

フィリピン共和国 ビコール地域  
資源開発協力基礎調査報告書

第1年次

平成10年3月

国際協力事業団  
金属鉱業事業団



1143263(0)

## 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、同国のルソン島東南部ビコール半島のカマリネスノルテ州、カマリネススール州、アルバイ州、ソルソゴン州を含むビコール地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため衛星画像解析、地質調査、空中物理探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9年度が第1年次にあたり、金属鉱業事業団は4名の調査団を編成して平成9年7月14日から平成9年8月29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10年3月

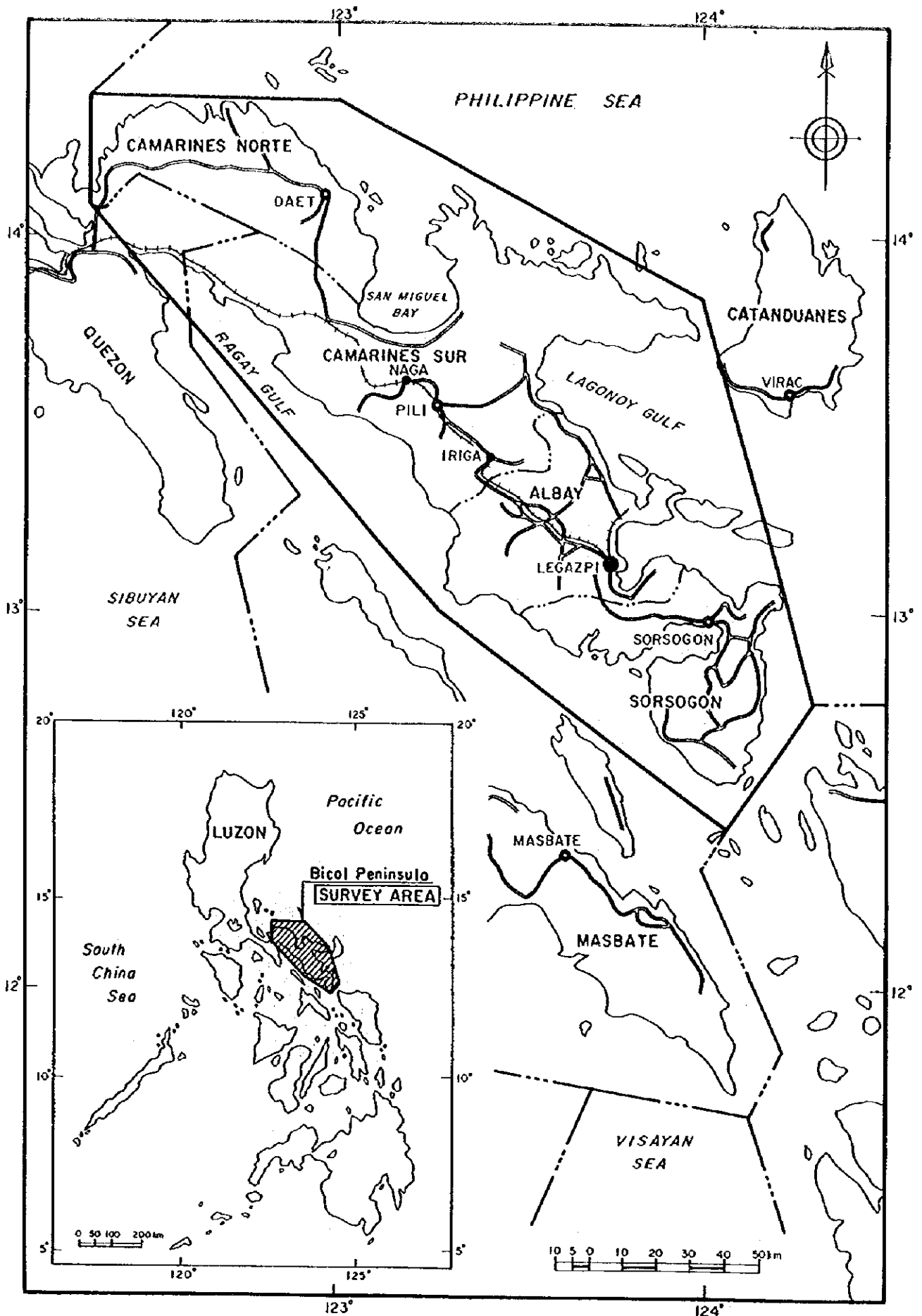
国際協力事業団  
総裁 藤田公郎

金属鉱業事業団  
理事長 桧山博昭

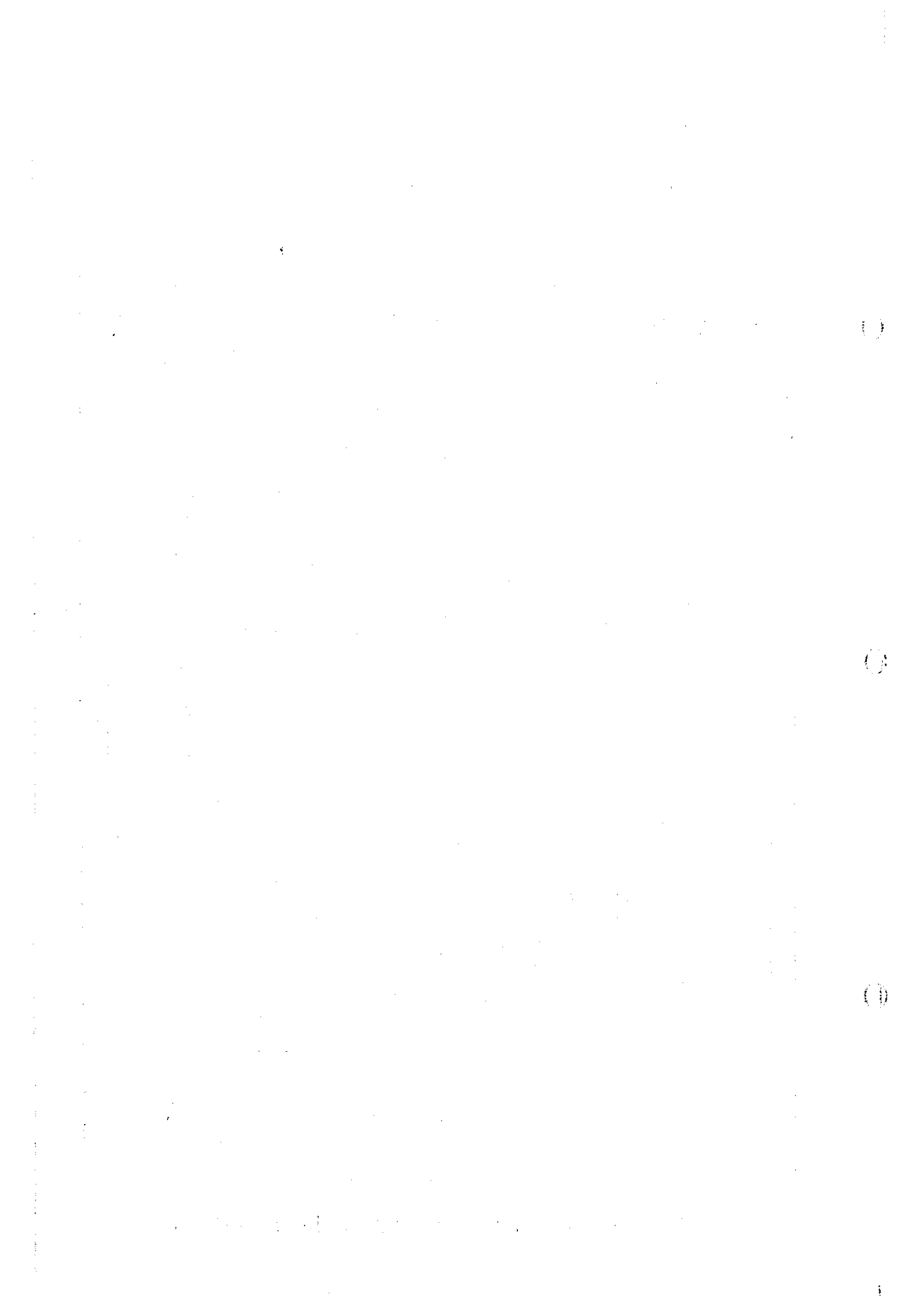
1)

0

0



Location map of the Survey Area



## 要 約

本調査は、フィリピン政府と日本政府との間で平成 9 年 5 月 30 日に締結された調査実施実務協定書 (I/A; Implementing Agreement) に基づき、同国ルソン島の南東に位置し、北西-南東方向に伸長したピコール半島を占めるピコール地域において、金属鉱物資源を対象とし、将来政府間ベースでの調査への発展性、あるいは民間企業の新たな調査への参入の可能性を考慮した有望地域抽出を目的として 2 ヶ年で実施するものである。

第 1 年次に当たる今年度は、既存データ解析、衛星画像解析、グラントルース調査、空中物理探査を実施した。既存データ解析によって、本地域の地質を理解し、本地域の鉱床・鉱徴地および変質帯の分布・特徴を把握し、有望地抽出作業の基礎データを作成した。

ピコール地域は、その伸長方向にほぼ平行して、北東帯、中央帯および南西帯の 3 帯に区分することができる。北東帯および南西帯には、白亜紀の基盤岩類が分布し、これに第三紀の閃緑岩岩体が貫入する。南西帯にはさらに第三紀後期の堆積岩類が基盤岩を覆って分布する。中央帯には、鮮新世～現世の若い火山岩類が分布する。各帯には、地質を反映し、次のような鉱徴、変質帯が分布する。北東帯には、ポーフィリー型、スカルン型、mesothermal 型、火山性塊状硫化物鉱床および鉱徴地が分布する。南西帯にはスカルン型の鉱徴が分布する。中央帯には、浅熱水性金鉱床および鉱徴が認められる。

衛星画像解析では、地質単元区分とリニアメント解析から、リニアメント密度が高く、リニアメントが交差する地域が、鉱床賦存の可能性が高い地域として抽出された。

以上のデータに基づき、鉱区設定状況、アクセスおよび治安も考慮して、24 地域を選定しグラントルース調査を行った。グラントルース調査の結果、12 地域が有望地域として選定された。室内試験データを合わせ、解析した結果、つぎの 8 地域が第 2 年次調査対象地域として選定された。すなわち、北東帯では、Larap-Exiban 地域、Mt. Bagacay 地域、および Caramoan 半島東部地域である。南西帯では、Tuba 地域、中央帯では、Tiwi-Mt. Malinao 北西部地域、Bacon-Manito 西部地域、Gate Mountains 地域、および Kilbay 地域である。

0

0

0



## 目 次

はしがき	
調査地域位置図	
要 約	
目 次	
図表一覧	

### 第1部 総 論

第1章 調査概要	1
1-1 調査の目的	1
1-2 調査実施の経緯	1
1-3 調査地域	3
1-4 調査方法	3
1-5 調査団の編成	5
1-6 調査期間および調査量	7
第2章 調査地域の地理	9
2-1 位置・交通	9
2-2 地形	9
2-3 水系	11
2-4 気候	12
2-5 植生	14
第3章 調査地域の地質・鉱床および鉱業事情	15
3-1 ビコール地域の地質概要	15
3-1-1 ビコール地域の堆積岩および火山岩類	15
3-1-2 ビコール地域の貫入岩類	34
3-2 ビコール地域の鉱床・鉱徴地	39
3-3 フィリピンの最近の鉱業事情	55
3-3-1 鉱業	55
3-3-2 鉱業の歴史	57
3-3-3 探鉱・開発動向	57
3-3-4 鉱業法および鉱区	59
第4章 調査結果の概要	64

4-1 既存データ解析	64
4-2 衛星画像解析	64
4-3 グラントルース	64
4-4 地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制	65
4-5 有望地域の選定	66
第5章 結論および提言	68
5-1 結論	68
5-2 第2年次調査への提言	68

## 第II部 各 論

第1章 既存データ解析	71
1-1 調査対象機関および既存資料の概要	71
1-2 収集された文献の種類及び内訳	71
第2章 衛星画像解析	76
2-1 画像処理・作成	76
2-1-1 目的および方法	76
2-1-2 使用データ	76
2-1-3 データ処理・画像作成	77
LANDSAT-TM	77
JERS-1/SAR	83
2-2 画像判読・解析	89
2-2-1 地質判読の基準	89
2-2-2 地質単元区分	94
2-2-3 地質構造の判読結果	112
2-2-4 リニアメント抽出	113
2-2-5 変質帯抽出	119
2-2-6 衛星画像解析のまとめ	119
2-3 有望地の抽出	127
2-4 まとめ	133
第3章 グラントルース調査	135
3-1 グラントルース対象候補地の選定	135

3-2	グランドトルース調査結果	135
3-2-1	Bacon-Manito 地域	138
3-2-2	Tiwi-Mt.Malinao 地域	157
3-2-3	Nagas-Pio Duran 地域	165
3-2-4	Pilar-Donsol 地域	175
3-2-5	Irosin-Gabao-Bulan 地域	179
3-2-6	Magallanes-Mt.Bintacan 地域	186
3-2-7	Bacolod 地域	189
3-2-8	San Roque-Mt.Malobago 地域	189
3-2-9	Gate Mountains 地域	193
3-2-10	Siruma Peninsula 地域	205
3-2-11	Tamban-Olas 地域	211
3-2-12	Western Gao 地域	213
3-2-13	Western Pasacao 地域	215
3-2-14	Eastern Pasacao 地域	219
3-2-15	Iriga-Bao 地域	223
3-2-16	Buhi-Western Mt.Malinao 地域	227
3-2-17	Balatan 地域	231
3-2-18	Calabanga-Tinembac 地域	241
3-2-19	Paracale 地域	249
3-2-20	Larap-Exiban 地域	253
3-2-21	Mt.Bagacay 地域	263
3-2-22	Bulala 地域	265
3-2-23	Mt.Culasi 地域	269
3-2-24	Mt.Labo 地域	273
3-3	調査結果のまとめ	278
第4章	空中物理探査	285
4-1	測定地区	285
4-2	測定計画	288
4-3	測定者	288
4-4	測定機器	288
4-5	データ取得	292
第5章	考察	293
5-1	地質構造・鉱化作用の特性と鉱化規制	293

5-2 有望地域の選定 .....	299
-------------------	-----

### 第III部 結論及び提言

第1章 結論 .....	311
第2章 第2年次調査への提言 .....	311

参考文献

巻末付録

## Figures

- Fig.I-1-1      Location map of the past project
- Fig.I-1-2      Location map of the survey area
- 
- Fig.I-2-1      Administrative map of Region V
- Fig.I-2-2      Climate of the Philippines classified according to Coronas (1920)
- Fig.I-2-3      Types of Monthly distribution of rainfall.
- 
- Fig.I-3-1\*      Geological Map of the Bicol Area
- Fig.I-3-2      Generalized Stratigraphy of the Bicol Area
- Fig.I-3-3      Generalized Stratigraphy of Camarines Norte Province
- Fig.I-3-4      Generalized Stratigraphy of Caramoan Peninsula
- Fig.I-3-5      Generalized Stratigraphy of Cagraray, Rapu-Rapu Area
- Fig.I-3-6      Generalized Stratigraphy of Southern Bicol Peninsula
- Fig.I-3-7\*      Location map of ore deposits, mineral showings, and geochemical anomaly in the Bicol Area
- 
- Fig.II-1-1\*\*    Index map of the existing literature
- Fig.II-1-2      Index map of the obtained topographic maps
- Fig.II-1-3      Index map of the obtained geological maps obtained
- 
- Fig.II-2-1      The location of Landsat-TM data
- Fig.II-2-2      Mosaic of Landsat-TM false color composite of the Bicol Area (BGR:234)
- Fig.II-2-3      Mosaic of Landsat-TM color-ratio composite of the Bicol Area(BGR:3/1 5/4 5/7)
- Fig.II-2-4      The location of JERS-1/SAR data
- Fig.II-2-5      JERS-1/SAR mosaic of the Bicol Area
- Fig.II-2-6\*      Geological units distribution from Landsat-TM/JERS-1 data analysis
- Fig.II-2-7\*      Interpreted geological map based on Landsat-TM/JERS- 1 image analysis
- Fig.II-2-8\*      Distribution map of lineaments from Landsat-TM image analysis
- Fig.II-2-9\*      Distribution map of lineaments from JERS-1/SAR image analysis
- Fig.II-2-10\*    Distribution map of inferred alteration area from Landsat -TM rational image analysis (BGR:3/1 5/4 5/7)
- Fig.II-2-11\*    Promising areas from Landsat-TM/JERS- 1 image analysis (BGR:234)
- 
- Fig.II-3-1      Geological map of the Bacon – Manito Area and sample locations

- Fig.II-3-2 Fracture and Low-resistivity distribution in the Bacon – Manito Area
- Fig.II-3-3 Root map of Calpi in the Buyo River, Bacon-Manito Area
- Fig.II-3-4 Occurrence of steam-heated acid alteration at Calpi in the Buyo River, Bacon-Manito Area.
- Fig.II-3-5 Occurrence of hydrothermal breccia veins at Calpi in the Buyo River, Bacon-Manito Area.
- Fig.II-3-6 Outcrop of steam-heated acid altered rock in the Cawayan River, Bacon-Manito Area
- Fig.II-3-7 Geological map of the Tiwi – Mt. Malinao Area and sample locations
- Fig.II-3-8(a) View of the Tiwi geothermal electricity plant, looking from sinter terrace
- Fig.II-3-8(b) Occurrence of sinter cone and sinter terrace in the Tiwi geothermal field
- Fig.II-3-9 Geological map of the Nagas – Pio Duran Area (1) and sample locations
- Fig.II-3-10 Geological map of the Nagas – Pio Duran Area (2) and sample locations
- Fig.II-3-11 The copper occurrence in Nagas – Pio Duran Area
- Fig.II-3-12 Geological map of the Pilar-Donsol Area
- Fig.II-3-13 Geological map of the Irosin- Gabao-Bulan Area and sample locations
- Fig.II-3-14 Geological map of the Magallanes-Mt. Bintacan Area, the Bacolod Area and sample locations
- Fig.II-3-15 Geological map of the San Roque-Mt. Malobago Area and sample locations
- Fig.II-3-16 Geological map of the Gate Mountains Area(1) and sample locations
- Fig.II-3-17 Geological map of the Gate Mountains Area(2) and sample locations
- Fig.II-3-18 Outcrop of altered Older Volcanics under Caldera Pumice near Calpi along Matnog Road in Sisigon-Matnog area, eastern part of Gate Mountains
- Fig.II-3-19 Geological map of the Siruma Peninsula Area and sample locations
- Fig.II-3-20 Occurrence of quartz veins in green schist in Siruma Peninsula Area
- Fig.II-3-21 Geological map of the Tamban-Olas Area and sample locations
- Fig.II-3-22 Geological map of the Western Goa Area and sample locations
- Fig.II-3-23 Geological map of the Western Pasacao Area and sample locations
- Fig.II-3-24 Geological map of the Eastern Pasacao Area and sample locations
- Fig.II-3-25 Geological map of the Iriga-Baao Area and sample locations
- Fig.II-3-26 Geological map of the Buhi-Western Mt. Malinao Area and sample locations
- Fig.II-3-27 Geological map of the Balatan Area and sample locations
- Fig.II-3-28 Gypsum ore stockpile in Caorasan, northern Balatan
- Fig.II-3-29 Gypsum ore deposit near Cabanbanan, northern Balatan
- Fig.II-3-30 Geological map the Calabanga-Tinembac Area and sample locations
- Fig.II-3-31 Occurrence of hydrothermal breccia pipe in Sibobo, Calabanga-Tinembac Area
- Fig.II-3-32 Geological map of the Paracale Area, the Mt. Bagacay Area and sample locations

- Fig.II-3-33 Geological map of the Larap-Exiban Area and sample locations  
 Fig.II-3-34 Occurrence of intrusive rocks at Bessemer Pit, Larap Mine  
 Fig.II-3-35 Occurrence of hydrothermal biotites at Bessemer Pit, Larap Mine  
 Fig.II-3-36 Geological map of the Bulala Area and sample locations  
 Fig.II-3-37 Geological map of the Mt. Culasi Area and sample locaitons  
 Fig.II-3-38 Big altered rock float at upper Manasopre Creek, Mt. Culasi  
 Fig.II-3-39 Geological map of the Mt. Labo Area and sample locations  
 Fig.II-3-40\*\* Location map of samples collected for laboratorial studies
- Fig.II-4-1 Areas for Airborne Geophysical Survey  
 Fig.II-4-2 Flight Plan of Tiwi Area  
 Fig.II-4-3 Flight Plan of Legaspi Area  
 Fig.II-4-4 Flight Plan of Irosin Area
- Fig.II-5-1\* Copmrchensive Map of the Bicol Area  
 Fig.II-5-2 Process of the selection of promising areas from the ground truth survey  
 Fig.II-5-3 Promissing areas from the ground truth survey  
 Fig.II-5-4\* Candidate Areas for the second phase survey

\* Oversized figures are attached in back front of the report

\*\* Figure are attached only in back front of the report

## Tables

- Table I-1-1 Record of the survey  
 Table I-1-2 Laboratory Test
- Table I-2-1 Major River Basins
- Table II-2-1 Specification of satellite imagery  
 Table II-2-2 Photogeologic interpretation chart  
 Table II-2-3 Correlation between satellite imagery unit and geologic unit.  
 Table II-2-4 Promising area of metallic deposit
- Table II-3-1 Candidate areas for the ground truth survey  
 Table II-3-2 Summary of the ground truth survey  
 Table II-3-3 Geochemical, temperature and alteration data of the ground truth survey area

Table II-5-1 Qualitative features of the three belts



# 第 I 部 総 論

( )

0

0

## 第1章 調査概要

### 1-1 調査の目的

本調査はフィリピン共和国ピコール地域を対象として、既存データ解析、衛星画像解析、グラントルース（現地踏査）および空中物理探査を行い、得られた結果を総合的に解析し、効率的に広範囲から鉱床賦存有望地域を抽出することを目的とする。

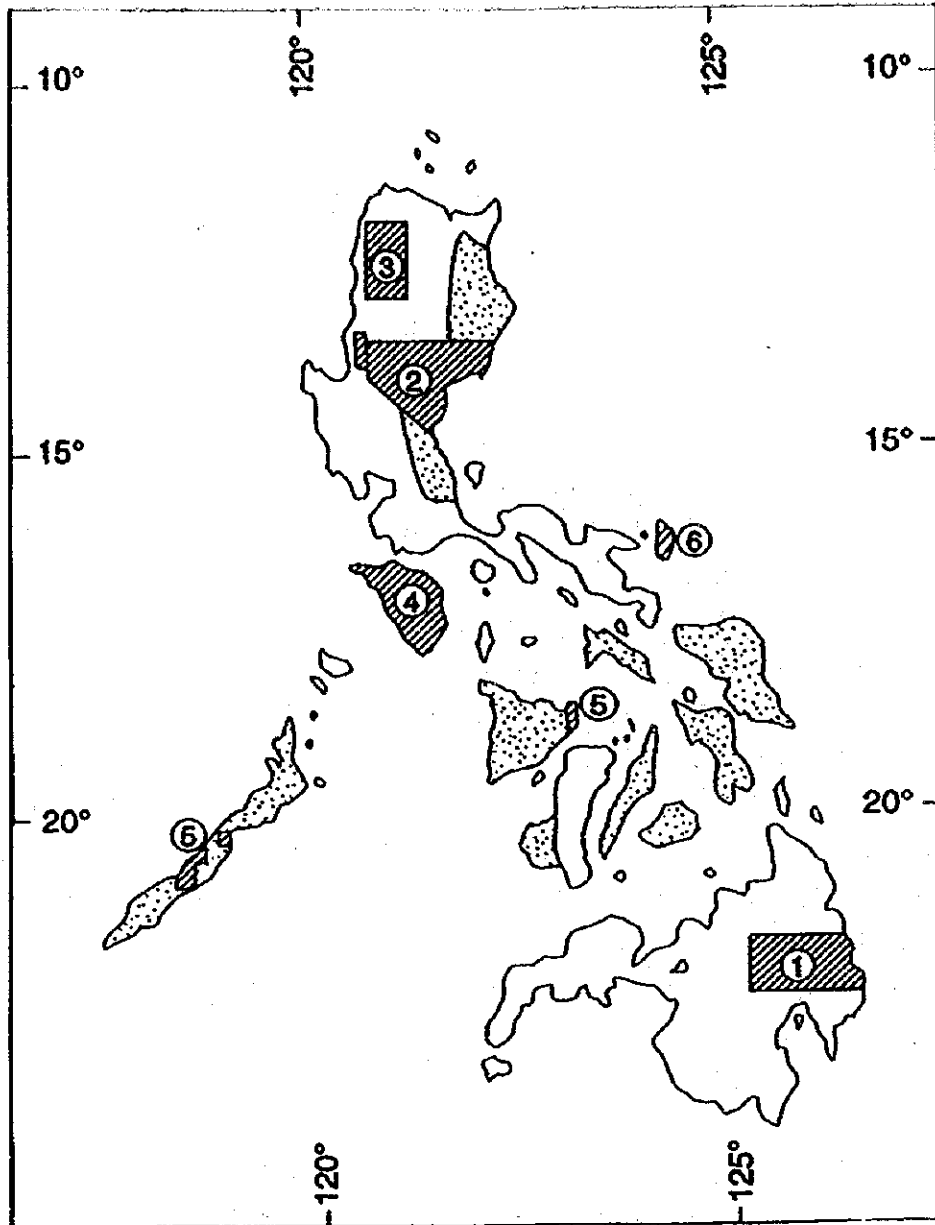
### 1-2 調査実施の経緯

フィリピン共和国は、金・銀・銅・ニッケル・クロム等を産する鉱物資源国であり、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。また、古くはフィリピンの銅精鉱の100%が、現在でも輸出される銅精鉱の86%が、また、ニッケル鉱の輸出の100%が日本へ輸出されており、鉱業分野での日本との関係も深い。1989年までフィリピン共和国の金・銅・ニッケルの生産量は世界の10位以内に位置していたが、最近では生産コストの上昇、環境コストの上昇、鉱量の枯渇などの理由で生産が落ち込んでおり、外資の導入を図って鉱物資源の開発を促進する必要が生じてきた。このためフィリピン政府は、1994年に鉱産税の減税を、1995年に鉱業法の改正（外資100%を認めるFTAAを含む）を行い、さらに鉱区の登録見直しを1997年より開始した。政情の安定および外資にオープンな制度の発足により、多くの外国企業が探査に参入し、今後の探鉱・開発が活発化しようとしている。

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、95年までの間に以下の7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. I-1-1 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

これらの調査により各地域において鉱化帯の捕捉、鉱量の算出等の成果があがり、鉱物資源基本図調査では、第一ランクの有望地域が6地域選ばれ、うち2地域は引き続き資源開発調査に移行している。このように、JICA/MMAJによる調査は同国鉱業の発展に一定




-  MINERAL EXPLORATION PROJECTS  
 ① Eastern Mindanao (1971-1973)  
 ② Northeastern Luzon (1974-1976)  
 ③ Northwestern Luzon (1978-1980)  
 ④ Mindoro Is. (1981-1983)  
 ⑤ Palawan-Panay (1990-1992)  
 ⑥ Catanduanes (1993-1995)
-  Supra-Regional Survey (1984-1989)  
 Luzon, Visayas, Palawan

Figure I-1-1 Location map of the past projects

の役割を果たしてきている。

本年度から実施されるピコール地域の広域調査は、平成8年12月にフィリピン政府から要請されたものに応えたものである。当初非公式ながらピコール地域の調査の要請が、カタンドゥアネス地域の終了直後にあり、平成8年2月にプロジェクト選定調査団を派遣したが、多くの地域に外国資本が参入した鉱区が設定されており、公式要請書も遅れたため、実施が見送られた。公式要請書の受理後、流動的な鉱区現況の再把握の目的もかねて、平成9年3月に再度プロジェクト選定調査団を派遣し、鉱区問題、調査内容について確認し、平成9年度鉱物資源広域調査案件として採択された。平成9年5月30日付で日本国際協力事業団（JICA）及び金属鉱業事業団（MMAJ）とフィリピン共和国環境天然資源省鉱山地球科学局（MGB; Mines and Geosciences Bureau）との間で Implementing Arrangement (I/A:調査実施実務協定書)が調印された。

本年度から新たに再スタートする鉱物資源広域調査の主旨は、既存調査データおよび衛星画像等の情報を様々な観点から解析し、鉱床モデルを描き、グラントルース(現地踏査)を実施して、広範な対象地域から探査対象となる鉱床賦存有望地域を抽出する点にある。予定調査期間は2か年である。初年度に当たる本年度は、詳細な地質鉱床情報の収集、衛星画像解析およびこれら情報から抽出された有望地域におけるグラントルース並びに空中物理探査を実施した。

### 1-3 調査地域

調査地域は、ルソン島南東部ピコール半島のカマリネスノルテ州、カムリネススール州、アルバイ州、ソルソゴン州からなる10,000km<sup>2</sup>の範囲である（Fig. 1-1-2）。地域にはNW-SE系の断層が走り、これに沿って多くの火山がある。地域最大のレガスビ市のそばには有名なマヨン火山がそびえ立つ、対象地域は、以前ゲリラの活動で、立入れなかった所が多く、あまり調査が進んでなかったため、今回の調査に期待が寄せられている。

### 1-4 調査方法

#### (1)既存データ解析

相手国機関および関係機関が保有している調査地域に関する地質調査、地化学探査、物理探査、ボーリング調査等の既存データを収集・整理し、鉱床賦存有望地区の抽出に資する。

#### (2)衛星画像解析

日本の衛星 JERS-1 の SAR 画像および LANDSAT の TM 画像を用い、ピコール半島全域について、リニアメント解析、地質構造解析、変質帯抽出等を実施、鉱床賦存有望

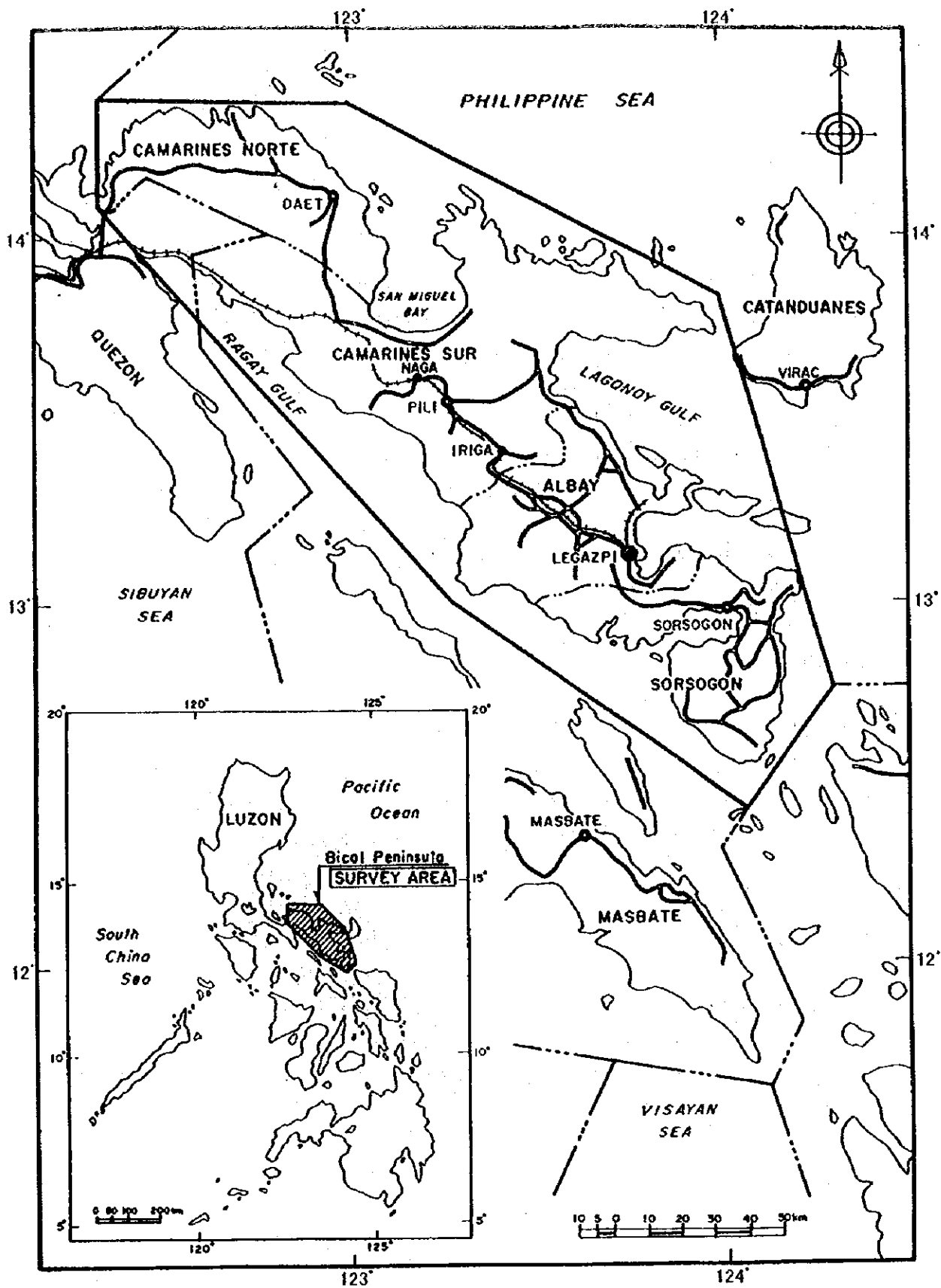


Figure I-1-2 Location map of the survey area

地区の抽出に資する。

### (3) グラントトールース(現地踏査)

既存データ解析並びに衛星画像解析の結果を基に、現地踏査地区を選定し、現地の地質状況、変質帯、鉱微地等の把握を目的に地質調査を実施する。併せてサンプルを採取、室内試験に供し、データを解析に用いる。

### (4) 空中物理探査

既存データ解析、衛星画像解析、グラントトールースの結果を基に、地区を選定し、地表下の地質構造の状況把握を目的に、空中物理探査を実施する。ヘリコプターを使用し、測線間隔 200m で、空中磁気、空中放射能を測定する。(1 年次はデータ取得のみ)

## 1-5 調査団の編成

### (1) 事前調査 および協定折衝

#### a) 日本側

竹中 繁雄	(団長、金属鉱業事業団 理事)
縄田 三透	(国際協力事業団 鉱工業開発調査部)
五十嵐吉昭	(金属鉱業事業団 海外部)
山本 邦仁	(金属鉱業事業団 海外部)
佐藤 直樹	(金属鉱業事業団 マニラ海外調査員)

#### b) フィリピン共和国側

Horacio C. Ramos	(Director, Mines & Geosciences Bureau=MGB, Department of Environment and Natural Resources=DENR, Republic of the Philippines) (環境天然資源省 鉱山地球科学局 局長)
Romeo L. Almeda	(Chief, Lands Geology Division=LGD, MGB, DENR) (鉱山地球科学局 土地地質部長)
Rogel A. Santos, Dr.	(Geologist, Lands Geology Division, MGB, DENR) (鉱山地球科学局 土地地質部 地質技師)
Corinthia Naz	(OIC, Chief, Planning and Management Staff, MGB, DENR) (鉱山地球科学局 企画・運営主任)
Salvador G. Martin	(Regional Director for Region V, MGB, DENR) (鉱山地球科学局 第5地域局長=レガスピ支所長)

(2)現地調査

a)日本側

細井 義孝 (団長、総括、既存データ解析、グラントルース、空中物理探査)  
財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (Japan Mining Engineering Center  
for International Cooperation : JMEC)  
林 歳彦 (既存データ解析、グラントルース) (財)国際鉱物資源開発協力協会  
森田 誠也 (既存データ解析、グラントルース) (財)国際鉱物資源開発協力協会  
山本 邦仁 (既存データ解析、グラントルース) (財)国際鉱物資源開発協力協会

b)フィリピン共和国側

調査協議(マニラ、レガスビ)

Horacio C. Ramos (調査計画) Director, MGB (鉱山地球科学局 局長)  
Edwin G. Domingo (調査計画) OIC, Assistant Director, MGB, DENR (鉱山地球科学局  
次長代行)  
Lomeo L. Almeda (調査計画) —前出—  
Salvador G. Martin (調査計画/レガスビ) —前出—

現地調査

Rogel A. Santos (既存データ解析、グラントルース) —前出—  
Jerry H.G.Salvador (既存データ解析、グラントルース) LGD, MGB  
Federico C. Jacoba, Jr. (既存データ解析、グラントルース) LGD, MGB  
Valentin P. Narido (既存データ解析、グラントルース) MGB, Region V  
Arnel F. Jusi (既存データ解析、グラントルース) MGB, Region V

(3)衛星画像解析 (日本国内で実施)

崎元 雄厚 (報告書作成) (財)国際鉱物資源開発協力協会  
高畑 裕之 (写真地質判読、解析、報告書作成) (財)国際鉱物資源開発協力協会  
芳沢 浩文 (画像処理、写真地質判読、解析、報告書作成) (財)国際鉱物資源開発協  
力協会  
古野 正憲 (写真地質判読、解析、報告書作成) (財)国際鉱物資源開発協力協会  
田中 隆之 (画像処理) (財)国際鉱物資源開発協力協会

(4)空中物理探査

現地監督

細井 義孝 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)  
Arnel F. Jusi 鉱山地球科学局レガスビ支所 (MGB, Region V)  
Arlene E. Dayao 鉱山地球科学局レガスビ支所 (MGB, Region V)



測定

Bill Churchward (Crew Leader) WGC (World Geoscience Corporation Limited)

Glen Morrow (Operator/Technician) WGC

Cameron MacNaughton (Installation Engineer) WGC

G.Hongell (Engineer) WGC

ヘリコプター運航

M. Ongchango Jr. (Pilot) Airspan Co.Ltd.

E. Malinis (Aircraft Engineer) Airspan Co. Ltd.

(5)総合解析・報告書作成 (日本国内で実施)

細井 義孝 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

林 歳彦 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

森田 誠也 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

山本 邦仁 財団法人 国際鉱物資源開発協力協会 (JMEC)

1-6 調査期間および調査量

(1)事前調査・協定折衝

平成9年(1997年)5月25日～31日

(2)現地調査

平成9年(1997年)7月14日～8月29日 (既存データ解析・グラントルース)

Table 1-1-1 Record of the survey

項目	実績
既存データ収集	調査レポート 224編
グラントルース	35ヶ所
サンプル収集	岩石・鉱石…… 315個

(3)衛星画像解析

平成9年(1997年)7月1日～平成10年(1998年)1月30日

JERS-1 SAR の13シーンの画像処理作成・判読・解析。

LANDSAT TM の4シーンの画像処理作成・判読・解析。

(4)空中物理探査

平成10年(1998年)1月21日～平成10年(1998年)3月14日

イロシン地区(Irosin Area) 測線長 3,000km

レガスピ地区(Legaspi Area) 測線長 1,250km

ティウイ地区(Tiwi Area) 測線長 1,350km

(S)室内試験・総合解析・報告書作成

平成9年(1997年)9月1日～平成10年(1998年)3月25日

Table I-1-2 Laboratory Test

項目	件数
岩石薄片作成	67個
鉍石研磨薄片作成	20個
粉末X線回折	110個
化学分析	
鉍石試料(Au他22成分)	21個
地化学試料(Au他32成分)	133個
XRF全岩主要元素および微量成分	26個
流体包有物 均質化温度および塩濃度測定	22個
K-Ar法年代測定	15個
同位体比測定	
$\delta^{34}\text{S}$	2個
$\delta\text{D}$	1個
$\delta^{18}\text{O}$	1個

## 第2章 調査地域の地理

### 2-1 位置・交通

調査地域であるピコール半島は、フィリピンで主要な三つの島の中でも最も大きいルソン島南部に位置する。北はケソン州に接し、南はサンベルナディオ海峡、東は太平洋、西はラガイ湾とブリアス湾及びティカオ湾に面し、北緯12度30分～14度30分、東経122度15分～124度15分にある。調査地域は、1972年の大統領令による統合改革計画の中で第5行政区に含まれる。この行政区は6つの州から成り、調査地域はこれらのうち北から、カマリネスノルテ州、カマリネススール州、アルバイ州、ソルソゴン州の4州を含む地域である。(Fig. 1-2-1)

レガスピ市は第5行政区の中心である。二つの航空会社が定期的に首都マニラと同国第二の都市セブの間を結んでいる。他にはカマリネスノルテ州のダエット、カマリネススール州のピリに航空サービスがある。調査地域の全ての州都と首都マニラとは公営バスで結ばれている。その他域内の町村へは、それぞれの州都からバスやジープニーが走っている。大部分のバラングイ(フィリピンにおける最小行政・社会単位)へは公営ジープか4輪駆動車で行くことができるが、所によってはエンジン付きポート、あるいはバンカーポート(フィリピンの伝統的ポート、簡易エンジンがついてるものもないものがある)で海岸伝いに辿りつかなければならない所もある。鉄道は首都マニラから、カマリネススール州のナガ市まで伸びていて、将来改修工事が完成すればレガスピ市まで開通できる予定である。鉄道は整備・管理が悪く、貨物輸送、人員輸送共に、一部を除いて利用されていない。

### 2-2 地形

第5行政区の土地面積は17,632km<sup>2</sup>で、調査地域はその68.5%をカバーしている。調査地域のピコール半島は、東部と西部が山や丘陵で覆われ、中央部は緩やかな地形となっている。第5行政区の55%は傾斜0～18度の緩やかな傾斜地であり、堆積平地、山麓、沖積平野、谷等である。残り45%は18度以上の傾斜で、概ね山丘である。調査地北部の方が、南部と比較し傾斜が急である。

本調査地域には、2つの活火山、1つの休火山およびいくつかの死火山が半島の北から南に連なっている。活火山は北からアルバイ州のマヨン火山、ソルソゴン州のブルサン火山であり、休火山はカマリネススール州のイリガ山で、その他の死火山は次の通りである。

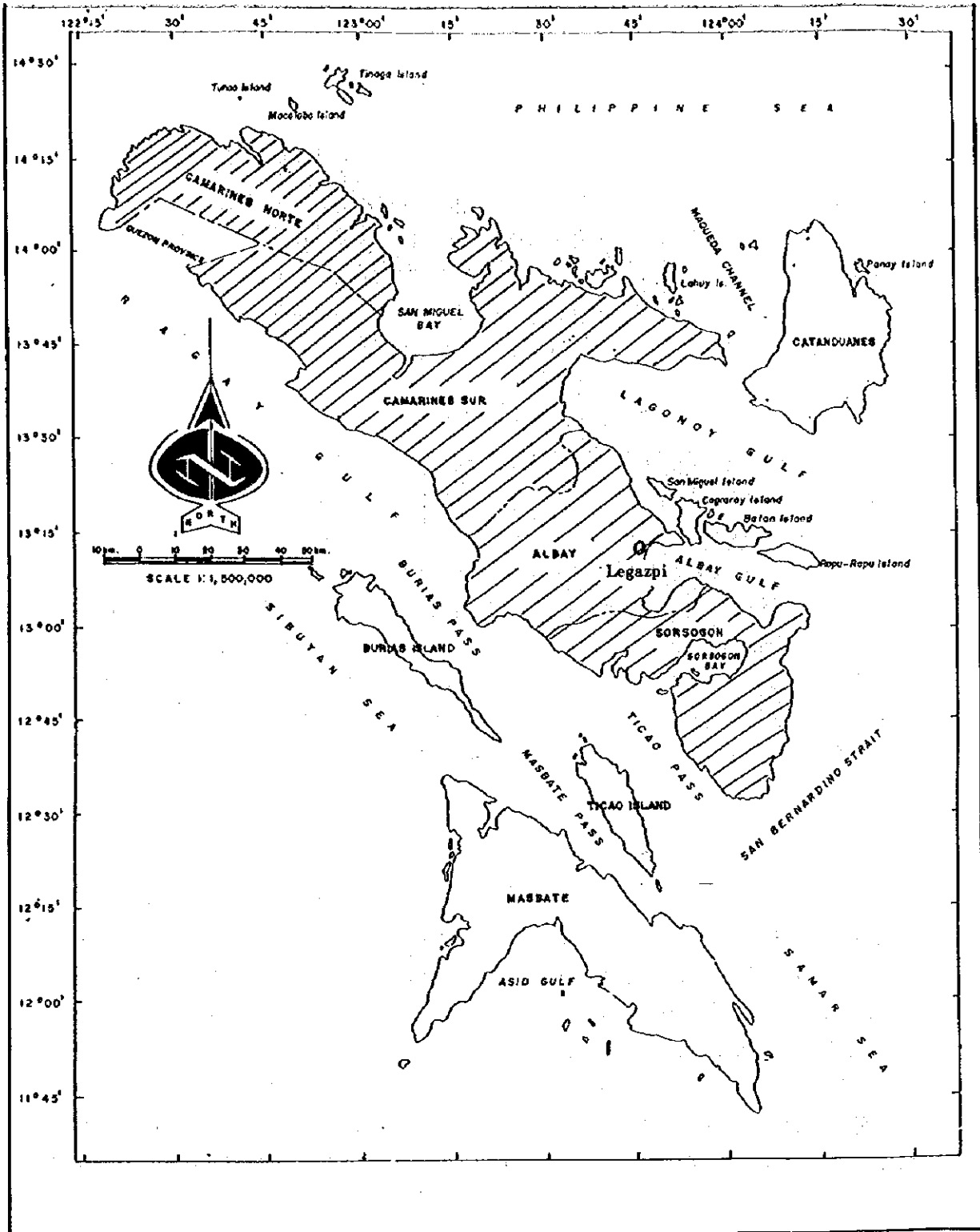


Figure I-2-1 Administrative Map of Region-V

 Survey area

火山名	位置 (州)
ラボ山	カマリネスノルテ州
バガカイ山	同上
イサログ山	カマリネススール州
マリナオ山	アルバイ州
マサラガ山	同上
マニト山	同上
ガテ山	ソルソゴン州

### 2-3 水系

ビコール半島には多数の川が流れている。調査地域に下記のような河川流域が存在する。

Table I-2-1 Major River Basins

River Basin (RB)	Province	Drainage Area (sq. Km)	Estimated Annual Runoff (MCM)
Daet-Basud	Camarines Norte	270	365
Labo	Camarines Norte	913	1235
Bicol	Camarines Sur	3771	5102
Kilbay	Camarines Sur	285	386
Lagonoy	Camarines Sur	228	308
Ragay	Camarines Sur	188	254
Sipocot	Camarines Sur	447	605
Tambang	Camarines Sur	164	222
Tinalmod	Camarines Sur	119	161
Quinale	Albay	103	139
Banuang Duan	Sorsogon	46	62
Cadacan	Sorsogon	197	266
Donsol	Sorsogon	396	536
Fabrica	Sorsogon	56	76
Matnog	Sorsogon	63	85
Ogod	Sorsogon	122	165
Putiao	Sorsogon	188	254
		7556	10221

河川流域面積で大きい順に五つ並べると、①ビコール川流域（年間流量約 51 億  $m^3$ ）、②ラボ川流域（年間流量約 12.4 億  $m^3$ ）、③シボコット川流域（ラボ山の南を流れ、ナガ市の近くでビコール川に注ぐ、年間流量約 6 億  $m^3$ ）、④ドンソル川流域（西に向かって流れ、ティカオ水路に注ぐ、年間流量約 5.4 億  $m^3$ ）、⑤キルバイ川流域（西に向かって流れ、ラガイ湾に注ぐ、年間流量約 3.9 億  $m^3$ ）となる。キナレ川はマヨン火山の西を流れ、バト湖に注ぎ、さらにそこよりビコール川に注ぎ出て、最後はサンミゲル湾に流れ出す。

## 2.4 気候

コロナ気候分類法でいくと、第5行政区には第II型、第III型および第IV型の3タイプの気候がある。(Fig. I-2-2, Fig. I-2-3)

第II型気候は、乾期が無く、12月と1月に非常に著しい雨期を持つ気候である。半島の太平洋側に面した所で、カマリネスノルテ州、カタンドウアネス島をも含む。

第III型気候は、非常に著しい乾期と短い雨期を持つ気候である。マスバテ島他半島の西方の島々が含まれる。

第IV型気候は、熱帯性台風発生時の異常降雨を除いて、年間を通じて雨量が大体一定している気候である。カマリネススール州西部からソルソゴン州西部にかけての地域が含まれる。

フィリピン大気・地球物理・天文科学本部(PAGASA)によると、この国の降雨の大部分は熱帯性台風の発生時に生じている。他の降雨原因は南西、北西季節風、内陸部の熱気流上昇等である。PAGASA発表の第5行政区の各州の年間降雨量は次のとおりである。

州名	期間	年間降雨量
カマリネスノルテ州	1974～1976年	3,845mm
カマリネススール州	1977～1994年	2,276mm
アルバイ州	1972～1976年	3,317mm
ソルソゴン州	1972～1988年	2,451mm
以上調査地域内(北から)		
カタンドウアネス州	1968～1996年	3,094mm
マスバテ州	1983～1988年	1,616mm

PAGASAによると、6月から1月の間の高い雨量は、これらの期間に国土を襲う熱帯性台風によるものである。

調査地域全体の地上の風向は北東が支配的であるが、10月から翌年4月までの間、特に顕著に北東の季節風が吹く。

PAGASA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。

地域の平均湿度は82%であり、国土全体と比べて同程度である。高い湿度は、国土を吹き抜ける暖かい湿度の高い空気の流れ・周囲の海・豊かな植生・地域が受ける豊富な雨等による。

1990年から1996年間に、第5行政区で、61個の熱帯性台風の発生をみた、そのほとんどは第4四半期(10月～12月)に集中している。フィリピン共和国を通過した台風の数は、

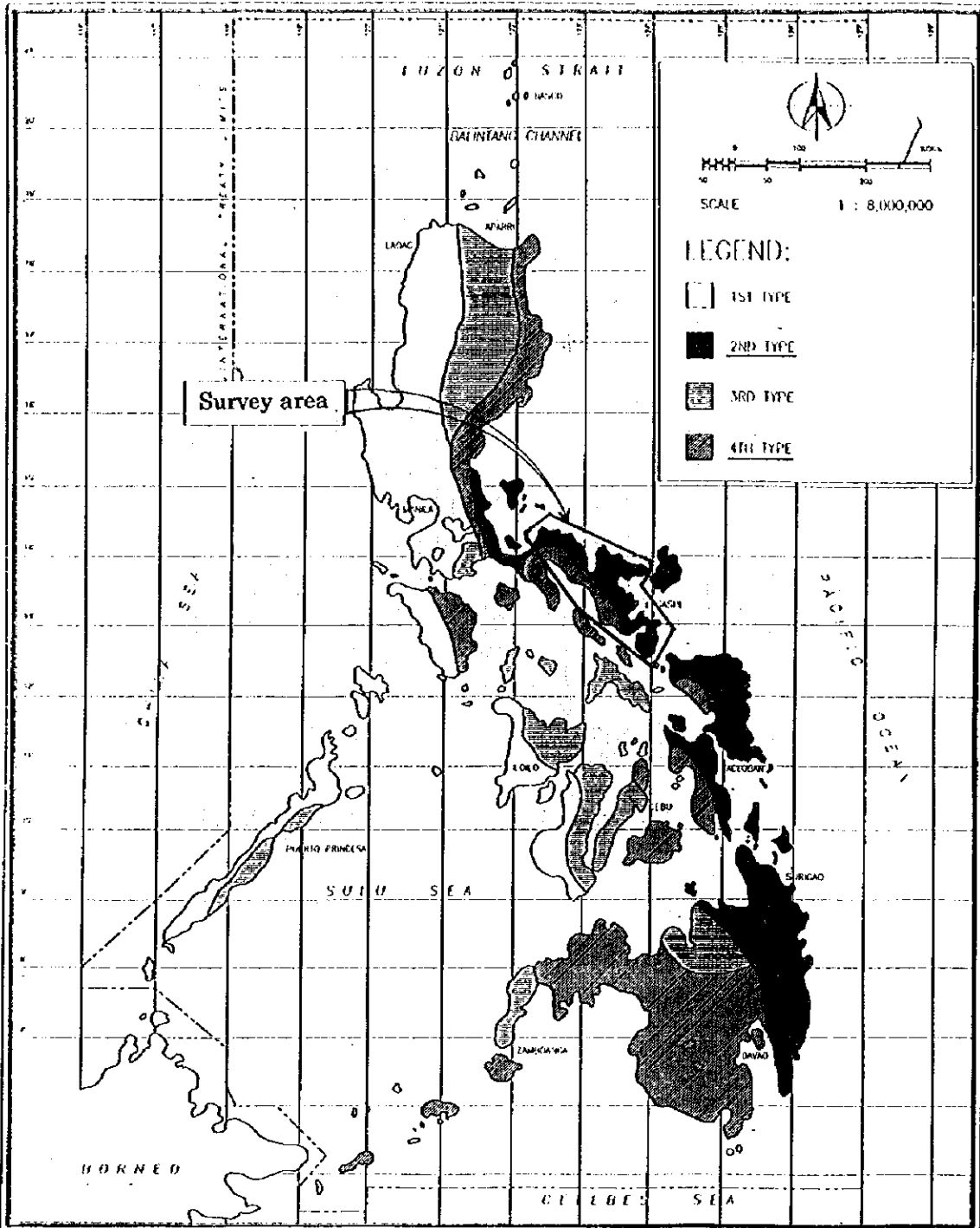


Figure I-2-2 Climate of the Philippines classified according to Coronas (1920)

年平均9個であり、このうち2つはビコール地域を通過している。

## 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。

ランドサット衛星画像を見ると、調査地域一帯が植生に覆われ、地表の反射スペクトルを利用した変質帯抽出等のリモートセンシング技術の適用は不可能である。

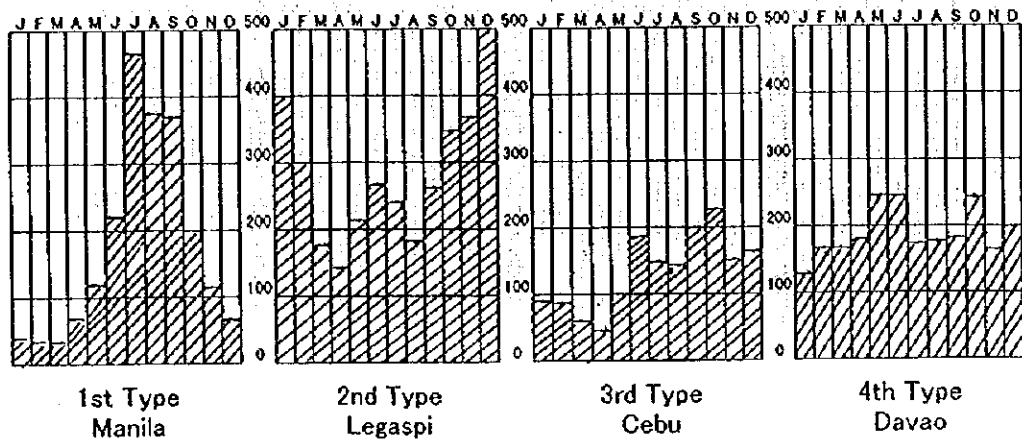


Figure I-2-3 Types of monthly distribution of rainfall



### 第3章 調査地域の地質・鉱床および鉱業事情

#### 3-1 ビコール地域の地質概要

ビコール地域の地質図を Fig.I-3-1 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。

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

Geological Map Quadrangles (1:50,000) of Sheet No. 3462-I,II; 3560-I; 3561-I,II,III,IV;

3562-I,II,III,IV; 3563-II,III; 3659-I,II; 3661-I,II,III,IV; 3662-II,III; 3761-I,II,III,IV

Geological and Geochemical Interpretation Map of Catanduanes Island (1:250,000) /The

Cooperative Mineral Exploration by JICA/MMAJ-MGB, 1993-1995

David S. D. Jr., et al., 1996, Geology, Geochemistry, Geochronology and Structures of the

Ophiolites in Southeastern Luzon, Philippines. Jour. Soc. Geol. Phil. v.LI, p.115-129

ビコール地域の地質層序について、包括的にまとめられたものには、Bureau of Mines and Geosciences (1982)がある。また、現在、本書の1996年改訂版として、その編集作業が進められている (LGD GOP Editorial Team, 1996:Geological and Mineral Resources of the Philippines, volume I (First Draft); 以下 Draft (1996)として引用する)。現在はまだドラフト段階であるが、本書は、最新のデータに基づいた記載がなされている。

したがって、以下の記載は、Bureau of Mines and Geosciences (1982)および Draft (1996)の内容を簡略化して示すこととする。また、Camarines Norteについては、Mitchell and Leach (1991)を、Caramoan 半島およびカグラライーラプラブについては、David et al., (1994, 1996)を参考にした。

#### 3-1-1 ビコール地域の堆積岩および火山岩類

ビコール地域は、層序的特徴によって次の4ブロックに分けることができる。

- ①Quezon - Camarines Norte(以下ビコール北)
- ②Caramoan 半島(以下 Caramoan)
- ③カグラライ島 - ラプラブ島(以下カグラライ)
- ④ビコール半島南部(以下ビコール南)

各ブロックの層序を、Fig.I-3-2 に、また、既存調査の層状との対比を各ブロック毎に、Fig.I-3-3～Fig.I-3-6 に示す。



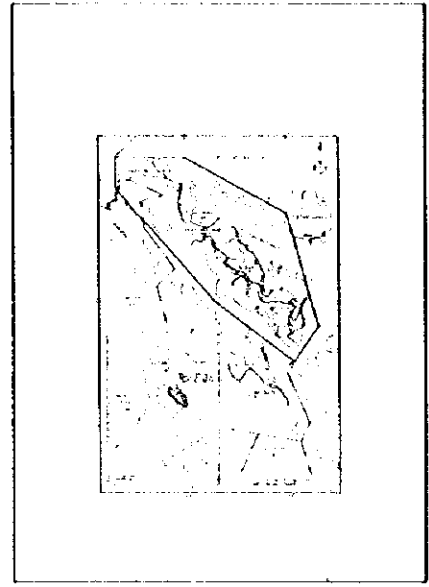
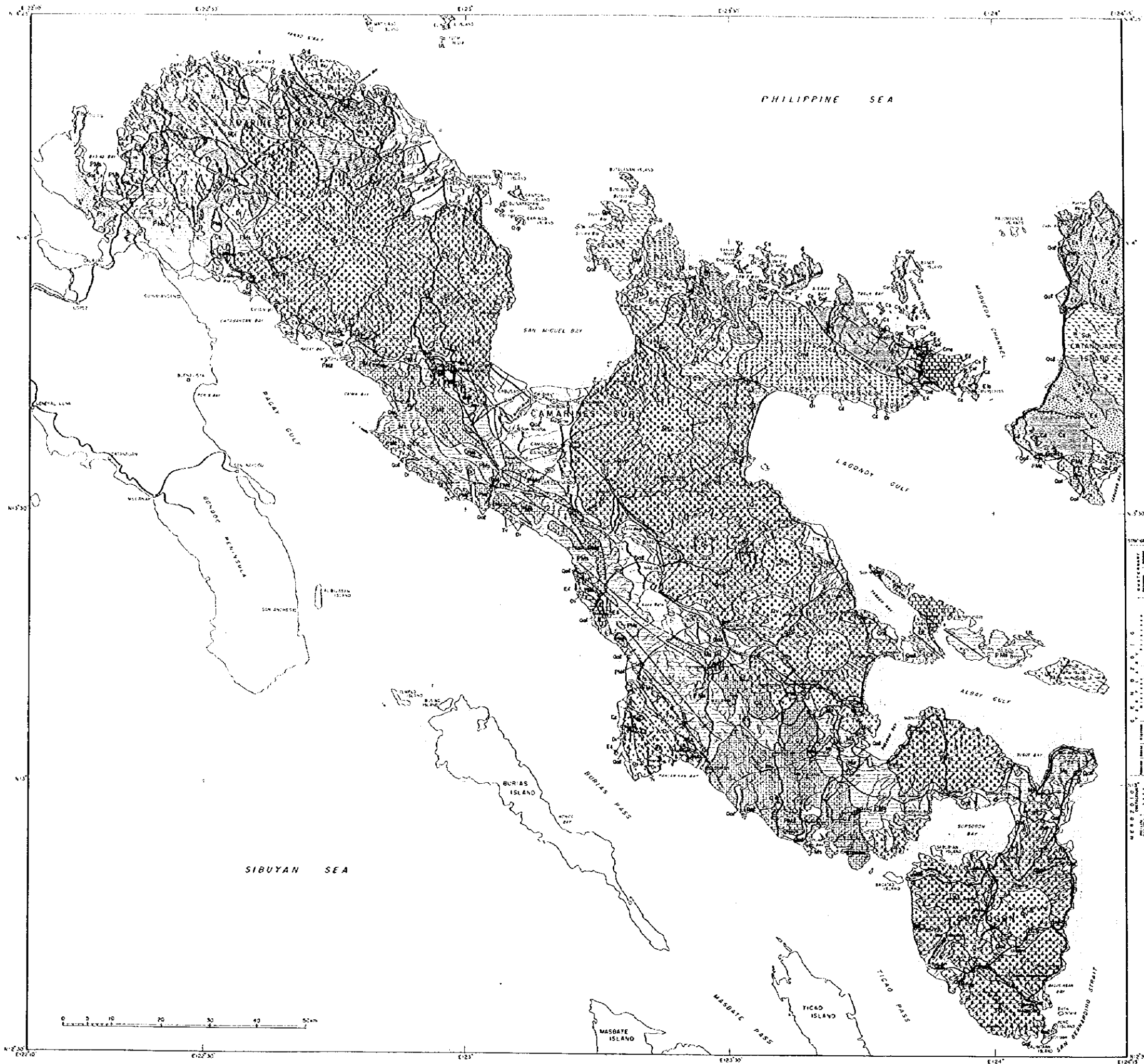


Fig 1-3-1 Geological Map of the Bicol Area

LEGEND

- Chartered city
- City capital of province
- ⊙ Capital of province
- ⊠ Municipality or municipal district
- Barangay
- Railroad
- Provincial boundary
- First and second class road
- ⊕ Route markers - National
- ⊕ Route markers - Provincial

EXPLANATION

STRATIFIED	ROCK	INTRUSIVE AND PSEUDO-STRATIFIED ROCKS
<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Tertiary</li> <li>2. Quaternary</li> <li>3. Pleistocene</li> <li>4. Holocene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5. Metamorphic</li> <li>6. Igneous</li> <li>7. Sedimentary</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>8. Intrusive</li> <li>9. Pseudo-stratified</li> </ul>

GEOLOGIC STRUCTURE

- Folded boundary
- Major fault
- Thrust fault
- Plunging anticline
- Plunging syncline
- Strike and dip of bedding plane

Compiled from:

- Geologic Map of Bicol Region (1:250,000) by BMS Regional Office IV
- Geologic Map Quadrangles (1:50,000) of Sheet No. 542-1, 543-1, 544-1, 545-1, 546-1, 547-1, 548-1, 549-1, 550-1, 551-1, 552-1, 553-1, 554-1, 555-1, 556-1, 557-1, 558-1, 559-1, 560-1, 561-1, 562-1, 563-1, 564-1, 565-1, 566-1, 567-1, 568-1, 569-1, 570-1, 571-1, 572-1, 573-1, 574-1, 575-1, 576-1, 577-1, 578-1, 579-1, 580-1, 581-1, 582-1, 583-1, 584-1, 585-1, 586-1, 587-1, 588-1, 589-1, 590-1, 591-1, 592-1, 593-1, 594-1, 595-1, 596-1, 597-1, 598-1, 599-1, 600-1
- Geologic and Geographical Interpretation Map of Cagayan Valley (1:25,000) / The Corporate Mine of Exploration by R.A. Masar - M.B. 1933-1935
- De V. S. P., et al. (1935). Geology, Geomorphology, Geochronology and Structures of the Cagayan in Southeastern Luzon, Philippines. The Soc. Geol. Phil. 1936

Geologic Time				Camarines Norte	Caramoan Peninsula	Cagraray, Rapu-Rapu	Southern Bicol Peninsula
Era	Period	Epoch	Age				
Cenozoic	Quaternary	Holocene		Quaternary Alluvium	Alluvial Deposits		(Mt. Mayon, Mt. Blusan) (Poool Volcanics)
		Pleistocene	Late	Lobo Volcanics	Isarog Volcanics	Tabaco Basalt	Ligao Formation
			Early				
	Pliocene	Late	Bagacay Andesite	Lahuy Formation	San Miguel Tuff	Talisay Fm. { Malama Sit. Paulba Ss. Aliang Sit. Talisay Ls.	Polangui Volcanics
		Early	Macogon Fm. Vinas Fm.				
	Miocene	Late	Santa Elena Formation	Bilibao Formation	Caracaran Siltstone Liguan Formation	Bicol Formation	
		Middle	Tamisan Diorite Paracale Granodiorite				
		Early	Bosigon Formation				Del Pilar Formation
	Oligocene	Late	Tarap Volcanics	Coal Harbor Limestone	Panganiran Diorite	Ragay Volcanics	
		Early					Tambang Point Diorite
	Eocene	Late	Universal Formation	Caramoan Formation	Sula Formation	Pantao Limestone	
		Middle					Gujalo Limestone
		Early					
	Paleocene	Late					
		Early					
	Mesozoic	Cretaceous	Late	Tigbinan Formation	Pagsangahan Formation / Garchitorena Formation	Libog Formation	Rapu-Rapu Diorite
			Early	Ophiolite	Lagonoy Ophiolite	Ophiolite	Ophiolite
		Jurassic					

Fig.1-3-2 Generalized Stratigraphy of Bicol Area

Geologic Time				Miranda and Caloon (1979)	BMG (1982)	This Report
Era	Period	Epoch	Age			
Cenozoic	Quaternary	Holocene		Alluvial Deposit	Quaternary Alluvium	Quaternary Alluvium
		Pleistocene	Late	Terrace Gravel Dep.	Terrace Gravel	Labo Volcanics
			Early	Labo Volcanics	Labo Volcanics	
	Pliocene	Late	Bagacay Andesite	Bagacay Andesite	Bagacay Andesite	
		Early	Macogon Fm. Vinas Fm.	Macogon Fm. Vinas Fm.	Macogon Fm. Vinas Fm.	
	Miocene	Late	Conglomerate, Sandstone Siltstone, Shale and Limestone	Santa Elena Formation	Santa Elena Formation	
		Middle	Diorite and related rocks	Tamisan Diorite	Tamisan Diorite	
		Early	Cgl., Sh., Arkose, Ls., Basaltic flows, Volc. Wackes, shale and chert	Bosigon Formation	Paracale Granodiorite Bosigon Formation	
	Tertiary	Oligocene	Late	Larap Volcanics	Larap Volcanics	Larap Volcanics
			Early	Paracale Granodiorite	Paracale Granodiorite	
		Eocene	Late	Universal Formation	Universal Formation	Universal Formation
			Middle			
	Early					
	Paleocene	Late				
		Early				
	Mesozoic	Cretaceous	Late	Greywacke, Spilite, and Chert, Ls, Sh, Ss	Tigbinan Formation	Tigbinan Formation
			Early	Ultramafic Complex Schistose Sed. and Volcanic rocks	Ultramafic and Mafic Plutons	Schists and Quartz Diorite
		Jurassic				

Fig.1-3-3 Generalized Stratigraphy of Camarines Norte Province

Era	Geologic Time			Miranda (1976)	BMG (1982)	David et al. (1994)		This Report		
	Period	Epoch	Age			Western Caramoan Structural Unit	Eastern Caramoan Structural Unit			
Cenozoic	Quaternary	Holocene		Alluvial Deposits	Alluvial Deposits			Alluvial Deposits		
		Pleistocene	Late	Terrace Gravel	Terrace Gravel					
			Early	Andesitic flows and pyroclastics	Isarog Volcanics	Isarog Volcanics			Isarog Volcanics	
		Pliocene	Late							
	Early									
	Tertiary	Miocene	Late							Tuffaceous sandstone basalt and dacite flows
			Middle	Conglomerate, volcanic wackes and limestone	Del Pilar Formation	Del Pilar Formation				
			Early							
		Oligocene	Late	Diorites and related stocks						
			Early		Tambang Point Diorite	Tambang Point Diorite				
		Eocene	Late	conglomerate, arkostic sandstone, coal, shale, and limestone			Caramoan Formation (Ragas Point Olistostrome (Tabgon Fyisch))	Caramoan Formation		
	Middle		Guijalo Limestone					Guijalo Limestone		
	Early		Guijalo Formation							
	Paleocene	Late	Volcanic wackes, chert, shale, limestone, and basaltic flows		Garchitorea Formation					
		Early								
	Mesozoic	Cretaceous	Late	Ultramafic Complex	Ultramafics	Pagsangahan Fm.	Garchitorea Fm.	Pagsangahan Formation / Garchitorea Formation		
			Early	Gnw., Chert, Sh., spilitic basalt flows, limestone	Pagsangahan Formation	Lagonoy Ophiolite		Lagonoy Ophiolite		
		Jurassic		Schistose sedimentary and volcanic rock	Lagonoy Schist					

Fig.1-3-4 Generalized stratigraphy of Caramoan Peninsula

Geologic Time				Corby et al. (1951)	Corby et al. (1951)	BMG (1982)	This Report	
Era	Period	Epoch	Age	(Batan-San Miguel)	(Cagraray)			
Cenozoic	Quaternary	Holocene						
		Pleistocene	Late			Tabaco basalt	Tabaco Basalt	
			Early	Tabaco Basalt				
	Pliocene	Late				San Miguel Tuff	San Miguel Tuff	
		Early	San Miguel Tuff					
	Tertiary	Miocene	Late	Casolgan Limestone			Casolgan Limestone	
			Middle	Camisog Sandstone			Camisog Formation	Bilbao Formation
		Early	Bilbao Formation	Calicia ss.	Cagraray st	Bilbao Formation	Caracaran Siltstone	Caracaran Siltstone
			Caracaran Silt	Coal Habor Limestone		Liguan Formation	Liguan Formation	
		Oligocene	Late	Liguan Formation			Coal Habor Limestone	Coal Harbor Limestone
			Early					
	Eocene	Late				Rapu-Rapu Schist		
		Middle			Sula Formation	Sula Formation	Sula Formation	
		Early						
	Paleocene	Late						
		Early						
	Mesozoic	Cretaceous	Late	Serpentine Basement Complex	Libog Volcanics	Libog Volcanics	Libog Formation	
			Early			Serpentinized Peridotite	Rapu-Rapu Diorite	
Jurassic						↓ Ophiolite		

Fig. I-3-5 Generalized Stratigraphy of Cagraray, Rapu-Rapu Area

		Geologic Time		Corby et al. (1951) (Camarines Sur)	Corby et al. (1951) (Albay Mainland)	De Guzman (1963)	BMG (1982)	This Report		
Era	Period	Epoch	Age							
Cenozoic	Quaternary	Holocene				Alluvium	Quaternary alluvium	(Mt Mayon, Mt Busan)  (Poodol Volcanics)		
		Pleistocene	Late		San Roque Tuff					
			Early	Caramoan Tuff				Ligao Formation	Ligao Formation	
		Pliocene	Late		Sorsogon Marl	Sorsogon F.	Polangui Formation	Ligao F.	Polangui Volcanics	
	Early		Nabua Formation		Talisay Basin Fm.	Albay Group				Malama Silt. Paulba Ss. Aliang Silt. Talisay Ls.
	Late			Malama Silt						
	Early									
	Miocene	Late				Talisay Limestone				
		Middle		Sto. Domingo Shale	Paulba Sandstone					
					Aliang Silt Talisay Ls.	Ligao Ls / Jovellan Silt				
		Early	Bicol Coal Measures			Bicol Clastic Formation	Bicol Formation	Bicol Formation		
	Tertiary	Oligocene	Late	Ragay Volcanics		Daraga Formation	Panganiran Diorite	Panganiran Diorite	Panganiran Diorite	
			Early	Siramag Marble			Ragay Volcanics	Ragay Volcanics	Ragay Volcanics	
		Eocene	Late	Basement Complex	Basement Complex			Apud Limestone	Pantao Limestone	Pantao Limestone
			Middle							
	Early									
	Paleocene	Late								
		Early								
	Mesozoic	Cretaceous	Late				Panganiran Ultramafics	Basement		
			Early							
Jurassic								Ophiolite		

Fig. I-3-6 Generalized Stratigraphy of Southern Bicol Peninsula



以下に時代別、ブロック別に記述する。

(1)ジュラ系～下部白亜系

オフィオライト (ジュラ系～下部白亜系)

上記の各ブロックの基盤は、オフィオライトである。ピコール北では、蛇紋岩化した超塩基性岩とガブロが、Mt. Cadig, Paracale-Jose Panganiban 地域や、北東方の Guintinua 島などに分布する。

Caramoan の the Lagonoy Ophiolite は完全なオフィオライトシーケンスとして特徴づけられ、超塩基性岩 (クロマイト層を伴うダナイト・パイロキシナイト・カンラン岩)・ガブロ (塊状およびキムレイト相)・枕状玄武岩およびこれらを覆う堆積岩が観察される。オフィオライトは、Caramoan 半島の北西部の Mt. Putianay・Lagonoy、および Tambang などで広く観察される。Tambang 川の東側では、Mapid において玄武岩岩脈に貫入される、塊状から層状のガブロが分布する。これらは、部分的に角礫化した玄武岩枕状溶岩に覆われる。Denrika では、このガブロは、弱く変成した火砕岩と凝灰岩との互層 (一部玄武岩の reworked block を挟む) によって覆われる。これらは、さらにタービダイト堆積物に移化する。Alto 岬の東に露出する、変成した優白質輝緑岩やガブロは、151-156Ma(Ar-Ar)の放射性年代値をもち、ジュラ紀に対比される (Geary, 1986; Geary et al., 1988)。Mayon Mine のガブロの年代測定は、117Ma の値を示し、前期白亜紀に対応する。

カグラライでは、蛇紋岩化したカンラン岩が、Cagraray 島の南・Batan 島の北東端、および Rapu-Rapu 島に分布する。

ピコール南では、蛇紋岩化した輝石カンラン岩と輝岩からなる Panganiran 超塩基性岩 (De Guzman, 1963) が分布する。

オフィオライトを構成する岩石ユニットのうち、その上位のある火山岩や堆積岩は、低度の変成作用を被り、緑色片岩-アルバイト-緑れん石-角閃岩や、石英-長石雲母片岩およびザクロ石-雲母片岩になっている。これらは、ピコール北・Caramoan・カグラライ (Rapu-Rapu 島) において従来片岩とされ、超塩基性岩とは別の地質体として取り扱われていた。例えば、Caramoan 半島では、Lagonoy オフィオライトの変成岩ユニットは、Miranda (1976)および BMG (1981)によって Lagonoy 片岩として扱われている。しかし、これらは最近の調査によって、オフィオライトシーケンスの上位を構成する火山岩や堆積岩が変成を受けたものであることが明らかとなりつつある。したがって、ここでは、これらを一連のオフィオライトシーケンスとして取り扱う。ただし、このうち、超塩基性岩については、別項で再び記載する。

## (2) 上部白亜系

### ①ピコール北

#### *Tigbinan* 層 (上部白亜系)

*Tigbinan* 層は、グレイワッケ・スピライト・安山岩・チャート・チャート質石灰岩・黒色頁岩、およびアルコース質砂岩からなり、Bulala - Paraiso 地域の *Tigbinan*、*Labo* などにスラストシートとして産する。

主体をなす岩相は、グレイワッケ・スピライトおよびチャートである。チャートは暗赤色からチョコレート色を呈し、マンガンを伴う。石灰岩は、明灰色を呈し、サンゴ礁石灰岩と微化石からなる。石灰岩中の *Globotruncana* の幾つかの種は、これらの石灰岩の形成が後期白亜紀であったことを示す。

*Tigbinan* 層に対比されると考えられているものは、次に記す *Caramoan* 半島の *Pagsangahan* 層およびカタンドアネス島の *Yop* 層である。

### ②Caramoan

*Caramoan* 半島に分布する上部白亜系には、*Pagsangahan* 層と *Garchitorena* 層とがある。これらは、*Minas* 断層によって接し、その西側に *Pagsangahan* 層が分布し、東側に *Garchitorena* 層が分布する (David et al., 1994)。

#### *Pagsangahan* 層 (上部白亜系)

*Pagsangahan* 層は、*Guijalo* から *Lagonoy* の北にかけての、*Caramoan* 半島の東半分分布する。ワッケ・チャート・頁岩・スピライト質玄武岩～安山岩溶岩および珪質～魚卵状石灰岩の組み合わせからなる。安山岩溶岩、集塊岩と多孔質な玄武岩・角礫岩および粗粒グレイワッケが *Lagonoy Ophiolite* の変成岩シーケンスの上に載る。*Caramoan* 半島の南端では、本層は、弱い変成度 (緑色片岩相) のグレイワッケ・凝灰岩および火山岩礫をもつ礫岩で特徴づけられる。本層は、*Lagonoy Gulf* に面する *Maagnas* まで連続し、礫岩と細粒～粗粒グレイワッケの互層を伴う溶岩シーケンスになる。*Parabcan* と *Bitagan* では、同シーケンスは、枕状構造をもつ溶岩が卓越する。このユニットの変成度は、東に向かって弱くなる。石灰岩は、半島の南部では、火山碎屑岩と互層する。石灰岩は、白色～灰色の塊状石灰岩から、赤色で層理が発達しチャートの挟みをもつ遠洋性石灰岩まで様々な岩相変化を示す。石灰岩は普通大理石化している。幾つかの試料からは、白亜紀後期を示す化石 *Globotruncana* が発見されている。

#### *Garchitorena* 層 (上部白亜系)

*Garchitorena* 層は、*Miranda*(1976)によって命名された。火山岩質ワッケ・チャート・頁岩・石灰岩および玄武岩溶岩のシーケンスは、*Caramoan* 半島の北東部に分布し、*Garchitorena* から *Tabgon* の南まで広い範囲に分布する。チャートは薄い層理が発達し、明

るい褐色からチョコレート色を呈する。頁岩は、層理が発達し、明るい灰色を呈し、堅硬で、わずかに石灰質である。石灰岩は一般的に塊状で層理が発達し、濁った白色～明るい褐色を呈する。Tinajuagan Point と Tabgon 付近では、本層は赤色から灰色を呈する凝灰岩および安山岩礫を含む集塊岩の挟みをもつ、タービダイトシーケンスによって特徴づけられる。サンゴ礁礫が、粗粒砂岩層中に存在する。

本層の厚さは、1,500m と見積もられている。本層は、以前は暁新世と考えられていた (BMG, 1982)。しかし、最近の研究は、挟まれる頁岩中のナノ化石が白亜紀の年代を示し、本層が後期白亜紀の時代をもつことが確認された (David, 1994)。集塊岩中の安山岩礫からは、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法によって、 $91.1 \pm 0.5 \text{ Ma}$  という年代値が得られている。

### ③カグラライ

#### Libog 層 (上部白亜系)

Libog 火山岩類と呼ばれる凝灰岩および一部溶岩・集塊岩が分布する (Corby et al. 1956; BMG, 1982)。これらは、著しく変成されているものの、非常に良く成層している。カグラライ島の東部には、粗粒のグレイワックと・シルト岩・礫岩の互層が観察されることから、Draft (1996)は、Libog 火山岩類という名前を Libog 層と呼び変えている。また、David et al. (1996)では、本層は、Caramoan 半島に分布する Pagsangahan 層あるいは Garchitorea 層と同世代ものとしている。

### (3) 暁新統～始新統

#### ①ピコール北

##### Universal 層 (上部暁新統～始新統)

Universal 層は、一部では先第三紀層を不整合に覆い、一部では先第三紀層に衝上している。また、上位層である Larap 火山岩類には、南部および東部で整合的に覆われる。本層は、Palacale - Jose Panganiban に分布し、Calambayungan 島の北の部分と Larap 半島にも露出する。この層は、次の二つの部層からなる。

下位の部層は、礫岩・アルコース砂岩および頁岩からなり、グレイワックを挟む。礫岩は、レンズ状に産し、円礫から垂円礫の片岩・チャート・グレイワック・カンラン岩・スピライト・石灰岩の礫および砂質長石質マトリックスからなる。また、場所によっては石英脈・安山岩・玄武岩およびガブロの礫を含む (United Nations, 1987)。アルコース砂岩は、頁岩と互層し、緑色から灰色を呈し、細粒から中粒である。頁岩は、シルト質・凝灰質および石灰質である。

上部層は、石灰岩・泥灰岩および頁岩からなる。石灰岩は、層理が発達し、白色を呈し、細粒結晶質で大理石化している。頁岩は、薄く、緑色から黒色を呈する。

本層は、暁新世から始新世とされている (Miranda and Caleon, 1979; BMG, 1982)。本層は、また、広く変質作用を被り、Palacare 周辺の金鉱床、鉄鉱床およびポーフィリー型銅

鉱床の母岩となっている。トラカイトイック凝灰岩の正長石および二次的な黒雲母の K-Ar 年代は、それぞれ  $15.2 \pm 0.8$  Ma および  $13.4 \pm 0.7$  Ma を示し、これらの時代は、中新世中期の熱水変質活動を反映していると考えられている (Mitchell and Leach, 1991)。

この層に対比される地層は、Caramoan 半島に分布する始新世後期の Caramoan 層、やカタンダアネス島の Payo 層である。

## ②Caramoan

### Guijalo 石灰岩 (中部始新統)

本石灰岩は、Caramoan 半島東部の Guijalo の北から Caramoan の東に分布する。本岩石は、従来は Miranda (1976) および BMG (1982) によって Guijalo 層とされていた。しかし、David et al. (1994) は、Guijalo 層の一部とされていた砕屑岩と石灰岩は時代が異なることから、砕屑岩を Caramoan 層(次節参照)とし、その石灰岩を Guijalo 石灰岩と呼んだ。ここでは、David et al. (1994) に従って記述する。

本岩石は、Minas 岬の西で、Pagsangahan 層の火山岩と火砕岩を不整合に覆う。石灰岩は、クリーム色～灰色を呈し、一般に塊状で、藻類が多い石灰岩から生物砕屑性の石灰岩まで変化に富む。Guijalo 東方では、カルスト地形が発達する。石灰岩中の大型有孔虫の年代決定は、Upper Lutetian-Lower Bartonian を示し、始新世中期に当たる。Minas 岬の本石灰岩の厚さは、約 100m であり、Guijalo の東では、200m である。

### Caramoan 層 (中部始新統～上部始新統)

本層は、David et al. (1994) によって、北は Tabgon から半島の北部の Ragas 岬まで、南は Minas から Rungus 岬まで露出するタービダイトシーケンスおよびオリストストロームユニットに対して名づけられた。Caramoan 層は、次の二つの部層からなる。すなわち、Tabgon フリッシュおよび Ragas Point オリストストロームである。

Tabgon フリッシュ - Tabgon の北西では、細粒から粗粒のグレイワッケ・シルト岩・頁岩・礫岩のリズミックな互層からなり、典型的なフリッシュ堆積相を示す。石灰岩および礫岩中の有孔虫は early Lutetian-late Bartonian の時代を示す。また、フリッシュシーケンスの頁岩層の挟みから抽出したナノ化石は、始新世中期の終わりから始新世後期の始めの年代を示す。

Ragas 岬 オリストストローム - Caramoan 半島の東端の大部分に分布し、南は Guijalo から Rungus 岬まで、北は Bikal から Ragas 岬まで分布する。本オリストストロームには、次のような様々な種類の、様々な大きさのブロック～礫が、頁岩質マトリックス中に観察される。ブロック～礫には、含ヌムリテス礫岩・含有孔虫石灰岩・チャート層を挟む石灰岩・安山岩・火山砕屑岩およびシルト岩が観察される。オリストリスの大きさは、径が 100m を超すものもある。石灰岩オリストリスには、その有孔虫化石から白亜紀を示すもの、および上記 Caijalo 石灰岩と同じ始新世中期を示すものが存在する。

オリストストロームのマトリックスのナンノ化石から、中新世中期の終わりから始新世後期の始めころの時代が示されている。

### ③カグラライ

#### *Sula* 層 (中部始新統)

本層は、Libog 層を整合的に覆う地層として Corby et al. (1956)によって命名された。本層は、おもにカグラライ島の南西部に分布するが、同島の東部およびバタン島の西海岸にも分布する。おもに塊状の化石を含む石灰岩からなる。Sula 層の時代は、Corby et al. (1956)によって、有孔虫化石から始新世とされた。化石群に基づく始新世中期が妥当と考えられている (Draft, 1996)。

### ④ピコール南

#### *Pantao* 石灰岩 (始新統)

本石灰岩は、Albay 州の南西側海岸沿いの Caorasan から Pagniran にかけて、北西-南東のトレンドをもって点在する。本石灰岩は、Panganiran 半島では先第三系の基盤岩類を不整合に覆い、Ragay 火山岩類 (後述) 分布域の中心部に配列している。本石灰岩は、層理が薄く、再結晶しており、密な割れ目が発達する。割れ目は、方解石で充填される。化石群の年代は、始新世を示す (BMG, 1982)。本石灰岩は、De Guzman (1963)の Apud 石灰岩に対比される。

## (4) 漸新統

### ①ピコール北

#### *Larap* 火山岩類 (漸新統)

*Larap* 火山岩類は、Universal 層を不整合に覆い、上位の Bosigon 層に傾斜不整合で覆われる。岩石は、角礫化した安山岩・凝灰角礫岩・安山岩質およびトラキテックな結晶質凝灰岩・火山礫凝灰岩・溶結凝灰岩からなる。溶結凝灰岩は、Bosigon 川で変質した安山岩と互層する。Miranda and Caleon (1979)は、*Larap* 火山岩類の噴出は、部分的に、Paracale 花崗閃緑岩の貫入と同時であったと主張した。

United Nations (1987)の解釈では、*Larap* 火山岩類は Universal 層の部層と考えられている。

### ③カグラライ

#### *Coal Harbor* 石灰岩 (上部漸新統~下部中新統)

本石灰岩は、Corby et al. (1956)によって命名された。カグラライ島の中央部からカグラライ岬の南東に分布する。塊状で、ピンク色~黄褐色を呈する。Hashimoto et al. (1981)は、石灰岩中の有孔虫化石から本岩石の時代を漸新世後期~中新世前期とした。

#### ④ピコール南:

##### Ragay 火山岩類 (下部漸新統)

本岩石は Corby (1951)によって命名された。ピコール半島南西側海岸沿いの、Tinalmud から Panganiran (Pio Duran) までに点在する。本岩石の大部分は Panganiran 半島に分布する。本火山岩類は、安山岩溶岩および集塊岩からなり、Pantao 石灰岩を整合的に覆い、漸新世後期の Panganiran 閃緑岩によって貫入される。また、Pantao 石灰岩の層理中にそって、本火山岩が薄くシート状に貫入することがある。細粒～中粒斑状であり、淡緑色～明緑灰色を呈する。安山岩は、大部分熱水変質作用を被る。初生斑晶は、斜長石・単斜輝石および角閃石であるが、これらは、緑泥石～緑れん石化することが多い。北北東～北東トレンドの断層が観察され、断層帯では、本岩石は強い剪断を受け、角礫化している。そのような場所では、本岩石は緑泥石化し、黄鉄鉱染がみられる。

#### (5) 中新統

##### ①ピコール北

##### Bosigon 層 (下部中新統)

Miranda and Caloen (1979)は、礫岩・頁岩・アルコース砂岩・石灰岩・玄武岩質溶岩・ワッケ・凝灰岩質頁岩およびチャートのシーケンスが Camarines Norte 州の Bosigon 川沿い、Labo に露出することを報告し、これらを Bosigon 層と呼んだ。

この層は、the Larap 火山岩を不整合に覆い、Santa Elena 層に不整合に覆われる。上部および下部層が識別されている。

下部層は、礫岩・砂岩・頁岩および石灰岩の互層からなる。礫岩は、ペブルサイズの安山岩・溶結凝灰岩・石英片岩・スカルンの角礫～亜円礫からなり、石灰質マトリックスによってセメントされる。砂岩は、アルコース質で、灰色を呈し、細粒から中粒である。頁岩は、灰色～黒色を呈し、凝灰質～石灰質である。石灰岩は、サンゴ礁質で、濁った灰色から黒色を呈し、細粒緻密である。ただし、United Nations (1987)では、下部層を Tamisan 泥岩として Bosigon 層から区別している。

上部層は、玄武岩溶岩・火山岩質ワッケ・凝灰角礫岩・チャートおよび石灰岩の互層からなる。チャートと石灰岩は、シーケンスの中では少なく、薄い層である。チャートは、細粒質の石灰岩よりも厚い。

本層の厚さは、約 1,500m であ、中新世前期とされている (BMG, 1982)。しかし、United Nations (1987)は、本層の層準を前述の Universal 層よりも下位にしており、Mitchell and Leach (1991)もその可能性を述べている。

##### Sta. Elena 層 (上部中新統)

本層は、Camarines Norte 州の Macogon-Kanapawan 道路、Sto. Tomas-Sta. Elena 道路沿いに露出する岩石および Quezon 州の Kilbay Creek の上流に分布する岩石のグループに対して、

Miranda and Calcon (1979)によって、Sta. Elena 層として報告された。Sta. Elena 層は、Bosigon 層を不整合に覆い、Vinas 層に整合的に覆われる。

これらは、礫岩・砂岩・シルト岩・頁岩および少量の石灰岩からなる。礫岩は、ペブルサイズの玄武岩・閃緑岩・火山岩質砂岩・石灰岩およびチャートの円礫～亜円礫からなる。砂岩は、塊状、暗灰色、中粒～粗粒である。石灰岩は、中粒～細粒で、化石を含む。この層は、中新世後期とされる (BMG, 1982)。

## ②Caramoan

### Del Pilar 層 (下部中新統)

本層は、Grachitorena の北西の Del Pilar 地域に小規模に分布する。本層は Garchitorena 層を不整合に覆う。本層は、礫岩・火山岩質ワッケおよび石灰岩からなる。礫岩は、一般的に塊状で、ペブル～コブルサイズの火山岩・グレイワッケ・石灰岩・石英および片岩の亜角礫から亜円礫なる。これらの礫は、石灰質なマトリックスによってセメントされている。ワッケは、層理が発達し、粗粒で赤褐色を呈する。石灰岩は、層理が薄く、濁った白色から灰色あるいは黄褐色を呈し、細粒である。BMG(1981)はこれを中新世前期とした。

### Lahuy 層 (中部～上部中新統)

Miranda(1976)よれば、砂岩・玄武岩・デイサイト溶岩の互層からなり、Lahuy 島および隣接する島 (BMG, 1982) に分布する。砂岩は、層理が発達し、明灰色を呈し、かなり堅硬である。凝灰質で磁鉄鉱サンドに富む。本層は、BMG(1982)によって中新世中期～中新世後期とされた。David et al. (1994)は、本層の岩相が Garachitorena 層のものと似ることから、これを Garachitorena 層に含めた。

## ③カグラライ

### Liguan 層 (下部中新統)

バタン島の南部に沿って分布する。本層は下位より Coast 石灰岩・Coal 層および Hill 石灰岩の3部層からなる。

### Caracaran シルト岩 (下部中新統)

本層は、Corby et al. (1956)によって、バタン島の Caracaran 川沿いに分布するシルト岩に対して命名されたものである。石灰岩および石炭層を挟む。

### Bilbao 層 (中部中新統)

Bilbao 層は、バタン島に分布し、下部石灰岩・Galicia 砂岩・石炭層および上部石灰岩からなる。下部石灰岩は、礫岩質のサンゴ石灰岩からなり、シルト岩や砂岩のレンズを挟む。Galicia 砂岩は、粗粒砂岩で一部礫岩質である。石炭層は、下部石灰岩の上に載り、褐色砂

岩および石灰質頁岩中に石炭の薄い層を挟む。上部石灰岩は、Gaba と Kalanaga 湾の間に露出し、岩相は下部石灰岩に似る。

#### ④ピコール南:

##### *Bicol* 層 (下部—上部中新統)

本層はピコール半島南西海岸に沿って、北は Camarines Sur の Caima 湾から、南は Albay の Pantao の南東地域まで分布する。本層は、また、やや内陸側の Libon 南にも露出し、その分布は南東側の Legaspi 付近にも広がる。先第三系の基盤岩類を不整合に覆い、Talisay 層に不整合に覆われる。

本層は、次の4つの岩相に区分される。最下底ユニットは薄い層理が発達する礫岩と砂岩の互層からなり、レンズ状の石炭層が礫岩層の間に挟まる。次のユニットは、石灰岩で、Panganiran (Pio Duran) 付近に露出する。石灰質な砂岩が、3番目のユニットを構成する。Pantao の北東に分布する。比較的層理が発達し、黄褐色から灰色を呈し、一部泥岩と石炭層レンズを挟む。最も若いユニットは、スレートと変砂岩からなり、一部に大理石レンズを挟む。スレートは、幾分変質し、薄く葉理が発達する。剥がれやすく、黒色~灰色を呈する。変砂岩は粗粒で、節理が発達し、褐色を呈する。

化石は、中新世前期—中新世後期を示す。本層の層厚は、1,200m で浅海に堆積したと考えられる。

#### (6) 鮮新統

##### ①ピコール北

##### *Vinas* 層 (鮮新統)

Quezon の Calauag の北方の San Lorenzo 付近および Camarines Norte の Daet の西方に分布する。本層は、層理が未発達な砂質石灰岩、石灰質砂岩と頁岩との互層、および石灰岩・礫岩基底層からなる (Espiritu and others, 1968)。本層の厚さは、475m である。本層の堆積時代は、化石から鮮新世と考えられている。

##### *Macogon* 層 (鮮新統)

本層の名前は、Miranda and Caleon (1979) によって、Kanapawan- Macogon 道路沿いに露出する岩石に対してつけられた。本層は、Daguít 南部の Bosigon 川と Palall 川沿いに分布する。Sta. Elena 層を整合に覆い、Bosigon 層を不整合に覆う。本層は、火山砕屑岩と黒色の凝灰質頁岩および玄武岩溶岩からなる。火山砕屑岩は、本層の上部に存在し、デイサイト質である。これは枕状玄武岩および玄武岩質火砕岩に覆われる。本層は、Nalesbitan 鉱床の母岩となっている (Angeles et al., 1987; Sillitoe et al., 1990)。本層の時代は、鮮新世と考えられている (BMG, 1982)。



### Bagacay 安山岩 (鮮新統)

Bagacay 安山岩という名前は、Meek et al., (1941)によって、Paracale の南東の Mt. Bagacay に広く分布する塊状あるいは火砕岩状の安山岩に対して用いられた。本岩石は、灰色～暗灰色マトリックス中に角閃石斑晶を持つ安山岩である。本岩石は、鉍脈型金鉍床の母岩ともなっており、黄鉄鉍化および緑泥石化が断層沿いに観察される。本岩石の時代は、鮮新世と考えられている。

### ③カグラライ

#### San Miguel 凝灰岩 (鮮新統～更新統)

San Miguel 凝灰岩は、San Miguel 島の南海岸に分布する海成堆積物の薄層からなる。下部は砂岩層を伴う凝灰質頁岩、上部は砂岩を主体とする。これらは、上位に向かって玄武岩質の溶岩および集塊岩からなる Tabaco 玄武岩に漸移する。

### ④ピコール南

#### Talisay 層 (上部中新統～鮮新統)

本層は、以前に Corby et al., (1951)によって Albay Group と名づけられた。この名前は Bureau of Mines Petroleum Division (1966, 1975)および BMG (1982)にも採用された。しかし、de Guzman (1963)はこれを層群から層へとランクを下げ、Talisay Basin 層という名で呼んだ。

本層は、ピコール半島南西側海岸沿いの広い範囲に分布する。走向は、北西-南東方向で、海岸線の方向とほぼ平行である。Albay 向斜と呼ばれる緩やかな向斜構造を示す。傾斜する Bicol 層を不整合に覆う。本層は、下位から順に Talisay 石灰岩、Aliang シルト岩、Paulba 砂岩および Malama シルト岩からなる。最下位層である Talisay 石灰岩は、上部中新統に分類され、その他の上位層は鮮新統に分類される。

Talisay 石灰岩は、Albay 向斜の両翼部に分布し、Bicol 層の上に不整合に載る。薄い層理が発達し、下部から上部に向かって、砂質、結晶質、サンゴ礁質と岩相が変化する。層厚は約 290m である。Aliang シルト岩は、Ligao 層(後述)によって不整合に覆われる。Malama シルト岩は、薄い層理が発達し、石灰質である。粗粒なアルコース質砂岩の薄い挟みを持つ。本ユニットの厚さは、250-350m で鮮新世とされる。Paulba 砂岩は、Paulba と San Jose との間に分布する。本ユニットは薄い層理からなり、多量の火山岩砕屑物を含む。また、凝灰質マトリックス中に、軽石・火山砕屑岩・サンゴ礁の礫を含む礫岩層を挟む。厚さは、100-200m である。Malama シルト岩は、Pantao 山脈と Ligao-Oas の間の、なだらかな地形を形成する。本シルト岩は、厚い層理からなり、灰色～褐色を呈す。化石を含み、石灰質の頁岩層を挟む。本層の厚さは、約 1,800m である。本層は、Bicol 層の上に不整合に載り、Paulba 砂岩の上に整合的に載る。

## (7) 更新統

### ①ピコール北

#### Labo 火山岩類 (更新統)

本火山岩類は Miranda and Caleon (1979) によって命名された。本火山岩類は Mt. Labo およびその周辺に広く分布する。鮮新統を整合に覆う。

本火山岩類は、安山岩溶岩およびデイサイト溶岩の互層からなり、凝灰岩などの火山砕屑岩層を挟む。安山岩は、少量の角閃石斑晶と斜長石斑晶を含み、多孔質な凝灰質～ガラス質マトリックスをもつ。デイサイトは、粗粒の斜長石斑晶、黒雲母斑晶と少量の石英斑晶をもつ。安山岩およびデイサイトは、断層に沿って珪化・脱色している。火山砕屑岩は、Mt. Labo の周辺に分布し、新鮮なところでは明緑灰色～灰色を呈し、風化すると赤褐色となる。凝灰岩層には、角閃石・黒雲母および斜長石の斑晶片を持つものがある。火山砕屑岩のなかには、層理が良く発達し、しばしば斜交層理を示すものがある。

Mt. Labo の東には、San Miguel Bay に面して Mt. Culasi が分布する。東側に開いた楕円形の凹地が観察され、開析された爆裂火口と推定される。Mt. Labo と同様に塊状の角閃石安山岩・デイサイト溶岩および凝灰岩・凝灰角礫岩が広く分布している。海岸沿いの Culasi Peak、Tacubtacuban Hill 等の小丘や Mt. Culasi の 798m ピークは黒雲母デイサイトのプラグであり、その他の部分は角閃石安山岩および火砕岩からなる。

### ②Caramoan

#### Isarog 火山岩類 (鮮新統～更新統)

Caramoan 半島で最も若い地層は、Isarog 火山岩類である。これらは、塊状安山岩溶岩および火山砕屑岩との互層からなる。これらの岩石は、Mt. Isarog とその周辺の Tinambac にかけて分布し、Lagonoy オフィオライトや Tambang 閃緑岩を不整合に覆っている。安山岩は、節理が発達し、広範囲に珪化およびカオリン化が認められる。幾つかの露頭ではシリカに富む粘土とオパール質な岩石に変質している。火山砕屑岩の挟みは、安山岩の角礫～亜円礫を含む。本岩石は、鮮新世～更新世と考えられ、フィリピン trenches の沈み込みに関係して形成されたと考えられる。

### ③カグラライ

San Miguel 凝灰岩および Tabaco 玄武岩は、鮮新統～更新統である。

### ④ピコール南

#### Ligao 層 (鮮新統～更新統)

Ligao という名前は、最初に Corby et al. (1951) によって、Ligao の Talisay 川に分布する石灰岩に対して用いられた。本層は、de Guzman (1963) によって Ligao 層と呼ばれた。彼は、Ligao レンジにある石灰岩と火砕岩の両方を含んで、そう呼んだ。本層は、Javellar から

Dapdap にかけての広い範囲に分布する。本石灰岩は厚い層理からなり、塊状である。サンゴ礁石灰岩であり、白色～ピンク色を呈し、海岸沿いの崖を形成する。火砕岩は、石灰岩の下に位置し、また、石灰岩の挟みとしても産する。Albay 北西部および Camarines Sur に分布するの Nabua 層(Corby et al., 1951)の石灰質砂岩や Sorsogon 石灰質碎屑岩 (Corby et al., 1951)は、Ligao 層と同じ岩相と考えられる。本層の厚さは、約 500m であり、鮮新世～更新世と考えられている。

#### Polangui 火山岩類 (鮮新統—更新統)

この名は、Oas, Polangui, Ligao および Tabaco 付近に分布する火山岩類に対して、De Guzman (1963)によって命名された。本岩石は、火山碎屑岩および溶岩からなり、Albay および Sorsogon の火山地域の地形を形成する。Albay および Sorsogon に分布する火山岩類は、いまだ十分な調査がなされておらず、これらの火山層序は明確になっていないのが現状である。相対的に古い火山は Mt. Masaraga および Mt. Malinao で代表される。Mt. Mayon や Mt. Bulusan は、活火山である。Mt. Mayon は、最も最近では、1993 年に噴火しており、観測が進んだ近年には、1968 年以降 4 回の噴火を繰り返している。Bacon-Manito 地域に分布する火山岩類は、Pocdol 火山岩類と呼ばれている (例えば Espiritu, 1979)。また、Sorsogon 南部にはイロシンカルデラがあり、Sorsogon 南部に分布する火山岩類は、イロシンカルデラ形成に関連して、カルデラ前火山岩類、カルデラ軽石流堆積物、後カルデラ火山岩類に分類されている (例えば Delfin et al., 1988)。イロシンカルデラは直径約 11km であり、約 4 万年前の大規模な流紋岩質火砕流の噴火で形成された (宇井, 1993)。カルデラの南方に位置する Gate Mountains は、カルデラ前期火山岩類が分布する。カルデラの中心よりやや北東側に偏って、後カルデラ火山である Mt. Bulusan や Mt. Jormajan などが分布する。Mt. Bulusan は、1852 年以来ブルカノ式の活動を繰り返した。

#### (8) 完新統

ピコール北の北西部～東部および Caramoan の氾濫原や大河川を構成する沖積層は、淘汰が悪く未固結の土壌、粘土、シルト、砂、礫からなる。ピコール南の海岸および河川を構成する沖積層は、碎屑岩、石灰岩、火山岩および閃緑岩の碎屑物からなる。

#### 3-1-2 ピコール地域の貫入岩類

##### (1) 花崗岩類

###### ①ピコール北

###### Paracale 花崗閃緑岩 (中部中新統?)

Jose Panganiban - Paracale に分布する Paracale Granodiorite (Meck et al., 1941; Frost, 1959) は、約 17km の長さで 4km の幅を持つ。本岩石は、蛇紋岩化した超塩基性岩中に貫

入している。両者のコンタクトは、岩体の外側に向かって傾斜しており、岩体の北東側に比べ南西側の方が傾斜が大きい。Mitchell et al. (1986)、Mitchell (1988)および United Nations (1987)は、本岩体が超塩基性岩中に貫入したのではなく、超塩基性岩が、本岩体に衝上したと考えた。

花崗閃緑岩の進入は、古生代 (Alvir, 1950) から更新世 (Meek et al., 1941) までのいろいろな時代が提唱されてきている。Frost (1959)は、このストックの貫入は、Universal 層の堆積の後に起こり、Universal 層を覆う Larap 火山岩類の噴出の後まで続いたことを示唆した。Miranda and Caleon (1979)は、本ストックの貫入時代を漸新世前期と主張した。また、Caramoan の石英閃緑岩やカタンドアネスの Batalay 貫入岩の貫入時代と同じであるとした。本岩石の放射年代値は、Wolfe (1981)によって、ストックの黒雲母で 14.9Ma という K-Ar 年代が与えられ、中新世中期の時代を示すことが報告されている。United Nations (1987)は、 $17.1 \pm 0.9\text{Ma}$  という黒雲母の K-Ar 年代を示し、Geary et al., (1988)は、 $18.7 \pm 0.4\text{Ma}$  という Ar-Ar 年代を得ている。しかし、Mitchell and Garcia (1981)および United Nations (1987)は、これらの放射年代は本岩石進入後の熱イベントの年代を示すもので、進入時代は先第三紀あるいは中生代と考えている。

本花崗閃緑岩は、中粒～粗粒で、明灰色を呈し、Albay ト～オリゴクレス・正長石・黒雲母および石英が主要構成鉱物である。岩体の周縁部に沿って片麻状組織や顕著な葉理構造や線構造が認められる。葉理構造の方向は、岩体の外縁にはほぼ平行である。これらの葉理構造および線構造は、岩体の中央核部には認められていない。岩石は、著しく破壊をうけ断層が多く、断層沿いに脱色や黄鉄鉱が生じている場合が多い。

Paracale Gumaus 金鉱山の 350 フートレベルの坑内マッピングでは、花崗閃緑岩は、数多くのベグマタイト、アプライトおよびランプロファイヤーに切られている。ベグマタイトは希であり、薄く不連続な岩脈として産し、花崗閃緑岩とアプライトに貫入している。ベグマタイトは、2cm に達する大きな正長石と石英結晶を含む。アプライト岩脈は、黒雲母・苦鉄質鉱物および他形のガーネットを含む。これらの岩脈が多数貫入しているところでは、花崗閃緑岩は脱色しているが、鉱化作用は観察されない。アプライトは幅 2～10m で膨縮し、北西方向に沿って花崗閃緑岩の葉理構造を切っている。ランプロファイヤーは幅 0.3～1.5m で、細粒暗緑色で、花崗閃緑岩の葉理構造や幾つかのアプライト脈を切っている。

本花崗閃緑岩は、以下に述べる Tamisan 閃緑岩の進入と部分的には同じ時期であったと考えられている。

#### Tamisan 閃緑岩 (中部中新統)

Tamisan 閃緑岩は、Camarines Norte Tamisan 地区の、Bosigon・Bayabas および Labo 川の支流に露出する石英閃緑岩につけられた名前である。本貫入岩は、角閃石閃緑岩～石英閃緑岩まで、組成が変化する。関係火成岩類は、安山岩・閃長岩およびデイサイトポーフイーリーがあり、これらは、ストック状・岩脈状およびシル状に産する。これらは、Universal

層、Larap Volcanics および Bosigon 層に貫入し、中新世中期に進入したと考えられ、接触交代型鉄鉱床および熱水鉄床を形成している。

石英閃緑岩は、中粒優白質斑状であり、石英・斜長石および普通角閃石を主要鉱物とするが、一部の角閃石は緑泥石化している。Tabas-Pinagbirayan 地域の角閃石閃緑岩は、細粒～中粒、斑状、淡灰色～緑色であり、角閃石が線状配列を示す。石英安山岩質斑岩は、Larap 半島の南東部ではストックとして産し、Calambayungan 入江では岩脈または岩床として産する。淡緑色・細粒～粗粒で石英・正長石および黒雲母を主要鉱物とする。磁鉄鉱は、副成分鉱物として一般的にみられる。

デイサイトポーフイリーは、Universal 層および Larap 火山岩類中に極めて小さなストックとして産する。石英・長石・黒雲母の斑晶をもつ。ただし、本岩石については、United Nations (1987)は、22 の小さなストックを発見し、本岩石の K-Ar 年代( $2.4 \pm 0.3$  Ma)から Tamisan 閃緑岩よりも若い時代の活動としている。

閃長岩は、Larap 半島に閃長岩ポーフイリーの岩脈～シルとして産する。Larap 鉱山の Bessemer ピットに露出する閃長岩と同じものと考えられている (United Nations, 1987)。

安山岩は、稀であるが Larap 半島の南東部に岩脈または岩床として産する。優黒質・細粒～中粒・斑状であり、斜長石と普通角閃石の斑晶を伴う。

## ②Caramoan

### Tambang Point 閃緑岩 (漸新統)

Caramoan の閃緑岩質の岩石は、Tambang Point 閃緑岩と呼ばれ、片岩および白亜紀～始新世の岩石に貫入する小岩体として産する。また、最大幅 10m 程度の岩脈および岩床としても産する。本岩は Tambang 岬・Tambang 川東岸および Magtan などの Caramoan 半島の主に西側に分布する。最大の岩体は、Tambang 川東岸側に分布する。産地により組成は様々であるが、一般的には石英閃緑岩と角閃石閃緑岩に分類される。一般的には、石英閃緑岩は中粒・優白質・斑岩状であり、石英・曹長石質斜長石および角閃石の初生鉱物を有する。通常、斜長石は細粒の絹雲母に、角閃石は緑泥石に変質している。典型的な角閃石閃緑岩は、中～細粒、優黒質および斑岩状であり、常に暗緑色角閃石の斑点を有する。貫入年代は、漸新世前期と考えられている。

## ③カグラライ

### Rapu-Rapu 閃緑岩 (上部白亜系)

ラブラブ島の南西海岸には、超塩基性岩に貫入する閃緑岩が観察される。本岩体は、塊状で、割れ目が発達している。中粒～粗粒で弱い珪化を被る。放射年代は、79Ma であり、同島で得られた Wolfe (1981)の 42Ma よりも古い値を示した。

#### ④ピコール南

##### Panganiran 閃緑岩 (上部漸新統)

Panganiran 閃緑岩は、南部ピコール Panganiran 半島に分布する。岩体は、北西-南東方向に延びる3列の岩体として産する。このうち北西側の岩体が最も分布面積が広く、Pantao 岬から Malacbalac まで連続する。Panganiran 閃緑岩は、角閃石閃緑岩と角閃石石英閃緑岩に大別される。さらに、角閃石閃緑岩は、細粒~斑状・半自形粒状のものと粗粒・半自形粒状~ペグマタイト状の2種類に分けられる。角閃石閃緑岩は、主要構成鉱物として中性長石と普通角閃石を有し、緑れん石・方解石・楔石および粘土鉱物を副成分鉱物として伴う。圧碎部の斜長石は、粘土鉱物・絹雲母・方解石および微細鉱物集合体に変質し、普通角閃石は緑泥石および楔石に変質している。閃緑岩の多くの部分を占める斑岩状角閃石石英閃緑岩は、Panganiran 湾付近に分布する。ペグマタイト状石英角閃石閃緑岩は、節理に沿った岩脈として Maragondong-Pasacao 海岸線に産する。これらの Panganiran 閃緑岩は、Ragay 火山岩類に貫入しており、貫入接触部では火山岩類にホルンフェルス化が観察される。Ragay 火山岩類中の漸層に沿って貫入したと考えられる。

#### (2) 塩基性~超塩基性岩類

##### ①ピコール北

ピコール北の塩基性~超塩基性岩類は、Cadig 山、Paracale-Jose Panganiban 地域および北東沖の島に分布する。褶曲した片岩や白亜系に衝上した岩体として産し、Paracale-Jose Panganiban 地域では Paracale 花崗閃緑岩により貫入されている。

蛇紋岩化した超塩基性岩類は、淡黄緑色~暗緑色を呈する。一般的には、剪断化および角礫化しており、繊維状の滑石・緑泥石や炭酸塩鉱物が割れ目を充填している。完全に風化した超塩基性岩からは、黄色~赤褐色のラテライト性土壌が形成されている。カンラン岩は、他形粒状の輝石とカンラン石からなる。輝石の劈開は、蛇紋石および針状磁鉄鉱が充填している。蛇紋岩化が著しい部分では、アンチゴライトが大半を占め、斑点状の滑石および緑泥石を伴う。Ingalan 島では、輝岩が厚さ6~10cmの層状に産し、カンラン岩とダナイトを伴う。輝岩は、塊状・粗粒の岩石であり、90%以上の輝石からなる。ダナイトは、塊状・中粒・黄緑色であり、カンラン石を主体にし少量の斜方輝石およびクロム鉄鉱を伴う。

##### ②Caramoan

Caramoan の超塩基性岩は、Lagonoy オフィオライトシーケンスの一ユニットと考えられ、褶曲した片岩および白亜紀の Pagsangahan 層に衝上した強剪断化岩体として産する。Putianay 山および Tambang 南東部に分布する。Lagonoy の北では、E-W 方向の横ズレ断層に沿って小岩体が点在する。主に淡黄緑色~暗緑色であり、一部は暗青緑色、暗緑灰色または淡褐色である。主要な岩石は、カンラン岩・ハルツパージャイトおよび輝岩であり、

これらにハンレイ岩・ダナイトおよびクロム鉄鉱層が挟在する。これらの岩石は、通常完全に蛇紋岩化し、剪断化および角礫化している。種々の岩相が複雑に混在している。ハンレイ岩は、粒状・優黒質で、絹雲母化した斜長石を有する。稀に、薄い層状構造を示す。Caramoan 半島に分布する超塩基性岩は、熱水変質作用を覆っており、鉄・コバルトを含むニッケル含有ラテライトが厚く覆っている。

### ③カグラライ

カグラライの超塩基性岩は、蛇紋岩化したカンラン岩であり、変成岩類に貫入している。Batan 島の3カ所、Cagraray 島の南海岸および Rapu-Rapu 島の西部に露出する。岩体周辺部では、角礫化、剪断化している。カンラン岩は暗色・他形粒状～斑状である。斑状カンラン岩では、斜方輝石・カンラン石および単斜輝石からなる細粒基質中に斜方輝石斑晶が見られる。輝石は主にエンスタタイトであり、岩石の約 60%を占める。その他の鉱物は、不透明の鉄酸化鉱物、アンチゴライトおよびイディングス石である。

### ④ピコール南

ピコール南の Panganiran 超塩基性岩は、レンズ状または不調和な形状であり、蛇紋岩化した輝石カンラン岩および輝岩からなり、衝上岩体として産する。Maragondong から北西方向に延びる Panganiran 川に沿って分布する。岩石は暗緑色～墨色を呈し、他形粒状で単斜輝石とカンラン石を主とし、蛇紋石・磁鉄鉱およびウラライトを伴う。

### 3-2 ビコール地域の鉄床・鉄微地

ビコール地域の鉄床・鉄微地分布図を Fig.1-3-7 に示す。また、Appendix Table 1-2 に、これらの鉄床・鉄微地の一覧表を示す。

Fig.1-3-7 は、主に次の既存データをもとに作成した。

- ・ MINERAL POTENTIAL OF THE BICOL REGION (Bureau of Mines and Geosciences, Region V 発行、縮尺 1:250,000)
- ・ Bureau of Mines and Geosciences(1986)
- ・ 金属鉄業事業団資源情報センター(1997)
- ・ JICA/MMAJ (1985)

また、下記データに記載のないものも、他の収集した文献から抽出し、一覧表への記載とともに、Fig.1-3-7 上にもプロットした。

Fig.1-3-7 および Appendix Table 1-2 の作成に当たっては、金属鉄床だけでなく粘土を含む非金属鉄物・マンガン・燐鉄および重砂等も対象とした。これは、カオリン粘土などは、浅熱水性鉄床との関係がある場合があるためである。また、金属鉄床・鉄微地については、文献上、地化学異常が認められる地点があれば、これも Fig.1-3-7 上にもプロットした。

ビコール地域では、金属鉄床が密集する Camarines Norte については、Mitchell and Leach (1991)、United Nations (1987;CN-52)および Frost (1959, 1965)などの包括的な記載がある。その他の地域の鉄床・鉄微地については、Caramoan 半島について Miranda (1976;CS-32)がある以外は、包括的記載はない。このうち、Frost (1959)は、Paracale の鉄床区の南西部に位置する、ベースメタル鉄床・鉄微地を、“Iron Belt”と “Base Metal Belt”に分け、これらの特徴を記述している。United Nations (1987)は、BMG との協力調査を Camarines Norte において 1987~1987 まで実施した結果をまとめている。Mitchell and Leach (1991)は、フィリピンの浅熱水鉄床の包括的記述をしており、Camarines Norte 地域の鉄床についても、United Nations (1987)をもとに詳しい記述を行っている。

以下に鉄種別に、鉄床・鉄微地について述べる。金および銅についてはその鉄床・鉄微地が比較的多いため、各州に分けて記述する。

#### 3-2-1 金

ビコール地域には、フィリピンでも主要な鉄床区として知られる Paracale 鉄床区が存在する。Fig.1-3-7 から明らかなように、既存データの鉄床・鉄微地は、そのほとんどが Camarines Norte の Paracale 地区に分布する。Fig.1-3-7 に示すその他の鉄微地は、







Camarines Sur では Caramoan 半島中部、Lahuy 島および Dalupaon 北西部に、Albay では Rapu-Rapu 島および Bacon-Manito 地区に、Sorsogon では San Francisco の東部に認められる。以下に各地区の金鉱床・鉱微地について簡単に記載する。なお、Camarines Norte の金鉱床・鉱微地については、Mitchell and Leach (1991) をもとにやや詳しく記述する。

#### (1) Camarines Norte

Camarines Norte の金鉱床・鉱微地は、その分布域から次の 3 地区に分けることができる。

1. Jose Panganiban-Paracale 地区
2. Sta. Elena - Tabas 地区
3. Nalesbitan - Tuba 地区

このうち、1と2は、フィリピンにおいて歴史的に 2 番目の金生産地であり、過去に 160t 以上の金を生産している (Mitchell and Leach, 1991)。

#### Jose Panganiban - Paracale 地区

本地区は Paracale から Jose Panganiban を東西に結ぶ線のほぼ北側に位置し、白亜紀のオフィオライトシーケンスと考えられる超塩基性岩とそれを貫いて分布する Paracale 花崗閃緑岩が分布する地域である (Fig.1-3-1)。

本地区に分布する金鉱床の多くは、戦前に開発された。1950 年代までに閉山したものが多く、1980 年代に再開発を企図して探鉱されたものも多いが、その中で現在も操業しているのは、United Paragon 社の Longos 鉱山('94 年生産実績: Au:2.37t; 金属鉱業事業団資源情報センター, 1977) のわずかに一鉱山のみである。

本地区に分布する主な鉱山には、Longos 鉱山(cn37)、La Suerte 鉱山(cn225)、San Mauricio (Olegram) 鉱山(cn230)、Magna 鉱山および Paracale Gumaos 鉱山(cn30)などがある。これらは、すべて鉱脈タイプであり、以下のような特徴をもち、Mitchell and Leach (1991) は、これら全てを浅熱水性金鉱床としている。一方、Sillitoe et al. (1990) は、これらは、ポーフリー型銅・金システムの周辺にしばしば観察される鉱脈型の金・ベースメタル鉱化作用と考えている。

母岩: Paracale 花崗閃緑岩 (Mitchell and Leach (1991) は、これを Paracale Trondhjemite と呼んでいる)

方向: 脈は、N10° E 走向で急傾斜である。

分布: 大部分は Paracale 花崗閃緑岩体の北側コンタクト (超塩基性岩との) に分布する。南側コンタクトにはほとんど分布しない。

形態特性: 脈は花崗閃緑岩体の縁で厚く、鉱化も強くなる。

超塩基性岩に入ると数 m~数十 m で消滅する。

花崗閃緑岩体の内側に向かって脈幅は狭くなり、品位も下がり、  
"barren core"になる。

高品位部：脈の交差部と、主脈から枝分かれたした支脈

脈の特徴：白色と緑色の 2 種類の石英脈があり、前者が多数を占める。白色のものは石英、石英-方解石脈であり、微細結晶の石英細脈 (stringer)、vug, 粗粒な閃亜鉛鉱・方鉛鉱のバンドなどが観察される。ベースメタルの含有量が高いことも特徴である。他方は超塩基性岩とのコンタクト近くに分布する。

鉱石及び鉱物：黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、黄銅鉱、輝銅鉱、コペリン、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、四面銅鉱。ベースメタル硫化鉱物が多いのが特徴で、Pb、Ag、Zn、Cu が回収された鉱山も多い。微量の Mo、W もある。Pb、Zn のあわせた含有量は、0.5 - 1.0% である。

流体包有物均質化温度：San Mauricio (Olecrum) 鉱山(en230)の脈のデータがあり、大部分は、220~300℃の温度範囲に入る。

他の特徴：脈は深部から浅部へ次のように変化する

深部：輪郭が明瞭な石英脈で母岩の変質帯は発達しない

浅部：細脈になり、母岩は珪化と珪質変質が発達する。金含有量も小さくなる

深部での湧水のため探鉱は地表から深度約 300m 間を対象に行われていた。

#### Sta. Elena - Tabas 地区

本地区は Larap 半島から Batobalani 付近をとって Mt. Bagacay の北部に広がる地域で、前記の Paracale 地区に南に位置し、ほぼ Frost (1959) の "Base Metal Belt" および "Iron Belt" に一致する地域である。晩新世後期から始新世とされる Universal 層が分布し、これに Tamsan 閃緑岩 (中新世中期) とされる多くのストックが貫入する。また、鮮新世とされるデイサイト質ポーフイリーの 20 ほどの小岩体が、Universal 層に貫入している (United Nations, 1987)。

本地区の金鉱床・鉱徴地は、Mitchell and Leach (1991) によって次の 2 種類に分けられている。

- 1) ベースメタルや鉄鉱床にともなう金鉱徴
- 2) 浅熱水性鉱脈鉱床

1) に属するものとして、以下の鉱床・鉱徴地を挙げている。

#### Matanlang ポーフイリー銅・モリブデン鉱床

本鉱床は、金品位 0.4 g/t である (Sillitoe and Gappe, 1984)。後節 (銅) にも記述する。

#### Submakin ベースメタル鉱微地(cn222)

硫化物鉱石は、Au:0.26 g/t の品位を示す。

#### Penarco 磁鉄鉱・ベースメタル鉱床

スカルンを切る方解石脈に由来すると考えられる土壤に金異常が認められる。

#### Pinagbirayan Munti 磁鉄鉱鉱床(cn239)

土地地化探では、Au: 3.9ppm, Ag: 3ppm の異常値が認められる。岩石サンプルでは、Au: 0.3ppm, Ag: 0.2ppm である。Cu は 350ppm を示した。

#### Tabas 鉱微地(cn219)

土壤や重砂中に金粒が認められる。これらの土壤は、磁鉄鉱鉱床の母岩となっているホルンフェルス化した泥岩や安山岩-閃緑岩角礫岩に由来する。

これらのポーフイリー-銅およびベースメタル-鉄スカルン鉱床に伴う金は広くこの地区に産するが、経済的価値は低いとしている。

2) に属するものとして以下の鉱床・鉱微地を挙げている。

すなわち、Paracale National, Paracale d'Oro Mine, Nico Mine, Exciban Mine (cn203, cn228) および Santa Rosa Sur (Tidi) (cn207) などである。

共通する特徴は、鉱脈型鉱床であり、黄鉄鉱の他、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、斑銅鉱、コペリンなどのベースメタル硫化物も多く伴うことである。また、流体包有物均質化温度もおよそ 250~270°C と比較的高い温度を示すものが多い。地質的には、始新世の Universal 層中に分布し、周辺には、中新世中期の閃緑岩あるいは鮮新世とされるデイサイトポーフイリーの小岩体が分布する。以下に主な鉱床について概説する。

Paracale National 鉱床は、北~北東走向をもつ二条の脈が主な鉱体であり、品位は 6~9 g/t Au であった。鉱石鉱物は、pyrite-chalcopyrite-sphalerite >> bornite-chalcocite-covellite である。石英脈の流体包有物均質化温度 255-270°C を示す。

二つの脈の間は、イライト-石英-黄鉄鉱変質帯が発達し、東に向かって緑れん石-緑泥石変質帯となる。スカルン鉱化作用を伴う。

Exciban 鉱床(cn203, cn228)の位置は、Sta. Elena-Tabas 地区の南西端にあり、母岩は中新世前期の Bosigon 層の安山岩、シルト岩および凝灰岩である。これらが閃緑岩、デイサイト岩脈に貫かれる。最近、James and Fucks (1990)がボーリングデータをも記載している。鉱化作用は、北~北東方向の脈および剪断帯に認められる。脈は、塊状~cockscomb 石英

脈で、方解石・ドロマイトを伴う。金は、黄鉄鉱に伴われる。3%までの黄銅鉱、bisumuth tellurides を伴う。深部では、molybdenite も観察される。硫化物中のコバルト含有量は 1000ppm である。James and Fuchs (1990)は、鉱物組み合わせ、流体包有物均質化温度から、この鉱化作用は、マグマティック成分の寄与が大きかったと考えた。さらに、コバルトを含むことから深部に塩基性岩があると推定している。

Santa Rosa Sur (Tidi) 鉱床(cn207)は、Paracale National 鉱山の東 1km に位置する。1980 年代には小規模採掘者によって採掘されていた。その後高品位部が発見され、Benget 社によって 1988 年に露天掘りが行われるようになった。

鉱化作用は、剪断帯および石英細脈に認められた。旧坑の方向から脈の方向は、東方向の走向を持つ。約 7m 幅の石英-イライト-黄鉄鉱変質帯中に、幅 2m の珪化帯が発達する。パライト脈も観察される。パライトの流体包有物均質化温度は、210-260°C を示した。

#### Nalesbitan-Tuba 地区

本地区は Camarines Norte と Quezon との州境付近に位置する。鮮新世の Macogon 層が分布し、その南西側には白亜紀後期とされる Tigbinan 層が分布する。United Nations (1987)は Mt. Tuba 付近に分布する Tuba 鉱山では、Tigbinan 層中に存在し、戦前に金・銀の採掘が行われていたとしているが、既存文献に記載がなく、詳細は不明である。

Nalesbitan 鉱山 (cn204) については、Sillitoe et al. (1990: CN-5)が詳しい記載を行っている。また、Mining Philippines '97(PH-17)には最近実施された探査の概要が紹介されている。これらに基づき、以下に本鉱床の特徴を概説する。

位置： Bosigon 川の支流 Palali 川の上流、標高 100~300m の北西方向に延びる尾根上に位置する。

沿革： 1930 年以前に発見された後、第二次大戦まで断続的に開発された。1980 年代の初め、20,000 人にもものぼる small-scale workers が集まり、5~10 トンの金が生産されたと推定される。1975 年に、Gold Fields Asia Ltd. (RenGoldfields Consolidated Limited of Australia の子会社) によって、本鉱床は、bulk mineable 鉱床として見直され、1977 年~1979 年にボーリングが行われたが、当時としては経済的な鉱床の発見には至らなかった。しかし、金価格の上昇とヒーブリーチングによる低品位鉱からの金回収技術の発達によって、再び本鉱床が見直されることになり、Gold Fields Asia Ltd. は再度探査を実施し、鉱量 144 万ト、品位 2.53g/t Au (cut-off grade of 1.25 g/t Au) と推定した。Gold Field Philippines Corporation (GFPC) によって 1989 年に鉱山建設が開始され、1990 年には、露天掘りからの heap leaching によって、2,337 オンス (=約 70kg) の Au が生産 (171トの鉱石処理) された。1996 年には、Triarx 社が GFPC 社を買収し、El Dore Mining Corporation として、探査プログラムを開始している。

母岩： 鉱床は、鮮新世の Macogon 層とされている角閃石安山岩および同質火山礫凝

灰岩中に胚胎する。

鉍化作用： 鉍化作用は北西方向の断層（左横ずれ断層）に規制される。鉍化作用は、地表に突出する尾根部頂部の標高 300m から標高 150m までの約 150m 間に分布する。鉍化帯は走向方向に 1.3km 連続し、幅は 145m～12m と変化する。鉍化作用は、北西－南東方向に雁行する二列の熱水角礫帯に存在する。これらは、玉髓質な珪化作用を受ける。この珪化した角礫帯は、浅部に向って幅が広がり、深部に向ってはそれぞれ脈状に収束するように見える。珪化角礫帯には、また、玉髓質な石英細脈も多数認められ、角礫化および脈活動も何回にも渡って起こったことが観察される。鉍化帯は深度 130m まで supergene による酸化を受けている。硫化鉍物が残っているところでは、金は角礫帯のマトリックスや、脈中の銅を含む硫化物に伴って産する。ただし、初期ステージの玉髓質石英－黄鉄鉍帯には銅および金鉍化に乏しい。最も多く観察される硫化鉍物の組み合わせは、黄鉄鉍－斑銅鉍で、次いで黄鉄鉍－斑銅鉍、黄鉄鉍－コペリンである。部分的に硫砒銅鉍が輝銅鉍や斑銅鉍に伴って産するほか、金・銀のテルル化物が硫砒銅鉍の離溶ラメラとして観察される。方鉛鉍や閃亜鉛鉍は認められない。

均質化温度： United Nations (1987:CN-52)によれば、石英の均質化温度は 210-240℃である。Sillitoe et al. (1990: CN-5)は、223-225℃を報告し、流体がトラップされた深度は、古地下水面下 300-500m と推定した。

変質作用： 珪化帯が、北西トレンドをもつレンズ状に産する。これは、熱水角礫化帯のほぼ中央に位置し、玉髓質シリカからなり、黄鉄鉍鉍染をかなりの量含有する。珪化帯をとりまいて advanced argillic 帯がある。石英－カオリン－明礬石の組み合わせが卓越する。微量のセリサイト、ダイアスポアを伴う。イライト帯が、上記の珪化帯と advanced argillic 変質帯の周辺に分布する。イライト、スメクタイト、混合層粘土鉍物があり、さらに外側では緑泥石、方解石の組み合わせになる。

Sillitoe et al. (1990)は、本鉍化作用は、横ずれ断層系の中で生じた”dilatational jog”に形成されたとし、金の沈殿のメカニズムとして沸騰を考えた。また、他の acid-sulfate-type の金鉍床と比較して、銅硫化物が多いこと、および Mo 含有量が高いことから、本地域の深部にポーフィリー型銅・金鉍床が存在する可能性を指摘した。

なお、最近実施された El Dore Mining Corporation の探査プログラムの Phase I の結果は概略次のとおりである。

- ・露天掘りの北東 300m 地点 (Millsite/Singko Zone) に 81 g/t Au という高品位の鉍床が見つかった。同鉍化帯は、走向方向に 250m 追うことができ、最大 25m の幅

を有する。露天採掘での開発を試みた最初の鉱床とほぼ同方向である。

- ・この他にも、Bagong Trese, Tres, や Bagong Dose に高品位鉱が見つかった。
- ・IP アノマリー(700m×400m)が Bagong Dose (open pit の約 800m 南) の深部に見つかり、鉱染型硫化鉱が推定されることから、ポーフイリー型鉱床の可能性が期待されている。Bagong Dose の地表の小さな石英脈は、30 g/t Au の品位を示す。

## (2) Camarines Sur

Caramoan 半島中部にある金の鉱徴地(cs29)は、既存資料に内容の記載がないため、どのような鉱化作用であるかは不明である。母岩は、その位置から Lagonoy オフィオライトあるいは白亜紀後期の Pagsanghan 層と考えられる。

Lahuy 島には、金鉱徴地がふたつほど記されている (cs42 および cs44)。このうち cs44 は、かつて Treasure Island 鉱山(Rajah Lahuy Mining 社)として戦前に稼行実績がある。

Torron (CS31) の分析では、多くの鉱石は Au: 0.7~4.0g/t であるが、最高 Au: 96.68g/t に達するものがある。Cabantog (1977;CS28)によれば、脈は、幅は最大で約 1m、その走向は N40° W、N80° W および N10° E で、急傾斜である。鉱石鉱物は黄鉄鉱、方鉛鉱、黄銅鉱で、石英およびアメジストが脈石鉱物である。脈は縞状クラスティフォーム組織が発達する。母岩は堆積岩・玄武岩および安山岩で、変質は珪化および粘土化で周囲はプロピリティック変質が認められる。脈のテクスチャー、鉱物組み合わせおよび変質から、浅熱水性金鉱化作用である可能性がある。

Dalupaon 北西部の金鉱徴地(cs1)は、既存資料中に記載されたものを見出すことはできなかった。しかし、すぐ近傍に銅の鉱徴地 (cs203・cs204 および cs205) が分布することから、cs1 の金鉱徴は、銅の鉱化作用に伴うものと予想される。これらの銅鉱徴地は Marcelo (1970;CS-9)および Castaneda (1972;CS-43)によれば、安山岩中の剪断帯あるいは断層沿いに鉱化作用が存在し、露頭スケールでは石英細脈のストックワークが観察される。また、これらの銅、金の鉱徴地付近には閃緑岩が分布することから、ポーフイリー環境での鉱化作用の可能性がある。

## (3) Albay

Rapu-Rapu 島に幾つかの金鉱徴地が分布する (a17・a18 および a19)。これらは、火山性塊状硫化鉱床に伴われる金である。これらの鉱床については、銅の項で記述する。a18 は BCI 鉱床と呼ばれ、a19 は Hixbar 鉱床と呼ばれるものである。BCI 鉱床では、塊状硫化鉱床の Au 品位は 2~3g/t が報告され (Domingo (AL14))、Hixbar 鉱床については、初生鉱床で 3g/t Au の品位および地表に露出する塊状硫化鉱のゴッサン体で 45g/t の Au 品位が報告されている (Kinkel and Samaniego, 1956; AL21)。

Bacon-Manito 地区に幾つかの金鉱徴地が分布する。



#### (4) Sorsogon

Bacon-Manito 地区に幾つかの金鉱微地が分布する (al201・so201 および so202)。これらは、地熱開発地域で実施された地化学探査の Au 異常地である。その値は、al201 で最高 0.23ppm Au、so201 で最高 0.77ppm Au である。いずれも、シリカ-粘土-黄鉄鉱変質帯に存在する (PNOC-EDC, 1990:AL/SR-01)。

Irosin の西に分布する金鉱微地 (so209) は、珪化変質帯が存在し、その産状から浅熱水性金鉱化作用が推定された箇所である (Rint, 1991:SR-02; Carranza, 1992:SR-01)。

この他、Fig.1-3-7 には図示されていないが、Paracale 地区や Caramoan 半島では (Tambam-Olas 地域)、多数の金の漂砂鉱床が分布し、小規模採掘者によって金が回収されている。

#### 3-2-2 銅 (およびモリブデン)

銅の鉱床・鉱微地は、Camarines Norte の Frost (1959) の "Base Metal Belt" (前述) および Paracale 地区に多く分布する。また、同州の西の Sta. Elena の東部にも幾つかの銅鉱微地がまとまって分布する。Camarines Sur では、Caramoan 半島の東部に幾つかの銅鉱微地が比較的まとまって分布する。また、Dalupaon 北西部、Balatan 北部に比較的まとまった分布が見られる。Albay では、Pantao 北部、Panganiran 半島南部および Rapu-Rapu 島に分布する。Sorsogon では、Bacon-Manito 地区に一ヶ所銅鉱微地が認められる。

モリブデンは単独の鉱微地としては存在せず、常に銅に伴われて産する。

##### (1) Camarines Norte

銅鉱床として有名なものに、Camarines Norte の Larap 鉱床 (cn14) がある。本鉱床は、かつて Larap 鉄鉱山として採掘された鉱床であり、後節(鉄)でも記述する。中部中新世閃緑岩~閃長岩斑岩質斑岩の貫入に伴って晩新世~始新世の Universal 層中の石灰岩を交代して形成されたスカルン中に胚胎する。鉱床は、磁鉄鉱-黄鉄鉱帯、黄銅鉱-輝水鉛鉱帯とこれらの帯に重なって金-石英-方解石脈がある。埋蔵鉱量約 1,700 万 t (Cu:0.42%, Mo:0.09%, Au:3g/t, Fe:22%) と報告されている (BMG, 1986)。

この他、ポーフィリー型鉱化作用と考えられている銅およびモリブデンの鉱微については、Matanlanga、Meycauayan および Igang 鉱微地があげられる。Matanlanga 鉱微地は、Larap 鉱床の南東約 1.5km に位置する。Larap 火山岩類中に中新世中期の石英閃緑岩が貫入している。また、デイサイト質ポーフィリー岩脈が貫入している。Sillitoe and Gappe (1984) は、金に富むポーフィリー型銅・モリブデン鉱化作用であるとしている。鉱量: 6500 万トン、品位 0.35% Cu, 0.05% Mo, 0.4g/t Au と報告されている。白色の石英脈はモリブデナイトを伴い、均質化温度は、300-360°C を示す (United Nations, 1987)。Meycauayan 鉱微地は、

Batobalani の西南西約 4.5km に位置する。United Nations (1987)の地表調査では、鉍化した閃緑岩が安山岩中に貫入しており、土壤の地化学異常は、Cu : 250ppm、As : 28ppm、Te:0.5ppm、Mo:63--208ppm を示すとされる。石英細脈ストックワークが石英-セリサイト変質帯に発達する。鉍化作用は、低品位のポーフィリー型銅・モリブデンシステムと考えられた。パイロフィライト-ダイアスポア-石英-明礬石からなる酸性変質帯も分布する。Igang 鉍徴地は、Batobalani の西約 7.5km に位置する。Philippine Iron Mine が、1974年にボーリングを実施し、大理石化した石灰岩とスカルン帯に Cu : 1.2%、Mo : 0.05% という鉍化作用が確認された (United Nations, 1987)。

Camarines Norte の Paracale 地区の南側には、後述のとおり鉄鉍床・鉍徴地が多く分布しており、これらの鉄鉍化に伴って銅が産出するものが多い。これらの鉄鉍床は、スカルン型の鉍床と考えられ、したがって銅も伴うものと思われる。この中で主なものは、前述した Larap 鉍床であり、この他、Dawahan-Penarco 鉍徴地 (cn237)、Capacuan 鉍床 (cn17、cn238)、Batobalaini 鉍徴地、Submakin 鉍徴地 (cn222)、Dagang 鉍徴地、Agusan 鉍床 (cn42)、Pinagbirayan 鉍床 (cn220) および Tagas 鉍徴地 (cn45、cn219) などがある。これらについては、次項 (鉄) で記述する。

## (2) Camarines Sur

Miranda (1976)によれば、Caramoan 半島の銅鉍床・鉍徴は、白亜紀の緑泥石片岩と石英-セリサイト片岩に伴われる。レンズ状~さや状で、片理に平行である。鉍石鉍物は、主に黄鉄鉍からなり、少量の黄銅鉍を伴う。レンズまたはさや状鉍体は、黄鉄鉍の鉍染ハローを持つことが多い。このような産状をするものに、Malaiba 鉍徴地 (cs38)、Patag-Belen 鉍徴地 (cs36)、Pili-Pagsangahan 鉍徴地 (cs37) および San Vicente-Maslog 鉍徴地 (cs14) が含まれる。これらの産状は、Rapu-Rapu 島の Hixbar 鉍床および BCI 鉍床と同じであり (後述)、火山性塊状硫化鉍床と考えられる。なお、Magna Rosa 鉍徴地 (cs31) は、少量の Cu、Ag を伴うものの主体は Pb、Zn 鉍徴であり、鉍石は石灰質凝灰岩や白亜紀グレイワック・スピライト中の石灰岩層中の断層、剪断帯に沿って産するなど、前述のものとは異なるタイプの鉍床と推測される。

Camarines Sur では、この他に Dalupaon 北西部 (cs2・cs203・cs204・cs205 および cs206)、Balatan 北部 (cs3 および cs4) に比較的まとまった分布が見られ、Mt. Labo の南西麓にも一ヶ所銅鉍徴地 (cs216) が分布する。

Dalupaon 北西部の鉍徴については、金の項で既述した。Balatan 北部の鉍徴は、Reyes and Balce (1970; CS-30)によれば、閃緑岩および安山岩中の石英脈に黄銅鉍および斑銅鉍が伴われるというものである。石英脈はレンズ状で不規則である。マラカイトなどの酸化銅としても産する。川砂地化探の結果から、Caorasan 川上流域が有望としている。

### (3) Albay

Rapu-Rapu 島の Hixbar 鉱床 (al9) は、戦前・戦中に操業された。ピコール地域における火山性塊状硫化鉄床 (別子型鉄床) として操業を行った唯一の例である。同島には、同じタイプの鉄床として BCI 鉄床 (al8) が存在する。これらについては、Domingo (AL14)、Kinkel and Samaniego (1956; A121) の記載がある。これらの文献によれば、両者は、火山性塊状硫化鉄床で緑泥石-緑れん石-アクチノライト片岩(下盤)と石英-長石-白雲母片岩(上盤)との間に発達するとされる。鉄石鉄物は、黄鉄鉄が最も多く、この他に黄銅鉄、銅藍、四面銅鉄、閃亜鉛鉄および斑銅鉄である。BCI 鉄床では、鉄量: 320 万ト、品位: 1.8% Cu, 2.5% Zn, 0.8% Pb, 40g/t Ag, 2g/t Au が見積もられている (Domingo (AL14))。Hixbar 鉄床は、BCI 鉄床が深部に胚胎するのと異なり、その鉄体が地表に露出するため、二次富化作用が認められる。初生鉄体の品位は、1-2%Cu、で微量の Au、Ag、Zn がある。二次富化帯の厚さは約 30m であり、二次富化帯では、Cu 平均品位は 9% にまで達する (最高で 20%)。1955 年時点での残鉄量は 229,400 トンで、平均品位 2.4%Cu である (Kinkel and Samaniego, 1956; A121)。

Pantao 北部の鉄微地 (al1 および al2) は、既存資料に記載がないため、どのような鉄化作用に伴う鉄微であるかは不明である。Panganiran 半島南部の鉄微地 (al202, al203 および al204) は Tupas (1951) によれば、鉄化は、レンズ状ないし不規則な石英脈に黄銅鉄、斑銅鉄および黄鉄鉄が伴われるとされる。マラカイトやアズライトなどの酸化銅も認められる。また、珪化脈にも銅鉄化が認められる。しかし、周囲に変質はほとんどなく、鉄化も弱いことからポテンシャルは低いとしている。

### (4) Sorsogon

Bacon-Manito 地区の銅鉄微 (so203) は、金の項で述べた地化学探査の異常地である。その値は最高 800ppm Cu であり、熱水変質帯に分布する (PNOC-EDC, 1990:AL/SR-01)。

### 3-2-3 鉄

鉄鉄床・鉄微地は、Camarines Norte に集中して分布する。特に、Larap から Batobalani をとおって、Mt. Bagacay の北にいたる地帯に集中している。また、同州の西の Sta. Elena の北東部にもまとまって分布する。これらの分布は、前述の銅鉄微地の分布とほぼ同様である。

Camarines Sur では、Caramoan 半島全体に分布するが、西部にまとまった分布がある。Miranda (1976:CS-32; 1977:CS-45) によれば、Caramoan 半島に分布する鉄の鉄微には 2 種類があり、グレイワッケ・スピライトおよびチャートの層理そってレンズ状、板状に産する赤鉄鉄・磁鉄鉄鉄体からなるものと、ニッケルと同様に超塩基性岩の風化残留鉄床 (ラテライト) として産するものがある。半島西部の cs11,12,13 は前者であり、半島中央部の

cs19 は後者である。Caramoan 半島の付け根の Sagnay の海岸付近にあるもの (cs5,6) は、文献上特定できないが砂鉄鉱床と推定される。

Albay では Bacon-Manito 地区の西に一ヶ所存在する (al3)。Sorsogon では、Donsol の海岸 (so1) と Irosin の東(so3)に鉄微地が認められる。so1 は、砂鉄鉱床であり、so3 は文献上特定できないが硫化鉄あるいはその酸化物である褐鉄鉱微と推定される。

Camarines Norte については、以下に詳述する。

#### (1) Camarines Norte

Frost (1959, 1965)は Iron Belt を定義した。このベルトはおおむね Universal 層の走向方向に延びている。このベルトは 18 の鉄鉱床・プロスペクトを含む。このうちの 4 つが鉱山として開発された。このうち Larap 鉱山が最も大きな鉱山である。

Larap 鉱山は、1936 年に生産開始し、1975 年に閉山したが、当時東南アジアで最大の鉄鉱山であった。年間 100 万トンの磁鉄鉱石と少量の赤鉄鉱石を生産した。

磁鉄鉱、磁鉄鉱-黄鉄鉱石は緩傾斜のレンズ状鉱体として、スカルン帯に取り囲まれた形で産する。スカルンはダイヤスポア、ざくろ石、スカポライト、黒雲母、アパタイトおよび後期ステージのトレモラ閃石、緑泥石、緑れん石および calcite からなる。鉱体の中に少量存在する鉱物として磁硫鉄鉱、灰重石およびベースメタル硫化鉱物、さらにモリブデン鉱、銅鉱物がある。金は磁鉄鉱床からの産出が報告されている。

この他、ポーフィリー型あるいはスカルン型の鉱化作用と考えられている鉄鉱床・鉄微地には、Dawahan-Penarco 鉄微地 (cn237)、Capacuan 鉄床(cn17, cn238)、Batobalani 鉄微地、Submakin 鉄微地(cn222)、Dagang 鉄微地、Agusan 鉄床(cn42, cn221)、Pinagbirayan 鉄床 (cn220) および Tagas 鉄微地 (cn45, cn219) などが含まれる。このうち、Capacuan、Pinagbirayan および Agusan 鉄床は、1950 年代から 1975 年の間に断続的に生産された。これの鉄床はいずれも変質した細粒の堆積岩の中に挟まれた形の鉱体として産し、磁鉄鉱の酸化帯からは赤鉄鉱を産した。Agusan 鉄床については、Crispin and Pilac (1961;CN-30)によって記述されており、磁鉄鉱鉱体は 10m の厚さを持ち、変質した堆積岩母岩の層理にほぼ平行に N40° E 走向で、南東に 30° 傾斜している。

Dawahan-Penarco 鉄微地は、Larap 鉄床の南東約 1.3km に位置し、スカルン型の鉱化作用とされる。鉄石及び脈石鉱物として磁鉄鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱、バライト、モリブデン鉱が認められる。Submakin 鉄微地(cn222)は、Batobalani の南西約 2.5km に位置する。ガーネットスカルンが観察され、東部には、セリサイト変質帯が分布する。熱水性黒雲母が存在する。ゴッサン礫からは Cu-Pb-Zn-Mo 硫化物と磁鉄鉱が観察され、ボーリングコアからは、Zn-Pb-Cu 硫化物および少量の Au,Ag 含む塊状硫化物鉱体が観察される (United Nations, 1987)。Tagas 鉄微地では、United Nations (1987)の地化学探査で金、銅およびモリブデンの異常域が認められている。広く石英-セリサイト変質帯が分布し、黒雲母、珪灰石、紅柱石およびパイロフィライトが検出されている。

### 3-2-4 鉛・亜鉛

Camarines Norte (cn32・cn35・cn222)、Caramoan 半島 (cs26, cs35) および Rapu-Rapu 島(al8, al9)などにいくつかの鉛微地が分布する。これらは、既述の金、銅および鉄の鉛化作用に伴われるものである。cn35については、Juan and Narido (1978; CN-9)の記載がある。本文献によると、本鉛微地も Paracale 地区の鉛脈型金鉛床と基本的に同じ性質を有するが、脈の方向は NE 系が卓越し、方鉛鉱・閃亜鉛鉱などのベースメタル硫化鉛物が多いのが特徴である。cn222 は Submakia 鉛微地であり、これについては、鉄の項で既述した。cs26, cs35 そのものについては既存文献からどのような鉛化作用に伴われる鉛微地であるかは特定できなかった。しかし、これらの分布域を含めた地質および鉛化作用の記載 (Calocn, 1971: CS-7) からは、いずれも片岩中に胚胎する硫化物鉛床であり、既述した銅の鉛化作用と同じ火山性塊状硫化鉛床型の鉛化作用に伴われるものであると推定できる。Caramoan 半島および Rapu-Rapu 島の鉛・亜鉛鉛微地は、いずれも火山性塊状硫化鉛床型の鉛化作用であり、これらについては、銅の項で既述した。

### 3-2-5 クロム・ニッケル

Camarines Norte の Mt. Cadig(cn7)や Paracale 地区 (cn27) に鉛微地が分布する。Camarines Sur では、Caramoan 半島の中央部にまとまって分布する(cs17,18,20,21,22 および 210)。これらは、オフィオライトシーケンスの超塩基性岩に由来するものである。

Miranda (1976:CS-32; 1977:CS-45)によれば、Caramoan 半島中央部に分布する超塩基性岩は、カンラン岩・輝岩・ガプロ・ダナイトからなり、ダナイト中にクロマイト層が観察されるとされる。カンラン岩は蛇紋岩化している。これらは、ラテライト化した土壤に覆われ、ラテライトには、ニッケル・コバルト・鉄が含まれている。クロマイト鉛微地は、ダナイト中のクロミタイト層を採掘したものである。おもな鉛微地には Mayon Mine 鉛微地 (cs20)および Habikihon 鉛微地がある。Habikihon 鉛微地では、厚さ 5m、長さ 26m のクロマイトレンズが観察される。ニッケルはラテライトに伴われる。

### 3-2-6 マンガン

主に Caramoan 半島に分布し、同半島のほぼ全域に点在する。Miranda (1976:CS-32; 1977:CS-45)によれば、主な鉛微地として、Cagiskan 鉛微地 (cs25)、Bani 鉛床(cs9, cs200)、Paniman 鉛床(cs40)、Salvacion 鉛微地(cs41)、Del Pilar 鉛微地(cs28)および Malatigao 鉛微地(cs7)などがある。いずれも片岩中あるいは堆積岩中に、層理に平行に産する。主な鉛石鉛物はサイロメレーンおよびパイロルーサイトである。

片岩にともなう鉍微地としては、Cagiskan 鉍微地 (cs25) が Lagonoy の 5km 北東に位置する。この他、片岩に伴うマンガン鉍微地として、半島の北部の Daldagan、Tandoc、Babuan および Siruma(cs8)がある。

堆積岩に伴う鉍微地としては、Bani 鉍床(cs9、cs200)がある。Bani 鉍床は、白亜紀堆積岩類(グレイワック、チャート、スピライト)中に存在する。鉍体は平均厚さ 2m の板状を呈し、母岩の層理と平行に胚胎する。これに類似した鉍微地として Paniman 鉍床(cs40) および Del Pilar 鉍微地(cs28)がある。おそらく、Camarines Norte の西方に分布するマンガン鉍微地もこれらと同様のタイプと推定される。

### 3-2-7 その他の鉍床

ビコール地域のその他の鉍床・鉍微地について以下に概説する。

石膏鉍床が Albay の Balatan 北部 (cs122, cs207 および cs208) および Panganiran 半島 (cs205) に分布する。Balatan 北部の石膏鉍床は、Cruz and Domingo (n/a; CS-12) および Reyes and Balce (1970; CS-30)によれば、安山岩および堆積岩中の断層・剪断帯に沿って珪化およびカオリン化したゾーンに黄鉄鉍および石膏の鉍化が認められる。黄鉄鉍-石膏試料の分析からは、0.07%の銅も含有していることが示されている。Siraman 鉍床 (cs207) では、約 5cm~60cm 幅の脈状に産した。断層や節理面を充填するように産する。Caorasan 鉍床 (cs208) は、安山岩中の剪断帯を石膏が充填する。Siraman 鉍床に比べ、黄鉄鉍が多い。Panganiran 半島の Tapil 石膏鉍床 (al205) は、Cruz and Domingo (n/a; CS-12)によれば、戦前まで採掘されていた。

粘土鉍床としては、白色粘土(WHITE CLAY)、陶器用粘土(POTTERY & CHINA CLAY)、硬質カオリナイトなどのフリント粘土(FLINT CLAY)およびベントナイト(BENTONITE)などが存在する。白色粘土鉍床は、Camarines Norte の Paracale 地区、Tagkawayon 東部、Camarines Sur の Siruma 半島、Albay の Tiwi 北西部、Sorsogon の東部などに分布する。陶器用粘土鉍床は、Camarines Sur の Lupi 北西部、Albay の Tiwi 北部などに存在する。フリント粘土鉍床は、Camarines Norte の Sta. Elena 北東部、Camarines Sur の Caramoan 半島東部、Sorsogon の北部などに分布する。

### 3-3 フィリピンの最近の鉱業事情概要

フィリピンの鉱業事情に関しては、最近、金属鉱業事業団によってまとめられている（金属鉱業事業団資源情報センター、1997）。また、これからの同国の鉱業界を予測した報告書が Alen Clark (1997)によってまとめられている。したがって、本項は、これらの報告書に基づきその概要を記述する。

#### 3-3-1 鉱業

フィリピンは豊富な鉱物資源を有し、かつては東南アジア最大の鉱産国として知られていた。しかし、1989年に銅第10位、金第8位、クロム第6位と世界の10傑に入っていた鉱産物生産量も、今やトップ10に入る鉱産物はない。また、東南アジアにおいても、92年に産金量で初めてインドネシアに抜かれ、今や、銅・金（銀）およびニッケルの生産量は、インドネシアがフィリピンを上回る。

フィリピンの金属鉱物資源として主なものは、銅・金・銀・ニッケル・クロム・マンガン・鉛・亜鉛・モリブデン・水銀・白金および鉄があげられ、非金属鉱物資源としては、石灰石・珪砂・砂利・石膏・大理石・粘土および重晶石などが知られている。この他、エネルギー資源として、石炭、石油、天然ガス、地熱がある。

鉛、亜鉛、モリブデン、水銀、白金については、現在は生産されていない。ちなみにモリブデンは銅鉱石、白金はクロム鉱中から副産物として回収されていた。

フィリピンの主要鉱産物埋蔵量 (1993)

	埋蔵量	品位	金属量
銅鉱	37億t	0.44%Cu	1600万t
金鉱	1億3700万t	2.79g/tAu	382t

金属鉱物資源生産量はのきなみ減少傾向にある。

94年の金生産量	27t	86年の23%減
" 銅生産量	110,000t	" 半分
" ニッケル鉱生産量	430,000t	" 22%減
1994年の金属鉱物資源生産高	金：59%，銅：37%，ニッケル：2%	

エネルギー資源では、政府のエネルギー自給化政策により、探鉱・開発が進められ、1970年代のエネルギー輸入割合90%以上から、1988年には総エネルギーの38%が自国資源で対応できるようになった。地熱資源は、PNOC (Philippine National Oil Company)を中心に探査・開発がすすめられ、アメリカに次ぐ発電量（能力1,054MW）を有する。

## 地熱資源

フィリピンの地熱発電量は、世界第2位(1993)

第一位	アメリカ	2,594MW
第二位	フィリピン	1,054.7MW
第三位	メキシコ	752MW
第四位	イタリア	637.3MW
第五位	ニュージーランド	285.2MW
第六位	日本	270.1MW
第七位	インドネシア	144.5MW

国営の PNOC (Philippine National Oil Company) と民間の PGI (Philippine Geothermal Inc. アメリカのエナジー社系) により蒸気が生産され、NPC (電力会社: National Power Corporation) へ売却されている。

各地熱フィールド別の生産計画は以下のとおり。

1. Tiwi アルバイ州 330MW PGI/NPC
2. Makiling-Banahaw (Mak-Ban) ラグナ州 330MW PGI/NPC
3. Makiling-Banahaw Binary ラグナ州 15.73MW PNOC/ORMAT
4. Tongonan レイテ島 112.5MW PNOC/NPC
5. Palinpinon I ネグロス島南部 115.5MW PNOC/NPC
6. Palinpinon II ネグロス島南部 80MW PNOC/NPC
7. Bacon-Manito I ソルソゴン州/アルバイ州 110MW PNOC/NPC
8. Bacon-Manito II ソルソゴン州/アルバイ州 20MW PNOC/NPC

フィリピン経済において、鉱業は古くから重要な役割を果たしており、特に外貨獲得、雇用、税収の面で国家経済に大きく貢献してきた。しかし、近年の鉱業生産の低下にともない、フィリピン経済に占める鉱業の割合は低下傾向にあり、現状としては、輸出の面で外貨獲得に貢献しているが主要産業ではない。

鉱業の GDP に占める割合は、1985 年および 1986 年の 2.08% のピーク時から、1993 年には 1.54% へ低下し、1994 年には、1.40% となった。

総輸出額に占める割合は、1970 年代前半には 20% 台 (1973 年 24.56%) を占め、1980 年の 21.33% を最後に低下傾向にある。1993 年 6.0%、1994 年 5.8% であり、かつてほどではないが、外貨獲得の点で、幾分かフィリピン経済に貢献しているといえよう。

貿易面での日本との関係は、フィリピンからの輸出において (94 年)、銅地金の 32%、銅精鉱の 90%、ニッケル鉱の 100% が日本へ輸出されており、日本はフィリピンにとり大



きな市場といえる。日本でのフィリピンからの鉱産物の輸入に占める割合は（94年）、銅地金の13%、銅精鉱の8%（チリ、カナダ、インドネシア、バブアニューギニアに次いで第5位）、ニッケル鉱の22%（ニューカレドニア、インドネシアに次いで第3位）がフィリピンからの輸入になっている。

### 3-3-2 鉱業の歴史

フィリピンの鉱業は、スペイン統治以前のかかなり古い時代から始まった。スペイン統治時代には、北部ルソン地域で銅、金の採掘が行われていたが、組織的産業としては形成されていなかった。

1930年代に米国大統領ルーズベルトが、ニューディール政策の中で、金価格を大きく引き上げたが、これが、フィリピンの金鉱業の発展のきっかけとなった。Benguet社が、第二次世界大戦以前にフィリピン最初の近代的鉱山を造り上げ、バラトック（Balatoc）およびアンタモック（Antamok）鉱山を操業する国内最大の金鉱山会社となった。

1953年、アトラス（Atlas）社が創立され、ポーフィリーカッパー鉱床の発見とともに、露天掘り法を用いて低品位銅鉱石を大規模に採掘するという新しい形の鉱山操業が開始された。

1960年代に入り、日本製錬業界の銅需要増加が原因となって、フィリピンでは、新たな鉱業ブームが生じた。しかし、1973年の第一次オイルショック以来、生産コストの上昇と、銅に代表される金属価格下落のダブルパンチにより、フィリピン鉱業界は状況が悪化した。また、1970年代から1980年代にかけて開発されたポーフィリーカッパー鉱床も採掘が深部へ移行し、品位が低下し収益が悪化した。

フィリピン国内鉱山会社は、多額の負債をかかえて採鉱費も十分確保できず、厳しい状況にある。しかし、鉱産物の減税、新鉱業法の承認により、多くの外資がフィリピン鉱業に注目しており、今後は乏しい国内資本を補う形での外資導入および外国資本を中心とした採鉱・開発が進むと思われる。

### 3-3-3 探鉱・開発動向

鉱産税（Excise Tax）の減税および新鉱業法の承認により、1994年頃から、オーストラリア、カナダ、アメリカなどの外資による探鉱、開発の動きが活発化している。

FTAA（Financial or Technical Assistance Agreement: 外資がメジャーシェアを取得できる；100%も可）の申請件数が95年10月で67件（内2件は承認済み）にのぼっている。

承認された2件とは、ARIMCO社（豪）のDidipioプロジェクト（1994,6月）およびWestern Mining社（豪）のTampakanプロジェクト（1995,3月）である。

フィリピン資本のみで探鉱・開発しているのは、次の2つのみである。

Philex 社の Bulawan プロジェクト (金)

Sibutad プロジェクト (金)

また、最近 Philex 社は、Camarines Norte 州 Larap 鉱床 (銅) での探鉱計画を発表した。

フィリピンの金・銅ポテンシャルの見直しが積極的に行われている地域は、次の地域である。

- 1) 従来、インフラ・治安の面で開発が遅れ、地質学的情報が乏しく、組織的探鉱がなされていなかった地域 (北部ルソン島、ミンダナオ島)
- 2) 既存鉱徴地・鉱山の新しい探査理論による見直し (King King, Tayasan, Nocomin, Rapu-Rapu, Cantatuan, Larap 他)
- 3) 地表の酸性変質帯やアルカリ岩の分布から推定される潜頭性鉱床に対する探鉱 (Didipio, Tampakan, Marian 他)

最近開催されたフィリピン鉱業に対する投資促進を目的とした会議が開催された。その講演要旨集である“Mining Philippines '97”で、Clark, A. L.(1997)は、次のような分析を行い、フィリピン鉱業の比較的明るい将来を描いている。

Clark, A. L.(1997)によれば、フィリピンには現在 25 の稼行鉱山がある (ただしスモールスケールマイニングは除く)。これらは、以下のフィリピン国の 7 つの会社が経営するものが多い。

- 1) Atlas Consolidated and Mining Development Corporation (Atlas)
- 2) Benguet Corporation
- 3) Lepanto Consolidated Mining Company (Lepanto)
- 4) Manila Mining Corporation
- 5) Marcopper Mining Corporation
- 6) Maricalum Mining Corporation
- 7) Philex Mining Corporation

彼は、次の 5 つの要因のために、フィリピンの鉱業は、将来的に明るいといっている。

- 1) the high mineral potential (prospectivity) and diversity of the Nation
- 2) the large number of known mineral occurrences

- 3) a modern mining code
- 4) a long mining tradition
- 5) Increased foreign investment in the mineral sector

また、彼は今後フィリピンで開発されるであろう鉱山数の予測も行っており、次ような数字を示した。

- 1) 1995-2015 年の間に開発されるであろう鉱山は、11 である。
- 2) 予測信頼性を 50%に落とせば、25 に上る。
- 3) 平均では、年 1 つの鉱山が開発される計算になるとしている。
- 4) 開発されるであろう 11 鉱床の大部分は、浅熱水性金鉱床であるが、50%信頼度の 25 のうち、5 つはポーフィリー型銅・金鉱床である。

#### 3-3-4 鉱業法および鉱区

フィリピンの鉱業を営むにあたり付与される権利は、次の 2 つの形態に大別される。フィリピン人もしくはフィリピン企業(外資 40%以下まで)を対象にした MP SA (Mineral Production Sharing Agreement) 及びフィリピン企業(外資 40%以上)もしくは外資企業(外資 100%まで)を対象とした FTAA (Financial or Technical Assistance Agreement) である。MP SA、FTAA に入る前の段階に 2 年間(延長を含め最大 6 年間)の EP (Exploration Permit; 探査許可)が与えられる制度がある。旧鉱業法の Mining Lease は MP SA へ変更されることとなっている。

FTAA はカマリネスノルテ州、カラモアン半島、カタンドゥアネス島、ここで述べたいわゆる北東帯、ピコール半島南西海岸(石灰岩地帯)を含むレガスピ南部一帯並びにマリンドゥケ島などに広く申請されている。

探査開発を行おうとする者は MP SA、FTAA を申請取得することとなるが、当然ながら外資メジャーは FTAA を申請することとなるので、FTAA がかかっている所は政府間ベースの協力調査にはなじまないし、他の民間企業においても J/V を形成しない限り、鉱業活動に参入できない所となる。MP SA の方は地元企業及び一般人の申請が主であり、これら事業主が技術と資金に不足していることから、政府間ベースの調査、他の民間の調査の協力を期待しているので共同で調査できる可能性が高い。

後述する選定地域として FTAA がかかっている地区の優先度を落したのには以上の理由による。

本年度現地調査が終了した後の 1997 年 9 月 15 日付で旧鉱業法の Mining Lease はすべて期限切れとなり、改たに MP SA として届け出なければならなくなった。またあわせて、既存の MP SA も所定の義務をはたしているか見直されることとなった。その後の鉱区

フォローアップはしてないので2年次に再び確認する必要がある。

また、投資者にとって関心のある下記の点については次のとおり。

#### ①探鉱許可（試掘権）

企業が同一州内で探鉱する場合は、最大面積は16,200ha、探査期間は2年間で2回の延長が可能（最長6年間）である。毎年の占有料は5ペソ/ha/年である。探鉱プログラムをMGBに提出し、MGBが許可を与える。この期間内に有望な結果が出れば、MPSAがFTAAを申請をすればよい。探査面積は1、2年目20%づつ、その次年度以降10%の割合で縮小させなければならない。

#### ②鉱業権（採掘権）

鉱業を営むに当たり3つの形態がある。MPSA、Co-Production Agreement と Joint Venture Agreement の3つの鉱物協定である。

これらの鉱業権は、環境天然資源省長官によって承認され、鉱物の生産活動が十分に見込めること、作業プログラムが承認されていること、資金の裏づけがあること、ECC（環境保証証明書 Environmental Compliance Certificate）が取得されていること、MGBの支所が推薦していることが付与条件となる。

#### ③FTAA

大規模鉱業と政府が認めたプロジェクト（探鉱に4百万ドル、開発に25百万ドル以上費やすプロジェクト）は、外資100%のシェア取得が可能となる。大統領によって承認される。

#### ④鉱業活動の可能な地域

軍関連基地、政府保留地域及び小規模採掘業者地域でも関係者と合意に達すれば、鉱業活動が可能となる。

⑤採掘権の中には、材木権、水利権、爆薬を使用する権利及び地役権が含まれる。

⑥鉱物の処理には、鉱物処理に関する許可を政府から取得しなければならない（尾鉱より、金を回収することを想定）。

⑦採掘を行う者はECCを取得しなければならない。

### ⑧インセンティブ

1987年オムニバス法(E0226)に基づくが、次の事項が採掘権を得た場合、自動的に付与される。

- ・ 鉱害防止施設から免税(不動産税や他の税金)
- ・ 損失の所得税繰越し
- ・ 加速減価償却

この他、投資保証として、投資及び利益の本国送金、財産没収がないことについても保証されている。

### ⑨政府側の取り分

MPSAにおける政府側の取り分は、鉱産物生産高に係る鉱産税(Excise Tax)のみである。Co-Production AgreementとJ/V Agreement(FTAを含む)の場合は、別途、政府とネゴが必要である。

### ⑩諸手数料

- ・ 探査許可(探鉱)占有料 5ペソ/ha/年
- ・ MPSA及びFTAの占有料 50ペソ/ha/年
- ・ 採鉱ずり及び選鉱廃さい 0.1ペソ/t

探査許可(EP)、鉱物生産分配協定(MPSA)及び資金又は技術支援協定(FTA)の概要は次のとおり。(参考にされる時点で、変更等ないか当局に確認されたい。)

#### 探査許可(EX: EXPLORATION PERMIT)

1. 資格者: フィリピン人、フィリピン企業、外国人及び外国企業を問わずだれでも可。
2. 期間: 2年間。環境天然資源省(DENR)長官の許可があれば、さらに2回の2年間の延長が可能。最大6年間。
3. 内容: 探査許可が与えられる。
4. 範囲: ①州(1つの州内)
  - ・ 個人=1,620ha
  - ・ 企業=16,200ha②フィリピン全土(2州以上にまたがる場合)
  - ・ 個人=3,240ha
  - ・ 企業=32,400ha
5. オプション: ①MPSAもしくはFTA申請への優先権  
②探鉱許可の譲渡

鉱物生産分配協定 (MPSA : MINERAL PRODUCTION SHARING AGREEMENT) :

3つある鉱物協定のうちの1つ。

1. 資格者: フィリピン人もしくはフィリピン企業 (資本の少なくとも60%がフィリピン国民によって所有されている事)
2. 期間: 25年間 (最大6年間の探査期間を含む)。さらに最大25年間の延長が可能。
3. 内容: 契約者に、その地域内で発見された鉱物資源を採掘する権利が政府から与えられ、その生産量の一部を政府へ納める (分配する)。この分配率は EXCISE TAX (鉱産税2%) のみである。
4. 範囲: ①州 (1つの州内)
  - ・個人 = 810ha
  - ・企業 = 8,100ha②フィリピン全土 (2州以上にまたがる場合)
  - ・個人 = 1,620ha
  - ・企業 = 16,200ha
5. オプション: ①仮探査許可の利用 (申請書がMGB局長をクリアした時点で利用可能)  
②DENR長官の許可があれば、MPSAの全部または一部を譲渡できる。  
③他の鉱物協定またはFTAAへの転換

資金または技術援助協定 (FTAA : FINANCIAL OR TECHNICAL ASSISTANCE AGREEMENT)

1. 資格者: 外国企業もしくはフィリピン企業
2. 期間: 25年間 (探査期間 = 2年間 (最大4年間)、F/S = 2年間を含む)。さらに最大25年間の延長が可能
3. 内容: フィリピン政府が大規模鉱業と認めた場合、外資が100%権益を取得できる。40%以上の権益を取得したい外国企業の鉱業権。この場合、政府の取り分は、EXCISE TAX等の税金の他に政府の取り分があり、これは政府とのネゴで決まる。純利益の50%程度 (この額には全税金が含まれる) が政府取り分となるようであり、検討中。
4. 範囲: 最大81,000haまで
5. オプション: ①大統領によるFTAA審査の間、DENR長官により仮探査許可が得られる。  
②MPSAなどの鉱物協定への転換

③大統領の許可があれば、一部または全てが譲渡可能

## 第4章 調査結果の概要

### 4-1 既存データ解析

既刊地形図、既刊地質図、および約 200 件の文献収集を行った。文献については、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、キーワードを付してリストアップした。これらの文献から、鉱微、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。この他、地質調査、地熱開発、鉱業に関係した機関、民間会社を訪問し、様々なデータを入手し、有望地区選定のためのデータとして活用した。

### 4-2 衛星画像解析

本調査では、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学的判読により、地質単元の区分、地層トレース、褶曲構造、断層、環状構造の判読、リニアメントの抽出を行った。また、LANDSAT-TM 比演算画像から変質帯候補地の抽出を行った。

以上の衛星画像解析により、ピコール地域には、フィリピン断層と平行な NW-SE 系のリニアメントが発達し、これに直交する NE-SW 系のものも多く分布することが明らかとなった。その他、N-S 系、E-W 系のリニアメントも認められる。また、広域的な地質分布を良く把握することが出来た。しかし、本地域のような植生地では、比演算画像からの変質帯抽出は困難である。これらの解析結果を既存の地質・鉱床関係資料と比較検討することにより、金属鉱床賦存有望地の選定基準を設定し、11地区の有望地を抽出した。その中の6地区は既知の金属鉱床・鉱微地を含む地域であり、5地区が金属鉱床・鉱微地の知られていない地域である。

### 4-3 グラントルース調査

既存データ、衛星画像解析結果から、既存データおよび衛星画像解析結果をもとに、鉱区設定状況、アクセスおよび治安状況を考慮して、グラントルース調査候補地選定を行った。24 地域を選定し、23 日間の現地調査を実施した。調査の結果を位置、交通、地質、変質、鉱微および鉱区の観点から整理し、各地域ごとに有望性（鉱床が存在する可能性、探査余地の有無など）の評価を行った。



#### 4.4 地質構造・鉍化作用の特性と鉍化規制

ピコール地域は地質的特徴から、次の3帯に区分することができる。

1. 北東帯：ピコール半島の伸長方向に沿った北東側：Camarines Norte の北部－Caramoan 半島－Catanduanes 島－Rapu Rapu 島を連ねるゾーンである。
2. 南西帯：ピコール半島の南西側海岸沿：Camarines Norte の Cadig 山から Pasacao, Balatan を経て Panganiran 半島につながる。この南東側延長は不明であるが、Sorsogon の南端に連続する可能性がある。なぜなら同地域には高重力域が分布し、基盤岩が比較的浅い部分に分布することが示唆されているからである。
3. 中央帯：北東側および南西側のゾーンに挟まれたゾーン：鮮新世から第四紀火山岩が分布域に相当する地域である。Mt. Labo, Mt. Culasi, Mt. Isarog, Mt. Iriga, Mt. Malinao, Mt. Pulog (Bacon-Manito) および Mt. Bulusan を結ぶ火山分布域である。これらの火山の周辺には、ややそれより古い鮮新世～更新世の火山岩が分布するところがあり、地形的な開析が進んでいる。

各帯の地質と金属鉍床・鉍微地の関係を見ると、分布する地質を反映して、各帯毎に以下のような特徴があり、各帯では、次に述べるような鉍化作用が期待される。

##### 北東帯

本帯は、鉍床胚胎レベルが露出しており、過去から多くの探査が行われ、多くの鉍床・鉍微地が発見されてきている。地質を反映し、本帯の鉍化作用は、大きくは超塩基性岩に由来するもの、緑色片岩・雲母片岩などの海洋地殻上層を構成した岩石に由来するもの、中新世のマグマ活動に起因するものに分類することができる。超塩基性岩に由来する鉍微は、Cr, Ni である。クロマイトはポディフォーム型であり、ダナイトに伴われる。Ni はラテライトに伴われるものである。片岩地域に分布する鉍微は、Cu, Mn, Au, Zn, Pb であり、火山性塊状硫化物型鉍化作用および剪断帯に胚胎する mesothermal 鉍脈型鉍化作用が認められる。中新世のマグマ活動に起因するものは、Au, Cu, Fe, Mo である。ポーフィリー型鉍化作用、スカルン型鉍化作用および Pluton-related の鉍脈型に由来するものが多い。本帯は、ほとんどあますところなく鉍区が設定されている。

##### 南西帯

本帯には、幾つかの銅鉍微地が知られる。銅に伴い金の鉍微地も分布する。これらは、閃緑岩および安山岩中の石英脈に黄銅鉍および斑銅鉍が伴われるもの、あるいは安山岩中の剪断帯あるいは断層沿いに鉍化作用が認められるものである。鉍微の規模が小さいこと、十分な調査がなく、データが乏しいことから、鉍化作用のタイプを特定することは難しい。

しかし、これらの銅、金の鉱微地付近には閃緑岩が分布することから、ポーフイリー型鉱床あるいは、深成岩に関係した mesothermal 鉱脈型鉱床が賦存する可能性が考えられる。また、閃緑岩体の貫入時期よりも古い石灰岩が分布することから、カーリン型の金鉱床が期待される他、スカルン型鉱床の存在が予想される。ただし、これらの石灰岩の分布域は小さいため鉱床賦存のポテンシャルは低いと考える。

本帯はほとんど全域に FTAA の申請がなされている。全てが金属鉱床を対象にしたものではなく、石灰岩に対する鉱区も含まれる。

#### 中央帯

本帯には、Nalesbitan 鉱床を除き金属鉱床の分布は認められず、地化学異常レベルの金、銅の鉱微、示微程度が分布する。グランドトルースの結果では、火山体地形が残る第四紀火山の周辺に、より開折された火山岩分布域があり、この地帯には蒸気加熱型の変質帯が発達していることが明らかになった。新しい地質体が分布するため、まだ、鉱床胚胎レベルまで削剥が進んでいないが、浅熱水系の浅部現象が観察される。一部には、深部からの流体が地表付近まで到達したことが推定され、浅熱水性金鉱床が深部に存在する可能性が高いゾーンも存在する。現世の地熱地帯も本帯中に含まれる。現在の地熱系は、NW 系の断層を貯留層にするものが多い。本帯では、Nalesbitan 地域、Bacon-Manito 地域を除いて、金属鉱床を目的とした探査は実施されていない。したがって、鉱区の未設定域が残っている。

#### 4.5 有望地域の選定

グランドトルース調査地域に対し、次のような優先度を付した。すなわち、将来政府間ベースでの調査への発展性、あるいは民間企業の新たな調査への参入の可能性を考慮し、鉱区設定状況におもみをつけ、空白域あるいは MPSA 申請域で優先度が高くなるようにした。鉱種については金・銅に高い優先度を与え、鉱化作用のタイプでは、ポーフイリー型および浅熱水性鉱床に高い優先度を与えた。

鉱床胚胎レベルが露出する北東帯および南西帯に分布する地域については、鉱床が分布し、かつ鉱区設定状況から政府間ベースの調査が可能なところを第一優先度とした(Larap-Exiban, Mt. Bagacay)。中央帯では、浅熱水性鉱床を示唆する比較的大きな変質帯が分布し、鉱区が空白あるいは PNOC の地熱開発鉱区のもの第一優先度とした(Tiwi-Mt. Malinao, Bacon-Manito, Gate Mountain, Kilbay)。グランドトルース調査未実施の地域についても、最新情報に基づき、見直しを行った。その結果以下に示す地域が有望と考えられ、次年度調査候補地として選定された。

北東帯： Mt. Bagacay 地域

Larap-Exiban 地域

Caramoan 半島の東部地域

南西帯： Tuba 地域

中央帯： Tiwi-Mt.Malinau 北西部地域

Bacon-Manito 西部地域

Gate Mountains 地域

Kilbay 地域

## 第5章 結論および提言

### 5-1 結論

今年度の調査の結果、次のようなことが明らかになった。

ピコール地域は、地質構造から、大きく北東帯、中央帯および南西帯の3帯に分けることができる。これらは、ピコール半島の伸長方向にほぼ平行に配列する。

北東帯および南西帯は、白亜系の基盤岩と第三紀の貫入岩の分布で特徴付けられる。中央帯は、鮮新世～現世の火山岩類で特徴付けられる。北東帯および南西帯は、鉱床胚胎レベルが露出し、既存鉱床・鉱徴地が分布する。期待される鉱床タイプは、ポーフィリー型銅・金鉱床、スカルン型鉱床、火山性塊状硫化物鉱床である。中央帯は、若い地質体が分布するため、削剥レベルは北西端側を除いて鉱床胚胎レベルまで達していないが、深部に浅熱水性金鉱床の賦存する可能性がある。

既存文献調査、画像解析、グラントルース調査の結果および鉱区設定状況を考慮すると、次の地域が有望と考える。

北東帯では、Camarines Norte の Mt. Bagacay 地域、Larap-Exiban 地域、Caramoan 半島の東部地域を、中央帯では、Camarines Sur の Kilbay 地域、Camarines Sur と Albay の境界付近の Tiwi-Mt. Malinao 北西部地域、Albay と Sorsogon の境界付近の Bacon-Manito 西部地域、および Sorsogon 南部の Gate Mountains 地域を有望と考える。南西帯では、Tuba 地域が有望と考える。

### 5-2 第2年次調査への提言

第2年次は、前章の結論で述べた有望地域に対し、次のような調査を実施することが望まれる。

中央帯に分布する各地域では、浅熱水性金鉱床が地下深部に存在する可能性がある。したがって、これらの地域では、鉱床が存在する可能性のある場所、深度を推定できるような調査をする必要がある。例えば、浅熱水系の浅部示徴である変質岩の塩素含有量の分析は、深部熱水の上昇域を限定できる可能性がある。同時に、近くに存在する活地熱系の貯留層となっている断裂系を参考にして、同方向の断裂系分布域を詳細に調査する。さらに、変質帯の深度方向の変化、温度構造および鉱化作用の可能性の有無を調査するためのボーリング調査も検討されて良い。

北東帯および南西帯に分布する地域では、既存鉱徴地の周辺を詳細に調査する必要がある。

個々の地域の調査については次のような点に留意したい。

#### *Mt. Bagacay* 地域

いくつかの鉄スカルン鉱床・鉱微地が分布し、南側には鉱脈型金・ベースメタル鉱微地が分布する。これらは、ポーフイリー型鉱床が存在する可能性を示唆するものである。既存鉱床・鉱微地のスカルン鉱物、鉱石鉱物の組み合わせあるいは流体包有物均質化温度を系統的に調査し、地域内の温度構造を把握することが重要である。また、貫入岩ストックを探し、その周囲を詳細に調査する。Tabas 地区の United Nations (1987) の調査では、変質鉱物として biotite, wollastonite, andalusite が認められ、うち二試料にはパイロフィライトが含まれる。これは、ポーフイリーシステム近傍に発達する酸性変質である。したがって、Tabas 地区も含めて調査することが望ましい。

#### *Larap-Exiban* 地域

本地域は比較的広く、多くの鉱床・鉱微地が分布するため、調査すべき地域を絞ることが困難である。Philex 社や Altas 社などの探査が実施されてきているため、できるだけこれらの探査データを入手し、これに解析を加えることによってさらに絞り込みが可能になると考えられる。また、本地域には多数の貫入岩ストックが分布し、本地域の鉱床・鉱微の大部分はこれらの貫入岩に関して形成されたと考えられることから、貫入岩の分布を把握すること、その周辺の詳細な調査が望まれる。

#### *Caramoan* 半島の東部地域

本地域は今年度のグランドトルースでは、鉱区およびアクセスの問題から現地調査を実施しなかった地域である。BMG Region V からの最近の情報では、鉱区およびアクセスの問題は解消された模様である。本地域には緑色片岩・雲母片岩中に火山性塊状硫化鉱床型の鉱微地が分布する。これらは、片岩の片理構造にほぼ平行に胚胎するという特徴を有する。したがって、既知の鉱微地においてその構造と胚胎する層準、岩相を明らかにし、その延長を推定することが必要と考える。

Tuba 地域は、既知鉱微地で鉱脈、変質帯を調査し、Paracale 地域と同じタイプの鉱脈鉱床であるか、あるいは浅熱水性鉱床であるかを判断する必要がある。前者の場合ならば、第三紀と考えられている貫入岩周辺および既知鉱微地周辺の同方向の断裂系を調査し、後者の場合、Nalesbitan 鉱床との位置関係から、両者に共通する断裂系を追跡することが望まれる。

#### *Kilbay* 地域

本地域は今年度のグランドトルースでは、情報不足およびスケジュールの関係から現地調査を実施しなかった。しかし、分布する火山岩類が、角閃石安山岩であり鉱床形成に関与したマグマが他の火山岩地帯に比べ水を多く含有していたと推定され、より大規模な熱水

系が発達する可能性があることから有望と考えられるため、第2年次に調査することが望ましい。

#### *Tiwi-Mt. Malinao* 北西部地域

今年度の調査で転石によって変質帯の存在が確認された。その分布状況から変質帯は、Santa Cruz River および Cayohoson Creek 沢上流に分布すると推定される。Tiwi 地熱地域の主たる地熱貯留層を形成しているのは Kagumihan fault, Tiwi fault, Naglagbong fault の NE-SW 系断層および NW-SE 系の Putsan-Bolo fault 等である。本地域にも NW-SE 系および NE-SW 系のリニアメントが発達する。これら二つのリニアメントの交差部に、Santa Cruz River および Cayohoson Creek 沢上流がほぼ一致することからも、これらの断層系が分布する地域が重要と考える。

#### *Bacon-Manito* 西部地域

Cawayan River から Calpi にかけての低比抵抗部分が Au のポテンシャルが比較的高いと推測される。Cawayan River の上流部は E-W 方向の Bac-Man Fault Zone 中に位置する。また、Calpi の蒸気加熱型変質帯の上面の傾斜は、現在の川の動水勾配とほぼ平行であることから、湧昇領域は Calpi 沢のより上流側にあると推定され、この上流側は、Bac-Man Fault Zone に相当する。したがって、Bac-Man Fault Zone を中心に調査を実施する必要がある。

#### *Gate Mountains* 地域

今回のグランドトールスによって、Mt. Sujac 北の Tugas 付近から南東側の Culasi にかけての地域では、熱水活動は NW-SE 方向の断層にコントロールされたと推定されることから、同断層に沿った調査が必要と考えられる。また、Gate Mountains 地域の南西部海岸沿いにも多数の珪化岩および変質岩の転石が確認されているものの、これらの変質作用をもたらした熱水系がどの断層によってコントロールされたかは、今のところ明らかではない。したがって、これらの転石の供給源となったと考えられる沢の上流側の調査が必要と考える。

上記3地域については、空中磁気探査の結果から、変質帯と推定される地域およびそれをとる断層線沿いの調査を行う。また、今年度の調査で十分明らかにできなかった火山岩の年代および変質・鉱化作用の年代を明らかにすることも重要と考えられる。