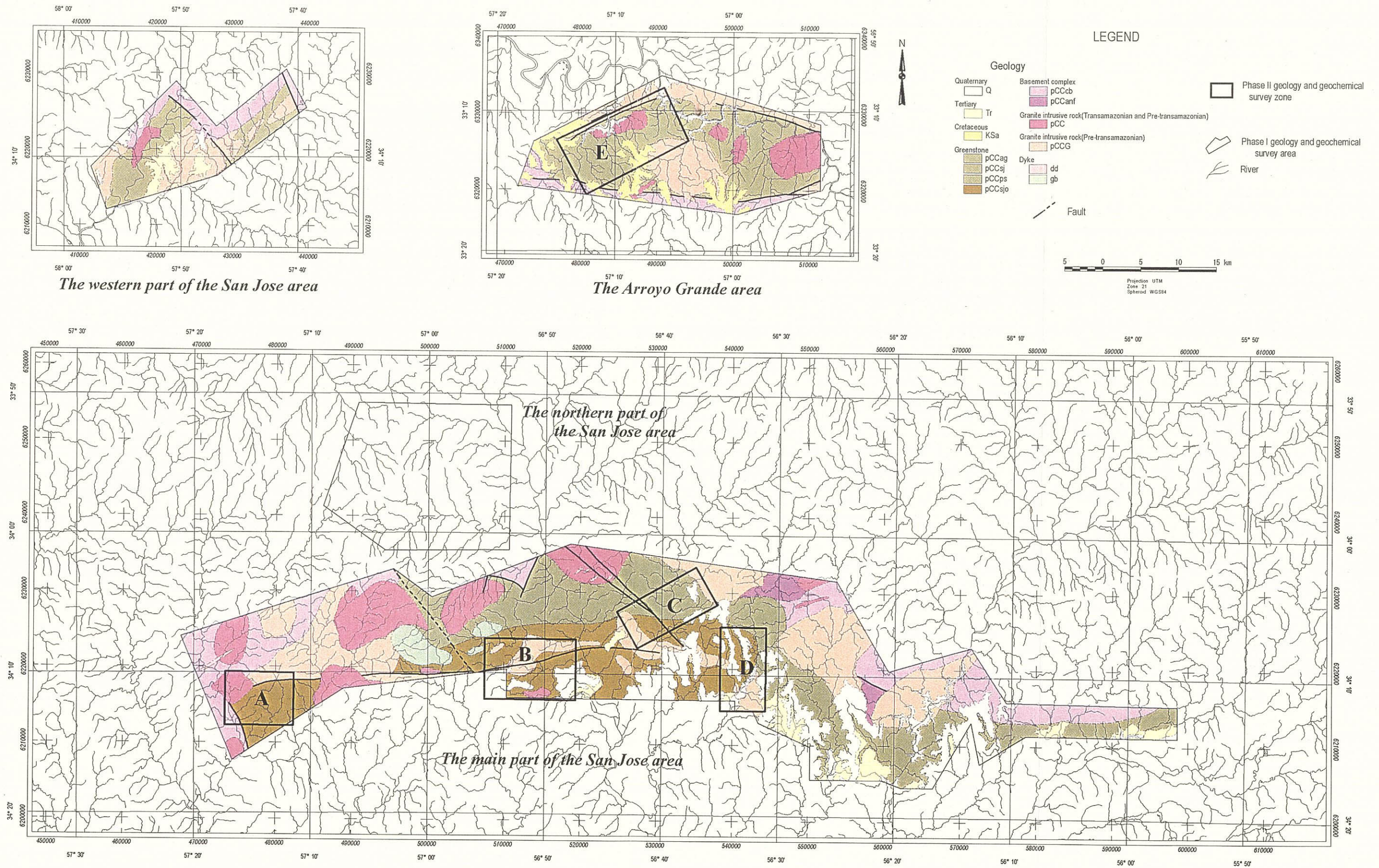


Fig. II-1-1 Location map of geology and geochemical survey zones

Age (Ma)	Units	Events	Domain
1,400-1,800	Doleritic dykes	Distensive environments	
1,845 1,900	Pintos granite	<i>CRATONIZATION</i>	
1,900-1,970	Aplites and granitic dykes Leucogranite dykes		
2,000-2,070	Granite-gneissic complex Granitic dyke Isla Mala Gabbroic Complex Mahoma-Guaycuru		TRANSAMAZONIAN OROGENESIS
2,070-2,100		Metamorphism, migmatization, granitization and folding	
2,100	Leucogranite	3 rd deformation phase	
2,180 2,225	Southern granite A. Virgen leucogranite	Syncolisional Paso Lugo fault Late orogenic	
2,270-2,290	A. Grande granodiorite Hornblendites Isla Mala leucogranite	Distensive, 2 nd deformation phase <i>MYLONITIZATION</i>	PRE TRANSAMAZONIAN
2,291-2,386	Marincho main granodiorite		
2,450	Isla Mala granodiorite		
2,500-2,544	<i>San Jose metamorphic belt</i> Alkaline granite	Metamorphism+1 st deformation phase	
	<i>Arrojo Grande metamorphic belt</i> Complejo Basal	Metamorphism+1 st deformation phase	ARCHEAN

Stratigraphy in accordance with PRECIOZZI et al.(1999). Modified.

Fig. II-2-1 Schematic stratigraphic column around the survey areas

第3章 室内試験結果

室内試験の項目および数量を Tab. I-1-2 に示した。岩石薄片の鑑定、鉍石研磨片の鑑定、X線回折、岩石の化学分析、流体包有物試験（均質化温度+塩濃度）、岩石年代測定（K-Ar 法）、残留磁気測定および土壌の化学分析を行った。土壌の化学分析については、「第5章 土壌地化学探査」で述べることにし、本章では岩石の化学分析とその他の室内試験に分けて記述する。

3-1 岩石の化学分析

金鉍床と関係すると思われる石英脈の評価を行うため、岩石の化学分析を行った。試料試料は、地質調査を実施した地域と同様の地域で、石英脈やその周辺の岩石を対象として638個採取した。採取位置を Fig. II-3-1 に示す。また、岩石サンプルのリストを Appendix 1 に示す。

分析元素は、Au、As、Sb、Hg、Ag、Cu、Pb、Zn の8元素である。岩石の分析結果を巻末の Appendix 2 に示す。Au の含有率をみると、100ppm 以上のものが2件、30ppm 以上のものが3件、1ppm 以上のものが11件あった。また、100ppb 以上のものが30件で10ppb 以上のものが64件であった。

Au と他の元素の相関などを調べるため、全試料の分析値をコンピュータに入力し、統計処理を行った。基本統計量を求め、単変量解析および多変量解析を行った。統計処理の結果を Appendix 3 に示す。

基本統計量を見ると、Au の検出割合は20.0%で、最大値は176ppm であった。

単変量解析では、各元素の相関関数を求め、EAD 解析を行い、元素毎のヒストグラム、累積頻度図を作成した。各元素の相関関数では、Au と Ag、As、Cu の相関が認められ、金のヒストグラムでは、16ppb から260ppb で山を作り、40ppb 付近がピークとなった。

多変量解析では、クラスター分析およびデンドログラムを作成した。クラスター分析では Au と Ag、As、Cu の相関が、デンドログラムでは Au と Ag、Pb の相関が認められた。

3-2 室内試験

室内試験として、岩石薄片の鑑定、鉍石研磨片鑑定、流体包有物試験（均質化温度+塩濃度）、X線回折試験、残留磁気測定を行った。室内試験の結果を Appendix 4 に示す。室内試験に用いた試料は、地質調査時に随時採取した。なお、岩石化学分析用の試料うち硫化鉍物などを含み Au を含有している可能性の高い石英を鉍石研磨片鑑定、流体包有物試験（均質化温度+塩濃

度)用の試料とした。

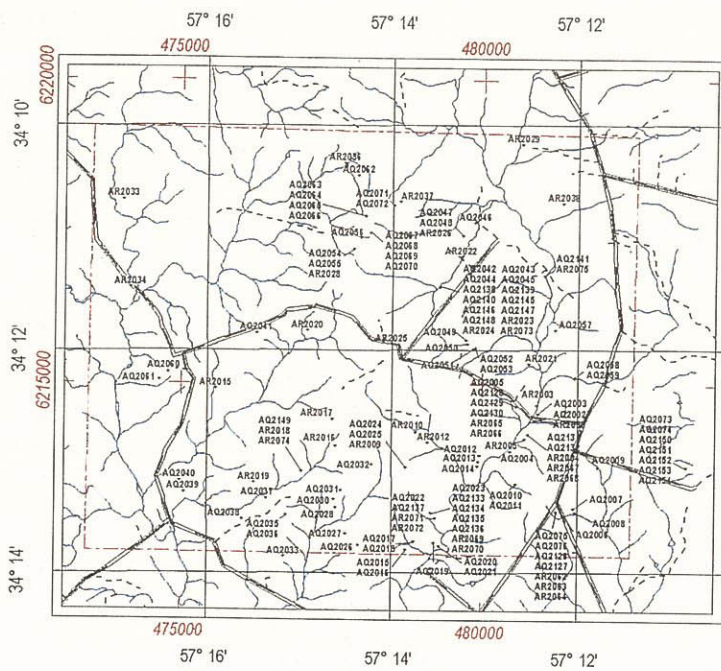
30件の岩石薄片鑑定および23件のX線回折試験では、現地では鑑定しにくいグリーンストーンや貫入岩の鉱物組成、変成鉱物が明らかになった。岩石薄片鑑定の結果、グリーンストーンには、斑晶がほとんど認められず、2次鉱物の石英、緑泥石、黒雲母、白雲母、絹雲母がほぼ普遍的に存在し、陽起石、褐鉄鉱、不透明鉱物などを含むものがある。X線回折では、この他、カリ長石、斜長石、方解石などが認められる。古期花崗閃緑岩には、石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、ホルンブレンドを斑晶とし、2次鉱物の石英、緑泥石、絹雲母をほぼ普遍的に含み、この他、方解石、アパタイト、褐鉄鉱、不透明鉱物などを含むものがある。X線回折では、この他、カオリン、黄鉄鉱、パラゴナイトが認められる。

28件の鉱石研磨片を鑑定した結果、石英を脈石鉱物とし、黄鉄鉱、褐鉄鉱、針鉄鉱、黄銅鉱、輝銅鉱、孔雀石が認められた。ほとんどの研磨片は黄鉄鉱(25件)や褐鉄鉱(22件)を含んでいたが、針鉄鉱(3件)、黄銅鉱(2件)、輝銅鉱(1件)、孔雀石(1件)はわずかしら認められなかった。

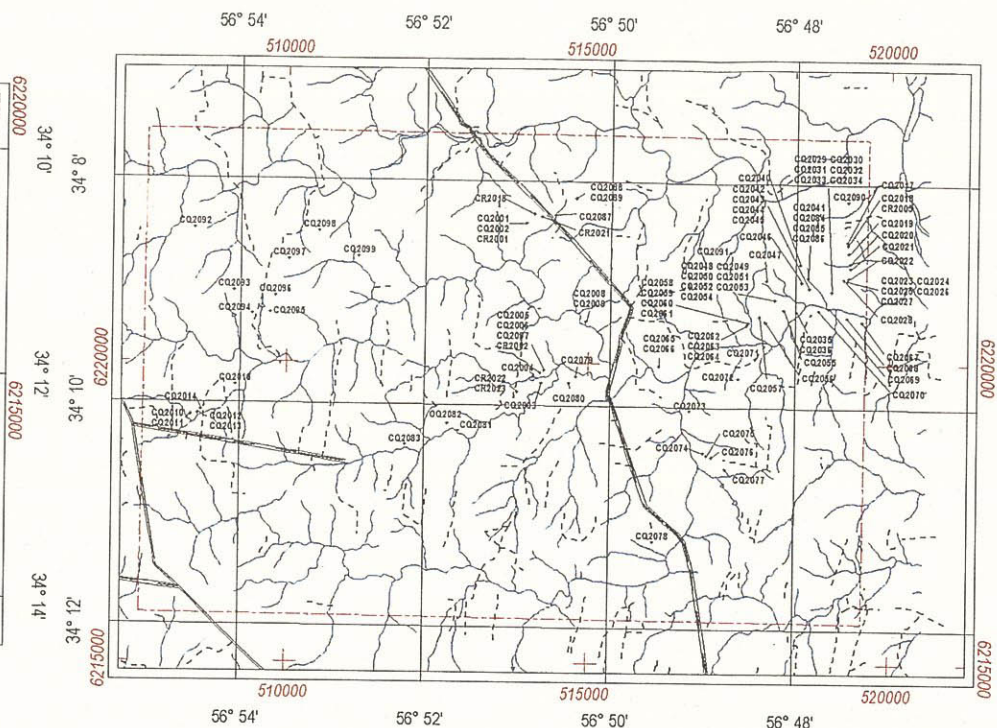
34件の流体包有物試料は、Auを含むと考えられる乳白色半透明石英、および黒色不透明な石英を対象として行った。均質化温度の測定結果では、最低は156.1°Cで、最大307.6°Cを示し、温度別の件数をみると、150~200°Cが21件、200~250°Cが8件、250~300°Cが0件、300°C~350°Cが1件で、測定できなかったものが4件あった。ほとんどの石英の均質化温度は150~250°Cにあり、測定できた試料のうち70%が150~200°Cであった。乳白色半透明石英および黒色不透明石英おける均質化温度の特定な傾向は認められなかった。塩濃度の測定結果では、0.5~32.9%を示し、0~10%が12件、10~20%が10件、20~30.3%が8件であり、高い圧力で生じたものと、低い圧力で生じたものが混在していることが分かる。

5件の岩石年代測定の結果では、第1年次で測定した岩体と異なる岩体を測定したが第1年次の結果と同様な結果がえられ、古期花崗岩類はトランスアマゾン造山運動以前、新期花崗岩類はこの造山運動中に貫入したものと判断される。

Zone A

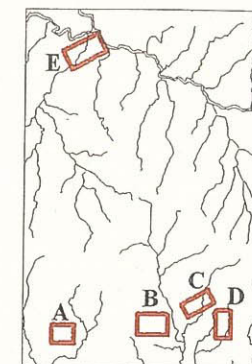


Zone B

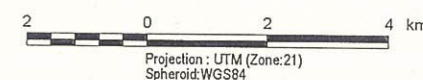


LEGEND

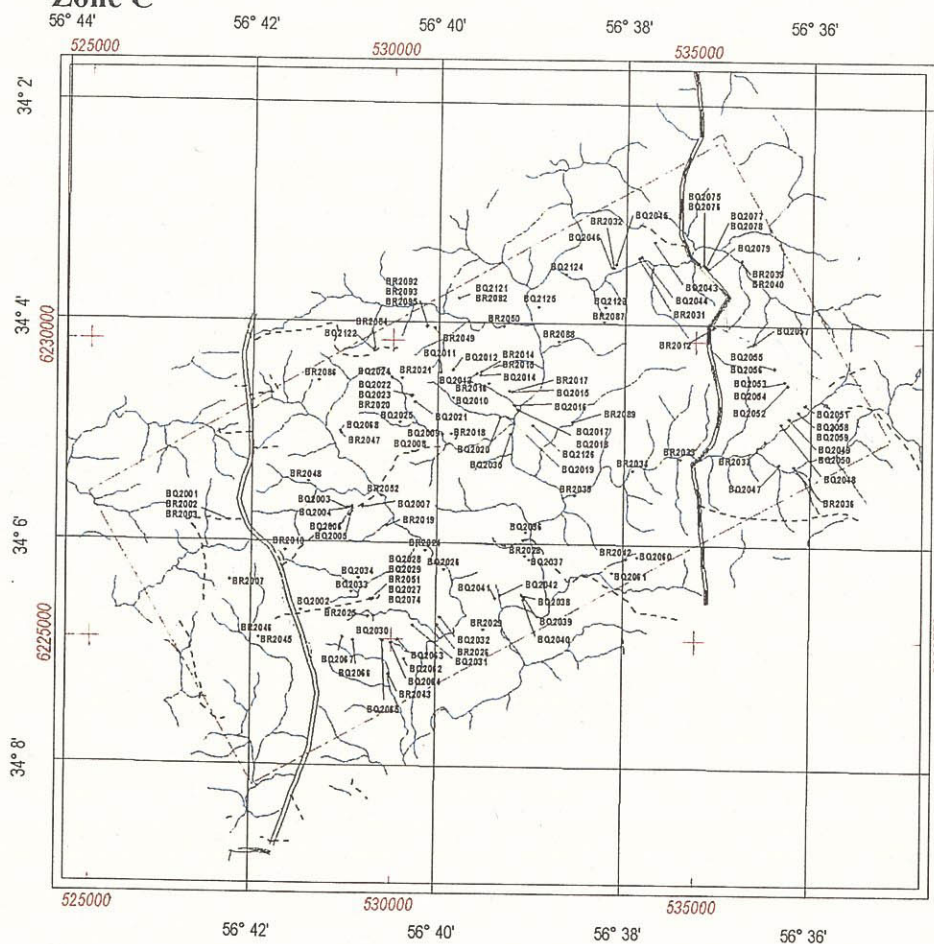
- + Locality of rock sample
- Survey zone
- ~ Stream
- ≡ Road



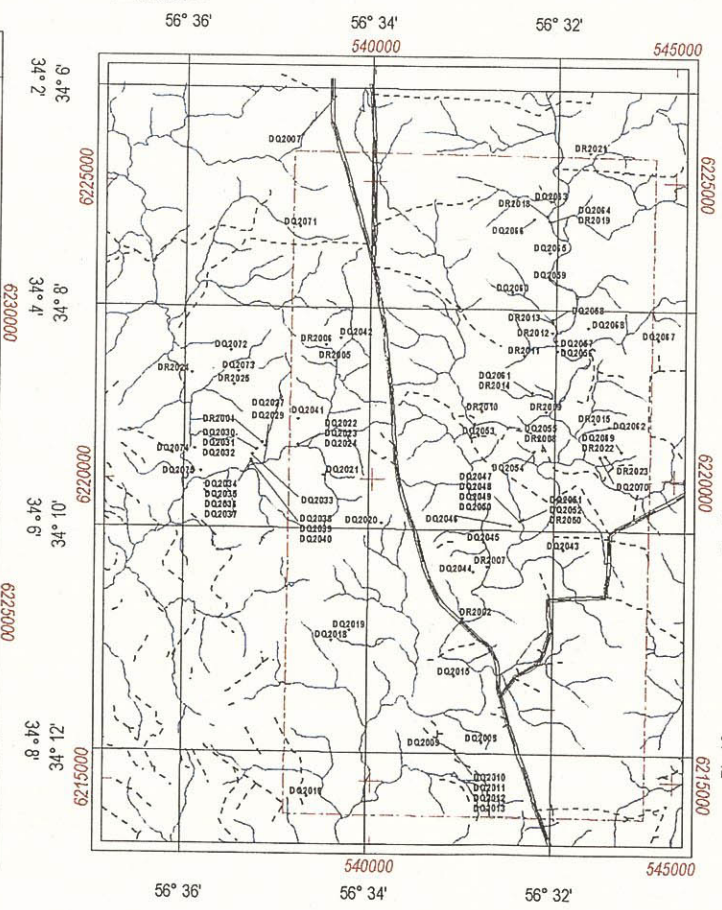
Index map of survey zone



Zone C



Zone D



Zone E

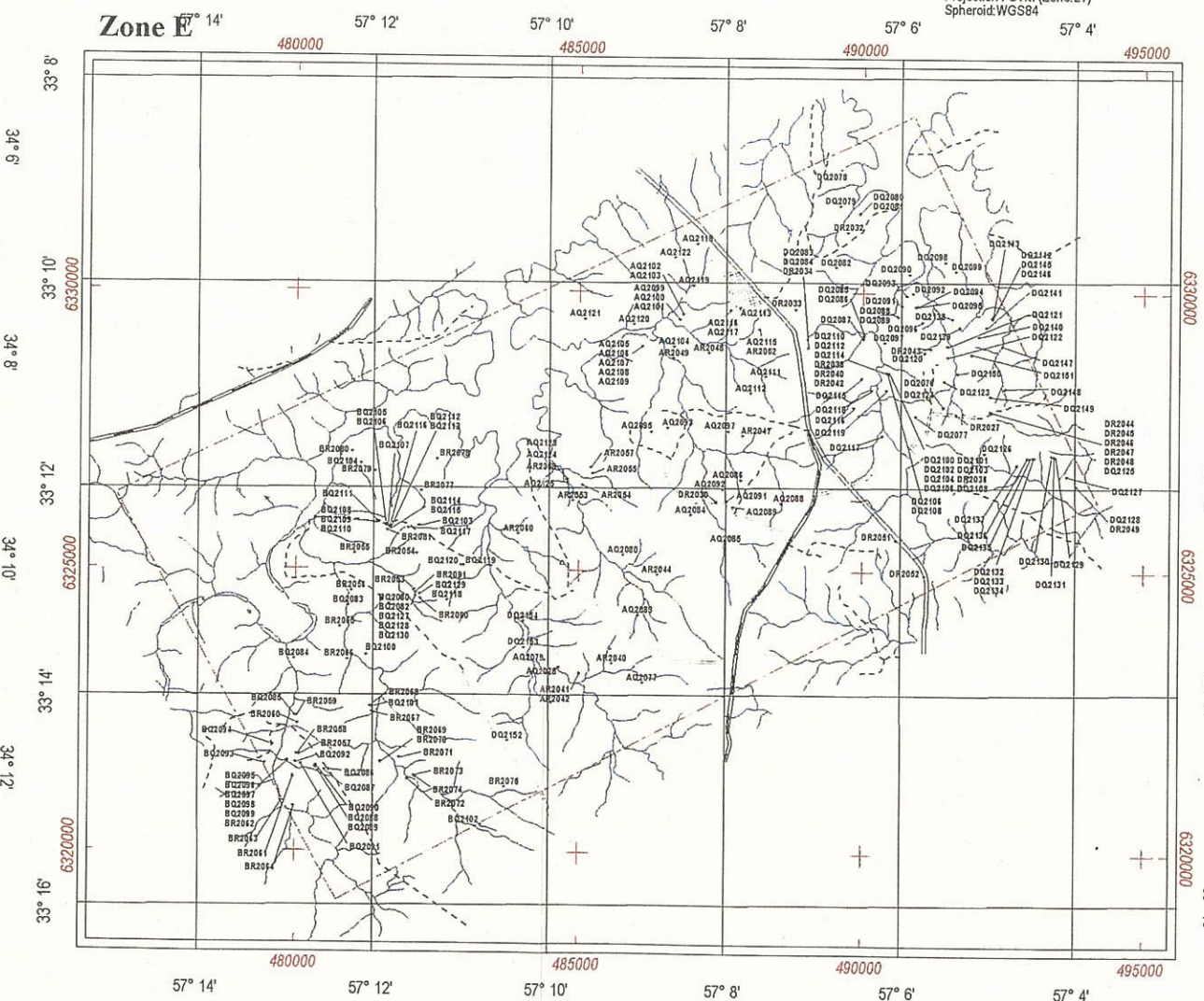


Fig. II-3-1 Location map of results of the Phase II survey

第4章 空中物理探査

本章では、調査概要、調査位置および数量、調査機器、解析結果、ならびに解析結果の考察を記す。

4-1 調査概要

Fig.II-4-1 に示す調査範囲において空中磁気探査および空中放射能探査を実施した。

サンホセおよびアロジョランデ地域において磁気強度および放射線強度を測定し、調査地域の地質および地質構造の解析に資する資料を作成することを目的とする。

調査の結果は、「第5章 地質調査」において、各 Zone の地質調査結果と空中物理探査結果を対比し評価する。

4-2 調査位置および数量

4-2-1 調査位置

本調査地域はブロック1～3に分割されている。Fig.II-4-1 に示すようにブロック2と3はサンホセ地域内に位置し、ブロック1はアロジョランデ地域内に位置している。各ブロックの座標は以下の表に示す通りである。

(1)サンホセ地域

ブロック2および3を含むサンホセ地域は、標高50m～240mの比較的平坦な地形を呈している。調査地域の長さはブロック2が最も大きく、南北35km、東西132kmであり、一方、ブロック3は最も小さく、南北20km、東西30kmである。

ブロック2中央の西経 57.2° 、南緯 34.1° 、標高80m地点における測定期間中の全磁力値を以下に示す。

全磁力：23,300nT, 伏角： -37° , 偏角： 8° W

(2)アロジョランデ地域

アロジョランデ地域にあるブロック1は、標高50m～150mの比較的平坦な地形である。ブロック1の長さは南北320m、東西40kmであり、ほぼ中央にあたる西経 57.2° 、南緯 34° 、標高80m地点における測定期間中の全磁力値を以下に示す。

全磁力：23,000nT, 伏角： -37° , 偏角： 8° W

Tab. II-4-1 Coordinate location of the survey areas

Area	Longitude West			Latitude Sur			UTM-X (m)	UTM-Y (m)
	Deg.	Min.	Sec.	Deg.	Min.	Sec.		
1	56	52	26.55	33	7	26.79	511749.88	6334947.35
	56	52	25.69	33	17	27.46	511750.05	6316449.12
	57	18	23.23	33	17	26.34	471466.52	6316449.04
	57	18	21.77	33	7	25.66	471450.40	6334947.33
2	57	38	44.50	34	3	45.86	440414.87	6230699.44
	57	38	49.34	34	14	20.09	440414.78	6211163.89
	57	58	16.98	34	14	12.38	410543.05	6211164.15
	57	58	7.67	34	3	38.22	410595.79	6230699.65
3	57	21	32.16	33	59	35.76	466850.71	6238532.51
	55	53	22.16	33	59	19.60	602569.29	6238532.69
	55	53	6.57	34	19	8.40	602569.08	6201910.37
	57	21	37.34	34	19	24.76	466847.14	6201910.37

4-2-2 調査数量

調査測線は、各ブロック長を測線長とし、250m 間隔で実施し、補助測線は東西方向に 5,000m 間隔で設定した。調査数量を次表に示す。調査面積は 12,000km²である。

Tab.II-4-2 Amount of survey lines

Block Name	Line Numbers	Flight Length (Line-km)
Block 1	Survey Line: 164	3,447 km
	Tie Line: 5	
Block 2	Survey Lines: 121	2,729.2 km
	Tie Lines: 5	
Block 3	Survey Line: 547	21,319.5 km
	Tie Lines: 8	
Total Length (Line-km)		27,495.7 km

4-2-3 調査期間

測定期間は2001年11月12日から2002年1月16日である。

航空機のカナダからの移送や機器故障により、終了までに約1.5ヶ月間を要した。

調査期間中の天候は穏やかであり、測定期間中の最高気温は25°C~30°Cで1日の気温差も小さい。11月~1月にかけては降雨も少なく、概して好天で温暖であり、悪天候の日は数日あった。

ウルグアイ国内の最標高地点は約500mである。調査地域の含まれるウルグアイの南側一帯は丘陵地形をなし、比較的平坦である。

4-3 調査機器

空中物理探査はカナダ国のFugro社が実施した。固定翼航空機Piper Navajo C-GKMWを用いて磁気探査および空中放射能探査を行っている。

調査に使用した測定機器をTab. II-4-3に示す。

Tab. II-4-3 Specification of airborne geophysical survey instruments

Aircraft	Piper Navajo C-GKMW		Equiped with a 10-foot stinger.
Magnetometer optically pumped cesium sensor	G-822A	Geometrics(Canada)	Dynamic range:20,000-95,000nT Sensitivity:±0.001nT, Sampling interval 3.0 sec Noise Level:Less than 0.01nT Cesium Vapor split beam in a tail stinger
Data acquisition/recording system	High-Sense MiniMag-II		
Base Station Magnetometer	GSM-19 Overhauser	GEM Systems	Dynamic range:20,000-95,000nT Sensitivity:±0.001nT, Sampling Rate: 3Hz Noise Level:0.1nT
Spectrometer	GR-820, 256 channels		EXPORANIUM multi-channel gamma ray spectrometer with 256 channels analysers for upward and downward looking cristals, crystal: GPX-1024(16.7L downward, 4.2L upward)×2 pairs
GPS	OMNI-STAR 3000 LR8		Used in conjunction with a remote station NOVATEL 3151R GPS Receiver
Radar Altimeter	Terra TRA-3500A		Range: 0 to 800m Accuracy: 1%
Barometric Altimeter		Rosemount(U.S.A)	

4-4 調査方法

4-4-1 探査手法

(1) 空中磁気探査

本地域における標準的な磁場の伏角は、4-2章に示すように約 37° である。このため、全磁力異常は磁気異常体の位置や連続性を正しく反映せず、磁性体直上で正負一對の分布をなす。極磁気変換 (Reduction to Pole) と呼ばれる手法は、数学的に磁極の磁気異常分布に変換する手法であり、伏角 37° 、偏角 8° の値を用いている。

全磁力の値は、赤色系が高磁力を、青色系が低磁力を示すようにした。地質との対応では、一般的には堆積岩類は低い磁気異常を、またアルカリ性火成岩は高い磁気異常を示す。断層や破碎帯は、帯磁率の強い磁鉄鉱などの鉱物の変質に伴って一般的に磁気強度の低下を示すことが多い。

(2) 空中放射能探査

空中磁気探査では、ガンマ線の放射線強度を測定する。放射線スペクトルにより、K、U、Thの自然放射線源に分離することができ、地質との対比に用いられる。

4-4-2 データ取得

物理探査機器のセットとシステムチェックの後、調査フィールドに移動して測定を行った。

磁気探査については、測定の最初に自動デジタル補償装置の初期設定を行い、飛行中の機体運動に合わせた磁気補正を行なった。測定は250mの測線間隔、平均地上高度100mで飛行することにより実施した。磁気探査データの測点間隔は約7m、放射能探査データは約60mである。

測定飛行におけるパイロットの航路選定にはGPSシステムを利用した。Fig. II-4-2に測定した航跡を示す。

放射能探査は、航空機用としてヨウ化ナトリウム結晶の体積を5万 cm^3 以上として感度を高め、全放射線強度のほか、K、U、Thの3成分の放射線強度を分離測定し、これにより岩相区分や放射能異常体分布の把握を行った。また、同時に上方からの宇宙線の放射線強度を測定している。

データはリアルタイムで取得し、現地で飛行時間、電波高度、気圧高度、磁気測定値、放射能下方計数合計、放射能下方計数K、U、Th、放射能下方宇宙ノイズ係数、放射能スペクトル

(0.3MeV~2.995MeV : 255 チャンネル)、緯度(WGS-84)、経度(WGS-84)、3軸フラックスゲート磁気測定値、飛行番号、測定番号などを記録した。

4-4-3 データ処理

(1) 空中磁気探査

磁気データは各種の補正を行った後に 50m 間隔のグリッドデータに変換し、それに基づきコンター図および陰影図を作成した。これらを既存データおよび地質調査結果と併せて地質学的に解釈した。

データ処理は以下の流れで実施した。

- ・機上測定から得られた磁気データを、コンピュータ上に転送して1つのファイルに編集する。地磁気は電離層の影響を受けて変動するため、一般的に 5~20nT 程度の日変化が認められる。この日変化を、定点観測を用いて時間変動磁場に対する補正を行う。
- ・機体の近くに設置された磁力計センサに対して、機体が発する磁気の影響を除去する必要がある。事前に機体の揺動実験 (rolling、pitching、yawing) 時に磁場 3 成分の測定を行い、これを姿勢変化の指標に用いて機体磁気補償計算を行っている。
- ・機体磁気補正後、測線ごとのデータを作成する。なお、測点位置の座標はGPSを用いている。
- ・交点コントロールとして、主測線と副測線との交点において両磁力値の比較を行って必要に応じて補正を行う。
- ・測定地球磁場から標準地球磁場 (IGRF: International Geomagnetic Reference Field) を差し引くことで磁気異常 (IGRF 残差) を求める。
- ・測定地域が極地や赤道以外では、磁性体直上で正負一対の分布をなすことから、数学的に磁極の磁気異常分布に変換する極磁気変換 (Reduction to Pole) を行う。変換には伏角 -37° 、偏角 8° の値を用いた。

(2) 空中放射能探査

データ処理として、高度補正、フィルタリング、宇宙ノイズ処理、機体バックグラウンド処理、減衰補正などを行った。最終的に補正されたデータを用いて 50m のグリッドデータに変換した。

4-4-4 帯磁率測定

岩石に対する磁化の強さを求め、必要に応じてモデル計算の可能なように、本地域の岩石サンプルを用いて帯磁率および残留磁気の測定を行った。使用した岩石の種類と、座標、帯磁率を Table II-4-3 に示す。また表には磁気探査で得られた全磁力の強度傾向を示した。岩石サンプルは 8 個である。

残留磁化強度を同時に求めるため、測定には消磁装置と残留磁気測定装置を一体化した装置を使用している。測定は自然残留磁化強度、交番磁場を 5mT、10mT~40mT まで与えて消磁させた後の各々の残留磁気を測定し、偏角・伏角を同様に求めている。

以下に測定結果について述べる。

- ・最も高い帯磁率を示す岩石は、AR2028 の 7×10^{-3} であり、緑色片岩の値はほぼ同様である。
- ・変砂岩の帯磁率は緑色片岩に次いで高く、 4×10^{-3} を示す。
- ・花崗岩類の帯磁率は 0.48×10^{-3} 以下と緑色片岩に比べて 1 オーダー以上低い。
- ・変玄武岩はサンプル中で最も低い 0.003×10^{-3} を示す。
- ・磁気探査結果から花崗岩類は磁気強度の小さな分布域に相当し、片岩類の分布域は磁気強度が高く、探査結果と整合的である。
- ・変玄武岩の採取された San Jose Formation は全体としては全磁力の高い分布域に相当していることから、変玄武岩が特徴的に小さな値を持っている可能性が考えられる。

一般的には、岩石の帯磁率は花崗岩で $10^{-3} \sim 10^{-5}$ オーダー、玄武岩で $10^{-2} \sim 10^{-4}$ オーダー、片岩で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ オーダーといわれている。本地域の帯磁率測定結果から、花崗岩については一般的な値を示しているが、変玄武岩の値は非常に小さくなっていることと、片岩、変砂岩の帯磁率が一般的な指標のほぼ上限に位置するほど高くなっていることが、本地域の特徴と考えられる。

4-5 調査結果

空中物理探査を実施した 3 つのブロックを Fig. II-4-1 に示す。ブロック 2 は Zone E を、ブロック 3 は Zone A, B, C, D を含んでいる。

Fig. II-4-2 には飛行測定測線を示している。飛行測線は南北方向で 250m 間隔である。

4-5-1 磁気探査結果

全磁力図を Fig. II-4-3 に、極磁気変換磁力図を Fig. II-4-4 および Fig. II-4-5 に示す。極磁気変換磁力図は主に地質構造や貫入岩の構造を反映している。

Tab. II-4-4 Magnetic measurement on rock samples

Sample No.	Rock Name	Zone	UTM-x(m)	UTM-y(m)	Susceptibility	Aero Map
AR2034	Granite	A	474234	6216591	0.48 E-03	Low
AR2038	Green schist	A	480967	6214414	7.7 E-03	High
AR2039	meta basalt	A	481410	6218006	0.0029 E-03	Med
AR2048	Granite	E	487274	6328910	0.003 E-03	Low
BR2010	Granodiorite	C	528253	6226467	0.0028 E-03	Low
BR2052	Green schist	C	529834	6227390	5.2 E-03	High
CR2022	Green schist	B	513836	6219526	4.9 E-03	Very high
DR2027	Meta sandstone	E	491677.81	6327821.3	3.6 E-03	Very high

Fig. II-4-6 および Fig. II-4-7 は鉛直 1 次微分図およびアナリティカル・シグナル図で、いずれも地表付近の磁気異常体の存在を明瞭に強調させるための解析図である。断層の抽出には非常に有効であり、岩体によって特徴づけられた磁気分布の不連続として検出される。

地質と磁気強度との対応を考えた場合、一般に堆積岩類岩は低い磁気異常を、またアルカリ性火成岩は高い磁気異常を示す。断層や破碎帯は、帯磁率の強い磁鉄鉱などの鉱物の変質に伴って一般的に磁気強度の低下を示すことが多い。

極磁気変換図や鉛直 1 次微分図などから地質との関連を検討した結果を、以下に示す。

(1) ブロック 1

N60° E 方向の直線状に伸びる高磁気異常の分布が卓越している。ブロックの中央には、いくつかの線構造が高磁気異常として東西方向に認められ、Zone E を対角線状に横切っている。

ブロックの南東、北西部にも帯状の高磁気異常 (N60° E 方向) が認められ、造山運動時に形成された磁性鉱物を含む地層ないし構造線に沿う塩基性貫入岩と考えられる。特に Zone E で認められた高磁気異常は玄武岩質の貫入岩を反映したものと考えられる。

Zone E 南西部の高磁気異常はおそらく変玄武岩質熔岩によるものと考えられ、北東側では変ハンレイ岩を反映しているものと考えられる。

Zone E の北側にある花崗岩-変麻岩複合岩体は顕著な磁気異常を示しておらず、磁性の変化がないものと思われる。

(2) ブロック 2

本ブロックは、第 1 年次でサンホセ地域と呼ばれていた地域の西側にあたる。

本ブロックは他の 2 ブロックとやや傾向が異なり、明瞭な線状の磁気構造は見られない。

N60° E 方向の線構造はブロック中央から北東に至る 1 本が認められるのみである。

主要な高磁気異常の分布はブロックの中央から南西部に広がっているが、目立った連続性は認められない。

(3) ブロック 3

Fig. II-4-3 から読みとれるように本ブロックでは、全磁力値は 23,000nT~23,350nT の範囲で変化している。主に 3 つのリニアメントが抽出されている。

- a) 全体に NE-SW 系の構造が認められる。N60° E 方向の磁気構造は顕著に認めることができ、本地域の主要な地質構造を良く反映している。造山運動時に形成された磁性鉱物を含む地層ないし構造線に沿う塩基性貫入岩と考えられ、Zone B では硫化鉱物を含みリモナイト化した変堆積岩を、Zone D では玄武岩質の貫入岩を反映したものと考えられる。
- b) 2 番目に顕著な線構造として E-W 方向の線構造が挙げられる。ブロック中央部を長く東西に横切っており、ブロック北東部の N45° E 方向の高磁気異常に分岐しているものと考えられる。これらの高磁気異常は構造線に沿って貫入した超塩基性岩を予想させる。
- c) 他の高磁気異常分布は、Zone A の北東側、Zone C の周辺に NW-SE 系で認められ、その地域に分布しているアルカリ性の火成岩類によるものと考えられる。

Zone A の中央部と Zone C に認められる高磁気異常は変玄武岩を示唆している。

高磁気異常は主としてブロックの北西側と南東側に集中し、主として閃緑岩、花崗閃緑岩類の分布域と一致している。またブロック中央北側には Mal Abrigo 花崗閃緑岩類による高異常が検出されている。この南には低磁気異常が広く分布するほか、地域中央南端部、南西端、中央西側でも比較的全磁力が小さい。

本ブロックに広範囲に広がる低磁気異常は、基盤岩類、花崗岩類や変堆積岩類に対応している。本年度の地質調査結果を考慮すると、これらの低磁力帯は Zone A の北西部では新期花崗岩類に、Zone B の北西部で古期花崗岩類に、その南部は基盤岩類および新期花崗岩類に、Zone C の南西部は古期花崗岩類に、Zone D の南西部では古期花崗岩類に、Zone E の北部では新期花崗岩類に対比される。その他の低磁力帯は変堆積岩である。

一方、花崗岩質貫入岩も強い磁気異常を示すが、Guaycuru の片麻岩-花崗閃緑岩のコンプレックスは gabro、gabnminite、norite でマスクされ、中程度の異常とつながっている。マホマ花崗岩の北方に見られる高磁気異常は gabro を反映しているものと思われる。

4-5-2 放射能探査測定結果

放射能探査は珪長質の岩種の区別や堆積岩と変堆積岩との区別に有効であり、特に磁気強度にほとんど変化の認められない場合に有効である。一般的にはより塩基性の岩石ほど放射線強度が小さい。

Fig. II-4-8 および Fig. II-4-9 は K の放射線強度図である。他の放射線強度図である U、Th、トータルカウント図および 3 成分図は巻末に示した。K の高異常域は破碎帯を示唆する磁気構造と一体関係にあり、熱水性鉱物の検出に効果的である。磁気異常と K 異常が一体化している箇所では鉱化作用が生じている可能性が高い。

マホマ鉱山の位置するブロック 3 の Zone B では、N60° E 方向の高磁気異常と同パターンの高 K 異常が認められ、2 つの異常域は一致している。

(1) ブロック 1

ブロックの北西側に認められる赤色地域 (高 K 異常) はいわゆる Florida 花崗岩ベルトを反映している。また高 K 異常はブロック中央部西端にも認められ、いずれも磁気強度は中～低を示している。それらは深成岩を表していると推定され、U および Th の強度は弱い。

Zone E の北端では、高 K 異常と高磁気異常の一致する N60° E 方向の線構造が認められる。またブロック西側には東西方向の高 K 異常・高磁気異常が検出される。

(2) ブロック 2

K が比較的高く、磁気異常のない花崗岩類はブロックの東側を占めている。しかしこの反対に K の異常の認められない北西側では、U および Th の放射線強度が中程度を示しており、K

とは全く異なる変化を示している。この原因については現段階では明らかでない。

(3)ブロック 3

ブロック 3では特徴的な高 K 異常が認められ、閃緑岩-花崗閃緑岩コンプレックス (Mal Abrigo and Mahoma granites) に対応している。また Mal Abrigo granites の南では比較的低くなり、ハンレイ岩に対応すると考えられる。Zone C の周辺と両花崗岩の間にも K の低い地域が認められるが、磁気強度は高く、ハンレイ岩の分布を予想させる。

Zone A の約 10km 北側では NE-SW 系の磁気異常が認められ、高磁気異常とも一致しているが、この原因は明らかでない。

Zone A の南西側には高磁気異常を反映させる変玄武岩熔岩が分布するが、K は低異常を示している。低磁気異常を示す北西側の花崗岩類は中～高 K 異常を示している。また南側の変堆積岩類分布地域では、磁気強度、K 強度ともに中程度である。

Zone B では、N60° E 方向を示す高磁気異常の線構造と一致する高 K 異常構造が検出されている。またやや不明瞭であるが、Zone 北側の高～中磁気異常分布地域において中程度の K の分布は N60° E 方向の連続性をもって認められる。また南側の高 K 異常は低磁気異常と対応し、花崗岩体を反映している。また T h と U の異常は特に認められない。

Zone C では北東端を除き、特徴的な K の放射能異常は認められず、全体的に小さな値を示している。北東端から北側では高 K 異常が分布し、おそらく花崗岩の影響を反映したものであろう。

Zone D では K の放射線強度分布は不明瞭ではあるが、南北系の傾向を示しており、同傾向の磁気構造と関連しているものと考えられる。T h、U については Zone C、D ともに特徴的な傾向は認められない。

鉍化作用の存在可能性は、磁気構造の不連続面として抽出される断層や岩体接触部と、K の異常分布が一致する箇所において最も高いと考えられる。

4-6 考察

空中物理探査は、対象面積 12,000km²、測線総延長 27,495km に対し、固定翼航空機により磁気探査と放射能探査が実施された。測定高度は約 120m である。

その結果、地質構造をよく反映した精度の良い探査結果を取得することができた。

1) 空中磁気探査図は地質の解析に役立つ興味ある結果を示している。即ち、地質の境界、断

層・破碎帯を示唆するものや、地表下の地質を推定するデータも取得され、今後の探査に資するデータとなった。

- 2) 測定データを強調処理することにより得られる鉛直微分図などでは、断層や地層境界に関係すると考えられる磁気リニアメントが明瞭に検出された。すなわち、本調査地域の地質構造を規制している主要な3つの走向を図から読取ることができる。これらは、地層境界や断層を示唆している。
- 3) 主要な3つの走向の中でほぼ N60°E のトレンドをもつ磁気異常はもっとも顕著であり、これらのうち、Zone B を切る異常帯のなかに Mahoma 鉱山が位置している。2番目に顕著な東西系のトレンドと N60°E のトレンドとの交点付近は、金の探鉱上興味深い地点である。
- 4) 調査地域に広く見られる低磁気異常は基盤岩、花崗岩、変堆積岩を反映していると思われる。花崗岩の貫入岩は、放射能探査で K が高く、磁気異常の小さい地域として検出されている。
- 5) 放射能探査では、エネルギー強度の比較的弱い U や Th には顕著な傾向が見られないが、K には磁気探査の異常と整合性のあるリニアメントが検出されている。両者を重ねて観察すれば、磁気異常を伴う K のリニアメントは、金属資源探査上、興味あるゾーンと考えられる。すなわち、放射能探査の K 異常と磁気探査異常の重複する地域の中から、今後の有望地域を選定することができると考えられる。さらに空中物理探査結果と地化学探査結果を総合し、地質学的に解釈すれば、有望地点の選定に資すると思われる。

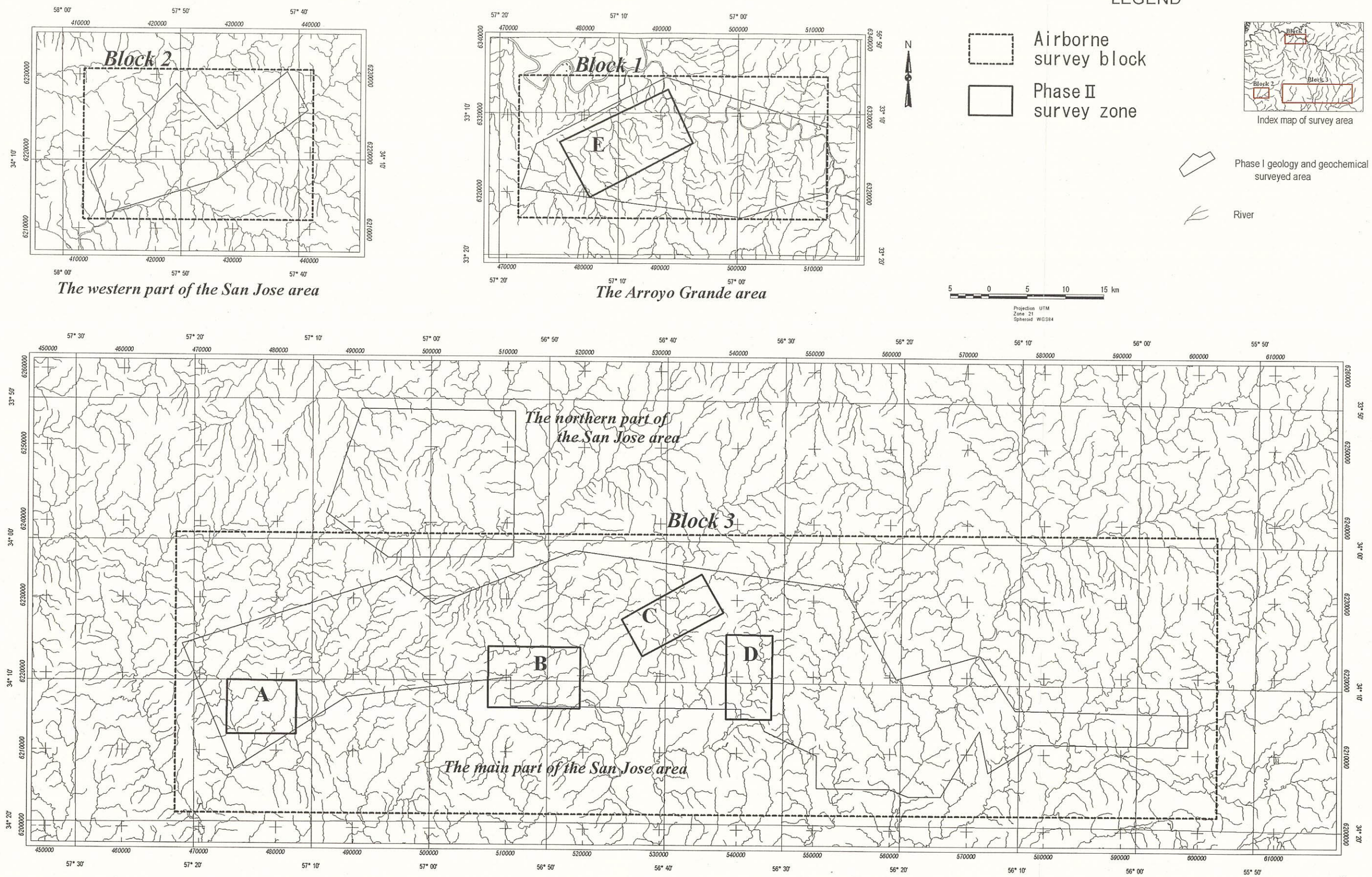
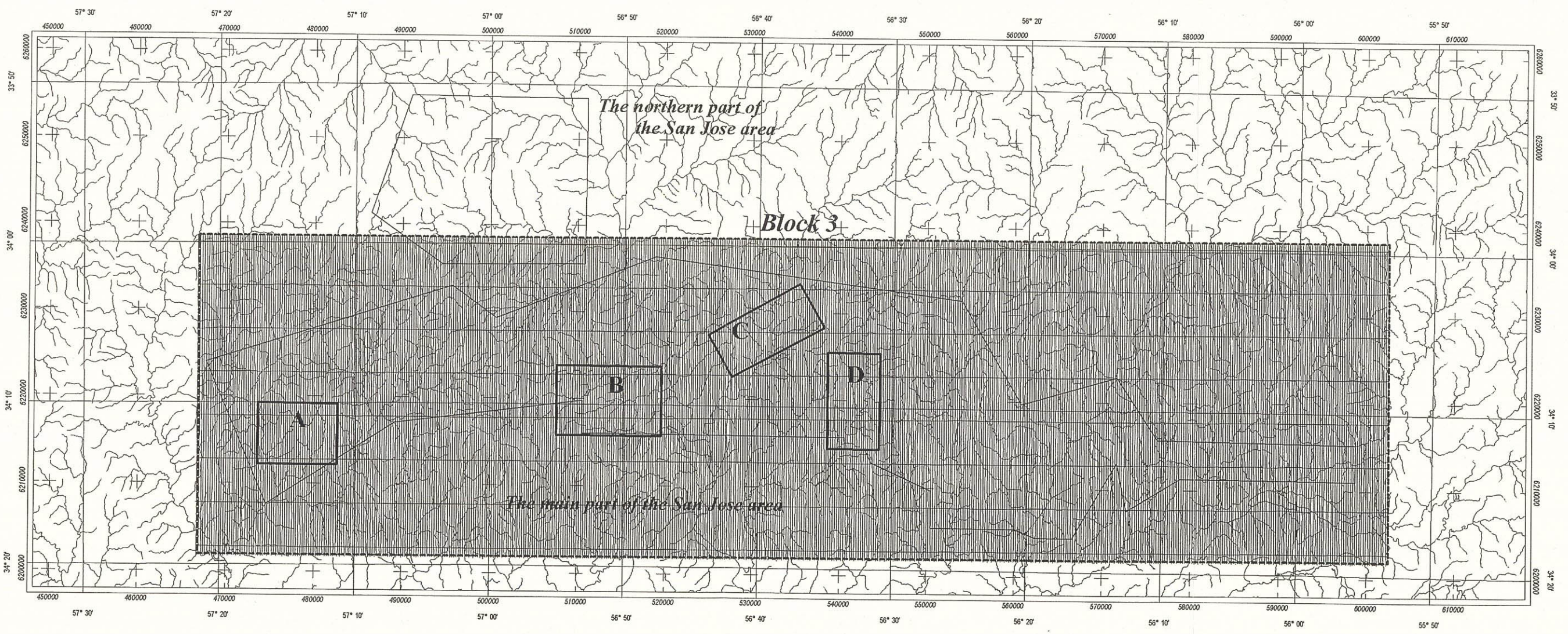
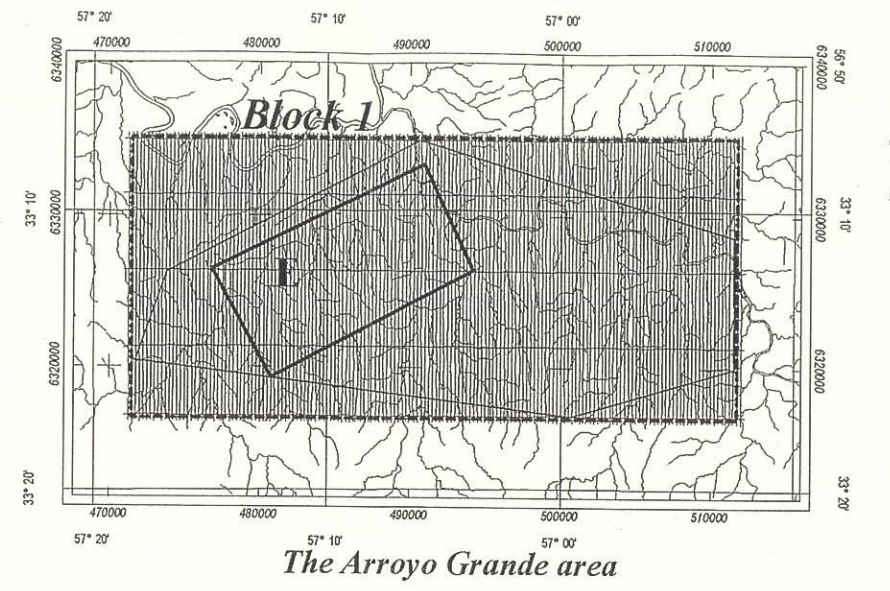
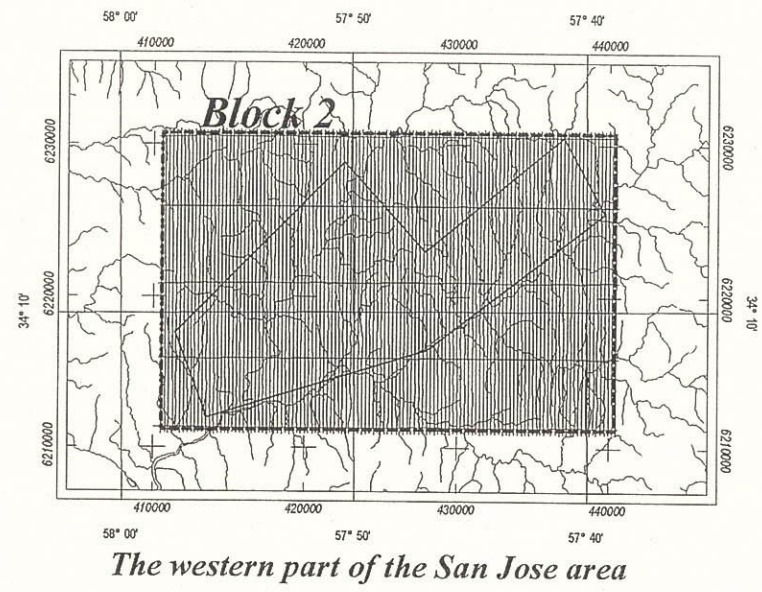







Fig. II-4-1 Location map of the airborne survey area



LEGEND

-  Flight path
-  Airborne survey block
-  Phase II survey zone
-  Phase I geology and geochemical surveyed area
-  River

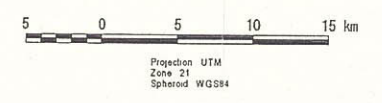
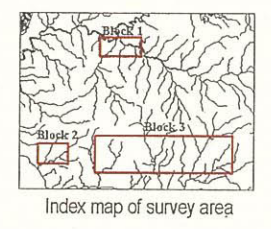


Fig. II-4-2 Flight path map

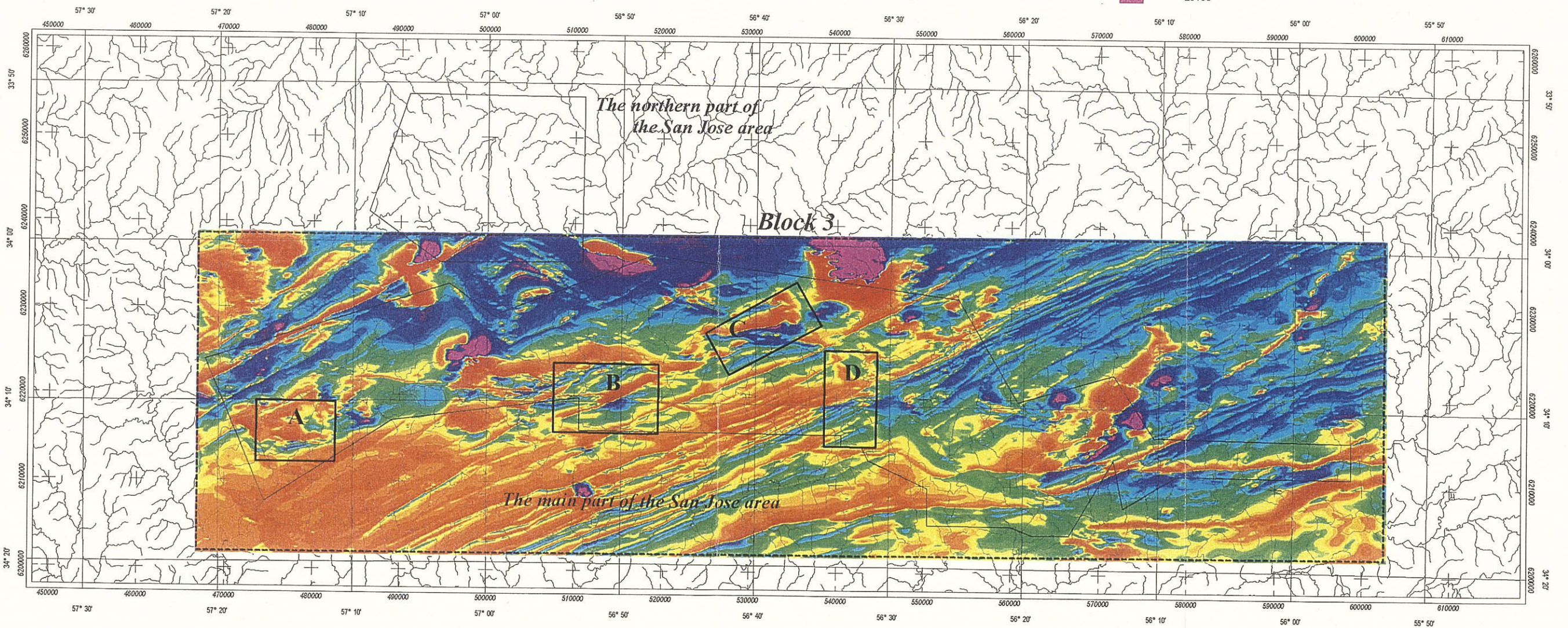
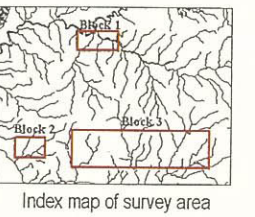
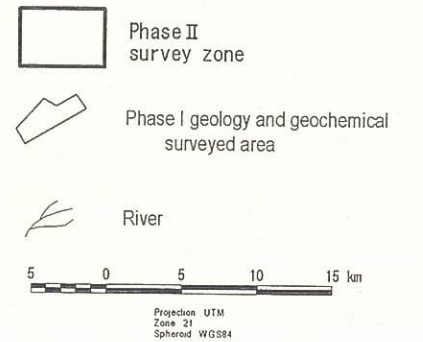
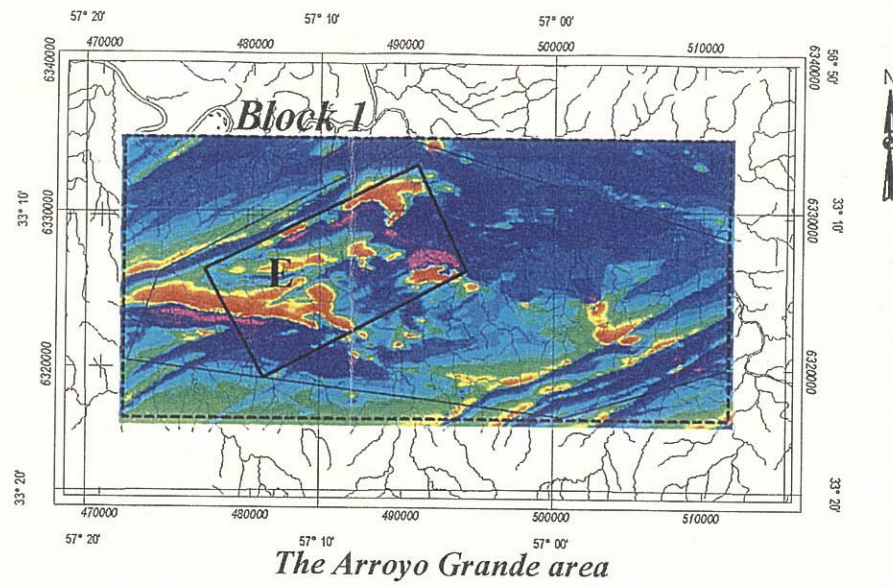
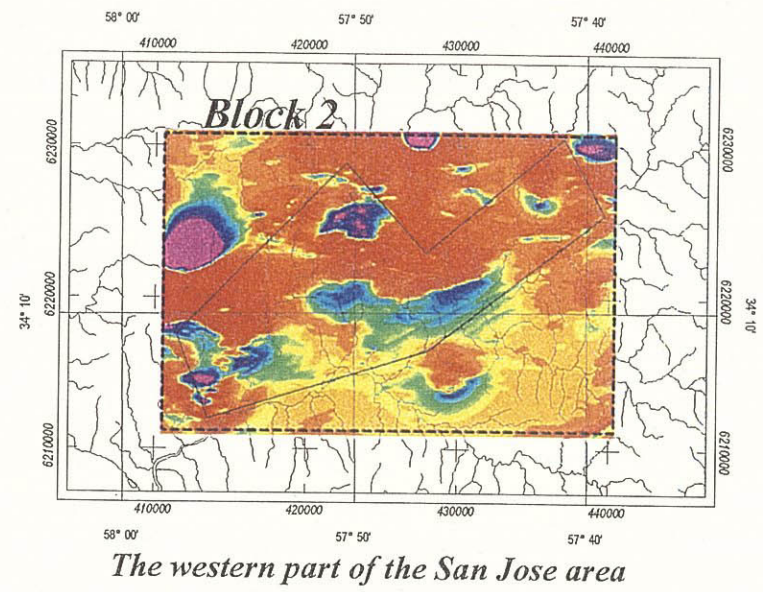


Fig. II-4-3 Total magnetic intensity of the survey area

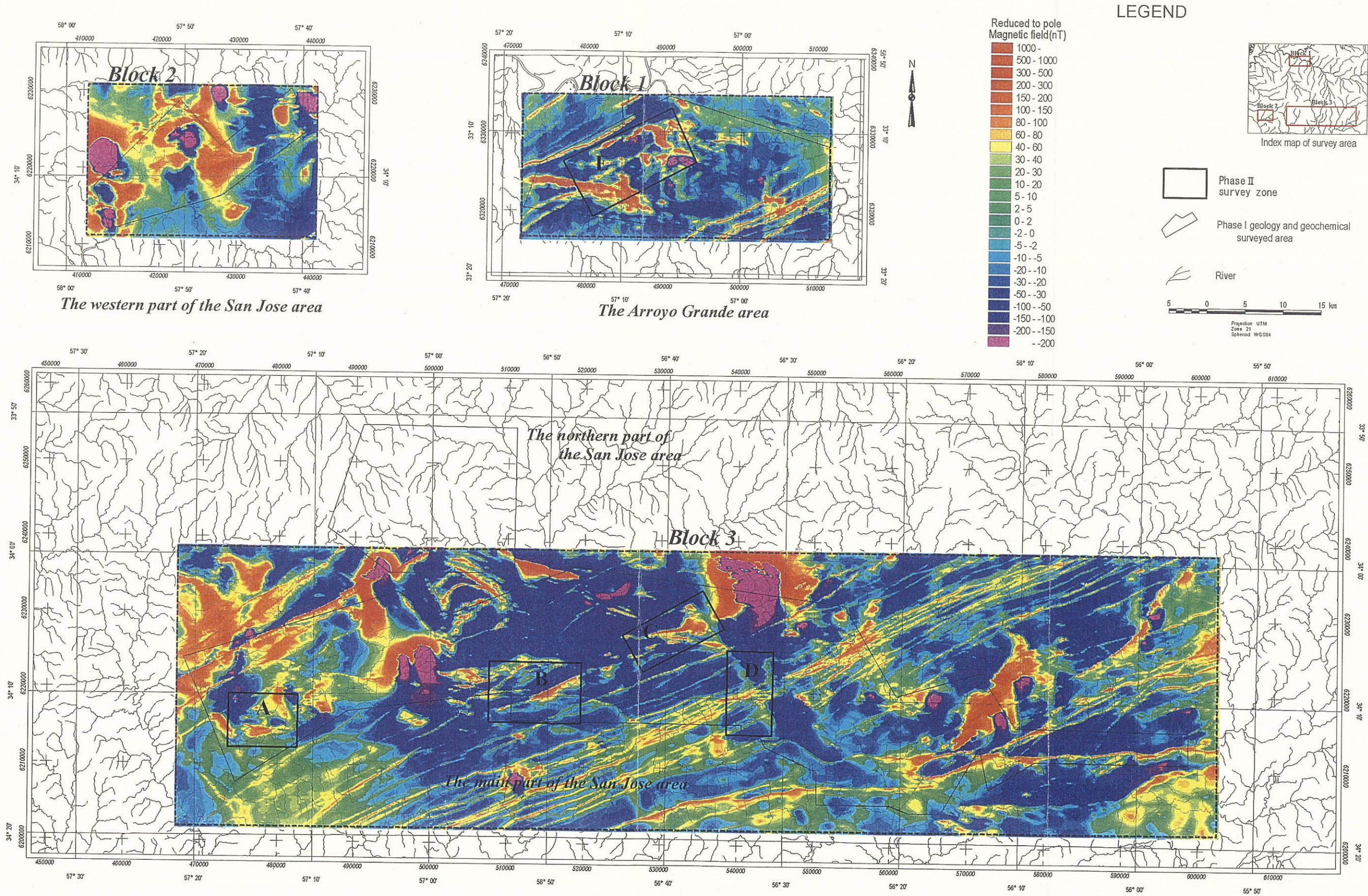


Fig. II-4-4 TMI reduced to the pole of the survey area