

平成 11 年度フィリピン共和国  
ビコール北部地域  
資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年次

平成 12 年 3 月

JICA LIBRARY



J1166855[5]

国際協力事業団  
金属鉱業事業団

資源調査

CR(3)

00-057



平成 11 年度フィリピン共和国  
ビコール北部地域  
資源開発協力基礎調査報告書

第 1 年次

平成 12 年 3 月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団



1166855(5)

## は し が き

日本国政府はフィリピン共和国政府の要請に応え、同国のルソン島南東部ビコール半島北部のカマリネスノルテ州、カマリネススール州、ケソン州を含むビコール北部地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため空中物理探査、地質調査、地化学探査、ボーリング調査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。

本調査は、平成 11 年度を第 1 年次とし、今年度は第 1 年次調査に当たる。金属鉱業事業団は調査団を平成 12 年 2 月 2 日から 3 月 6 日まで現地に派遣した。現地調査は、フィリピン共和国政府機関、環境天然資源省鉱山地球科学局の協力を得て予定どおり完了した。

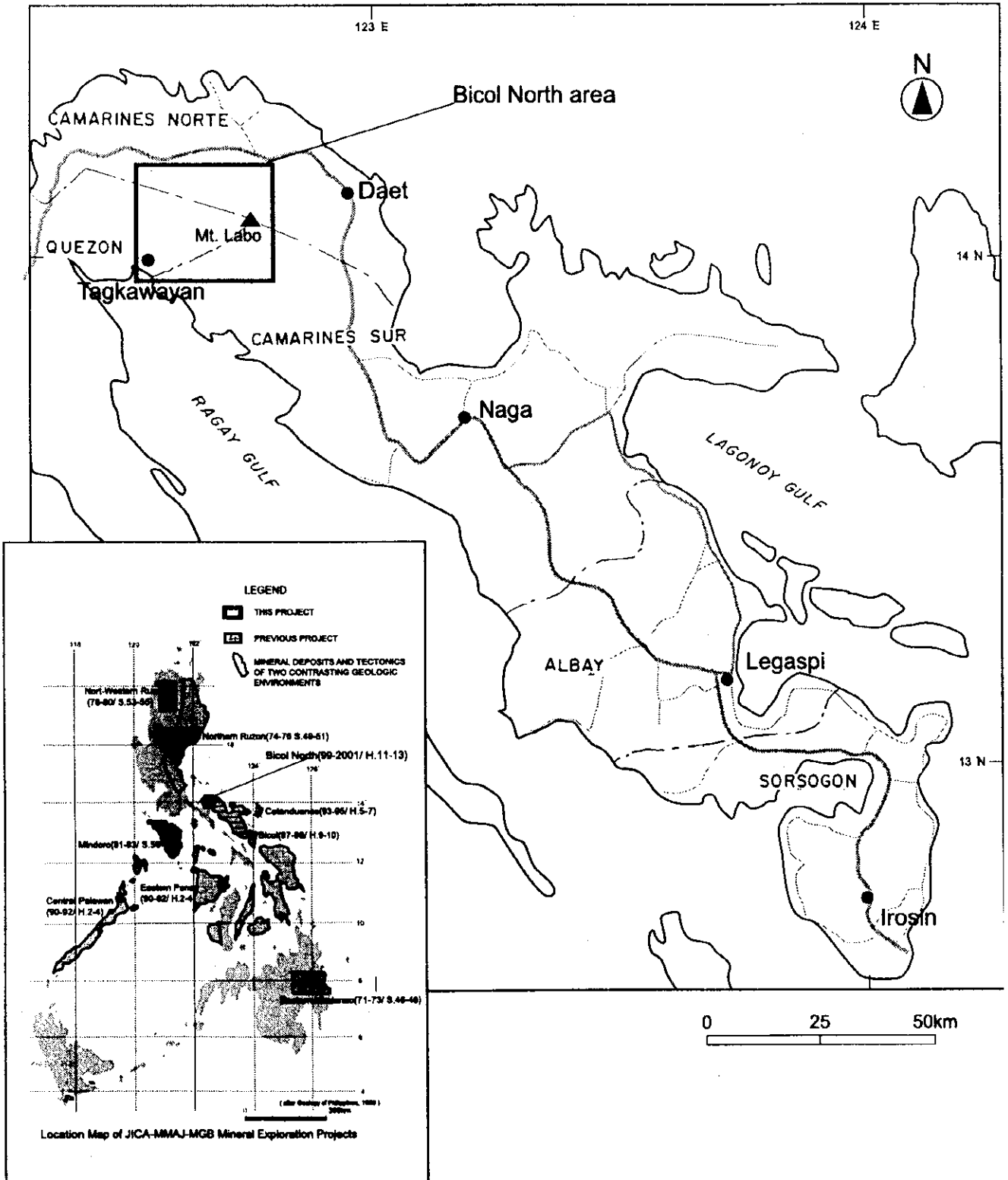
本報告書は、本年次の調査結果をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいたフィリピン共和国政府関係機関ならびに外務省、通商産業省、在フィリピン共和国日本国大使館及び関係各位の方々に衷心より感謝の意を表するものである。

平成 12 年 3 月

国際協力事業団  
総裁 藤田 公郎

金属鉱業事業団  
理事長 田代 直弘



Location map of the survey area

## 目次

はしがき	i
調査地域位置図	ii
目次	iii
図表一覧	v
第1章 序論	1
1-1 調査の経緯	1
1-2 第1年次調査の概要	2
1-2-1 調査目的	2
1-2-2 調査地域	2
1-2-3 調査方法	2
1-2-4 調査団の編成	2
1-2-5 調査期間および調査量	3
第2章 調査地域の地理	5
2-1 位置・交通	5
2-2 地形	5
2-3 水系	5
2-4 気候	6
2-5 植生	6
第3章 調査地域の既存地質情報	7
3-1 ビコール北部地域の地質概要	7
3-2 ビコール北部地域の鉱床・鉱徴	7
第4章 空中物理探査	12
4-1 目的	12
4-2 測定地域	12
4-3 測定仕様	12
4-4 測定機器	13
4-5 取得データセット	13
4-6 予察的解析	13
4-6-1 解析方法	14
4-6-2 放射性ウラン・トリウム・カリウム分布パターン	15
4-6-3 磁気異常	17
4-6-4 探査有望地区の抽出	18

第5章 結論および提言 -----	33
5-1 結論 -----	33
5-2 第2年次調査への提言 -----	33
参考文献 -----	35
巻末付図	



圖表一覽

Figures	No.	Title
opening page		Location map of the survey area
Fig. 1		Location map of the past projects
Fig. 2		Metallogenic belts of the Bicol Area
Fig. 3		Geological Map of the Bicol North Area
Fig. 4		Flight Path Map
Fig. 5		Radiometric Total Count. Contour Map
Fig. 6		Radiometric Total Count.
Fig. 7		Radiometric Uranium Counts. Contour Map
Fig. 8		Radiometric Uranium Counts.
Fig. 9		Radiometric Thorium Counts. Contour Map
Fig. 10		Radiometric Thorium Counts.
Fig. 11		Radiometric Potassium Counts. Contour Map
Fig. 12		Radiometric Potassium Counts.
Fig. 13		Radiometric Ternary.
Fig. 14		Digital Terrain Model.
Fig. 15		Total Magnetic Intensity. Contour Map
Fig. 16		Tota Magnetic Intensity: Reduced to Pole
Fig. 17		Airborne Radiometric and Magnetic Units

Appendix	No.	Title
Appendix 1		Preliminary aeromagnetic and radiometric interpretation map



## 第1章 序論

### 1-1 調査の経緯

フィリピンは、金、銅、ラテライト・ニッケル等の鉱物資源が豊富で、島弧火成活動に伴う斑岩銅鉱床、浅熱水性鉱脈鉱床等の鉱物資源賦存のポテンシャルが高い国である。1970年代は銅、金の主要生産国の一つであったが、既存鉱床終掘後、既存鉱床の拡張および新規鉱床の開発が進まなかったことから、近年、これら鉱産物の生産量はその賦存ポテンシャルにもかかわらず著しく減少している。

この原因の一つとして、外資による探鉱等鉱業への投資が法規制等から不十分にならざるを得なかったことが挙げられている。このような状況を打開し、鉱業への外資導入促進を図り、国内の鉱業を活性化するために、1995年には新鉱業法(共和国法第7942号とその実施細則)が施行されるなど、近年、フィリピン政府も鉱業への外資導入促進に努めている。しかし、世界的な探鉱ブームと相まって、新鉱業法の施行に伴い投資額が一時的に増加したものの、その後は大きく落ち込み、鉱業投資が活発化するには至っていない(MMAJ カレントピックス 2000年3月号より)。

国際協力事業団(JICA)/金属鉱業事業団(MMAJ)によるフィリピン共和国における資源開発協力基礎調査は1971年から開始され、98年までの間に以下の8地域において実施されている。(実施年は日本の会計年度表示)(Fig.1 参照)

ミンダナオ東部地域(資源開発調査)	1971~1973年
ルソン北東部地域(資源開発調査)	1974~1976年
ルソン北西部地域(資源開発調査)	1978~1980年
ミンドロ地域(資源開発調査)	1981~1983年
ビサヤス地域(鉱物資源基本図調査)	1984~1989年
パラワン・パナイ地域(資源開発調査)	1990~1992年
カタンドウワネス地域(資源開発調査)	1993~1995年
ビコール地域(鉱物資源広域調査)	1997~1998年

ビコール北部地域資源開発調査は、ビコール地域鉱物資源広域調査の結果、有望な探査地域として選定された地域であり、平成11年5月にフィリピン政府から要請された。平成11年度資源開発調査案件として採択され、平成11年7月21日付で日本国金属鉱業事業団 林歳彦氏とフィリピン共和国環境天然資源省次官 Mario Rono 氏および鉱山地球科学局 局長 Horacio C. Ramos 氏との間で Implementing Arrangement(I/A :作業実施協定書)が調印された。

## 1-2 第1年次調査の概要

### 1-2-1 調査の目的

本調査は、フィリピン共和国ピコール北部地域を対象として、本地域の地質状況と鉱床賦存状況を明らかにすることを目的とする。本年度は、熱水性鉱床の鉱化作用と関係した地質構造および変質帯の分布を空中物理探査の手法を用いて解明し、今後の鉱床探査に有効な指針を与えることを目的とする。

### 1-2-2 調査地域

調査地域は、ルソン島南東部ピコール半島北部に位置する。カマリネスノルテ州、カマリネススール州、ケソン州にまたがる約750km<sup>2</sup>の範囲である（扉図およびFig. 1）。地域東にはLabo火山（1,574m）が存在し、その周囲には同火山活動に関係したデイサイトドームが多数分布する。

### 1-2-3 調査方法

#### (1) 空中物理探査解析

空中磁気、放射能のデータを解析し、地質構造の解明および変質帯の抽出に役立てる。ただし、今年度は調査スケジュールの関係から、データ取得のみであり、取得データの解析は、第2年次に行う。また、当初は、空中磁気・放射能探査終了後、地化学探査および地質調査を実施する予定であったが、これもスケジュールの都合上、次年度以降に行うこととした。

### 1-2-4 調査団の編成

#### (1) 事前調査 および協定折衝

##### a) 日本側

林 歳彦 （団長，金属鉱業事業団 調査事業部調査役）  
葛西 雅史 （国際協力事業団 鉱工業開発調査部計画課）  
柴崎 洋志 （金属鉱業事業団 調査事業部海外協力課）  
木田 祥治 （金属鉱業事業団 バンコック海外調査員）

##### b) フィリピン共和国側

Mario Rono Undersecretary, Department of Environment and Natural Resources: DENR(環境天然資源省)  
Pedro C. Caleon Assistant Secretary, DENR  
Horacio C. Ramos Director, Mines & Geosciences Bureau: MGB, (鉱山地球科学局)  
Edwin G. Domingo Assistant Director, MGB

Romeo L. Almeda Chief, Lands Geology Division=LGD, MGB, DENR)  
(鉱山地球科学局 土地地質部長)

Roland Pena Chief, Planning & Policy Division, MGB

Claro Jose MANIPON - Project Manager, MGB

Arnel F. Jusi OIC, Chief Geologist Region IV, MGB

(2) 空中物理探査

a) 日本側

柴崎 洋志 - 金属鉱業事業団調査事業部海外協力課

守屋 猛 - 金属鉱業事業団バンコック海外調査員

木田 祥治 - 金属鉱業事業団バンコック海外調査員

b) フィリピン共和国側

Lomeo L. ALMEDA - Chief, Lands Geology Division, MGB

Claro Jose MANIPON - Project Manager, MGB

Dulcisimo S. DOMINGO III - Senior Science Research Specialist, MGB

Engr. Enrique MAGLANQUE - Information Technology Officer, MGB

Emolyn AZURIN - Driver, MGB

Jesus PADILLA - Driver, MGB

Arnel JUSI - OIC, Chief Geologist, MGB Region IV Office

(以下 WGC, Australia)

William CHURCHWARD - Field Manager / Data Processing

Paul Anthony SEGHEZZI - Airborne Instruments Operator

(以下 JAKA Transport, Philippines)

Lt. Col. Mapagtapat ONGCHANGCO, Jr. - helicopter pilot

Engr. Danilo JOSE - helicopter maintenance crew

Engr. Percival GONZALES - helicopter maintenance crew

(3) 予察的解析・報告書作成 (日本国内で実施)

MMAJ 林 歳彦、柴崎 洋志

MGB Claro Jose MANIPON

1-2-5 調査期間および調査量

(1) 空中物理探査

調査期間：平成 11 年(1999 年)2 月 2 日(水)～3 月 6 日(月)

調査量：空中磁気データ及び空中放射能データの取得 測線長 4,216.4 km

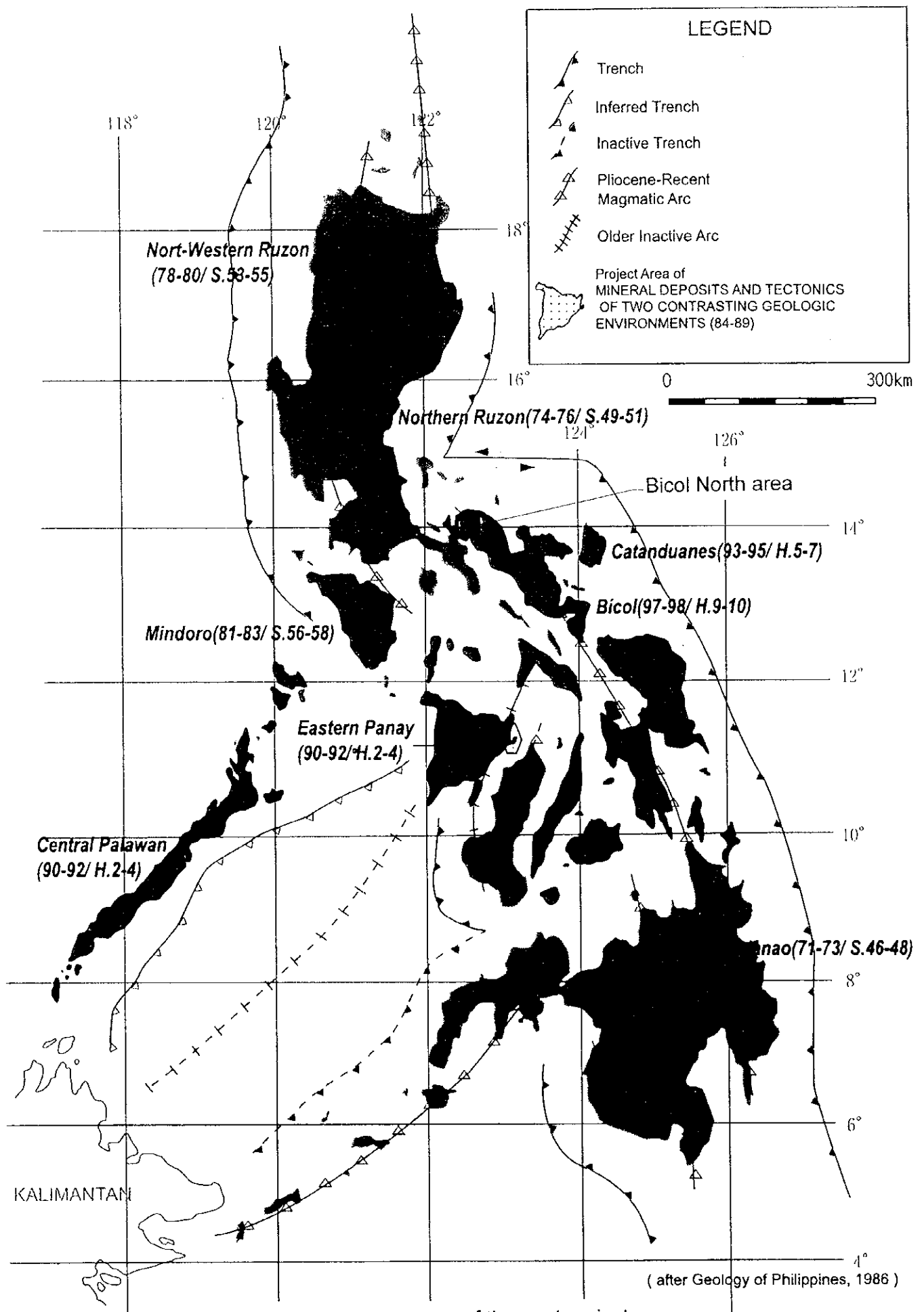


Fig. 1 Location map of the past projects







## 第2章 調査地域の地理

### 2-1 位置・交通

調査地域はビコール半島の北西部に位置し、次の座標に囲まれた範囲である (Fig. 3)。

東経 122° 32' 10"、北緯 14° 8' 35"

東経 122° 48' 50"、北緯 14° 8' 35"

東経 122° 32' 10"、北緯 13° 55' 00"

東経 122° 48' 50"、北緯 13° 55' 00"

調査地域は、カマリネスノルテ州、カマリネススル州、およびケソン州の 3 州にまたがる。(扉図および Fig. 1)

調査地域の北東には、カマリネスノルテ州の Labo および Daet が位置する。マニラから Labo までは約 265km、車で約 5 時間 30 分の距離である。調査地域南部には、Tagkawayan (ケソン州) および Del Gallego (カマリネススル州) が位置する。マニラから Tagkawayan までは約 260km、車で約 5 時間の距離である。

調査地域内には道路はほとんどなく、調査地域南西部の Maplot 付近にアクセス道路が存在するくらいである。したがって、調査地域内へは、北側および南側から別々にアクセスすることになる。調査地域の北側には、マニラから Daet に至る国道がほぼ東西に走っているので、ここから砂利道あるいは沢沿いに南下することになる。南側は、Tagkawayan から Del Gallego を結ぶキリノハイウェイから、同じく砂利道あるいは沢沿いに北上することになる。

### 2-2 地形

調査地域の東には、標高 1,572m のラボ火山が存在する。Labo 山の裾野には、径約 1.5km、比高 200m~400m のデイサイトドームが十数個分布する。Labo 山の西、調査地域のほぼ中央には、標高 300m~600m の開析が進んだなだらかな山塊が分布する。同山塊の尾根は、西北西-東南東~東西方向に発達する。これは、Susungdalaga 山地と呼ばれる。本山塊が本地域の水系を北と南に分けている。Susungdalaga 山地の南部には、標高 100m 以下の低地が広がる (Fig. 14 参照)。

### 2-3 水系

調査地域の北側には、Labo 川水系が分布し、北西部には Bosigon 川水系が分布し、いずれも北方向に流れる。Susungdalaga 山地を挟んで南側には、Kilbay 川水系が分布し、南方向に流れる。Kilbay 川は、Susungdalaga 山地の南側では、西北西-東南東方向に規制された流れとなる。

#### 2-4 気候

乾期が無く、年間を通じて雨量が大体一定しているおり、年間降雨量は2,300mm～3,900mmである。6月から1月の期間には、台風による降雨量が増大する。

PAGASA(the Philippine Atmospheric Geophysical and Astronomical Services Administration)の1951年～1985年間の記録によると、最も暑い月は、5月と6月で、気温は摂氏28.1～29.4度、最も寒い月は1月と2月で、気温は摂氏20.8～25.3度である。

#### 2-5 植生

本調査地域は、年間を通じて降雨の多い地域であり、植物が良く生育している。ただ、原生林が繁茂する状況ではなく、多くは農耕に使われ、ヤシ林がどこにでも広がっている。

### 第3章 調査地域の既存地質情報

#### 3-1 ビコール北部地域の地質概要

本地域は、ビコール広域調査によって明らかにされた鉱床生成区 (Fig. 2) では、中央帯の北西端に位置する。調査地域の大部分は、鮮新世から現世の若い火山岩分布域にあたり、調査地域の西および南西部は南西帯に位置する (Fig. 2)。

ビコール北部地域の地質図を Fig. 3 に示す。本図は、以下の公表されたマップを参考にコンパイルしたものである。

- Geologic Map of Bicol Region (1:250,000) by BMG Regional Office V

- Geological Map Quadrangles (1:50,000) of Sheet No. 3462-I, II;

- 3561-I, IV; 3562-I, II, III, IV; 3563-II, III; 3661-III, IV; 3662-II, III

また、Labo 火山周辺においては、PNOC の地熱開発プロジェクト地域となっており、PNOC によりボーリング調査、物理探査が実施されている (Zeide-Delfin et al., 1995; Banos et al., 1996)。

ビコール全域を対象として 1997-1998 年に実施されたビコール地域鉱物資源広域調査では、本調査地域のうち、Susungdalaga 山地の南側を“Kilbay 地域”として調査され、Susungdalaga 山地の西側低地を“Tuba 南部地域”として調査された (JICA/MMAJ, 1999)。同広域調査で、Susungdalaga 山地には角閃石-黒雲母デイサイトが分布することが明らかとなり、その火山岩の K-Ar 年代は、 $4.32 \pm 0.48$  Ma,  $3.75 \pm 0.42$  Ma, および  $3.45 \pm 0.39$  Ma で、前期鮮新世を示すことが明らかとなった。Fig. 3 では、Labo 火山とその西部の火山岩類は、Labo 火山岩類として一括されているが、Labo 火山が更新世後期から現世であるのに対し、それよりも古い火山岩が本地域に分布し、これが変質母岩となっていることが明らかにされている。

“Tuba南部地域”では、(Fernandez, 1984)によれば、主として泥岩・砂岩・凝灰岩からなる白亜紀後期のTigbinan層中に漸新世前期の花崗閃緑岩が貫入するとされる。これらの地質は特に南部で中新世前期の堆積岩類(Bosigon層)および時代未詳の安山岩類(岩脈?)の被覆・貫入を被る。Mapulot北部では、堆積岩類は露頭として観察されず、安山岩類の分布が卓越する。貫入岩体の分布域の南半にはTigbinan層泥岩が広範に分布しており、既存地質図に示される貫入岩体はかなりの量のルーフペンダントを含めて表現されている。一般に泥岩には接触変成作用はおよんでおらず、珪化岩露頭の周辺で観察される。Fig. 3の第三紀の貫入岩が分布するとされるところに、貫入岩は確認されていない。

#### 3-2 ビコール北部地域の変質および鉱徴

本地域には、Fig. 2 に示すように、ビコール半島の鉱床生成区 (JICA/MMAJ, 1999) のうち、

中央帯と南西帯が分布することから、中央帯に属する、浅熱水性鉱床～ポーフィリー型鉱床が賦存する可能性がある。その例として、本地域北部に分布する Nalesbitan 鉱化帯がある。また、南西帯には、その地質セッティングの類似性から Paracale 地域に分布する貫入岩関係の鉱脈鉱床、いわゆる中熱水性鉱床の賦存が期待される。その例と考えられる、旧 Tuba 鉱床が本地域西部に分布する。

本地域に分布する変質および鉱化作用について、以下に、JICA/MMAJ (1999) に基づき、その概要を記す。前述のとおり、JICA/MMAJ (1999) では、本地域の Susungdalaga 山地の南側を“Kilbay 地域”として調査され、Susungdalaga 山地の西側低地を“Tuba 南部地域”として調査された。

Susungdalaga 山地(“Kilbay 地域”)に観察される鉱化・変質作用の概要を以下に記す。

Susungdalaga 山地の南側には、広く変質帯が分布する (JICA/MMAJ, 1999)。Susungdalaga 山地の変質・鉱化帯は Alawihaw-Kilbay Creek から Tonton River に至る、WNW-ESE 方向に、約 11km にわたって分布することが明らかとなった。石英脈や断層は、WNW～NW 系のおよび NE～ENE 系のものが多数観察される。Susungdalaga 山地の南側に沿って、WNW 系の断層地形が観察され、これに沿って、熱水変質帯分布がコントロールされたと考えられた (JICA/MMAJ, 1999)。

これらの変質帯分布を Appendix 1 の予察的解析図に記す。変質帯は、石英-混合層粘土帯が広く分布し、石英脈も発達する。低硫化系の金鉱化作用が認められる。

Layaton Creek には、Au 鉱化作用(180ppb～275ppb)のほか、Cu 異常 (500ppm～830ppm) が認められる。Mo 異常 (34ppm) と P 異常 (3260ppm) も検出された。Layaton Creek の東に位置する Alawihaw-Kilbay Creek では、現在も 45℃～80℃の温泉が湧出する箇所が認められる。同沢に分布する鉱化・変質帯は Au (max. 535ppb) の他、As (max. >10000ppm), Hg (max. 69ppm), Sb (max. 350ppm), Tl (max. 140ppm) の高い地化学異常が特徴的である。また Mo 異常 (54ppm) および Zn 異常 (688ppm) が認められる石英脈も存在する。Susungdalaga 山地の西部に分布する Tonton River においても浅熱水性の金鉱化作用および変質帯が分布することが明らかにされた。Tonton River 中流域で、強珩化岩の転石が多数認められた。これらの転石中には、黒色～灰色の玉髓質石英細脈が観察され Au: 590～830ppb, As: 690～2500ppm の分析値を示す。

Tonton River の北約 8km には、高硫化系浅熱水型金鉱床である Nalesbitan 鉱床が分布する。Nalesbitan 鉱床は、NW-SE 系の左横ずれ断層にコントロールされ形成されている (Sillitoe et al., 1990)。同断層の延長上に同タイプのあるいは、ポーフィリー型の鉱化帯の存在が期待される (Sillitoe et al., 1990)。この南東側延長は、Susungdalaga 山地の北側に伸びてくることが予想される。

Susungdalaga 山地の西方の“Tuba 南部地域”では、鉱化露頭は幅 1km、長さ 2.5km の北

東方向に伸長するなだらかな尾根部に露出する。珪化岩は、約 700m にわたって断続的に観察でき、露頭南限から 500m 南の地点より転石が分布する。変質岩中のクロムを含有する白雲母が認められる。珪化岩体には石英脈も観察される (Au:210 ppb, Ag:10.4ppm, As:112ppm)。石英脈は最高 10cm 程度の幅を呈し、N80° W, 65° S の方位に伸長する。脈は無色・粗粒石英からなり、若干の黄鉄鉱の鉱染を伴う。流体包有物均質化温度は、226 ~ 273°C、塩濃度は 1.57 ~ 3.23wt%NaClequiv. である。変質岩中のクロムを含有する白雲母は、Paracale の Santa Barbara の石英脈にも存在する。このことから、本地区においても、周辺の母岩に超塩基性岩が分布することが推定され、当初予想したように、Paracale と類似する金鉱化作用が期待される。

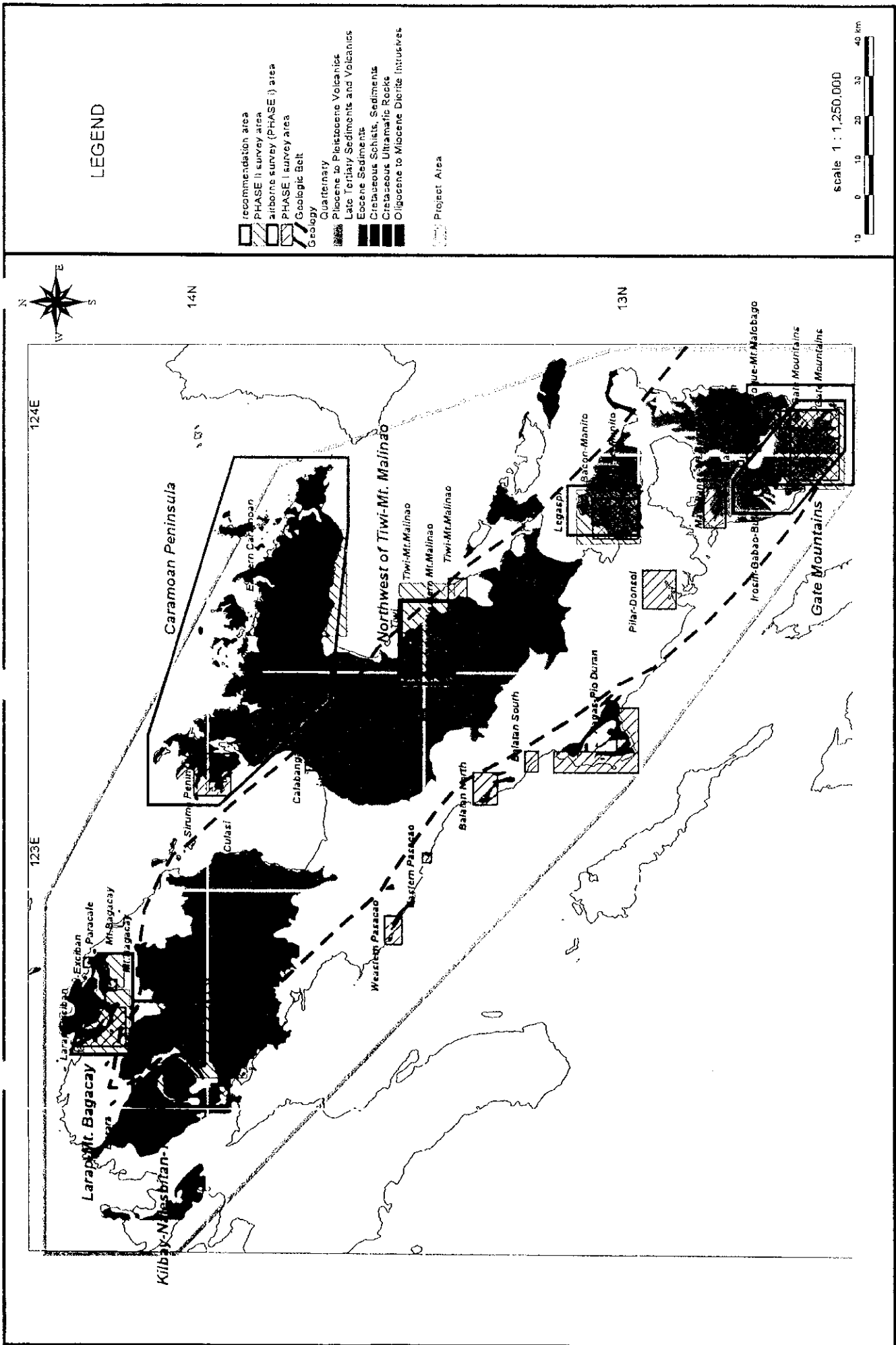


Fig. 2 Metallogenic belts of the Bicol Area

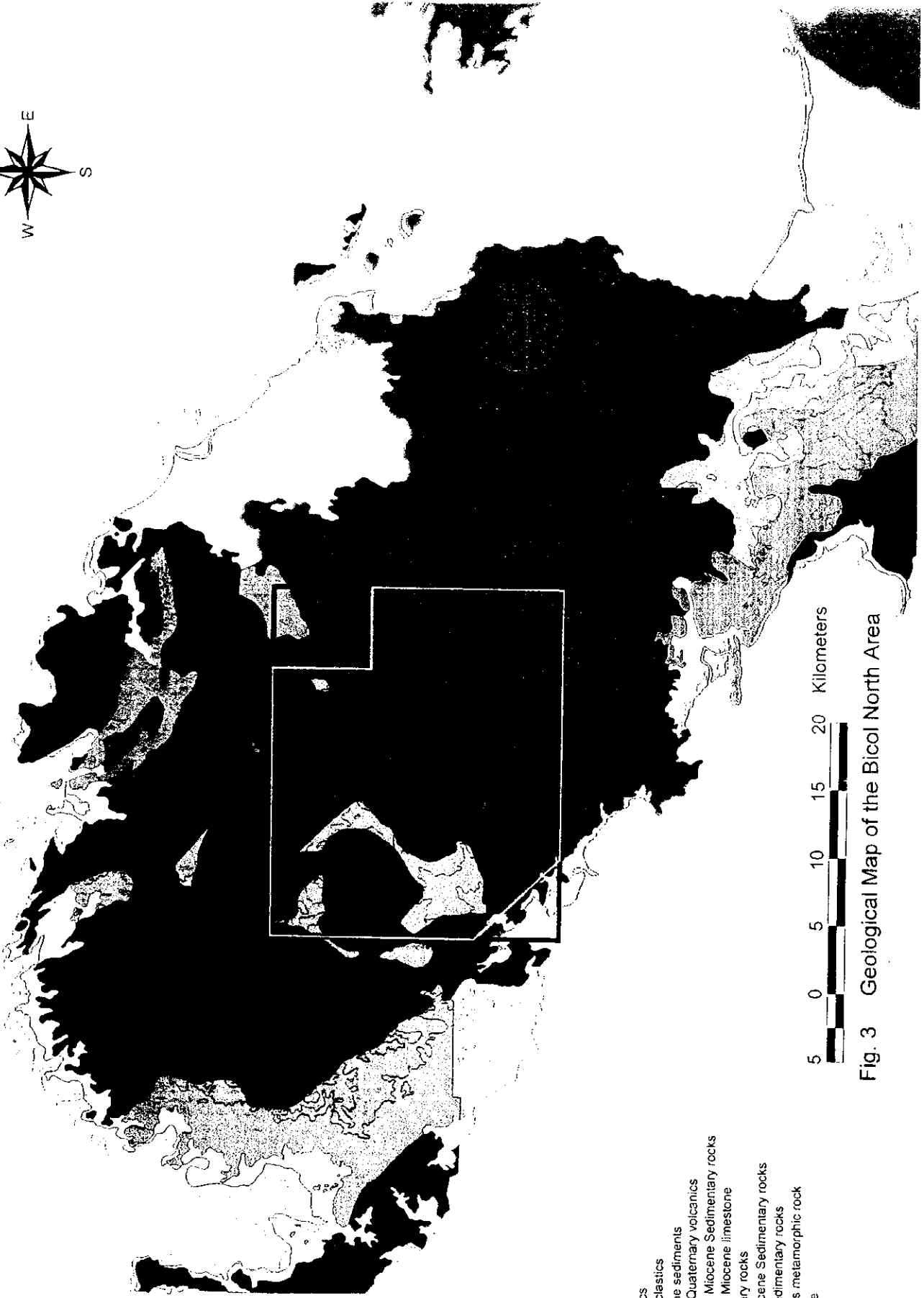
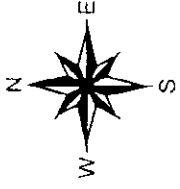


Fig. 3 Geological Map of the Bicol North Area

- Survey area
- Airborne
- Geophysics
- Survey area
- Alluvial
- Quaternary volcanics
- Quaternary volcanoclastics
- Pliocene-Pleistocene sediments
- Late Tertiary-Early Quaternary volcanics
- Early Pliocene-Late Miocene Sedimentary rocks
- Early Pliocene-Late Miocene limestone
- Miocene Sedimentary rocks
- Late Paleocene-Eocene Sedimentary rocks
- Late Cretaceous Sedimentary rocks
- Pre-Late Cretaceous metamorphic rock
- Late Miocene Diorite
- Ultramafic rocks

## 第4章 空中物理探査

### 4-1 目的

空中磁気法および空中放射能法により、調査地域の磁性岩体および放射性岩体の分布を把握し、表層堆積物の下部の地質構造を解明するとともに、地質構造から鉱床の胚胎が期待される箇所を抽出する。今年度は、データ獲得のみを実施し、データ解析は、次年度実施することとする。

### 4-2 測定地域

測定地域を Fig. 3 および Fig. 4 に示す。また、各点の座標は以下のとおりである。

14° 08' 35" N	122° 32' 10" E
14° 08' 35" N	122° 45' 00" E
14° 04' 00" N	122° 45' 00" E
14° 04' 00" N	122° 48' 50" E
13° 55' 00" N	122° 48' 50" E
13° 55' 00" N	122° 36' 00" E
13° 59' 00" N	122° 32' 10" E

### 4-3 測定仕様

測定は、精度良いデータを取得するため、出来るだけ地上に近く、対地高度を一定にする必要がある。火山の多い半島部である当該地域の地形の起伏が激しい点を考慮し、ヘリコプターによる測定とすることとした。測定は空中磁気その他、3成分の空中放射能も測定する事とし、測線間隔 200m、対地高度 80m とした。測定仕様は以下の通りである。

#### ・測定仕様

飛行測線間隔：200m      飛行測線方向：南北  
補助測線間隔：1000m      補助測線方向：東西  
センサー高度：80m      磁力計サンプリング間隔：～5m  
磁力計サイクル間隔：0.1秒      磁力計分解能：0.001nT  
放射能サンプリング間隔：40～50m      放射能サイクル間隔：1秒  
GPS サイクル間隔：1秒

ヘリコプター飛行測線の軌跡を Fig. 4 に示す。

#### ・測定者

オーストラリア国の World Geoscience Co. Ltd. (WGC 社) に依頼した。ヘリコプターは、フィリピン国の JAKA Transport 社を使用した。



#### 4-4 測定機器

測定機器は以下の通り。

- ・ Scintrex VIW2321/CS2 split beam セシウムセンサーと増幅器を備えた磁力計。これは、ヘリコプターに装着されるブーム（スティンガーマウント）に搭載される。
- ・ Picodas PDAS 1000 データ取得システム：ヘリコプター運航に伴う磁気ノイズをリアルタイムあるいはデータ取得後に補償する。
- ・ Picodas PGAM 256 チャンネル自動補正スペクトルメータ
- ・ 16.75 リットル NaI 結晶センサー（1台）
- ・ 電波高度計
- ・ 被圧高度計
- ・ WGC 社ビデオ飛行追跡システム
- ・ Differential GPS 衛星ナビゲーションシステム
- ・ Picodas PNAV 2001 ナビゲーションシステム
- ・ DC 2120 カートリッジ・ドライブ/フロッピー・ディスクを備えた Pentium 486 PC カラー・プリンター
- ・ WGC 社データ質コントロール・監視ソフトウェア
- ・ Picodas ディファレンシャル補正ソフトウェア

#### 4-5 取得データセット

以下に記すデータを取得した。

- 1) 全放射元素カウント：カラー (Fig. 5, 6)
- 2) 放射性ウランカウント：カラー (Fig. 7, 8)
- 3) 放射性トリウムカウント：カラー (Fig. 9, 10)
- 4) 放射性カリウムカウント：カラー (Fig. 11, 12)
- 5) 放射性 U-Th-K 三成分カウント：カラー (Fig. 13)
- 6) デジタル地形イメージ (Digital Terrain Model: DTM)：カラー (Fig. 14)
- 7) 全磁力図 (Total Magnetic Intensity: TMI)：カラー (Fig. 15)
- 8) 極磁気変換図 (Total Magnetic Intensity Reduced to Pole: RTP)：グレースケール (Fig. 16)

#### 4-6 予察的解析

前述のように本年度は空中物理探査では、データ取得のみであり、解析は次年度実施する予定である。したがって、ここでは、取得された上記データに基づき、1997～1998年の鉱物資源広域調査で得られた本地域の地形図、地質、鉱微地分布、鉱化作用の特徴との対比することによって、予察的な解析を試みた。その結果を Appendix 1 に示す。

#### 4-6-1 解析方法

- ・地質構造要素の抽出：地質構造の情報は、磁氣的線構造として得られる。磁氣的線構造は、層理、溶岩の積層やこれらを切断する構造、すなわち、断層や断裂を示す。
- ・磁性および放射性に基づく、岩相単位の抽出：基本的に、地質体は、その固有の磁性および放射性をもつことから、岩相単位の抽出することが可能である。ただし、磁性については、深部情報も反映しているため、得られた特性が、地表の岩石情報とは異なる場合がある。
- ・孤立する円形に近い高磁気異常域の抽出：貫入プラグを反映している可能性がある。
- ・磁気異常の形が、円形に近く、磁気レスポンスが比較的強い場合は、火山センターに對比される場合が多い。
- ・磁気コンターが疎な、ブロードな低磁気帯（"magnetic flat region"：Irvine and Smith(1990)）は、磁鉄鉱の分解をともなう変質作用である場合が多い。
- ・放射性元素データは、ほんの表層（地表から 10～100cm まで）の情報しかもたらさないことに注意しなければならない。空中放射能探査データは、この他、つぎのような要因で大きく変化するために、解析に当たっては注意を要する。
  - ・データ取得高度が高くなれば、放射能カウントは指数関数的に減少する。したがって、飛行高度を低くすることによって、全放射能カウントの値を大きく保つ事ができる。また、低空飛行は、センサーの視野を小さくするため、より高精度のデータを得ることを可能にする。
  - ・飛行体のスピードが遅いほど、カウントレイトは正確になる。
  - ・土壌がその下にある原岩から生成したものであれば、放射能カウントは原岩組成を示すが、河川等によって運ばれた土壌であれば、その下の岩石組成は反映されない。
  - ・土壌は、一般に原岩にくらべ、カリウム、トリウム、ウランなどの放射性元素に乏しい。したがって、土壌が厚く堆積していると放射性元素レスポンスを弱める。
- ・ビコール地域広域調査で実施した空中物理探査の経験から、ウラン、トリウムのレスポンスは、地質分布を反映していることから、これらのレスポンスを用いて岩質区分ができる可能性がある。
- ・高いカリウム異常をもつ地域の抽出：浅熱水性変質では、しばしばアデュラリアや明礬石などのカリウムを含有する鉱物が生成する。したがって、このような変質帯では、周囲にくらべ高いカリウム異常が生じる可能性がある。また、ポーフィリー型鉱床では、その中心にカリウム変質帯が形成されることが多い。ポーフィリー型鉱床のカリウム変質帯には、多くの場合、磁鉄鉱が伴われるため、放射性カリウム高異常とともに、高磁気異常が抽出されることが多い。しかし、ビコール地域広域調査で実施した空中物理探査の経験からは、放射性カリウム高異常域は、土壌が発達する地域では、相対的に岩石の露出のよい場所を示すことが多い。これは、岩石と土壌では、含有されるカリウム濃

度は、オーダーが異なるのに対し、ウラン、トリウムでは、その差があまりないことに起因すると思われる。ただし、熱水変質帯は植生が貧弱である場所が多いことから土壤が発達していないことが多いため、結果的に高カリウム異常域の中に含まれることが多い。

#### 4-6-2 放射性ウラン・トリウム・カリウム分布パターン

放射性全元素カウントおよび放射性ウラン、トリウム、カリウムのカウントパターンには、つぎのような特徴が観察される。

- a. 全カウントが高い地域は、調査地域の南～南西部に分布する。
- b. 全カウントが最も高い地区は、主に次の4地区である。
  - 1) 地域南部の  $122^{\circ} 37' 30''$  E,  $13^{\circ} 55'$  N 付近: およそ  $3\text{km} \times 4\text{km}$  の広がり持つ。
  - 2) 地域中央部やや西よりの  $122^{\circ} 37' 30''$  E,  $14^{\circ} 00'$  N 付近:  $2\text{km} \times 2\text{km}$ ,  $1.5\text{km} \times 1\text{km}$  の二つの楕円形の広がり。
  - 3) 地域北西部  $122^{\circ} 35' 30''$  E,  $14^{\circ} 05'$  N 付近: 径約  $1\text{km}$  の円形
  - 4) 地域中央部やや南よりの  $122^{\circ} 42' 30''$  E,  $13^{\circ} 59'$  N 付近このうち、高カウント領域の輪郭がシャープなものは、2) および 3) である。
- c. この放射性ウラン・トリウム・カリウムのうち、カウントが大ききものはカリウムであり、トリウム、ウラン順に小さくなる。  
カリウムカウントの変動幅は7～54である (Fig. 12)。トリウムは、その約半分の7～33で変動し (Fig. 10)、ウランは、さらにその半分の4～17カウントの範囲で変動する (Fig. 8)。
- d. ウランとトリウムの分布パターンは似るが、カリウムの分布パターンは他の2者とは異なる。
- e. ウラン、トリウムともにカウントの高い領域は、調査地域の中央部南よりに分布する。その東側 (Labo 火山) および西側 (より古い堆積岩類) で低い。
- f. しかし、トリウムカウントは、東の Labo 火山が分布する地域では、西の低カウント域よりも若干高い。ウランでは、東も西もほぼ同じ程度に低いカウントを示す。
- g. ウラン・トリウムの両者が最も高いカウントを示すところは、以下の3地区である。
  - 1) 地域南部の  $122^{\circ} 37' 30''$  E,  $13^{\circ} 55'$  N 付近: およそ  $3\text{km} \times 4\text{km}$  の広がり持つ。
  - 2) 地域中央部やや西よりの  $122^{\circ} 37' 30''$  E,  $14^{\circ} 00'$  N 付近:  $2\text{km} \times 2\text{km}$ ,  $1.5\text{km} \times 1\text{km}$  の二つの楕円形の広がり。
  - 3) 地域北西部  $122^{\circ} 35' 30''$  E,  $14^{\circ} 05'$  N 付近: 径約  $1\text{km}$  の円形この3地区は、全カウントが高い地区の1), 2) および 3) にそれぞれ対応している。
- h. このうち、2) は、カリウムも高いカウントを示し (下記の j. の②)、3元素そろって高いカウントを示す。したがって、3成分カウント図 (Fig. 13) では、本地区は特徴

的な白色として表現される。

- i. 高いカリウムカウント領域の多くは、谷や沢、あるいはリッジに沿って分布する。
- j. 主な高いカリウムカウント領域は、つぎの地区に分布する。
  - ①中央部やや南、122° 42' 30" E, 13° 59' N: Alawihaw - Kilbay Creek
  - ②中央部やや西、122° 37' 30" E, 14° 00' N: Susungdalaga 山地ドーム地形
  - ③南部西端、122° 34' E, 13° 57' N
  - ④中央部北、122° 38' E, 14° 06' 30" N: Nalesbitan 鉱床分布
  - ⑤中央部北、122° 40' E, 14° 07' N
  - ⑥北西端、122° 33' 30" E, 14° 09' N:
  - ⑦中央部やや南、①と②との間の Susungdalaga 山地
  - ⑧西部中央、122° 36' E, 14° 04' N:
  - ⑨東部中央、122° 46' E, 14° 02' N: Labo 山
  - ⑩北東端、122° 43' E, 14° 07' 30" N:
  - ⑪中央部、122° 42' E, 14° 02' 30" N:
  - ⑫南東端、122° 44' E, 13° 55' 30" N:
- k. 上記 j. の③、⑥、⑧、および⑩などでは、土壤が相対的に厚く発達していると考えられる比較的なだらかな地形地域であるにもかかわらず、高カリウムカウント領域が分布する。
- l. 上記、③、⑥、および⑧は、三成分カウント図 (Fig. 13) では、中央のウラン・トリウム異常が重なる青色域の西縁に、幅約 3.5km の赤～ピンク色の帯状に連続するように見える。

以上のような特徴から、つぎのようなことが考えられる。

- A. 上記観察事項の c. e. f. から、放射性 3 元素のうち、ウランおよびトリウム、特にトリウムの分布パターンは調査地域の岩相分布パターンを比較的良く表している。
- B. 上記観察の d. および i. から放射性カリウムの高異常域は、基本的には土壤が発達していない沢などを反映している。
- C. g. の 2) および j. の②は、磁気異常も認められることから、貫入岩体と考えられる。近傍の沢では、熱水変質帯が分布し、"magnetic flat region" が認められる。しかし、この二つの岩体は高い磁気異常が認められることから (Fig. 15)、熱水変質が及んでいない、あるいは熱水変質作用後の貫入と考えられる。
- D. g. の 3) は、同サイズ (径約 1km) のドーム状地形に一致し、磁気異常も認められる (Fig. 15) ことから、貫入岩体と考えられる。
- E. j. の①および⑦には、広く熱水変質帯が露出する (JICA/MMAJ, 1999 および Appendix 1 参照) ため、放射性カリウムの高異常域となっていると考えられる。これらは、同時に "magnetic flat region" でもある (Fig. 15 および Appendix 1)

- F. j. の④には、high-sulfidation style の Nalesbitan 鉱床が分布し、鉱化変質帯が広く露出するために、放射性カリウムの高異常域となっていると考えられる。同異常域は、NW 方向に伸張しており、磁気リニアメントおよび地形的リニアメントの方向と良く一致している。また、Nalesbitan 鉱床からやや南にずれて、“magnetic flat region” が分布する。
- G. j. の⑤は、Nalesbitan の東約 4km に位置する。地形的にはなだらかな丘陵の周囲の急傾斜部がカリウム高異常域となっている。また、同異常域と“magnetic flat region” が重なる。したがって、ここにも熱水変質帯が分布する可能性がある。
- H. j. の⑨は、ほぼ Labo 火山岩類分布域に相当し、深く侵食された崖の沿ってカリウム高異常域が分布する。j. の⑫も、同様に地形的に侵食された沢、崖に一致している。
- I. j. の⑪も、j. の⑤と地形的には似たような場所に分布する。同様に、カリウム高異常と“magnetic flat region” が重複することから、熱水変質帯が分布する可能性がある。また、本異常域の位置は、Nalesbitan の南東延長と、Labo 川中流変質帯の南西延長の交差する場所である。
- J. k. および l. より、これらは、比較的カリウムに富む地質体が分布する領域と推定される。また、この領域は、既存地質図 (Fig. 3 参照) の後期中新世～前期鮮新世の堆積岩類分布域と位置・形状が似ていることから、同地質体の分布域を示している可能性がある。

以上のような解釈から、本地域の岩相区分を試みた。これを Fig. 17 に示す。

#### 4-6-3 磁気異常

ここでは全磁力異常図に基づいて、磁気異常分布から読み取れるリニアメントおよび磁気コンターが疎な、ブロードな低磁気帯 (“magnetic flat region” : Irvine and Smith(1990)) の抽出を行った。今後は、極磁気変換を行った磁気異常図において、同様な解析を行う必要がある。なお、個々の磁気異常域および“magnetic flat region” については、前項の放射性 3 元素カウントパターンの解釈に記した。

磁気リニアメントは、Nalesbitan から Kilbay に至るゾーンに集中している (Appendix 1)。多くのリニアメントの方向は、地形的リニアメントの方向と同じであり、WNW-ESE～NW-SE 系が卓越する。いくつかの地形的リニアメントは、磁気リニアメントと一致する (Appendix 1)。地形的および磁気リニアメントの幾つかは、放射性カリウム高異常域と密接に分布する。多くの場合、カリウム高異常域はこれらのリニアメントによって境される。またあるカリウム高異常域はリニアメントによってコントロールされる。このことは、本調査地域に存在する熱水変質帯分布も、地質構造による規制を受けているものと考えられる。

#### 4-6-4 探査有望地区の抽出

前項までの、観察および解釈から、既知の鉱徴地のなかでも、中央帯鉱床生成区に属する Nalesbitan 鉱床、および Kilbay Zone に分布する鉱化・変質帯は、カリウム高異常域と”magnetic flat region”が重複し、NW-SE系の構造にコントロールされているように見える。そのような放射性元素、磁気、およびリニアメントの特徴は、調査地域の他の多くの箇所にも認められる。これらが分布する地区として、つぎの5地区がポテンシャルが高い地区としてあげることができる。これら地区については探査上、十分な注意を払う必要がある(Appendix 1)。

##### 1. Nalesbitan Zone

これは Tuba 地区も含む。前述の G. (j. の⑤) の地区周辺および Nalesbitan の南東側は、特に変質帯の有無を確認する必要がある。

##### 2. Labo River Zone

Labo River 上流の Kilbay Zone に至る地区。前述の I. (j. の⑪) 周辺は特に注意を払う必要がある。

##### 3. Kilbay Zone

前項の E. にも述べたように、本地区の熱水変質帯は、鉱物資源広域調査で WNW - ESE 方向に約 10km 程連続することが明らかとなっている (JICA/MMAJ, 1999)。また、C. のとおり、放射性 3 元素の高異常域が貫入岩体であるか否かの確認、およびそれと熱水変質作用との関係を明らかにする必要がある。

##### 4. Mt. Labo Zone

Labo 山の南側裾野には、Labo 山デイサイトの下部に、より古い火山岩類が露出している可能性があり、そこに鉱化・変質帯が分布する可能性もあるので、これを確認する。

##### 5. Tagkawayan Zone

本地区は、カリウム高異常域と、”magnetic flat region”が重複する箇所は少ないが、Tagakawayan の北および北西部には、より古い地層が分布し、Mapulot に見られる中熱水鉱化作用が存在する可能性がある。

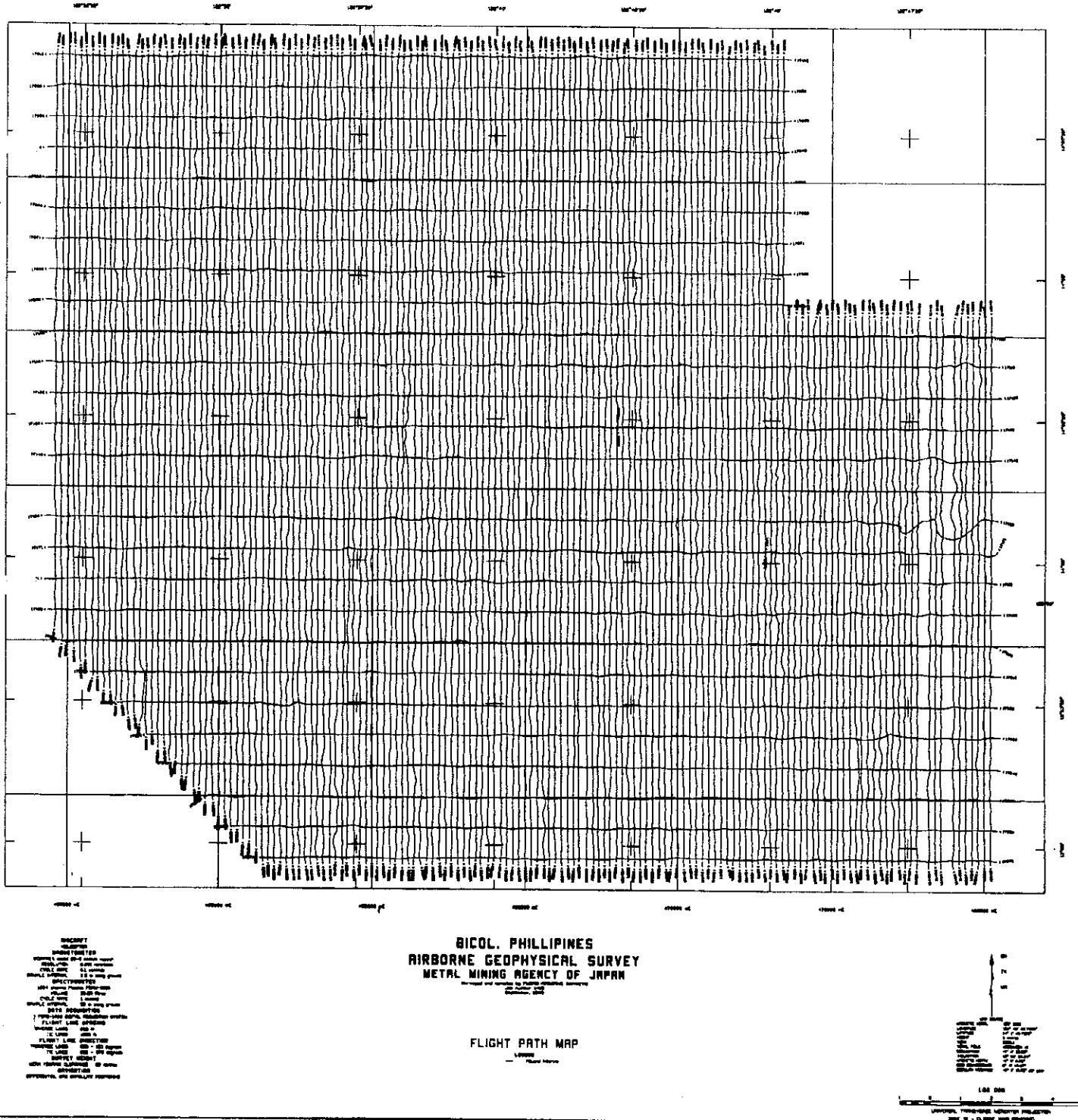


Fig. 4 Flight Path Map

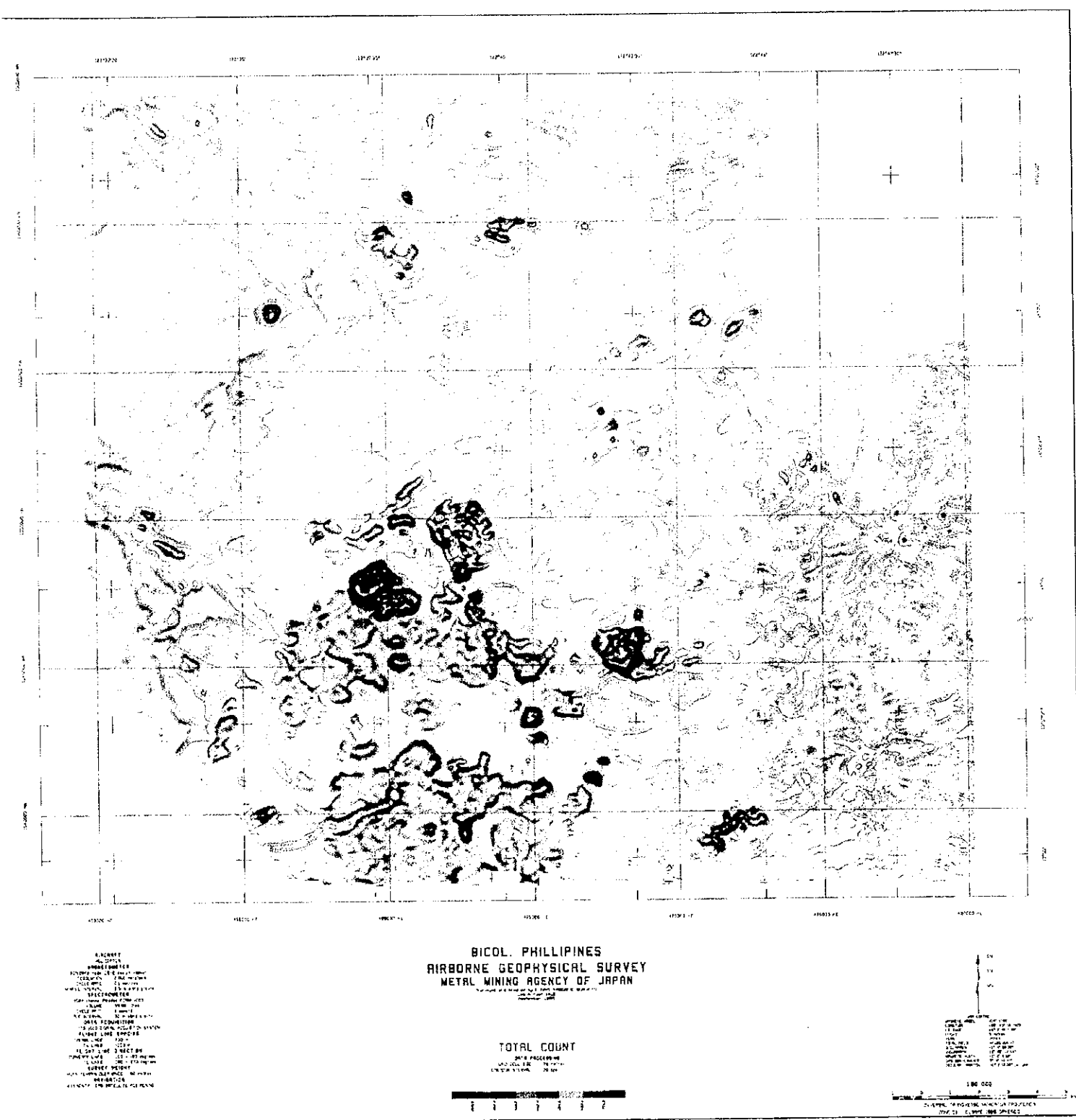


Fig. 5 Radiometric Total Count. Contour Map



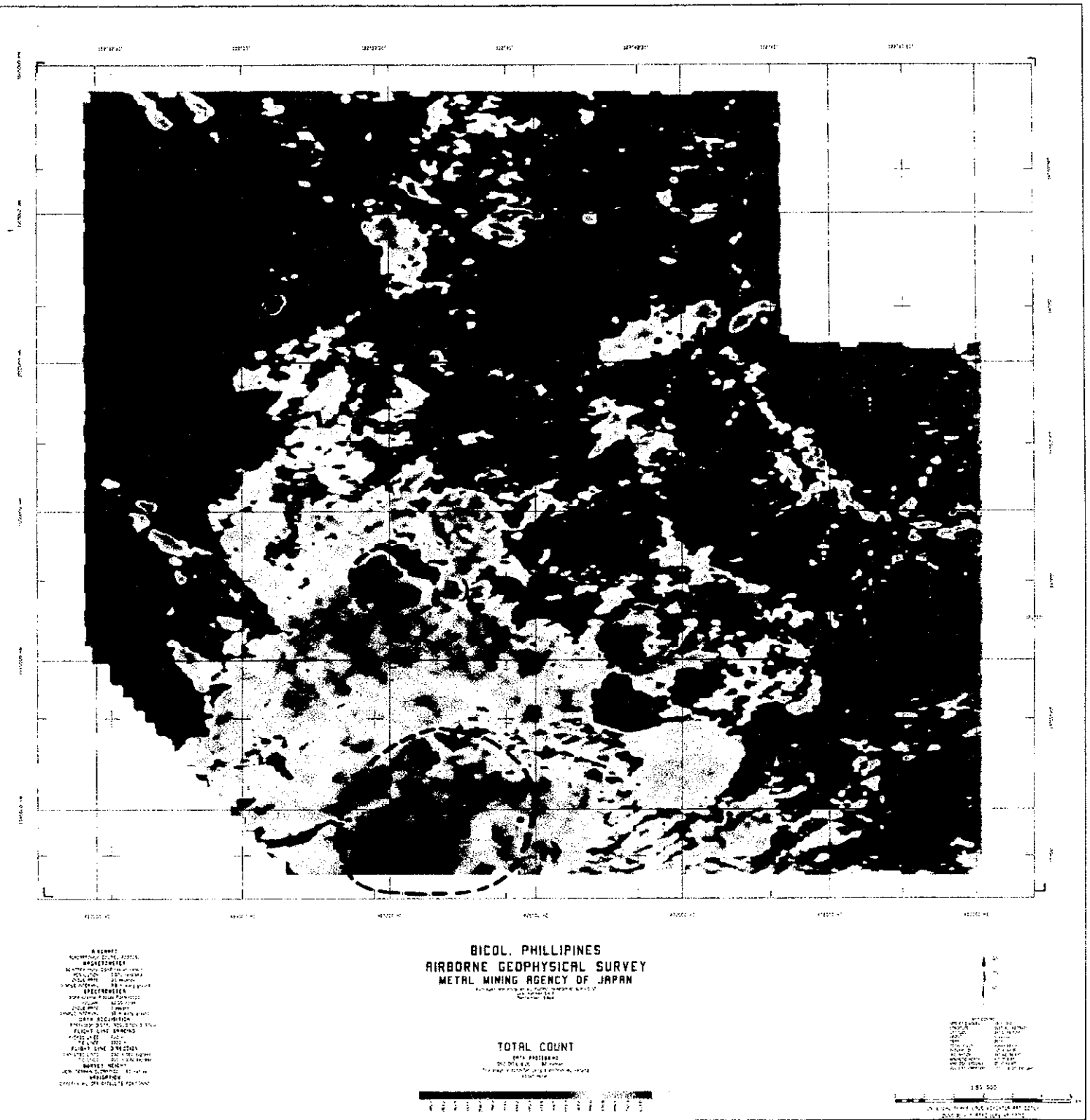


Fig. 6 Radiometric Total Count.



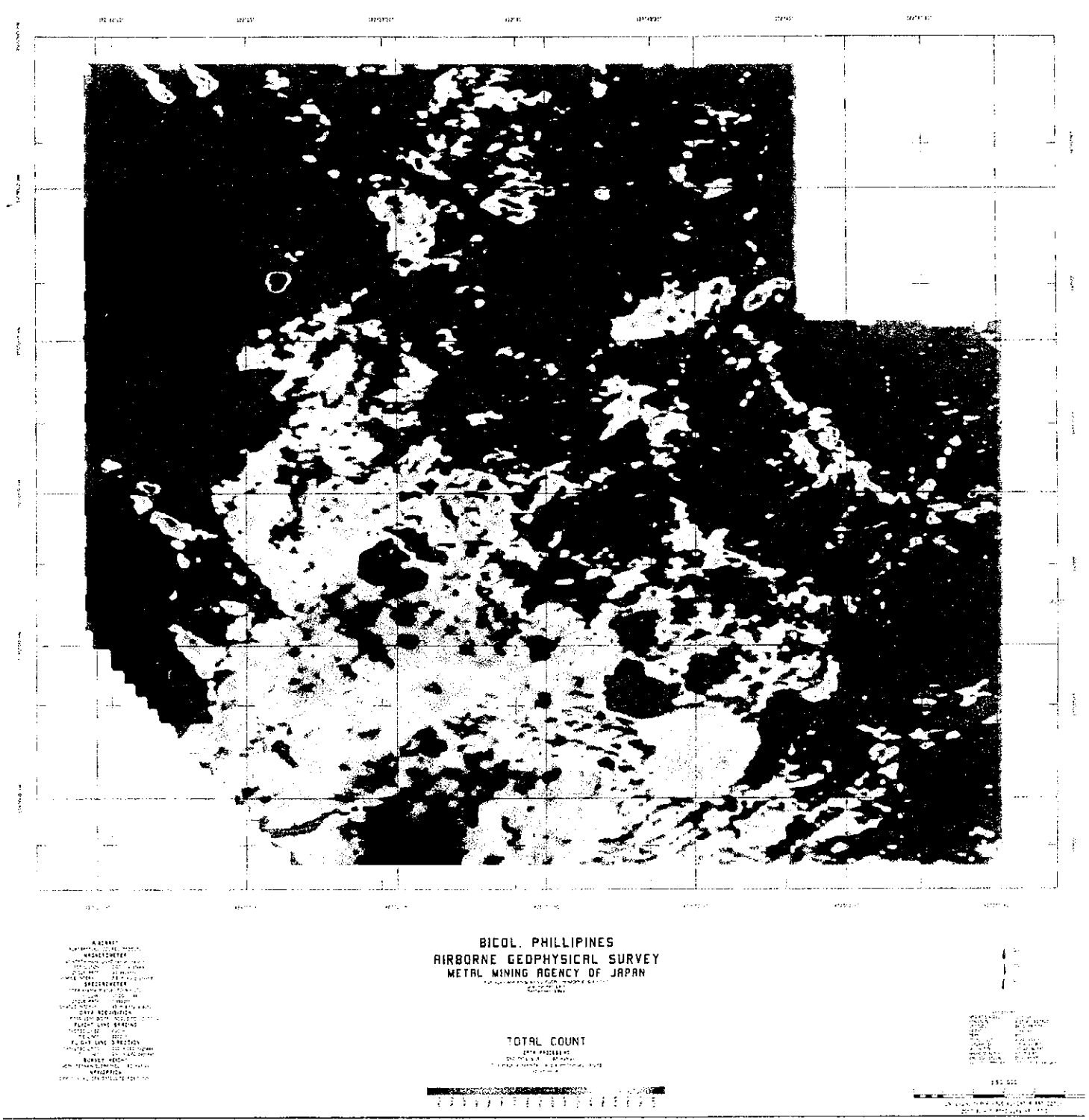


Fig. 6 Radiometric Total Count.

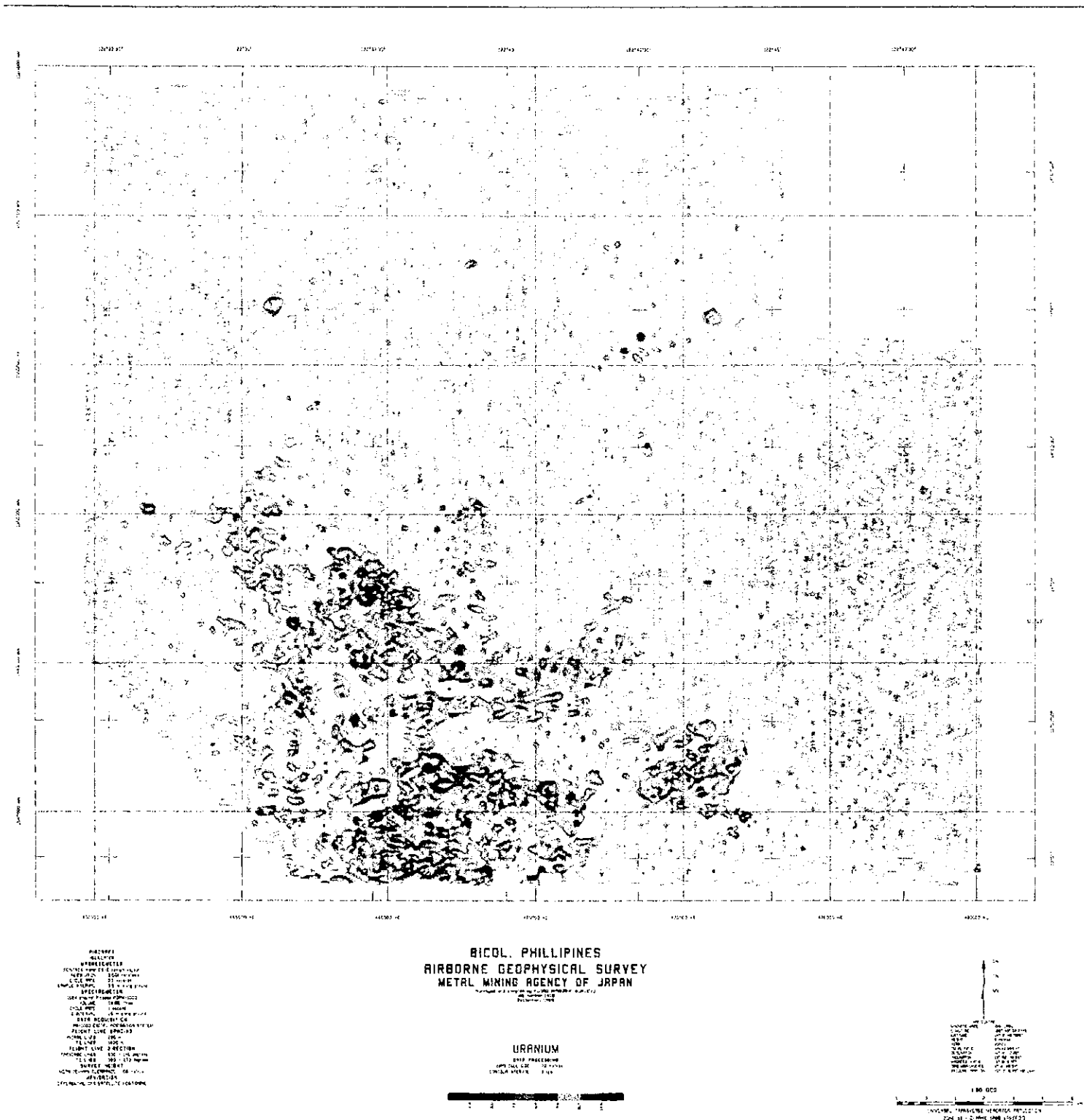


Fig. 7 Radiometric Uranium Counts. Contour Map

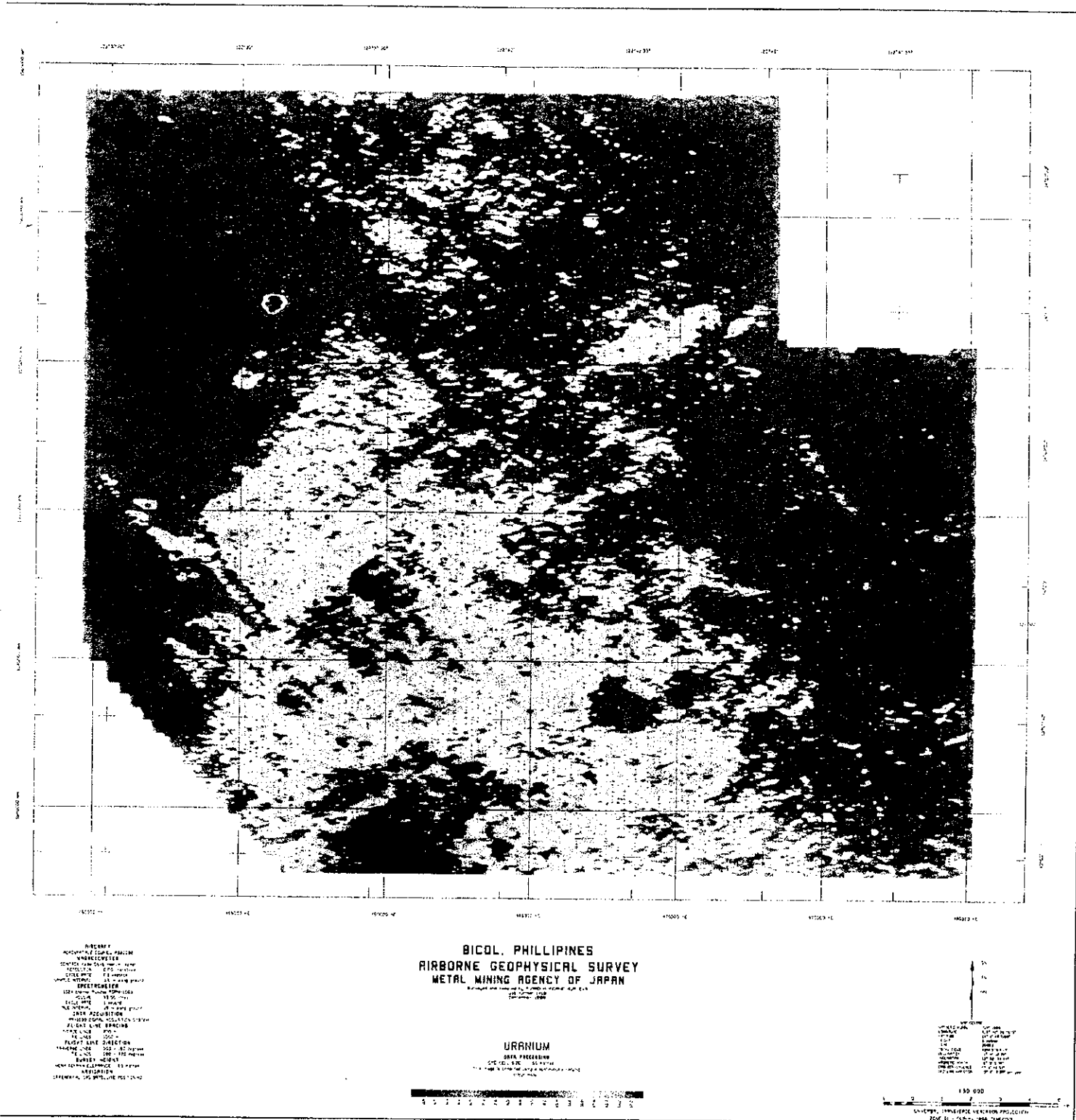


Fig. 8 Radiometric Uranium Counts.

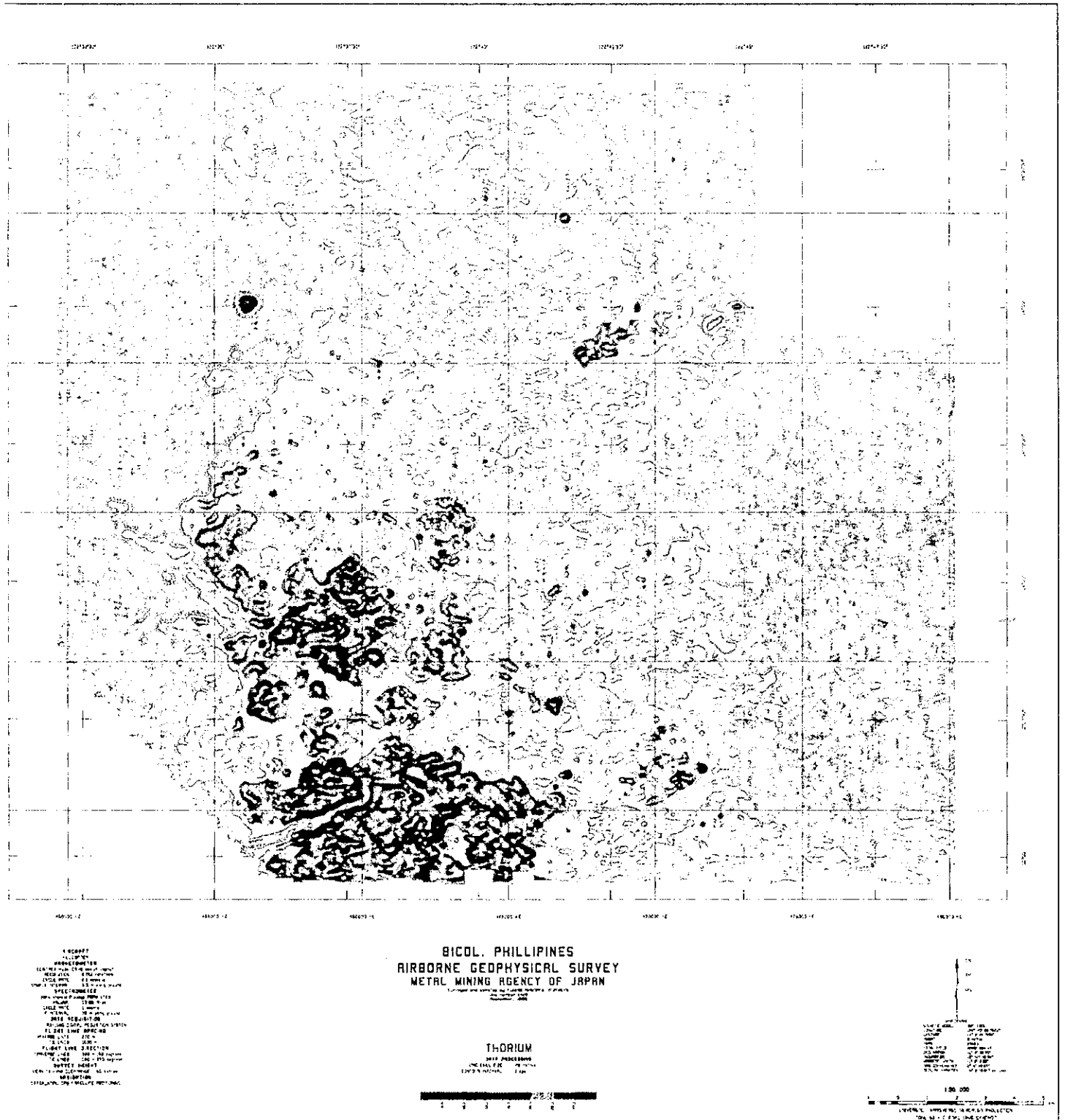


Fig. 9 Radiometric Thorium Counts. Contour Map

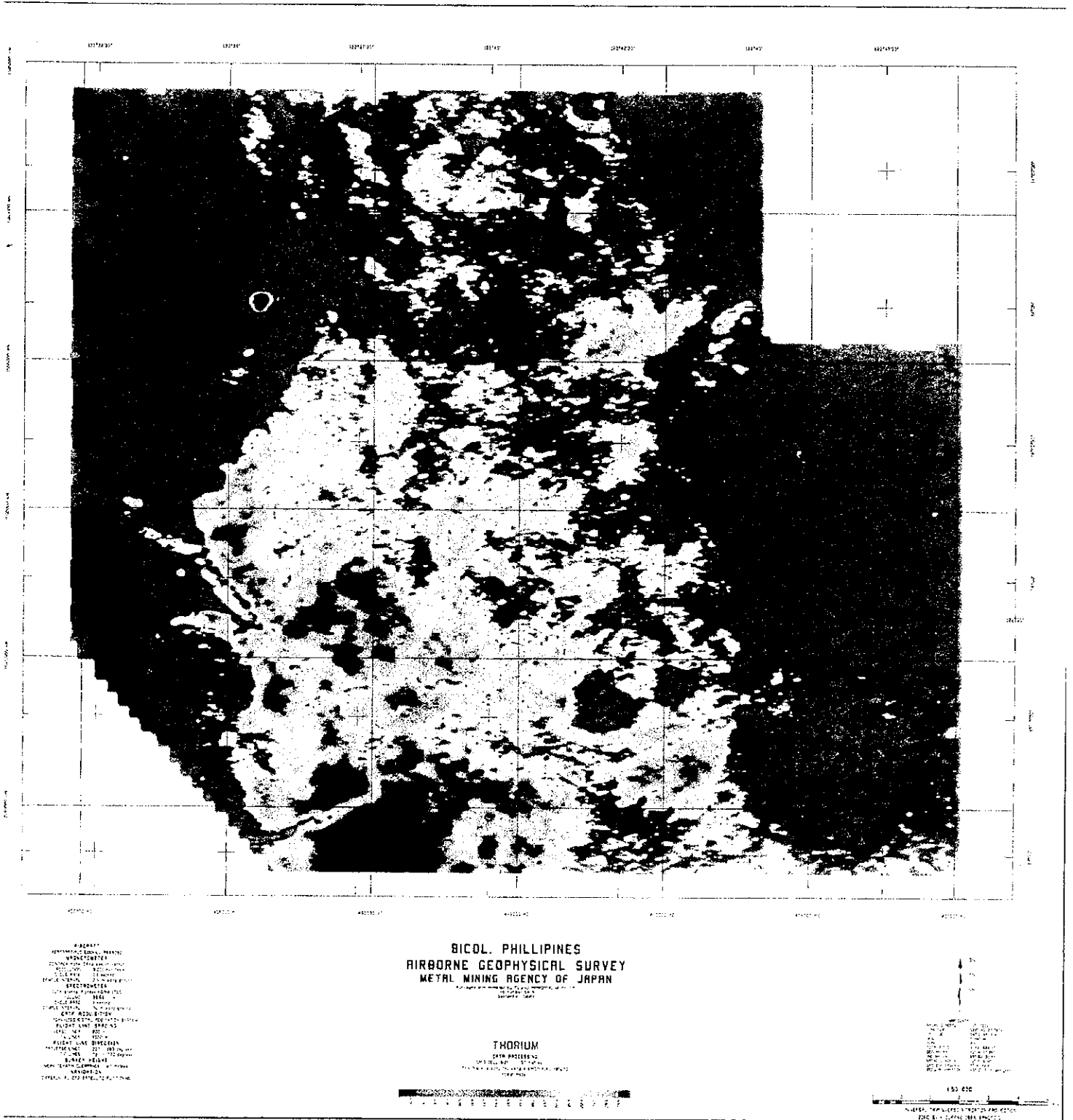


Fig. 10 Radiometric Thorium Counts.

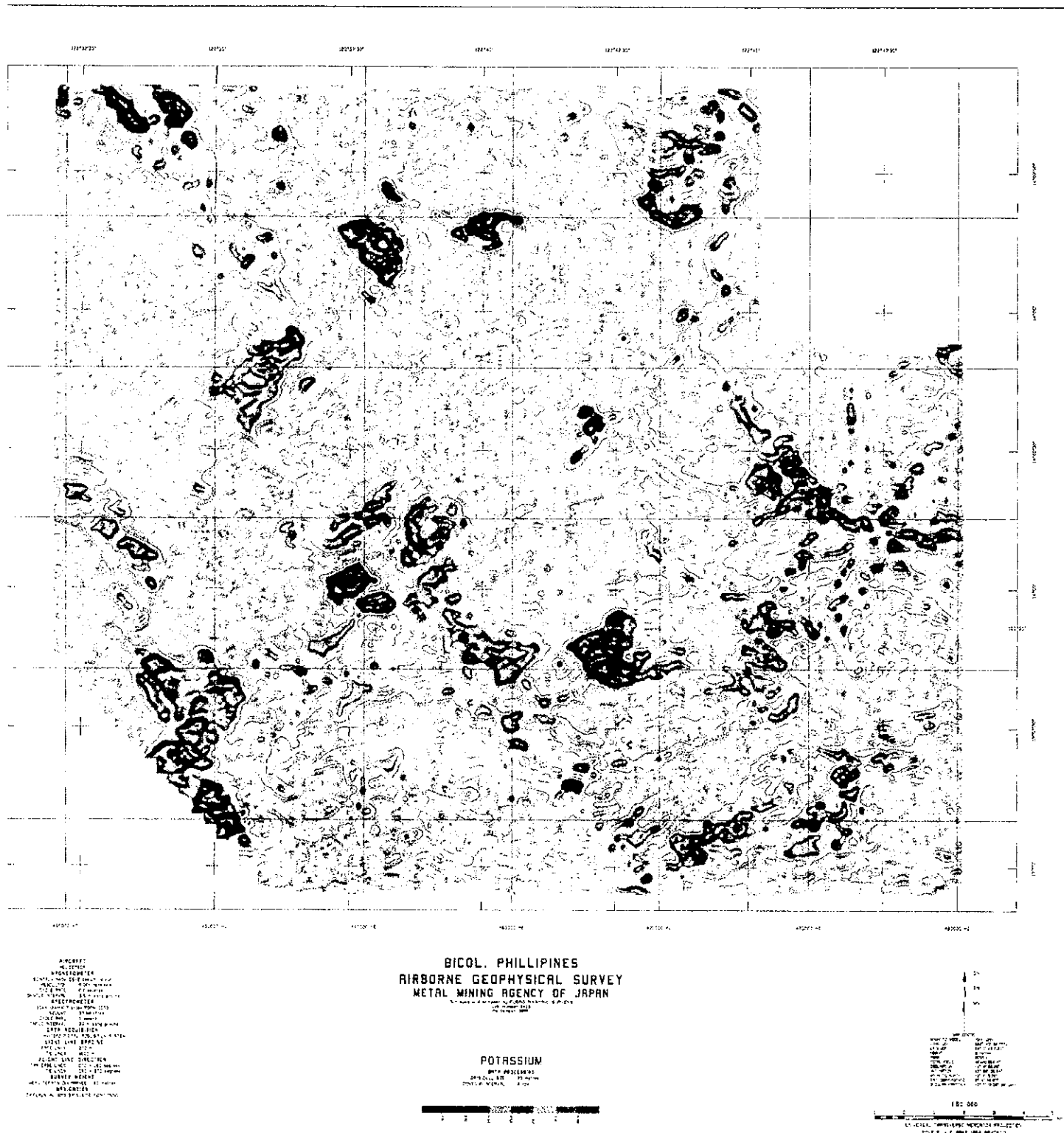


Fig. 11 Radiometric Potassium Counts. Contour Map



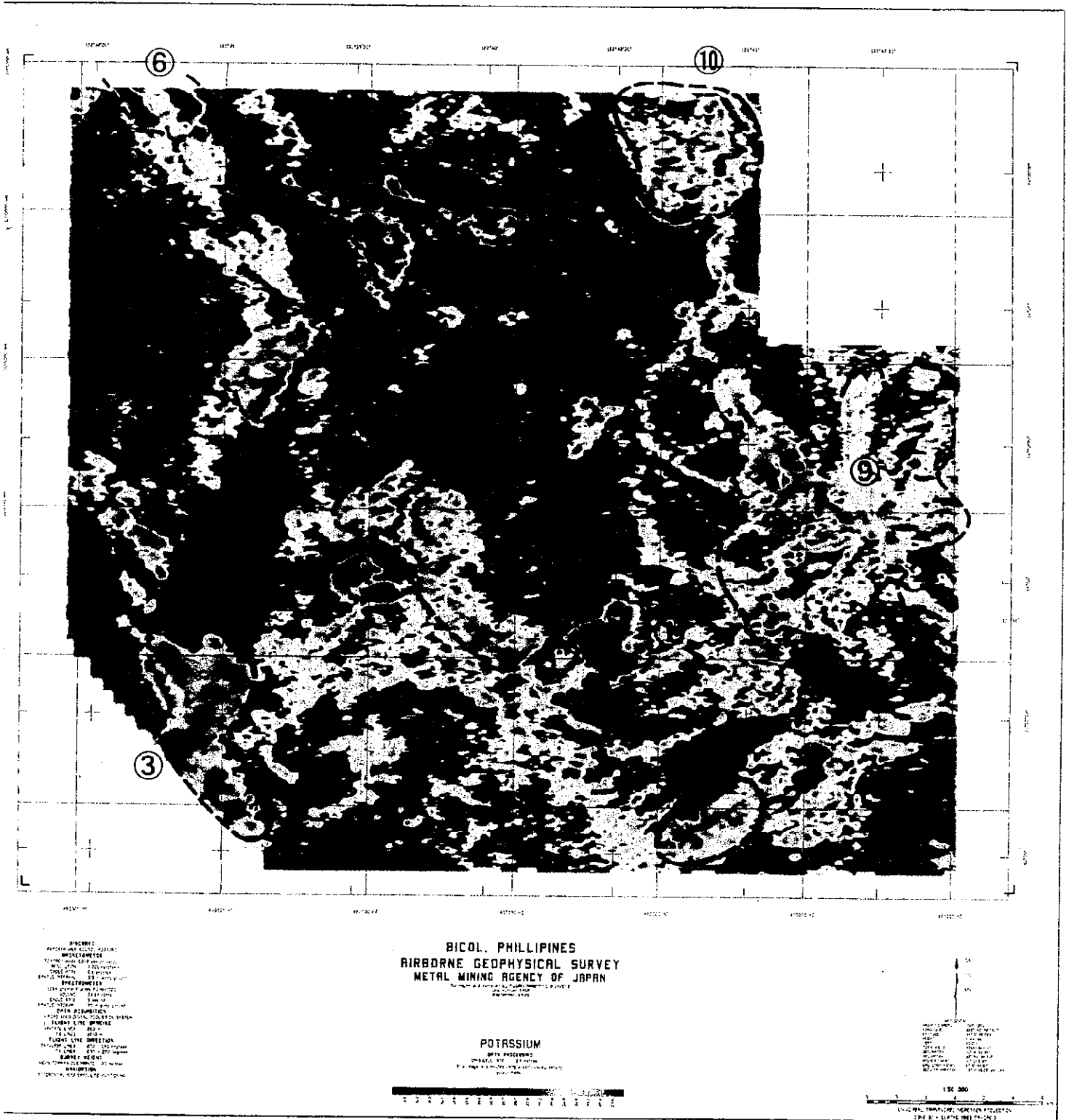


Fig. 12 Radiometric Potassium Counts.



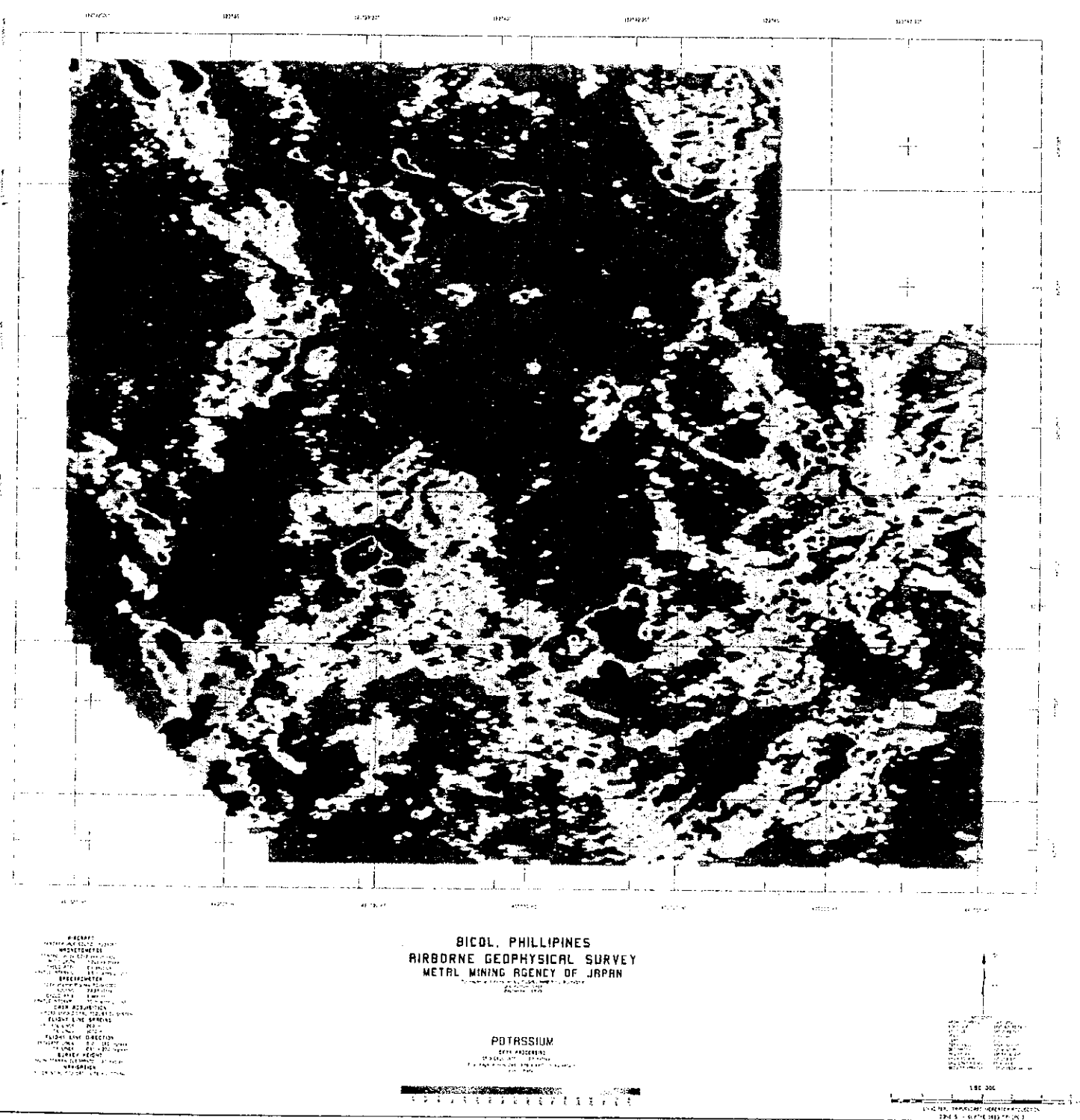


Fig. 12 Radiometric Potassium Counts.

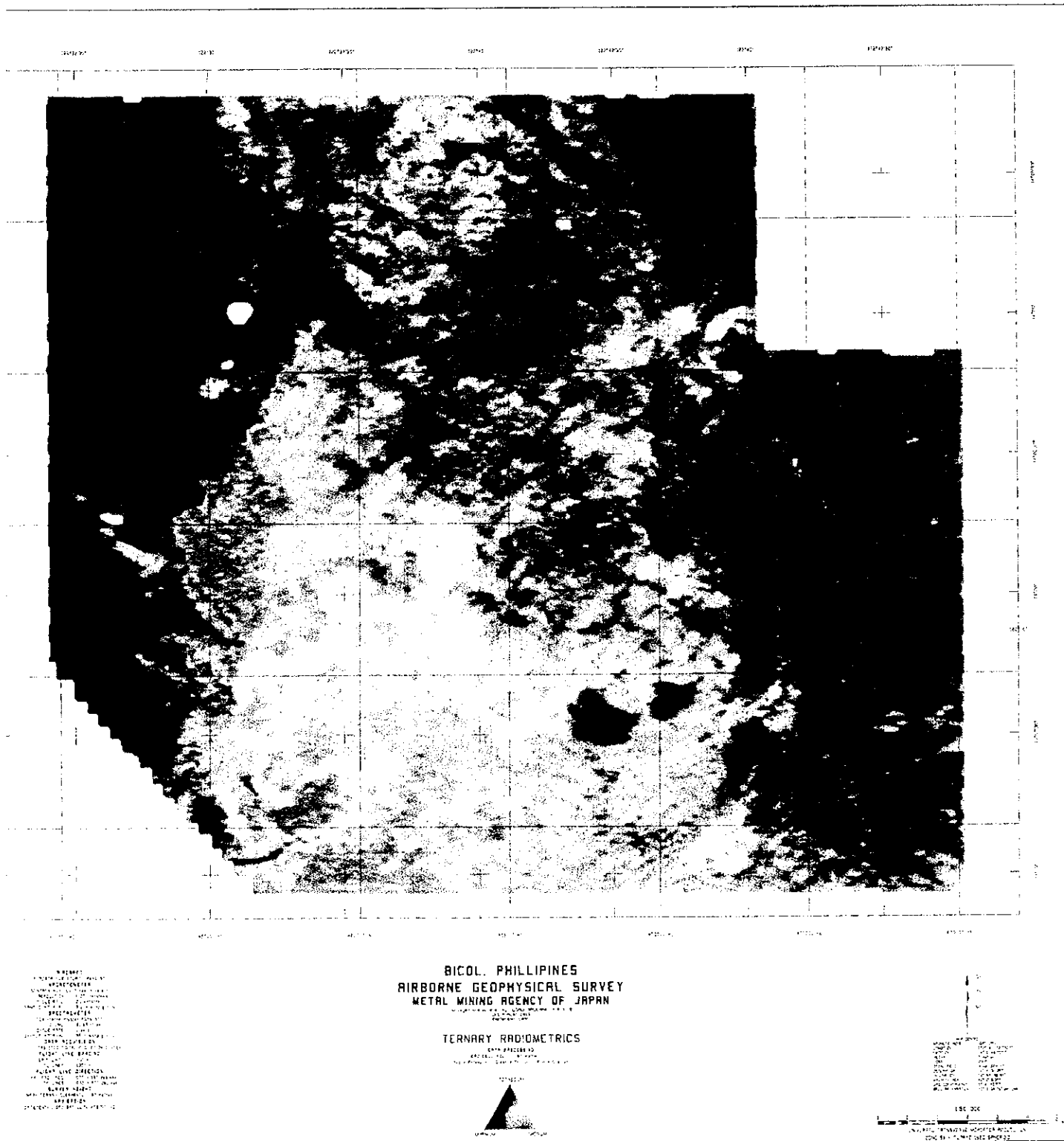


Fig. 13 Radiometric Ternary.



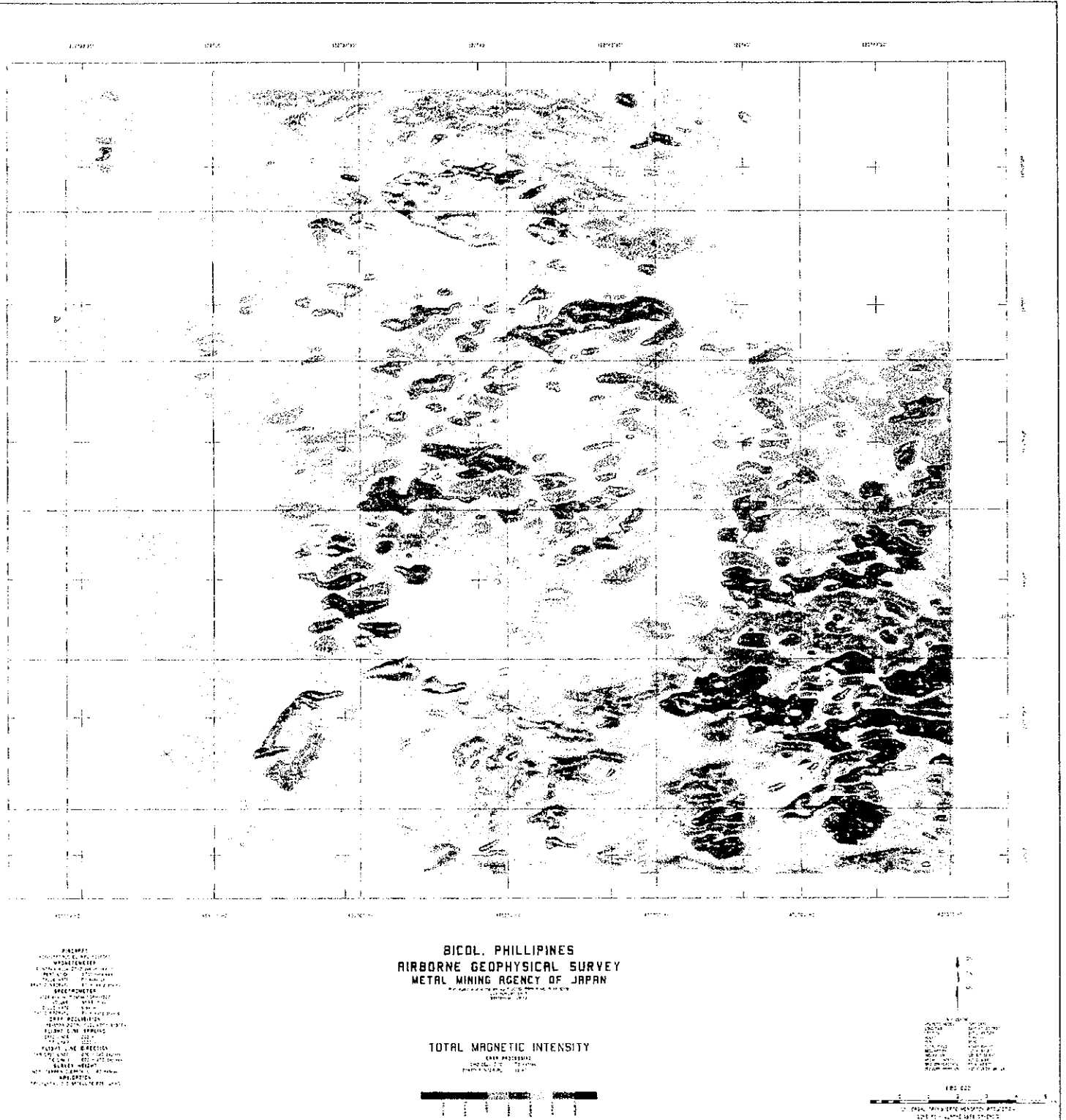


Fig. 15 Total Magnetic Intensity. Contour Map

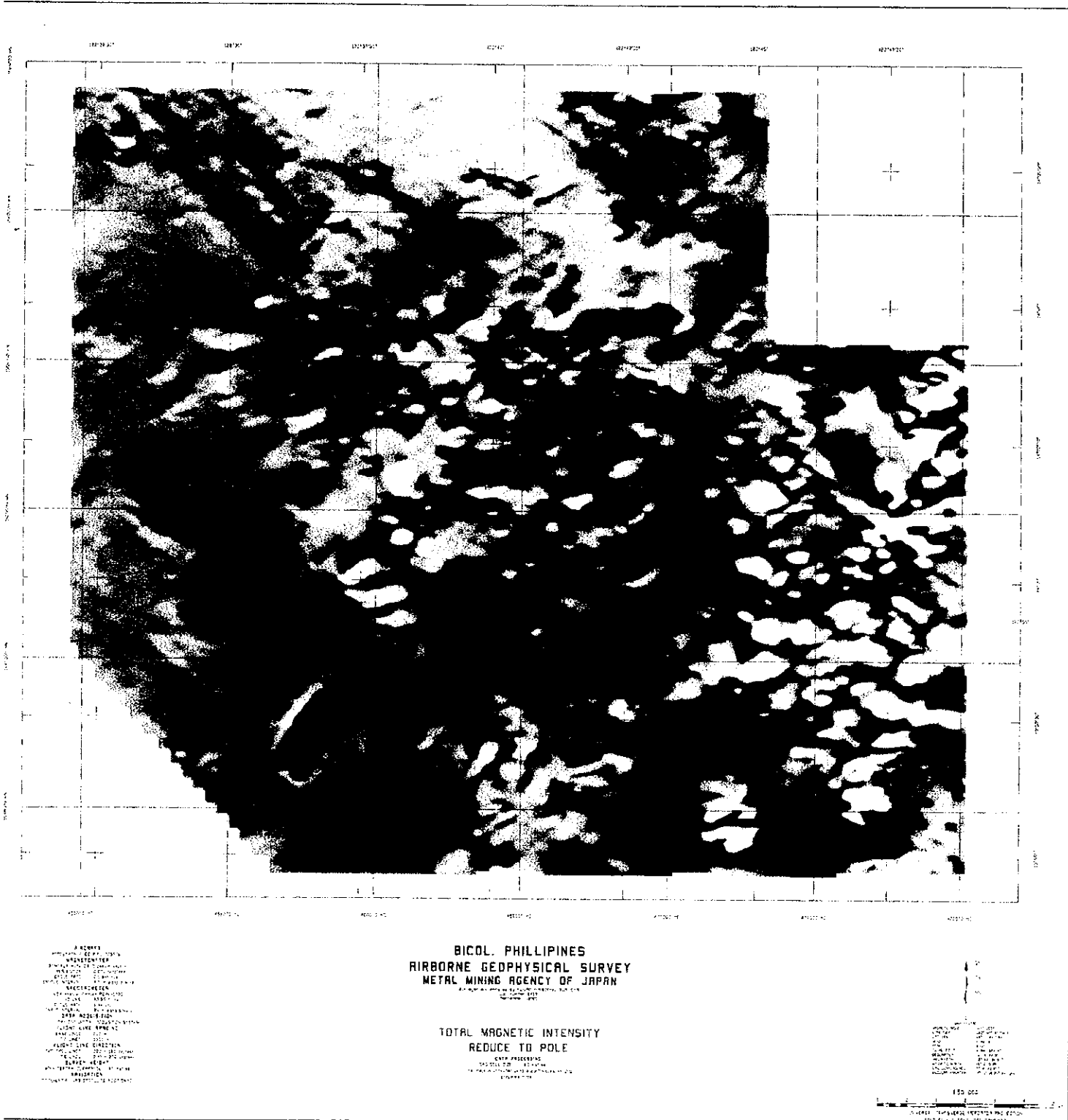
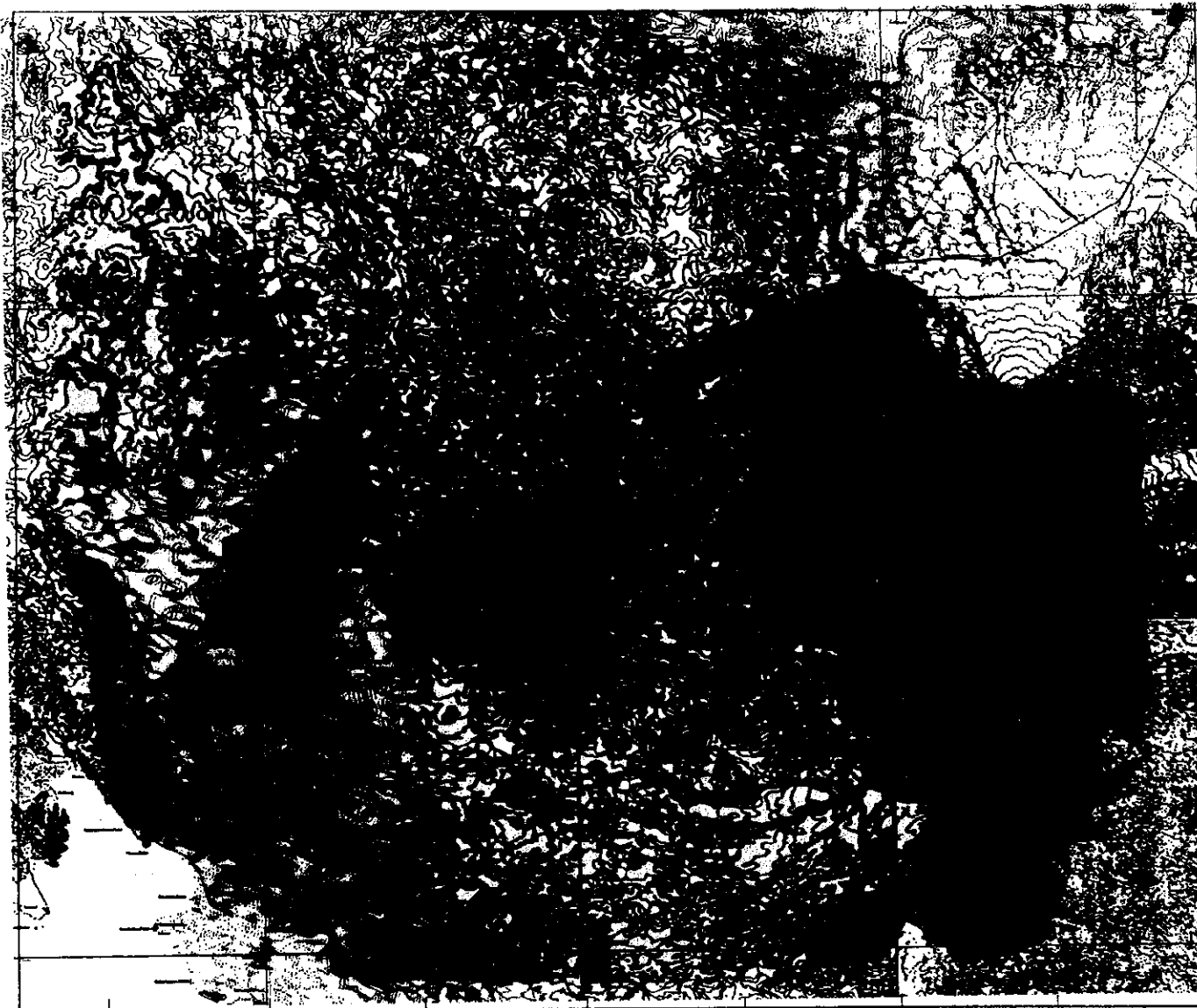





Fig. 16 Tota Magnetic Intensity: Reduced to Pole





0 1 2 3 4 km


- 


A very high total radiometric signature. High magnetic signature. Sub - circular magnetic texture. Possible intrusive center.
- 


A very high total radiometric signature. High magnetic signature. Circular magnetic texture. Possible intrusive center.
- 


High radiometric potassium signature. Moderate radiometric thorium and uranium signature. Magnetic flat regions are partly overlapped. Possibly due to hydrothermal alteration and exposure of rocks.
- 


High to moderate radiometric potassium signature with low radiometric thorium and uranium. High magnetic signature. Possible coincident with Labo Volcanic rocks.
- 

High magnetic signature. Low total radiometric signature.
- 

Moderate radiometric thorium and uranium. Partly moderate radiometric potassium. Magnetic low relief. Partially coincident with Susungdalaga volcanic rocks.
- 

Very high radiometric thorium and uranium signature with low radiometric potassium signature. Magnetic low relief.
- 

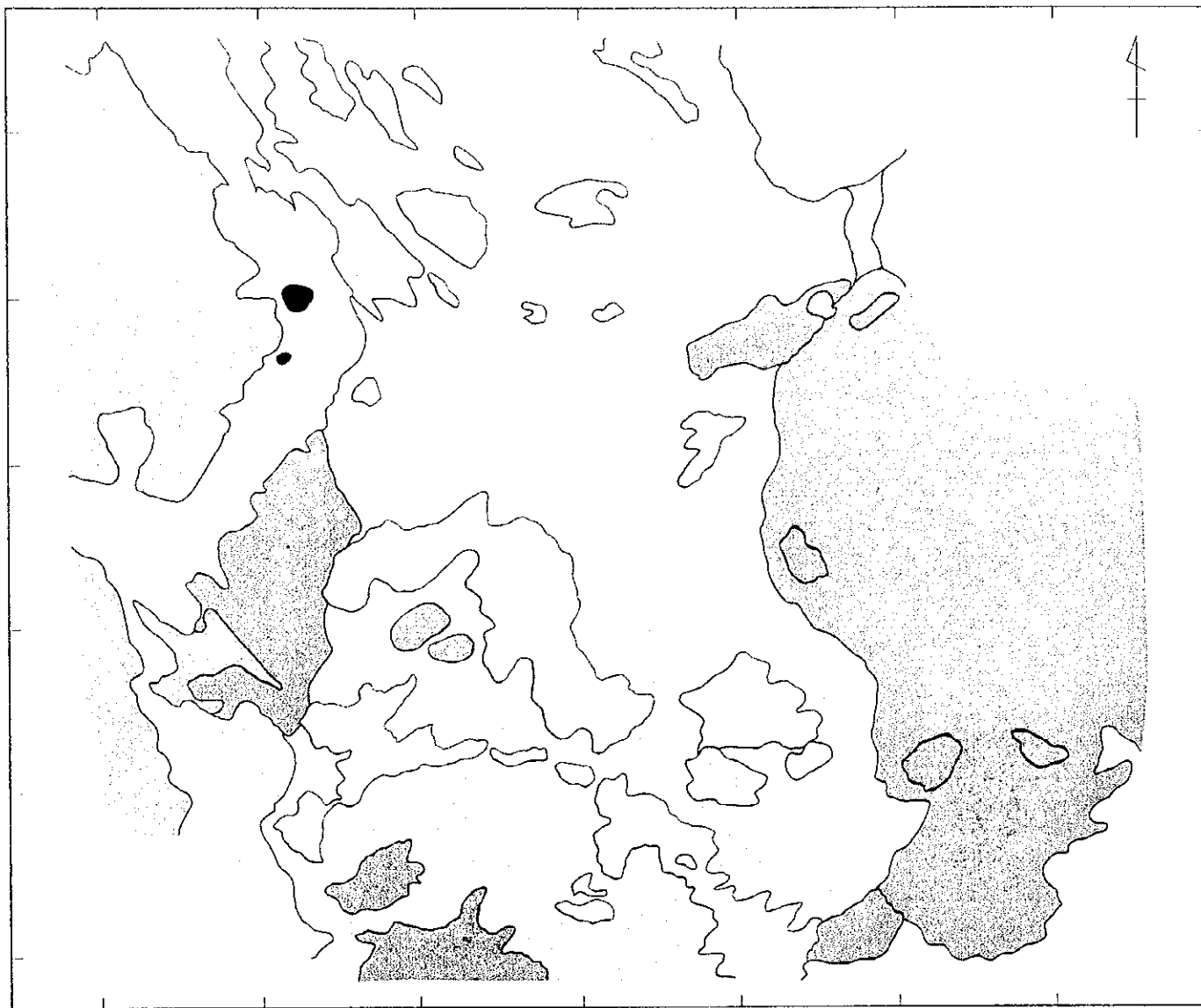
Moderate to high radiometric potassium with low radiometric thorium and uranium signature. Magnetic low relief. Possibly coincident with Late Miocene - Early Pliocene Sedimentary rocks.
- 

Low total radiometric signature. Magnetic low relief.
- 


Very low total radiometric signature. Magnetic low relief.


Fig. 17 Airborne Radiometric and Magnetic Units








0 1 2 3 4 5km


- 



A very high total radiometric signature. High magnetic signature. Sub - circular magnetic texture.  
Possible intrusive center.
- 



A very high total radiometric signature. High magnetic signature. Circular magnetic texture.  
Possible intrusive center.
- 



High radiometric potassium signature. Moderate radiometric thorium and uranium signature.  
Magnetic flat regions are partly overlapped. Possibly due to hydrothermal alteration and exposure of rocks.
- 



High to moderate radiometric potassium signature with low radiometric thorium and uranium.  
High magnetic signature. Possible coincident with Labo Volcanic rocks.
- 


High magnetic signature. Low total radiometric signature.
- 


Moderate radiometric thorium and uranium. Partly moderate radiometric potassium.  
Magnetic low relief. Partially coincident with Susungdalaga volcanic rocks.
- 


Very high radiometric thorium and uranium signature with low radiometric potassium signature.  
Magnetic low relief.
- 


Moderate to high radiometric potassium with low radiometric thorium and uranium signature.  
Magnetic low relief. Possibly coincident with Late Miocene - Early Pliocene Sedimentary rocks.
- 


Low total radiometric signature.  
Magnetic low relief.
- 


Very low total radiometric signature.  
Magnetic low relief.

Fig. 17 Airborne Radiometric and Magnetic Units





## 第5章 結論および提言

### 5-1 結論

1. 放射性3元素（ウラン・トリウム・カリウム）のうち、トリウムは、調査地域の岩相分布パターンを比較的良く表している。
2. ウラン・トリウム・カリウムのカウントの組合せを示す、3成分マップ（は岩相分布、地質体分類に有効である。
3. 幾つかのカリウム高異常域と”magnetic flat region”は熱水変質帯を示している。
4. 既知鉱徴地は、カリウム高異常域と”magnetic flat region”重複域として認識される。またこれらは、磁氣的なリニアメントあるいは地形的リニアメントによってコントロールされているように見える。
5. リニアメントは、WNW-ESE方向のものが卓越し、つぎにNE-SW方向のものが多い。
6. 既知鉱化帯を含む、次の5地区が、特に注意深く探査すべき地域として抽出された。

Nalesbitan Zone

Labo River Zone

Kilbay Zone

Mt. Labo Zone

Tagkawayan Zone

### 5-2 第2年次調査への提言

1. 地質調査を実施し、本地域の地質を明らかにする。広域調査により、Susungdalaga山地を形成する酸性火山岩は、4 Ma前後のK-Ar年代値をもつ前期鮮新世の火山岩類であることが明らかとなっている。しかし、調査地域西部に分布するとされる第三紀の深成岩類については、広域調査では確認できておらず、また今年度実施した空中物理探査においても、その存在を推定できていない。熱水変質帯および鉱化作用が、どの時代のどのような岩石を母岩とするか、鉱化作用に関係する火成岩を明らかにする必要がある。
2. ビコール地域広域調査で指摘されたWNW-ESEおよびNE-SW方向の主要な断層（JICA/MMAJ, 1999）は、今回の空中物理探査でも認識された。JICA/MMAJ（1999）は、WNW系断層は左横ずれであり、Legaspi Lineament（例えば、Aurelio et al., 1997）形成と同時期に形成されたものであり、中央帯鉱床生成区では、同系の断層が熱水の通路として有望であると指摘している。このような観点から、地質調査に先立ち、空中写真や衛星画像を用いて予察的な構造解析を行うことが重要と考えられる。これは、本地域の地質構造と既知の鉱化作用との関係の理解を深めるだけでなく、地形図だけ

の解析では十分に把握できなかった構造を認識できる可能性がある。

3. 地質調査と同時に、変質帯分布およびそれぞれの変質帯の特徴を明らかにする。特に空中物理探査でその分布が推定された地区の踏査を実施する。変質帯の調査では、経済的に現場において変質帯の特徴を把握するため、POSAMを使用することも一案である。
4. 岩石、沢砂、および重鉱物を用いた地化学探査も有効と考えられる。重鉱物は、その鉱物種、量比、分布パターンも調査することが望ましい。
5. 前述の5つの有望地区については、それぞれ次の点に注意し調査する必要がある。

<Nalesbitan Zone >

これは Tuba 地区も含む。Nalesbitan の東約 4km のカリウム高異常域周辺および Nalesbitan の南東側は、特に変質帯の有無を確認する必要がある。

<Labo River Zone>

Labo River 上流の Kilbay Zone に至る地区。特に中流域のカリウム高異常域周辺に注意を払う必要がある。

<Kilbay Zone>

本地区は、鉱物資源広域調査で WNW - ESE 方向に約 10km 程連続することが明らかとなっている (JICA/MMAJ, 1999)。また、放射性 3 元素の高異常域が貫入岩体であるか否かの確認、およびそれと熱水変質作用との関係を明らかにする必要がある。

<Mt. Labo Zone>

Labo 山の南側裾野には、Labo 山デイサイトの下部に、より古い火山岩類が露出している可能性があり、そこに鉱化・変質帯が分布する可能性もあるので、これを確認する。

<Tagakawayan Zone>

本地区は、カリウム高異常域と、"magnetic flat region" が重複する箇所は少ないが、Tagakawayan の北および北西部には、より古い地層が分布し、Mapulot に見られる中熱水鉱化作用が存在する可能性がある。

## 参考文献

- Allis, R. G., (1990): Geophysical anomalies over epithermal systems. *Journal of Geochemical Exploration*, 36, p339-374.
- Angeles, C. A. Jr., Antioquia, E. C. and Comia, G. M. (1987): Geology and alteration-mineralization characteristics of the Nalesbitan gold deposit, Camarines Norte, Philippines. *Proceeding Gold ' 87 in the Philippine Setting*, v. 1, p65-80.
- Arribas, A., Jr., Hedenquist, J. W., Itaya, T., Okada, T., Concepcion, R. A., and Garcia, J. S., Jr., (1995): Contemporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu-Au deposits over 300 ka in northern Luzon, Philippines. *Geology*, v. 23, p. 337-340.
- Aurelio, M. A., Barrier, E., Gaulon, R., & Rangin, C., (1997): Deformation and stress states along the central segment of the Philippine Fault: implications to wrench fault tectonics. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Vol. 15, No. 2/3, p107-119.
- Aurelio, M. A., Barrier, E., Rangin, C., & Muller, C., (1991): The Philippine Fault in the Late Cenozoic tectonic evolution of the Bondoc-Masbate-N. Leyte area, Central Philippines. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Vol. 6, No. 3/4, p221-238.
- Aurelio, M. A., Huchon, P., Barrier, E., & Gaulon, R., (1997): Displacement rates along the Philippine Fault estimated from slip-vectors and regional kinematics. *Journal of the Geological Society of the Philippines*, Vol. XLIX, No. 2, p65-77.
- Bureau of Mines (1963) Geological Map Series, Bureau of Mines, Dept. of Agriculture and Resources, Manila, Philippines.
- Bureau of Mines and Geosciences (1982): Geology and mineral resources of the Philippines, Vol 1, Geology, pp406, Bureau of Mines and Geo-Science, Ministry Nat. Resources, Manila, Philippines.
- Bureau of Mines and Geosciences (1986): Geology and mineral resources of the Philippines, Vol 2, Mineral Resources, pp446, Bureau of Mines and Geo-Science, Ministry Nat. Resources, Manila, Philippines.
- Bureau of Mines and Geosciences (??): Mineral potential of the Bicol Region, Bureau of Mines and Geo-Sciences, Ministry Nat. Resources, Manila, Philippines.

- Caleon, P. C. (1970): Report on the geological investigation of the copper-lead prospect at Barrio Parang, Paracale, Camarines Norte. Bureau of Mines and Geo-Sciences internal report.
- Caloen, P. C. (1971): Geological investigation and verification of six (6) lode mining claims applied for lease by Mrs. Teresita D. Ong. in Bo. Patag-Belen, Camarines Sur. Bureau of Mines and Geo-Sciences internal report.
- Los Banos, C. F. and Olivar, R. Enrico R. (1997): Regional Gravity, Microgravity and Precise Leveling Surveys of Bacon Manito Geothermal Production Field, Southern Luzon, Philippines, PNOC-EDC Internal Report.
- Clark, A. L. (1997): Mineral Prospectivity of the Philippines. Mining Philippines '97,
- Corbett, G., & Leach, T. M., (1995): Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Exploration workshop manual, p.162.
- David S. D. Jr., Stephan, J. F., Delteil, J., Bellon, H., and Sajona, F. G. (1996) Geology, Geochemistry, Geochronology and Structures of the Ophiolites in Southeastern Luzon, Philippines. Jour. Geol. Soc. Phil., v. LI, p.115-129.
- Geary, E. E., Harrison, T. and Heizler, M. (1988): Diverse ages and origins of basement complexes, Luzon, Philippines. Geology v.16, p.341-344.
- Giese, U., Knittel, U., and Kramm, U., (1986): The Paracale Intrusion: geologic setting and petrogenesis of a trondhjemite intrusion in the Philippine Island Arc. J. Southeast Asian Earth Sci., v.1, p.235-245.
- Fernandez, J. C., (1984): Geological map of Bayabas quadrangle 1: 50,000., Philippine Bureau of Mines and Geosciences, Geological Survey Division.
- Hedenquist, W. J., Arrivas, A., Jr., and Reynolds, T. J., (1998): Evolution of an Intrusion-Centered Hydrothermal System: Far Southeast - Lepanto Porphyry and Epithermal Cu-Au Deposits, Philippines. Economic Geology, v. 93, p. 373-404.
- Irvine, R. J. and Smith, M. J., (1990): Geophysical exploration for epithermal gold deposits. In: J. W. Hedenquist, N. C. White and G. Siddeley (Editors), Epithermal Gold Mineralization of the Circum-Pacific: Geology, Geochemistry, Origin and Exploration, II. J. Geochem. Explor., v.36, p.375-412.
- JICA-MMAJ-JMEC (1998): Report on the Mineral exploration in the Bicol Area, the Republic of the Philippines, Phase I. pp.355.
- JICA-MMAJ (1999): Report on Regional Survey for Mineral Resources in the Bicol Area, the Republic of the Philippines, Final Report. pp.286.

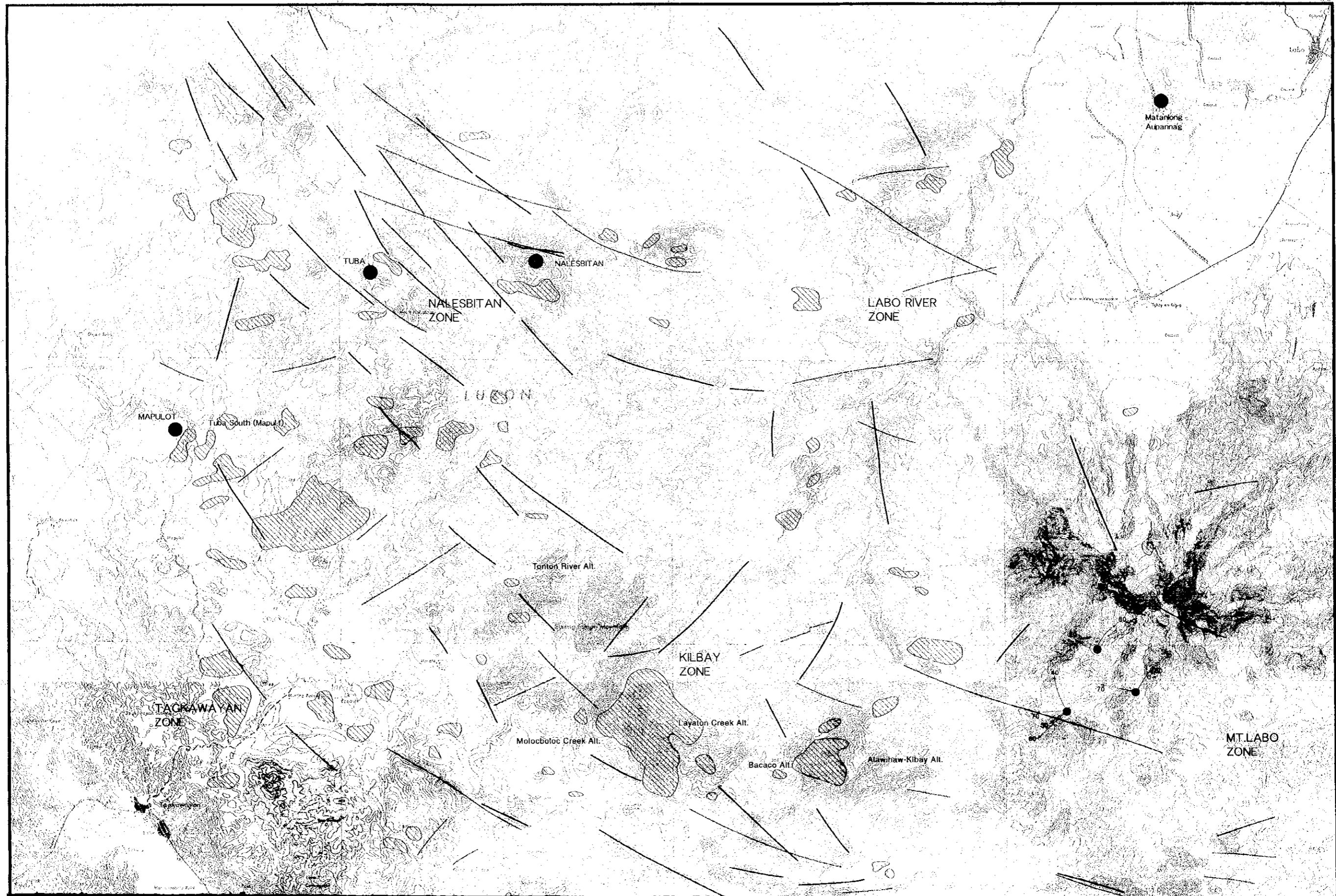
- LGD GOP Editorial Team (1996): Geological and Mineral Resources of the Philippines, volume I (First Draft).
- Los Banos, C. F., Layugan, D. B., Maneja, F. C., Apuada, N. A., and Delfin, F. G., (1996): Geophysical Model of Mt. Labo Geothermal Field, Southeastern Luzon, Philippines. Geothermal Resources Council Transactions, v. 20, p. 689-696.
- MacLennan, R. and Acenas, M. (1997): Nalesbitan gold project - Camarines Norte. In MINING PILIPPINES ' 97.
- Metal Mining Agency of Japan (1997): The Environment of development for mineral resource in the Philippines. (in Japanese), pp225, Metal Mining Agency of Japan.
- Mitchell, A. H. G and Balce, G. R. (1990): Geological features of some epithermal gold systems. Jour. Geochem. Explor., v. 35, p241-296
- Mitchell, A. H. G and Leach, T. M. (1991): Epithermal gold in the Philippines : Island arc metallogenesis, geothermal systems and geology, Academic Press Geology Series, 457pp, Academic Press, London
- Miranda, F. E. and Caleon, P. C. (1979): Geology and mineral resources of Camarines Norte and parts of Quezon Province: Philippine Bureau of Mines Report of Investigation no. 94.
- Narido, V. P. (1996): Mineral Prospects in Camarines Norte: Ranking System, Paper presented during the Mining Summit held at Wiltan Hotel, Daet, Camarines Norte on December 9, 1996
- Rangin, C. (1991): The Philippine Mobile Belt: a complex plate boundary. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, v. 6, p. 209-220.
- Rosell, C. C. and Salonga, N. D. (1995): Mt. Labo Geothermal Project Resources Assesment Update (Draft Report), PNOC Energy Development Corporation. pp. 145.
- Reyes, T. A. and Balce, G. R. (1970): Geological and geochemical investigation of copper prospects in the Nabua Forest Reserve, Camarines Sur. Bureau of Mines and Geo-Sciences internal report.
- Sillitoe, R. H., (1992): Geotectonic setting of western Pacific gold deposits, in Bartholomew, M. J., Hyndman, D., Mogok, D. W., & Mason, R., eds., Basement Tectonics 8: Characterisations and comparison of ancient and Mesozoic continental margins, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. P 665-678.
- Sillitoe, R. H. (1993): Epithermal Models: Genetic Types, Geometrical Controls and



- Shallow Features, In Kirkham, R. V., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I. and Duke, J. M. (eds.) "Mineral Deposit Modeling" GAC Special Paper 40. p.403-417.
- Sillitoe, R. H. (1995): The influence of magmatic - hydrothermal models on exploration strategies for volcano-plutonic arcs. In: Thompson, J. F. H. (ed.) Magmas, Fluids and Ore Deposits. Mineralogical Association of Canada Short Course. v. 23, p. 263-289.
- Sillitoe, R. H., and Bonham, H. F. JR., (1984): Volcanic landforms and Ore deposits. Economic Geology, Vol. 79, p1286-1298.
- Sillitoe, R. H., Angeles, C. A. Jr., Comia, G. M., Antiquia, E. C. and Abeya, R. B. (1990): An acid -sulphate-type lode gold deposit at Nalesbitan, Luzon, Philippines. Jour. Geochem. Explor., v.35, p387-411.
- Sillitoe, R. H., and Gappe, I. M., Jr., (1984): Philippine porphyry copper deposits: Geologic setting and characteristics: Bangkok, United Nations ESCAP, CCOP Technical Publication 14, 89p.
- United Nations (1987): Geology and mineralization in the Panganiban-Tabas and Bulala areas, Camarines Norte. Technical Report No.1, DP/UN/PHI-85-001/1, United Nations Development Program, New York, pp43.
- Zaide-Delfin, M. C., Gerona, P. P., Layugan, D. B., Maturgo, O. O., Padua, D. O., Panem, C. C., Rosell, C. C., and Salonga, N. D. (1995): Mt. Labo geothermal project resource assesment update (draft report), PNOG Energy Development Corporation. pp. 145.



# Bicol North Area, Republic of Philippines





Appendix 1 Preliminary aeromagnetic and radiometric interpretation map





JICA