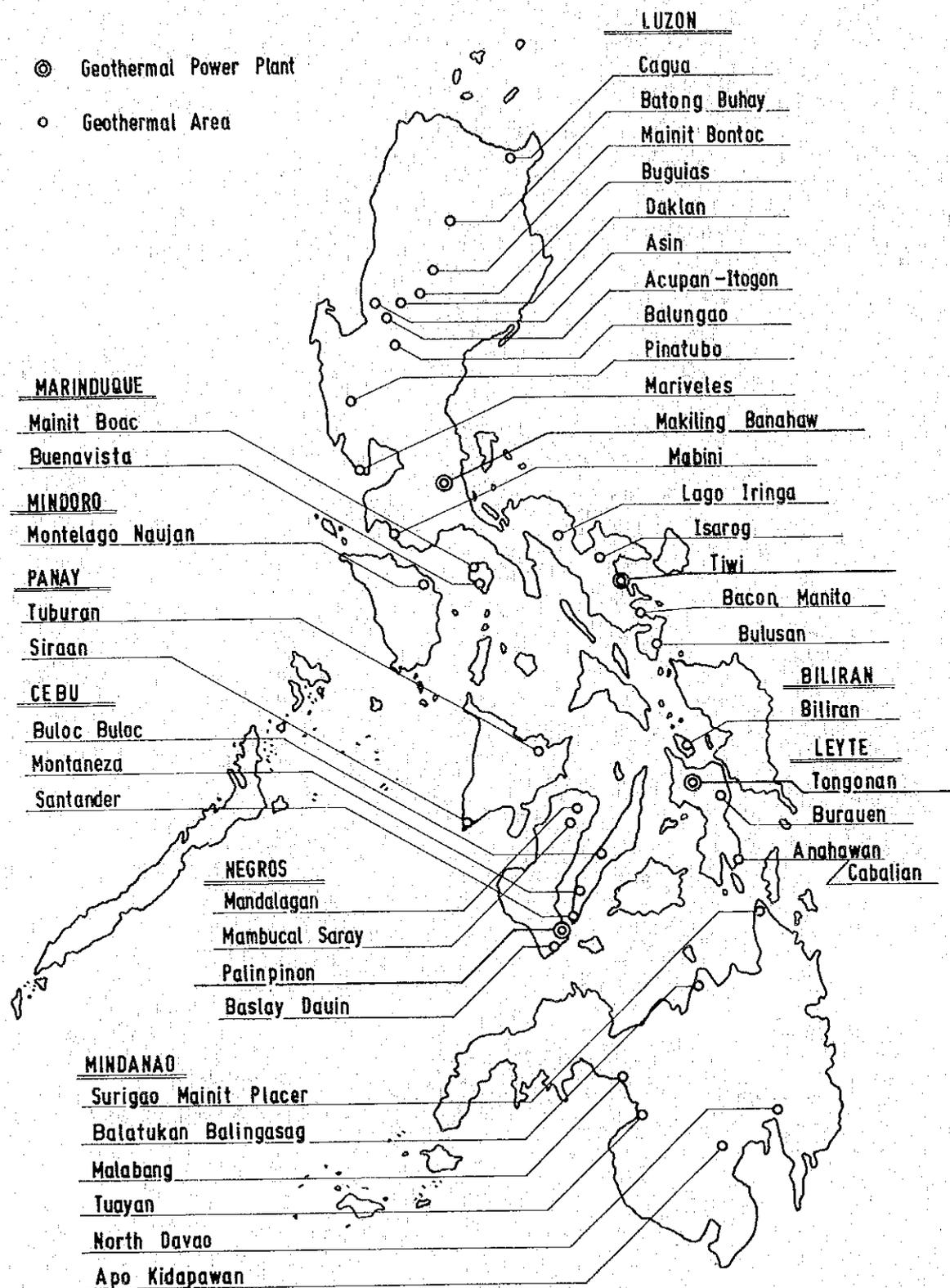


第4章 地熱開発



Geothermal Resource Area in the Philippines

第 4 章 地 熱 開 発

4-1 フィリピンにおける地熱活動の現状

フィリピンでは現在、Albay州のTiwi, Laguna州のMakilin-Banahaw, Leyte島のTongonanおよびNegros島の地熱フィールドにおいて合計556MWの地熱発電が行われている。その99%はTiwiの330MWとMakilin-Banahawの220MWである。両地熱帯地帯はLuzon島にあり、PGI(Philippine Geothermal Inc.)とNAPOCOR(National Power Corporation)により運転されている。

残りの6MWはTongonanの3MWのパイロットプラントと南Negrosの2基の1.5MWのプラントによるものである。Tongonanと南Negrosの開発は、ニュージーランド政府の技術援助により国有のPhilippine National Oil Company - Energy Development Corporation(PNOC-EDC)により運転されている。この2つのフィールドは1983年には、それぞれ112.5MW, 計225MWの運転に入ることになっている。これによりFig. 1-4-1の如く、総発電量は781MWになる予定である。

4つの地熱フィールドの他に、ポテンシャルの高い地域は、現在、民間と政府機関により開発段階にあり、PNOC-EDCはSorsogon-AlbayのBacon-Manito, Leyte島のBurauen, Biliran島, ZambalesのPinatubo山, 北NegrosのMambubal, 東部MindoroのMontelagoおよびMindanao島North Davaoの各地において各種段階の探査が行われている。

同様に、CALTEX PhilippinesとTotal/POG E Iは, Kalinga-ApayaoのBatong-BuhayとCamarines Norte-Camarines SurのMt. Laboにおいてそれぞれ地熱開発のポテンシャルを実証しつつある。

1982年の12月までには合計287孔の地熱井が掘削されその地熱発電可能な推定量は1,377MWのポテンシャルをもっている。

Table 1-4-1 生産・開発段階(1982年)

地域名	TIWI	MAK-BAN	TONGONAN	SOUTHERN NEGROS
1. 坑井数	95	83	50	36
2. 掘削深度	144,801	165,307	105,437	95,339
3. 平均深度(m)	1,524	2,025	2,109	2,648
4. 生産井数	85	55	40*	23**
5. 非生産井数	10	10	1	7
6. 還元井数	0	18	9	4
7. テスト井数	0	0	8	3
8. 生産井の発電能力(MW)	511	352	336	138
9. 平均発電能力(MW)	6	6.4	8.4	6
10. 設備容量	330	220	3	3

* 8本の還元井を含む ** 1本の還元井を含む

HISTOGRAM OF GEOTHERMAL DRILLING AND POWER GENERATION

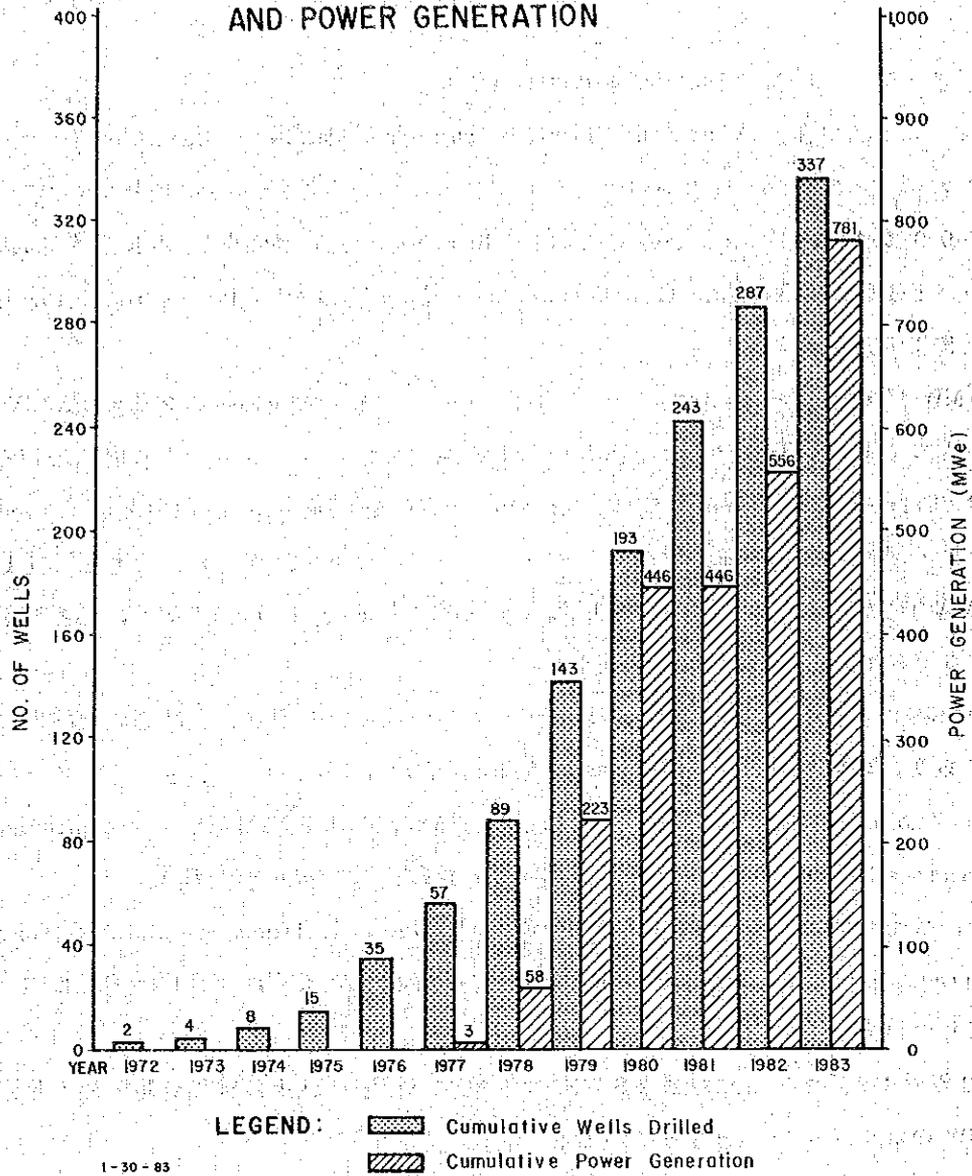


Fig. I-4-1 地熱開発のヒストグラム

4-2 開発 — 生産段階

Tiwi 地熱 (Albay 州)

PGI と NAPOCOR により開発、生産が実施されている。Fig. I-4-2 の如く 1972 年に掘削が開始されて以来、合計 95 本の孔井が掘削され、そのうち 85 本から合計 511 MW の発電ポテンシャルを得ている (Table I-4-1)、現在は、このフィールドから Luzon 配電網へ 330 MW を供給している。

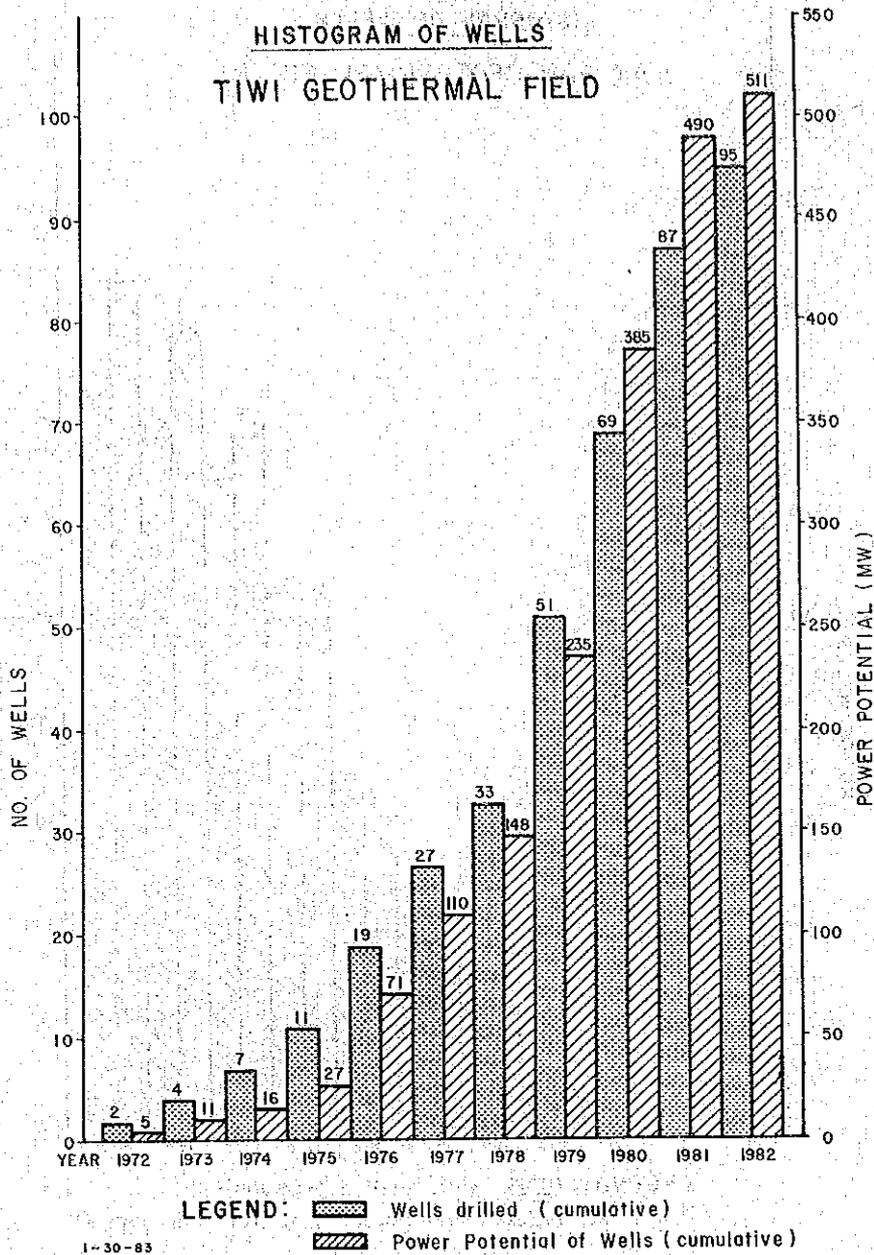


Fig. I-4-2. TIWI 地熱開発ヒストグラム

さらに110 MWを供給する予定の第4プラントのためのボーリングは、現在の生産井の南西に期待されている Sadurong 地区の資源が精査により確認されるまで、一時中断されている。

Makilin-Banahan 地熱 (Laguna州)

この地熱フィールドも Tiwi 同様、PGIとNAPOCOR により運転されている。1974年以來合計83孔が掘削された。(Table I-4-1, Fig. I-4-3)。このうち55孔が稼働しており、352 MWのポテンシャルを有している。残り18孔は還元井に利用されたが、10孔はドライウェルである。

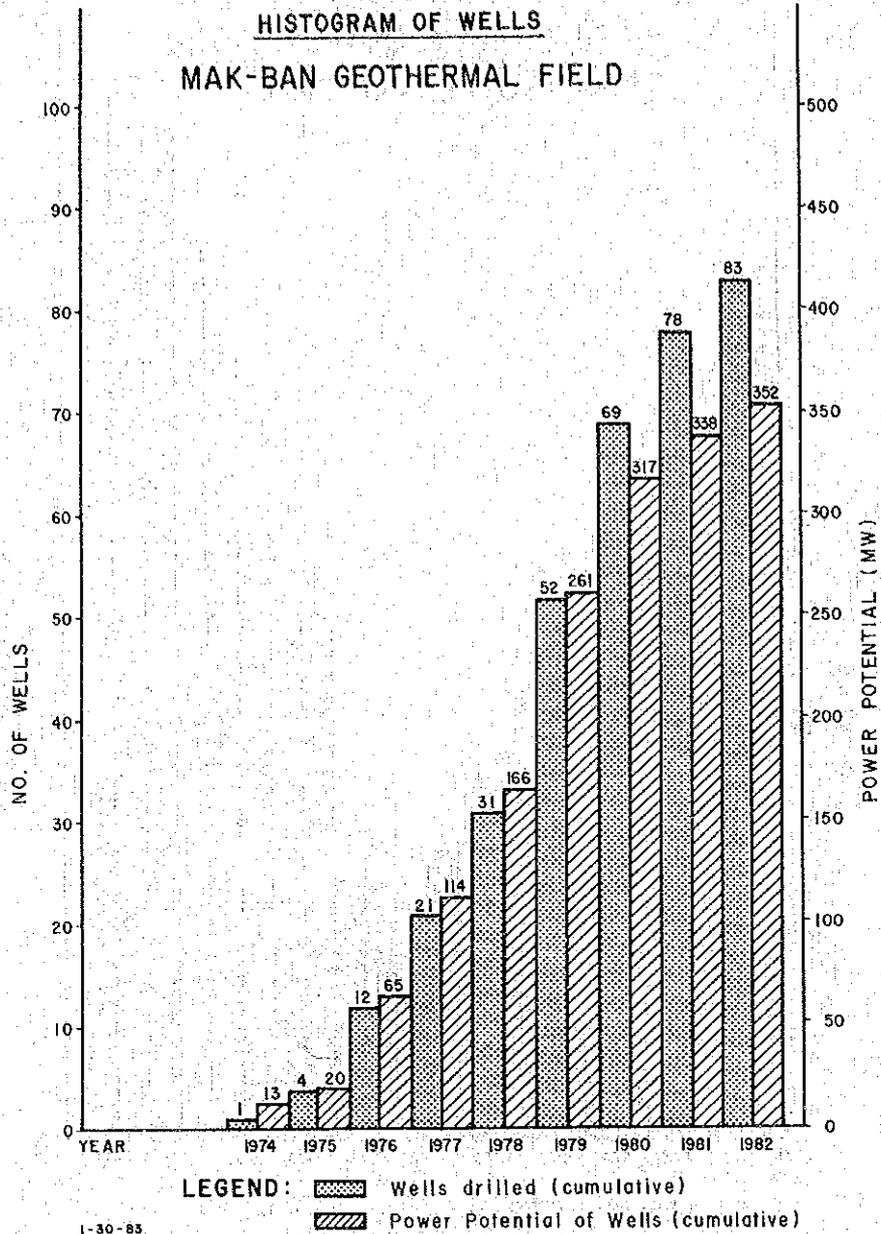


Fig. I-4-3 MAK-BAN地熱開発ヒストグラム

現在は、Table I-4-3 の如く 1 台の機械が掘削中であり、Units 5, の発電所が建設中である。1984 年に運開予定の発電所は 110 MW を発電することになっている。また、1985 年までの計画では、さらに 1 基 110 MW のプラントが予定されている。

Tongonan 地熱 (Leyte島)

1982 年 12 月 までに 50 孔が掘削され、このうち 40 孔より 336 MW の発電を行っている (Fig. I-4-4)

1983年3月運開のプラントは、112.5MWプラント(レイテI)のうち最初の37.5MWのものである。このプラントは1983年中葉にはフル運転をすることになっている。

PNOC - EDCの1983年計画の主題は、レイテII(2×55MW)に供給する蒸気を得るための生産井の掘削である。これには、10本の傾斜掘、累計深度29,228.89mが掘削される予定である。

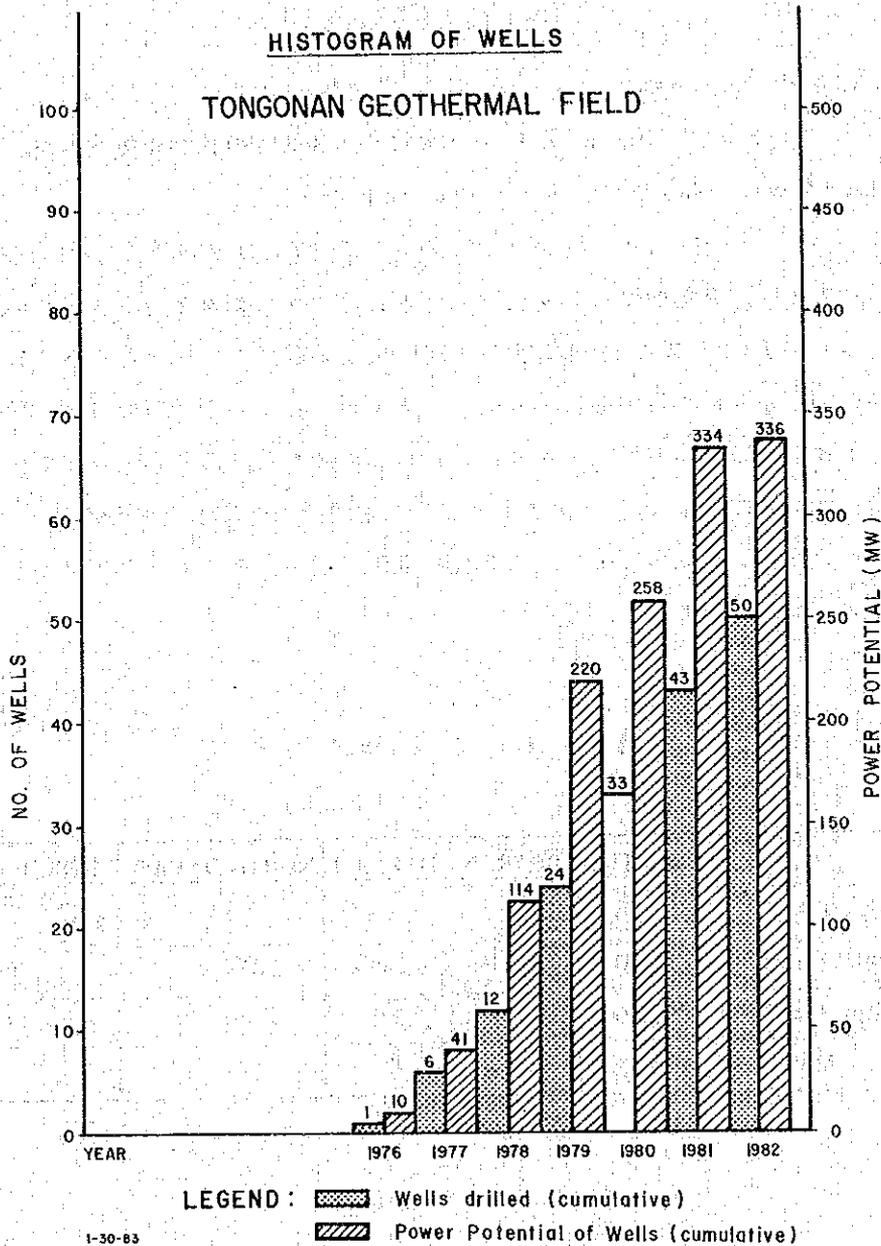


Fig. I-4-4 TONGONAN地熱開発ヒストグラム

Table I-4-3 の如く、2 台の掘削機が用いられる。

レイテ II に対する蒸気採取と還元システムの建設は、1983 年後半から開始される予定である。

このため、6 km の新しい道路と 14 本の Cellars が 1983 年末までに建設され、掘削課程に追加され運転に供される。

一方、Tongonan の南東方では地質・地化探のマッピングを 3 ヶ月実施し、全 Tongonan 地熱フィールドの地表調査を完了することになっている。

南 Negros 地熱 (Negros 島)

1982 年 12 月 30 日現在、Fig. I-4-5 の如く、36 本の孔井が掘削され、このうち 23 本により 138 MW の発電がなされている (Table I-4-1)。

1983 年の終わりまでには、バリンピノン I の 3 基の 37.5 MW の既設の発電機が運開する計画である。一方では、発電所の蒸気採集システムと還元システムが着手されている。

同様に、さらに 112.5 MW を発電する予定の次期発電プラントとなるバリンピノン II のための生産井の掘削が 5 台の掘削機により同時にすすめられている (Table I-4-3)。1983 年の目標は、16 本の傾斜井の掘削であり、これらは生産井又は還元井として用いられる。蒸気採取と還元システムの建設も、1983 年 12 月から開始される予定である。

さらにバリンピノン II 開発計画には、3 km の道路の建設、拡巾および 12 の Cellars のためのサイトの準備などが含まれている。

Table I-4-2 調査井段階

	MANITO	BILIRAN	DAKLAN	NORTH DAVAO	NORTHERN NEGROS
1. 坑井数	10	3	5	2	3
2. 掘削深度 (m)	20,600	7,322	12,641	2,653	2,943
3. 平均深度 (m)	2,060	2,441	2,528	1,326	981
4. 発電量 (MW)	33	7	—	—	—

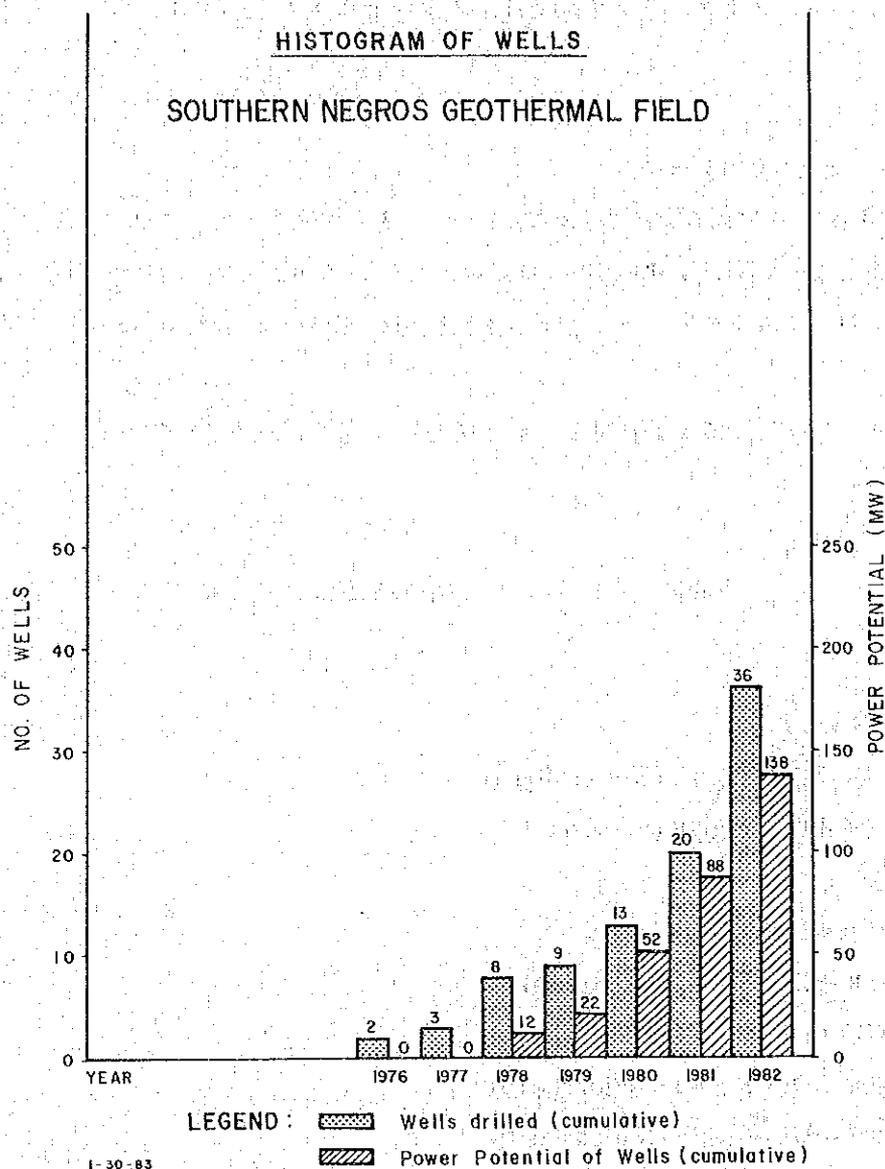


Fig. I-4-5 SOUTHERN NEGROS 地熱開発ヒストグラム

4-3 調査井段階

Bacon-Manito 地熱 (Sorsogon州)

1982年12月30日現在, 10本の孔が掘削され, このうち6孔より, 合計33MWのポテンシャルの蒸気が出ている (Table I-4-2).

1982年に掘削された深い調査井と1981年のCN-1により有望な結果が得られたため, EDI の Rig #3 により, 1986年に予定されている110MW のプラントのため生産井が掘削されることになっている。5本の傾斜掘で夫々の予定深度は2743.07 mであり, 1983年に完了の予定である。

掘削を支えるインフラストラクチャーは、7本のサイトの準備と6kmのアクセス道路の建設である。

Biliran 地熱 (Biliran島)

1982年3月に深い調査井の掘削が開始され、3本が完了した。このうち2本(BN-2とBN-3)は成功をおさめ、7MW相当の蒸気を出しているが、BN-1は噴出が続かなかった。これらの孔に対する噴気のモニターとテストは資源の評価の目的で、1983年に予定されている。

加えて、島の地質精査に3ヶ月間また重力探査に3ヶ月間の予定が組まれている。

Table I-4-3 掘削機配備(1983年)

A. TONGONAN, Leyte

1. PNOC-EDI's Rig #2 (Wilson Mogul)
2. PNOC-EDI's Rig #8 (EMSCo D3)

B. SOUTHERN NEGROS

3. PNOC-EDI's Rig #1 (Romanian)
4. PNOC-EDI's Rig #4 (National 610)
5. PNOC-EDI's Rig #6 (National 610)
6. PNOC-EDI's Rig #5 (National 610)
7. Richter Rig #8 (National 110)
8. PNOC-EDI's Rig #7 (IDECO H-525); Baslay Dauin area

C. MAK-BAN, Laguna

9. Richter Rig #6

D. BACON-MANITO, Sorsogon-Albay

10. PNOC-EDI's Rig #3 (IDECO 725)

E. NORTH DAVAO

11. PNOC-EDI's Rig #9 (National 370)

North Davao 地熱 (Mindanao島)

1982年に Amakan に於て、257km²について広域および精密の地質調査がなされ、また32点で垂直比抵抗法電気探査が実施された。

これらの結果を解釈し1978年に掘られた3本の浅いボーリング結果からこの地域の深部にも同様の地熱流体が示唆されれば、1983年には3本計2,590.7mの深井戸が掘削される予定。

North Negros 地熱 (Negros島)

Mambucalでは1982年に190km²について広域および精密の地質・地化学探査が実施された。

1978年に掘削された2本の浅井戸により予想される深部の地熱資源を確認するため、1983年にはPNOC-EDCは2本の調査井を掘削する予定である。

Burauen 地熱 (Leyte島)

PNOC-EDCにより1981年、1982年に集中的な地化学探査により、この地域で3本の掘削が行われる予定である。この掘削は、EDIのRig#7がBalay Dauin(南Negros島)から移設されたのち開始される予定である。また、垂直電気探査シュランベルジャー法比抵抗法が、1983年に物理的特性を確認するため実施される予定である。

Batong - Buhay (Apayao-Kalinga州)

1982年2月10日に許可されたnon-exclusive geothermal exploration permitのもとにCALTEX Philippinesは調査の一部を完了した。地質、地化学、物理探査が40,000ヘクタールの地域に実施された。加えて、5本の測温孔が掘削され、興味ある高温勾配が確認された。平均掘削深度244mにおいて70℃~178℃の温度変化がみられた。この探査許可は、BEDにより1983年6月まで延期され、興味ある地域における比抵抗探査をさらに追可することになった。

Mt. Labo (Camarines Norte州)

1年間のnon-exclusive geothermal exploration permitが1982年にTOTAL Exploration/Philippine Oil & Geothermal Exploration Inc. (TOTAL/POGEI)に許可され、120,000ヘクタールの地域の地球科学概査が実施されることとなった。既に地質、地化学および物探の概査が完了し、準精査の地化学、水銀分析の土壌サンプリングおよび比抵抗法電気探査が実施中である。

Mt. Pinatubo, (Zambales州)

PNOC-EDCは、400 km²の地域に対し、概査～準精査の地質・地化学探査を実施した。シュランベルジャー法を含む比抵抗法電気探査も、既に129点の垂直探査を実施されている。

Montelago, (Mindoro島)

1982年にPNOC-EDCにより940 km²の地域につき地質・地化学概査が行われた。1983年には、広域のシュランベルジャー法、深部垂直電気探査が行われる予定である。

Acupan-Itogon, (Benguet州)

1981年6月にプギアス地熱プロジェクトが中断されたためBEDとJICAの地熱開発基礎調査をBuguiasに代って実施するため、Acupan-Itogon地域が選定された。

1982年3月、BEDとJICAの間で新たな技術協力の協定が交わされ、1982年8月よりこのプログラムは開始された。

300 km²について地質・地化学の概査が開始され、加えて、重力探査・磁気探査およびダイポールダイポール比抵抗探査が準精査として実施された。

地熱探査許可

1982年初め、Table I-4-4の如く、2つの地熱探査許可がCALTEX Philippines (Batong Buhay)およびTOTAL-POGEI (Mt. Labo)にありた。

申請案件

1. Table I-4-4の如く、PNOCとEDCは、15の探査地域について地熱探査許可申請を出している。

このうち、11地域はBEDで検討中であり、3つはフィリピン-イタリアの技術協力の4年度延長により許可されている。他の1つはUltran Nuclear and Mineral Exploration社(ウルラン原子力・鉱物探査会社)の保留案件となっている。

2. BEDはフィリピン-イタリア技術協力プログラムの4年度延長の認可を待っており、このプログラムでは、新しい地域に対し、初期の評価と地科学的基礎調査を2年間で実施することになっている。

対象地域は、Zambales州のPinatubo、Mindanao島Surigao del Norte州のMainit-Placer、同島Cotabato州のKidapawanと、Zamboanga del Sur州のLake Woodである。

Table I-4-4 地熱探查許可申請案件

I. 地熱探查許可

A. CALTEX, Philippines

1. Batong-Buhay, Kalinga-Apayao

B. TOTAL Exploration – POGEI

1. Mt. Labo, Camarines Norte

II. 地熱探查申請案件

A. PNOC-EDC

1. Panay, Antique
2. Balingasag, Misamis Oriental
3. North Davao
4. Northern Negros
5. Anahawan, Southern Leyte
6. Montelago, Oriental Mindoro
7. Mabini, Batangas
8. Mt. Arayat, Pampanga
9. Mt. Balungao, Pangasinan
10. Irosin-Bulusan, Sorsogon
11. Malindang, Misamis Occidental

B. BED-ELC

12. Mt. Pinatubo, Zambales
13. Mt. Apo, Davao
14. Mainit, Surigao

C. ULTRANA NUCLEAR AND MINERALS CORPORATION (UNMC)

15. Buhi-Isarog, Camarines Sur

1983年展望

地熱発電においてフィリピンはさらに225 MWの電力を発電する予定である。この電力はPNOCが実施しているTongonan (112.5 MW) と南Negros (112.5 MW) から来るものである。

1983年には、このため50本の垂直および傾斜掘が実施される。

探査段階のフィールドとしては、BED-JICAの本プロジェクトによりのAcupan-Ito-gonで7本の浅い測温孔が実施される予定である。一方、深い地熱井はNorth Davao とNorthern Negros に於て、地熱資源確認のため掘削されることになっている。

第5章 電力供給

第 5 章 電 力 供 給

旺盛な電力需要の増大により、火力、水力および地熱発電所の建設が進められてきたため、地方都市においても電気供給は急速に進展しており、発展途上国の中では最も良い成長率を示している。即ち、1979年7月末現在約百万世帯の7百万人が家庭電気の恩恵を受けている。これは全人口の約15%に相当している。過去7年間の発生電力を下表に示している。

Table I-5-1 発電実績一覧表(1973~1979)

(In Gigawatt-hours, GWH and Million Barrels Oil Equivalent, MMB)

	1973		1974		1975		1976		1977		1978		1979	
	GWH	MMB												
UTILITY														
MECO	6,412	10.687	6,143	10.238	6,937	11.562	7,290	12.150	7,954	13.257	8,324	13.874	-	-
NPC	2,305	3.842	2,649	4.415	2,680	4.467	3,140	5.233	3,290	5.483	4,173	6.956	13,712	22.853
Coops	-	-	-	-	79	0.132	88	0.147	175	0.292	526	0.877	557	0.928
Private	765	1.275	771	1.285	799	1.332	720	1.200	760	1.267	760	1.267	770	1.283
Municipalines	58	0.096	56	0.087	50	0.083	42	0.070	55	0.092	60	0.100	60	0.100
SGI*	1,370	2.282	1,493	2.488	1,676	2.793	1,972	3.287	1,599	2.664	1,699	2.831	1,799	2.988
Total	10,910	18.182	11,108	18.513	12,221	20.369	13,252	22.087	13,833	23.055	15,542	25.905	16,898	28.162
SOURCE														
Thermal Oil	6,830	11.382	6,420	10.700	7,354	12.257	7,624	12.707	8,999	14.998	9,467	15.779	8,926	14.877
Thermal Coal	12	0.020	15	0.025	24	0.040	35	0.058	110	0.183	80	0.133	177	0.295
Diesel	2,193	2.655	2,313	3.855	2,593	4.322	2,799	4.665	2,527	4.212	3,181	5.302	3,493	5.822
Hydro	1,875	3.125	2,360	3.933	2,250	3.750	2,794	4.657	2,197	3.662	2,811	4.685	3,503	5.838
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0.006	799	1.330
Total	10,910	18.182	11,108		12,221	20.369	13,252	22.087	13,833	23.055	15,542	25.905	16,898	28.162

* Self-generating industries excluding generation from nonconventional energy sources.

とくに1979年は新設の火力、水力ならびに地熱発電所が稼動に入ったので、旧式の石油燃焼発電所が廃止された。そのため電力供給は一時的に混乱したが、急速に回復された。

特に主都圏の電力需要は著しく、1978年と較べて電力供給地域は9.7%の増加を示し電力量にして、13,712 GWHの増加を示している。部門別電力需要は、工業用41%、商業用33%、家庭電気26%である。

1979年度で特筆すべきことは、TiwiとMakilin-Banahawの地熱発電所が商業運転に入り、220 MWの電力によってBicol地方全般と主都圏一帯に新エネルギーの供給が可能になったことである。

Table I-5-2 發電機能力

(In Megawatts, MW)

	1978		1979	
	MW	%	MW	%
Utility				
MECO	520	16.0	*	*
NPC	2,179	67.2	3,599	86.6
Cooperatives	172	5.3	182	4.4
Others	374	11.5	376	9.0
Total	3,245	100.0	4,157	100.0
Plant Type				
Hydro	750	23.1	934	22.5
Oil Thermal	1,880	57.9	2,230	53.6
Diesel	587	18.1	745	17.9
Coal	25	0.8	25	0.6
Geothermal	3	0.1	223	5.4
Total	3,245	100.0	4,157	100.0

* MECO generation reported under NPC.

Table I-5-3 發電長期計畫

	1979			1984			1989		
	MW	%	MMROE	MW	%	MMBOE	MW	%	MMBOE
Hydro	934	22.47	5.84	2,041	32.48	12.58	4,273	44.39	23.55
Coal	25	0.60	0.30	545	8.67	5.93	1,160	12.05	11.41
Oil/Diesel	2,975	71.57	20.70	2,677	42.60	18.69	1,906	19.80	11.41
Geothermal	223	5.36	1.33	819	13.03	8.72	1,261	13.10	13.48
Nuclear	-	-	-	-	-	-	620	6.44	6.46
Noncon	-	-	-	202	3.22	1.76	405	4.21	3.54
Total	4,157	100.00	28.17	6,284	100.00	47.68	9,625	100.00	69.85

(In Megawatts)

	1979		1984		1989	
	MW	%	MW	%	MW	%
LUZON						
Hydro	546	17.44	1,255	31.51	2,617	43.20
Diesel/Oil	2,364	75.53	1,716	43.08	1,016	16.77
Coal	-	-	300	7.53	600	9.91
Geothermal	220	7.03	550	13.81	880	14.53
Nuclear	-	-	-	-	620	10.24
Noncon	-	-	162	4.07	324	5.35
Sub-Total	3,130	100.00	3,983	100.00	6,057	100.00
VISAYAS						
Hydro	3	0.74	30	2.75	170	11.16
Diesel/Oil	376	92.38	576	52.84	562	36.90
Coal	25	6.14	185	16.97	350	22.97
Geothermal	3	0.74	269	24.68	381	25.00
Nuclear	-	-	-	-	-	-
Noncon	-	-	30	2.75	61	4.00
Sub-Total	407	100.00	1,090	100.00	1,524	100.00
MINDANAO						
Hydro	385	62.10	756	62.43	1,486	72.70
Diesel/Oil	235	37.90	385	31.79	328	16.05
Coal	-	-	60	4.95	210	10.27
Geothermal	-	-	-	-	-	-
Nuclear	-	-	-	-	-	-
Noncon	-	-	10	0.82	20	0.99
Sub-Total	620	100.00	1,211	100.00	2,044	100.00
PHILIPPINES						
Hydro	934	22.47	2,041	32.48	4,273	44.39
Diesel/Oil	2,975	71.57	2,677	42.60	1,906	19.80
Coal	25	0.60	545	8.67	1,160	12.05
Geothermal	223	5.36	819	13.03	1,261	13.10
Nuclear	-	-	-	-	620	6.44
Noncon	-	-	202	3.21	405	4.21
TOTAL	4,157	100.00	6,284	100.00	9,625	100.00

(In Million US Dollars at 1979 Price Level)

SECTORS	Foreign Exchange		Local Currency		Total	
	Amount	%	Amount	%	Amount	%
A. Resource Exploration and Development	1,682.36	17.31	439.89	10.31	2,122.25	15.18
Oil and Gas	802.39	8.26	132.19	3.10	934.58	6.68
Coal	83.49	0.86	55.64	1.30	139.13	1.00
Uranium	347.76	3.58	149.04	3.49	496.80	3.55
Nonconventional Energy	8.07	0.08	10.07	0.24	18.14	0.13
Energy	440.65	4.53	92.95	2.18	533.60	3.82
B. Power Development	6,675.96	68.71	2,645.99	62.03	9,321.95	66.67
Luzon Grid	4,191.58	43.14	1,616.86	37.90	5,808.44	41.54
Visayas Grid	1,106.37	11.39	369.99	8.68	1,476.36	10.56
Mindanao Grid	1,378.01	14.18	659.14	15.45	2,037.15	14.57
C. Downstream Facilities	1,142.09	11.75	576.33	13.51	1,718.42	12.29
D. Electrification	216.37	2.23	603.78	14.15	820.15	5.86
Total	9,716.78	100.00	4,265.99	100.00	13,982.77	100.00

第6章 調査地域の一般事情

第 6 章 調査地域の一般事情

6-1 位置・交通

フィリピン共和国は、大小7,109の島々からなり、総面積は29.9万平方キロ、本州と北海道をあわせた大きさで、Luzon島が最も大きく、南部のMindanao島がこれに次ぎ、両島の面積は全群島の面積の7割を占める。

アクバン・イトゴン地区は、Luzon島の北部、Benguet州北部にあり、Luzon島の骨格をなすCordillera Centralの山岳地帯に位置している。調査地域は、高原都市、避暑地、観光都市として有名なBaguio(バキオ)市東方にあり、調査範囲は約300km²で、海拔標高は450~1,709mと変化に富んでいる。調査地域東部を流れるAgo川は、地質構造に支配され、深いV字谷を形成しており、この地形を利用してAmbuklao(アンブクラウ)ダム7.58MWとBinga(ビンガ)ダム100MWの水力発電設備がある。

本調査地域は、Baguio市の東方5~20kmに位置しており、交通手段は、Manila~Baguioの航空の便、又は自動車によっている。Manila~Baguioは約250kmあり、国内線航空で約50分、有料道路、国道3号、11号線経由で約4時間である。

調査地域周辺は、Baguio市に近く、また鉱山地帯であるため、地形急峻ながら自動車道路は発達している。

6-2 住民・産業

Baguio市のあるBenguet州の原住民はイバロイ族とカンカナエイ族であり、イバロイ族は農業に適した盆地を支配し、Daklanに近いKabayanを文化の中心としている。カンカナエイ族は県北部の高地に住み、生まれつきの鉱山労働者である。この両部族にボントック族を含め、イゴロット(山の人を意味する)族と呼ばれており、勤勉で文化程度もかなり高い。

現在も階段式水田を耕し、鉱山労働に従事し、一部は器用な手先を利用して手工芸品を作りBaguio市で商業を営む。

調査地域内の住民は、主に鉱山労働者であるが、Baguio市に近いことから都市勤労の経験を有する者も多く、作業態度も良く能率的である。

1980年の国勢調査によると、Benguet州の全人口は236,174人であり、男性122,550人、女性113,624人である。Benguet州には13の町があり、1975年の調査によれば、Itogonが最大の人口を有し20.0%であり(41,000人)、次にTuba12.4%、Mankayan11.8%であった。これら3町は鉱山地帯にあり隣接地域からも鉱山労働のために、これらの町に流入しているためと思われる。

6-3 気 候

フィリピンの年平均温度は27℃(東京は14℃)である。暑い期間、すなわち5月から10月(雨季)の温度は27~28℃、涼しい期間すなわち11月から4月(乾季)の温度は25~26℃であり、ほとんど年較差がない。また、6月から10月にかけては台風が通ることが多く、本調査期間中の10月15日にも大型の台風が大雨をもたらして大きな被害が発生している。このような台風により、かなりの降雨量の差があり、年により雨量は変化に富む。

過去10年間のAmbuklaoにおける降雨量をTable I-6-1に示す。これによると、12月~3月は100mm以下の乾期、4月~11月は雨期で6~8月に100mmに近い降雨量を記録している。Benguet州の平均年間降雨量は、4,489mmであり、Manilaのそれは2,083mmであるから、Benguet州の平均年間降雨量はManilaの2倍である。

Baguio市の測候所の過去43年間の年間平均記録によると、9,038mmの年間降雨量を記録した1911年が最も雨が多く、全国平均のほぼ4倍にあたる。この間の一番雨の少ない年は1927年で2,779mmであった。

1972年7月には、1ヶ月間に4,775mmの最大月間降雨量を示している。一方、2月には全く雨の降らないことが多い。

24時間降雨量の世界記録は、このBenguet州におけるものであり、1,216mmであった(1967年10月17日の正午から18日正午)。

Benguet州が平均年間降雨量、平均月間降雨量、および最大月間降雨量においてフィリピンの他の全ての記録地点を凌駕しているという事実も注目されることである。

Table I-6-1 Ambuklao - ダムにおける過去10年の降雨量(単位mm)

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	月別平均雨量
1月	0%	295	0	914	569	561	64	0	0	214	430%
2月	267	0	0	0	991	0	0	0	0	0	37
3月	399	445	533	439	287	429	107	171	0	892	959
4月	391	161	518	148	30	405	150	1,093	1,123	114	3315
5月	147	239	198	147	152	7,717	1,735	1,361	2,499		1577
6月	487	170	168	613	174	13,772	2,140	3,904	3,674		2,789
7月	582	1,280	172	272	219	2,854	4,578	2,575	1,897		1,603
8月	386	446	365	971	863	1,695	4,535	8,536	4,305		2,456
9月	301	216	176	233	230	2,085	5,009	3,849	2,223		1,591
10月	423	284	278	486	285	1,223	234	3,056	1,144		795
11月	138	594	925	273	168	665	1,336	343	175		344
12月	615	137	127	838	688	411	0	324	473		120
年間総雨量	2,6312 ^{mm}	2,6875	15,193	32,798	21,341	30,9422	19,888	25,212	17,513		年間総雨量の平均 11,756.3 ^{mm}

第Ⅱ編 各 論

第1章 地質調査

第1章 地質調査

1-1 地質調査の目的と方法

Acupan・Itogon 区 (300 km²) の地質調査を行ない、地熱流体の対流系を規制する広域的な地質構造を解析し、さらに上記対流系の熱源を推定結果に基づいて、広域的な地熱系の全体像を考察し、さらに流体賦存の有望地域 (30~50 km²) を抽出し、地温測定孔の位置を選定する基礎資料を得ることを目的とする。

このため、下記の2項目の方法を用いて地質調査を行った (Fig. II-1-1)。

① 衛星写真および空中写真解析：衛星写真解析は、本調査地域、Buguias地区 (昨年度調査実施地区) およびDaklan地区を含む9,000 km²について、リニアメント、地質区分などを実施した。また、空中写真解析としては、リニアメント、地質区分、変質帯分布などについて解析した。

② 地質調査 (300 km², 概査)：地質調査では、調査ルート延長 (220 km) の地表踏査を行ない、広域的な地質層序・地質構造など地熱流体賦存に適する場の情報を収集した。また地表踏査を通じて採取した350ヶ以上の岩石試料のうち220ヶを日本に持ち帰り、薄片による顕微鏡観察・放射年代測定、X線回折などの室内試験・分析を実施し、地熱系を解析する基礎資料とした。

1-2 地質概要

本調査地域の位置するLuzon島北部は、東西を海溝ではさまれ、深発地震や第四紀火山を伴う第Ⅲ型島弧であると考えられている (杉村・上田, 1973)。

Luzon島北部の地質構造は、基本的には南北に配列する複向斜構造と複背斜構造を示す地塊にわかれ、東から西へシエラマドレ (Sierra Madre) 複背斜、カガヤン (Cagayan) 複向斜、コルディレラセントラル (Cordillera Central) 複背斜、イロコス (Ilocos) 複向斜を配列し、南をセントラルプレーン (Central Plain) に境される。この構造は、新生代初期~中期にかけての構造運動により骨組みが形成され、新生代末期に上述の運動を一部引き継いだ地塊運動によりさらに複雑化され、現在に至っている。

本調査地域はバギオ・ゴールド・デストリクトと呼ばれフィリピン国の金鉱床が集中し、ポーフィリー・銅-鉛-亜鉛も分布する鉱山地帯であり、多くの研究者により地質 (Smith; 1905, Dickerson; 1923, Leith; 1938, Corby et al; 1952, Schaffer; 1954, Durker & Pedersen; 1961, Peña; 1969, Peña & Peyes; 1970, Walfe; 1972, Francisco et al; 1974, Hashimoto; 1975, BCI; 1976, MMAJ & JICA; 1977, Balce et al; 1979, Kanno; 1981, JICA; 1982, Santos; 1982) や鉱床 (Schaffer; 1937,

Livingston; 1939, Worley; 1967, BCI; 1976, Sawkins et al; 1979) についての報告がなされている (Table II-1-1)。これらの報告の中で、特に地熱に関係する問題点は、バラトック (Balatoc) ブラグと呼ばれる金銀鉱脈や温泉湧出の胚胎母岩の時代についての見解不一致である。BCI (1976) は、バラトックブラグの年代を第四紀と考え、一方 Balce et al. (1979) らは新第三紀と考えており、熱源評価に関係する火山岩の時代論として重要な問題である。

本調査地域の地質は、変成岩類・火山岩類・堆積岩類・貫入岩類から構成される。地質層序は、先新第三系のダルピリップ (Dalupirip) 変成岩類およびプゴ (Pugo) 層と呼ばれる変火山・堆積岩類、新第三系のジグザグ (Zigzag) 層と呼ばれる火山岩類・クロンダイク (Kiondyke) 層と呼ばれる堆積岩類・ロザリオ (Rosario) 層と呼ばれる堆積岩類、更新世のバラトックブラグおよび段丘堆積物からなる。また、貫入岩類は、アグノ (Agno) パリソスと呼ばれる深成岩の他に、深成～半深成岩類・半深成～火山岩類・火山岩類の貫入岩類が見られ、これら貫入岩類のあるものは、ポーフイリー・カッパー鉱床や金銀鉱床に密接な関連を持つ。

1-3 衛星写真・空中写真解析

本解析は、写真情報からリニアメントや地質单元などの判読により、現地地質調査の精度・効率を上げるために実施した。

本解析では、隣接する既知地熱徴候地であるブギアス (Buguias) 地区やダクラン (Daklan) 地区と本調査地域の地質構造を比較検討し、本調査地域をより広域的な場において地熱エネルギー賦存のポテンシャルについて現地地質踏査の資料とすることを目的とした。なお本解析には、ランドサット (Landsat) 衛星によって得られた多波長帯走査計 (Multispectral Scanner) の 70% 映像フィルム (ID No. E-2456-01345) の 4・5・7 の 3 バンドを用いた白黒画像 (各バンド、100 万分の 1, 50 万分の 1, 25 万分の 1), 擬カラー画像 (False Color Imagery) を使用した。

解析地域は北緯 $15^{\circ}50'$ ~ $16^{\circ}48'$, 東経 $120^{\circ}15'$ ~ $121^{\circ}55'$ (面積; 約 8,000 km^2) の範囲である。

解析の手順としては、水系図を作製し、これにリニアメント、一般走向傾斜を判読し、色調、河川流路の型・河川の密度、肌合、抵抗度から地質单元を解析した。

本解析地域は、地質单元としては亜单元も含め 6 单元識別された。これらの单元は既存の地質図から以下のように対比された (Fig. II-1-3)。

地質单元 I ; 第四系 (堆積物)

地質单元 II ; 中部中新統～鮮新統

地質单元 III ; 鮮新統

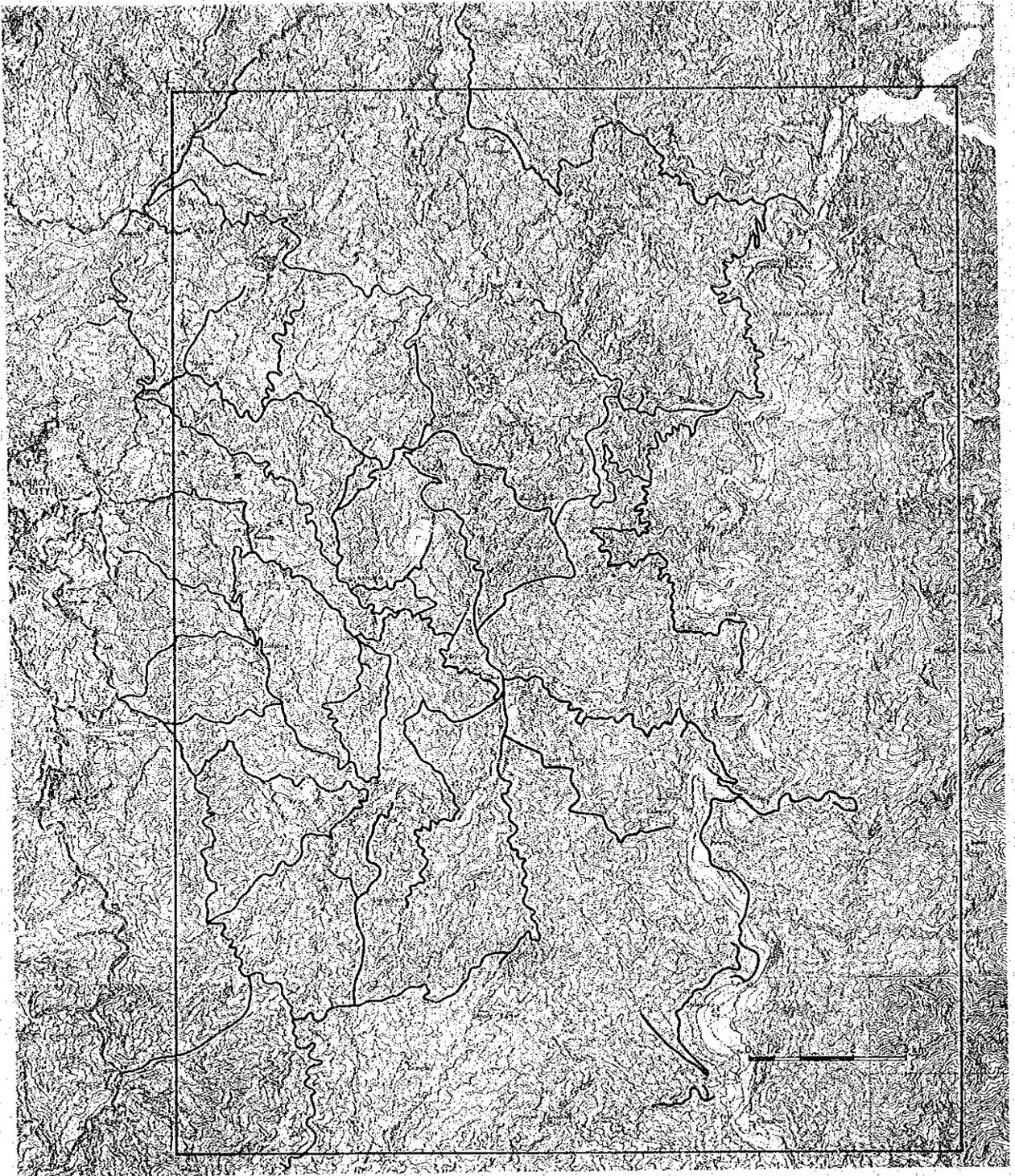


Fig. II -1-1 Coverage of Geological Survey

地質单元Ⅲ；白亜系～下部中新統および深成岩類

地質单元Ⅳ；第四系（火山岩類）

地質单元Ⅴ；白亜系（変成岩類）

リアメントは、中央部の地質单元Ⅲとその両側の地質单元Ⅱとで異なるが、その境界はN-S性を示す。

○地質单元Ⅰ；本单元は、本解析地域南部のセントラル・プレーンと北東部のCagayan溪谷沿いに分布する。色調は、今回使用した擬カラー画像では茶色で、畑として利用されている。河川流路は蛇行し、河川密度は粗く、リアメントの発達が悪い。肌合は滑らかで、抵抗度は最も小さい。本单元は低地帯を覆い、ほぼ水平な第四系堆積物により構成されると判読される。

○地質单元Ⅱ；本单元は、本解析地域の東側のCagayan溪谷の延長地域および西側の地域に南北に延びて分布する。色調は擬カラー画像では赤～茶色を示し、森林を主体とし一部耕作地となっている。河川流路は平行し、河川密度はやや粗い。リアメントは南北に発達し、ケスタ地形が読み取れる。このケスタ地形に表われる層理から一般走向は南北で西ないし東に傾斜していることが判読される。肌合はやや粗く、抵抗度も中程度と判読される。本单元は、山岳地帯から低地帯にかけて、ゆるい褶曲構造を示しながら西側へと傾く上部新第三系により構成されると判読される。

○地質单元Ⅱ'；本单元は、本解析地域西部の山岳地帯と西海岸に沿って、地質单元Ⅱを覆って分布する。色調は擬カラー画像で赤色～茶色を示し、森林地帯ないし耕作地にあたる。河川流路は樹状で浅い谷を形成し、密度はやや高い。リアメントは余り発達しない。肌合は滑らかで、抵抗度は小さい。本单元はゆるやかな盆状構造を示す高原をなし、地質单元Ⅱの上に、单元Ⅱの層理を切つてのり、上部新第三系の石灰岩および堆積岩類により構成されると判読される。

○地質单元Ⅲ；本单元は本解析地域中央部にほぼ南北に広く分布する。色調は擬カラー画像で赤色～橙色を呈し、森林～疎林または崩壊地にあたる。河川流路は、樹状ないし亜平行型で、深いV字谷を形成し、河川密度は高い。リアメントはNW-SE, NE-SW, N-S, E-Wの各方向に発達するが、リアメントの各方向は地質单元Ⅲの中で地域性をもって発達する。肌合は粗く、抵抗度も大きい。本单元は、山岳地帯にあたり壮年期の地形を示し、断裂構造が発達する岩石により構成されると考えられる。既存の地質学的資料から、本单元は新第三系下部、古第三系、変成岩および深成岩よりなると解釈される。

○地質单元Ⅳ；本单元は、本解析地域中央部の高山に点在し、Daklan以北に分布する。色調は本擬カラー画像では濃い赤色を呈し、森林帯にあたる。河川流路はほとんど発達しないが、放射状のものがかるうじて判読される。肌合は大変滑らかで、抵抗度は小さい。本单元

はドーム状を示し、高山を形成する第四系の火山岩類と見られ、この中に熔岩円頂丘も判読される。

○地質单元 V； 本单元は、本解析地域の南部に小範囲に分布する。色調は本擬カラー画像で赤色から橙色を示し、本单元は森林帯と崩壊地にあたる。河川流路は亜平行を示し、河川密度はやや高い。リニアメントは顕著ではないが、NW-S EかNE-SWのものより発達する。肌合はやや滑らかで、抵抗度はやや低い。本单元は老年期の地形を示し、変成岩類により構成されると解釈される。

1-4 地質層序

本調査地域(30.0km²)の地質層序は、後期白亜紀の放射年代を示すダルピリップ(Dalupirip)変成岩類、古第三系の火山岩類を主体とするプゴ(Pugo)層および石灰岩からなるコロンブス(Columbus)層、下部中新統の火山岩類を主体とするジグザグ(Zigzag)層、中部中新統の堆積岩類を主体とするクロンダイク(Klondyke)層、上部中新統～鮮新統の堆積岩類を主体とするロザリオ(Rosario)層、下部更新統のバラトックプラグおよび段丘堆積物よりなる(Table II-1-2, Fig. II-1-5, Fig. II-1-6)。

1-4-1 ダルピリップ変成岩類(Dalupirip schist, Da)

〈研究小史〉 本岩類は、Dickerson(1923)により命名され、結晶片岩、閃緑岩、粘板岩およびチャートの複合基盤岩類の名称として命名された。Leith(1938)は、基盤の変成岩としてこの名前を用いた。Fernandez & Palanco(1967)は本変成岩類がいわゆる「複合閃緑岩類」の貫入による局部的変成と考え、特に名前を付けなかった。Oca(1951)およびBalce(1979)らの研究者は、この変成岩体が変火山-堆積岩からなるプゴ層に移化するとした。BCI(1976)はこの変成岩類をプゴ層より古いとした。MMAJ-JICA(1976, 1977)は、この変成岩類をK-Ar法による放射年代測定に(82.6 ± 20.6 Ma)に基づき変成岩の変成時を後期白亜紀と考え、プゴ層より古いとした。このように、本変成岩類の時代論について各研究者たちの意見一致が見られていない。

〈模式地〉 Itogon Municipal, Twin River 部落の Itogon-Dalupirip 道路沿い。

〈層序関係〉 断層でプゴ層と接し、イトゴン石英閃緑岩により貫かれている。クロンダイク層の礫岩中の中礫として、本変成岩類が含まれており、クロンダイク層とは不整合関係である。

〈層厚〉 不明

〈分布〉 Dalupiripの西側からTwin River 部落にかけてNNW-SSEの方向に帯状に分布する。

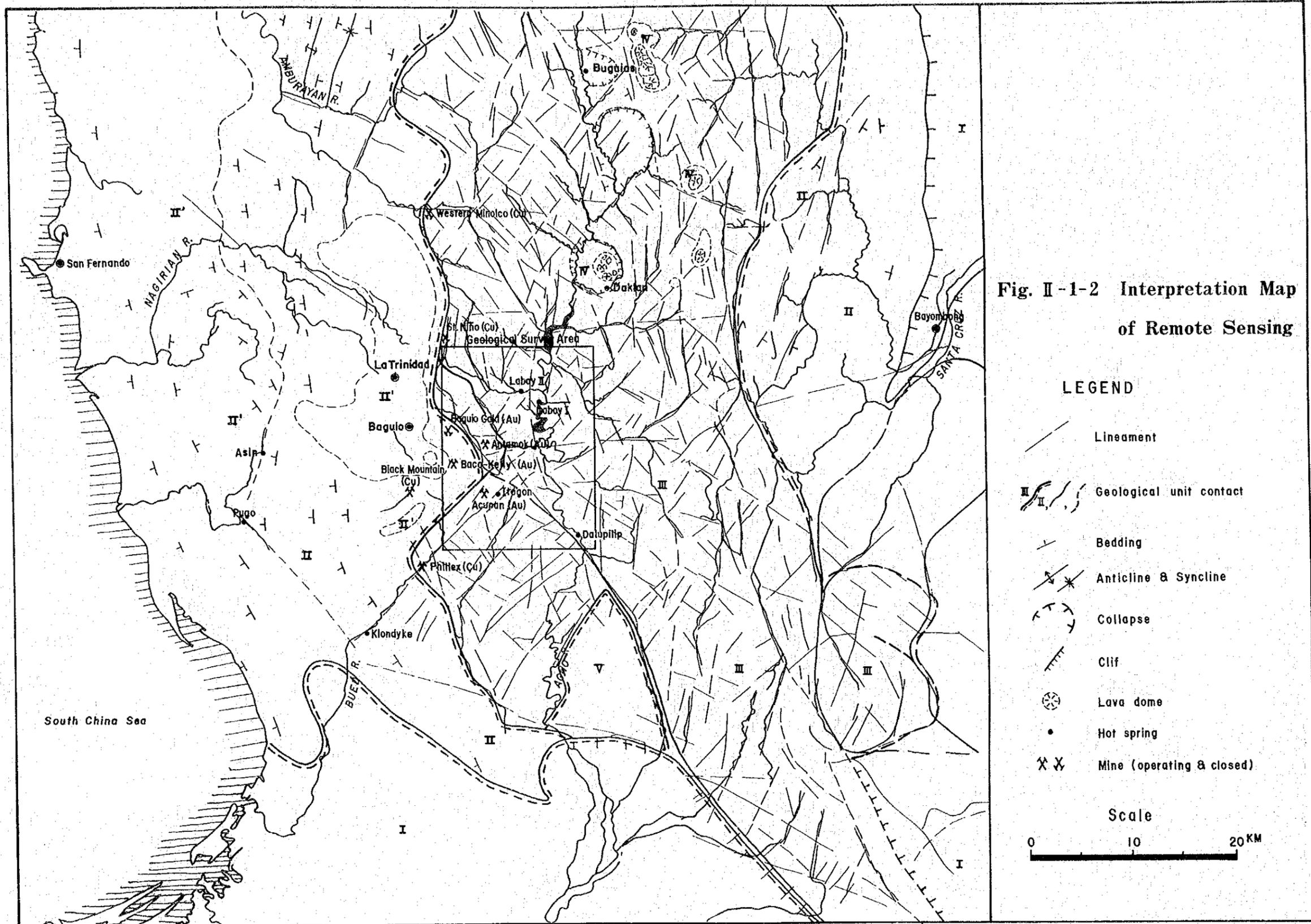


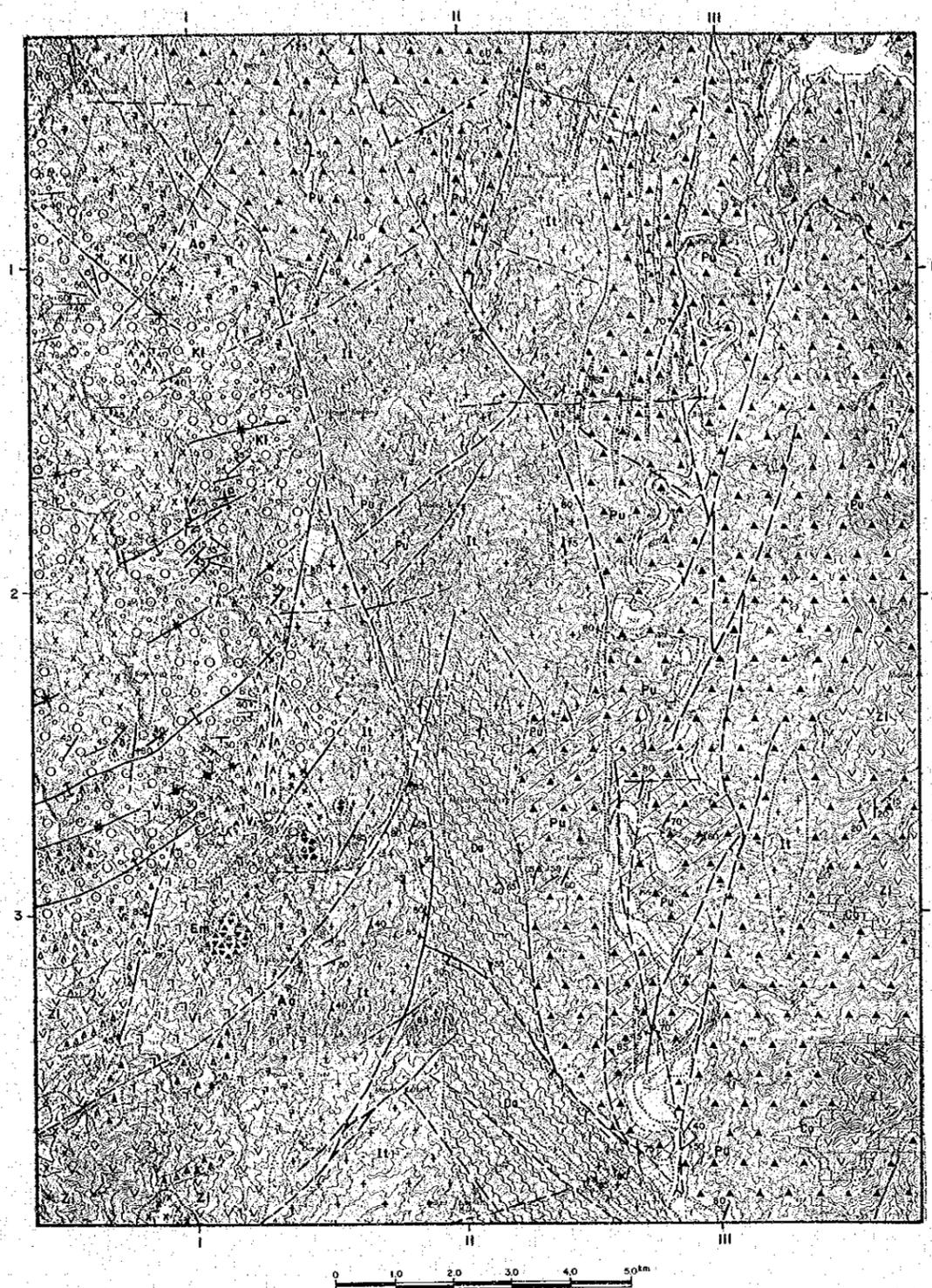
Table II-1-2 Generalized Stratigraphic Column

STAGE	AGE	STRATIGRAPHIC COLUMN	LITHOLOGY	TECTONICS	IGNEOUS ACTIVITY	HYDROTHERMAL ACT.
QUATERNARY	Recent	0.01	Bp			Geothermal activity
	Pleistocene	2.0				Gold mineralization
NEOGENE	Pliocene	6.0	VI			Gold mineralization
		9.5	Ro, Fo, Kl	Rosario formation tuffaceous ss. & pumice tuff		Volcanism of dacitic rocks Intrusion of Intermediate porphyry complex (5.8±0.2 m.a.)
		15.0	Zi, An, Lu, VZ, Co	Klondyke formation cgl., andesitic pyroclastic rocks, tuff, s.s. and m.s.		Employment of Ilagon qtz dia. & Anomoc dia. (17.9-21.7 m.a.) Intrusion of Acidic porphyry complex Formation of (Agno batholith)
PALEOGENE	Oligocene	25.0	Pu, Pu			
		36.0	Co, Pu, Da	Zigzag formation andesite lavas and andesitic pyroclastic rocks		
		58.0		Columbus formation lm st. and cgl		
CRETACEOUS	Paleocene	63.0				

TECTONICS: N-S, Uplifting and Subsidence; NW-SE faulting; NE-SW faulting; NE-SW faulting (plug, fault, vein); NW-SE faulting (fault, vein).

IGNEOUS ACTIVITY: Employment of Ilagon qtz dia. & Anomoc dia. (17.9-21.7 m.a.); Intrusion of Acidic porphyry complex; Formation of (Agno batholith); Volcanism of dacitic rocks; Intrusion of Intermediate porphyry complex (5.8±0.2 m.a.); Gold mineralization (1.3-0.8 m.a.); Geothermal activity.

HYDROTHERMAL ACT.: Burial metamorphism.



LEGEND

Quaternary	Terrace dep.	gravel
Pleistocene	Bakoc plug	dacitic pyroclastic r. <0.85±0.12ma.>
Pliocene	Rosario F.	s.s. & pumice II.
Upper	Klendike F.	conglomerate, pyroclastic r. I, s.s. & m.s.
Middle	Zigzag F.	andesitic pyroclastic r. and andesite
Lower	Columbus F.	lime stone
Oligocene	Pugo F.	metavolcanic r. & metasedimentary r.
Eocene	Dalupit sch.	sch.
Paleocene		
Up Cretaceous		

<Intrusive rocks>

A	hb mega crystal bearing and porphyry	<5.76±0.23ma.>
B	intermediate volc-plutonic complex (and, and, porphyry and micro diorite bearing hb)	
C	pr. and porphyry	
D	acidic to intermediate volc-plutonic complex (composed of mainly qtz diorite, a minor amount of dacite porphyry, and qtz diorite, andesite, and porphyry)	
E	bio-hb qtz diorite - quartzofelsite (so called vitro granodite) (medium grained to fine)	<5.20±0.35ma.>
F	hb diorite, hb gabbroic diorite (co. grained)	
G	metacratitic to leucocratic hb qtz diorite	<17.0-22.7ma.>
H	(co. grained to medium grained, main body of Aqna batholith)	
I	transition zone (between schistosity and/or meta-sediment)	

45	bedding
60	schistosity
50	foliation
60	joint
60	fault
---	lineament
X, X	operating mine and closed mine
☼	hot spring
~	anticline, syncline

Fig. II-1-3 Geological Map

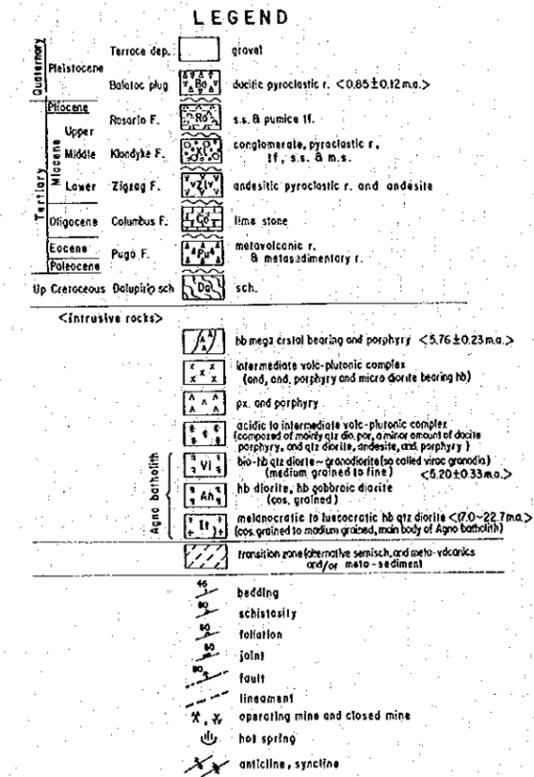
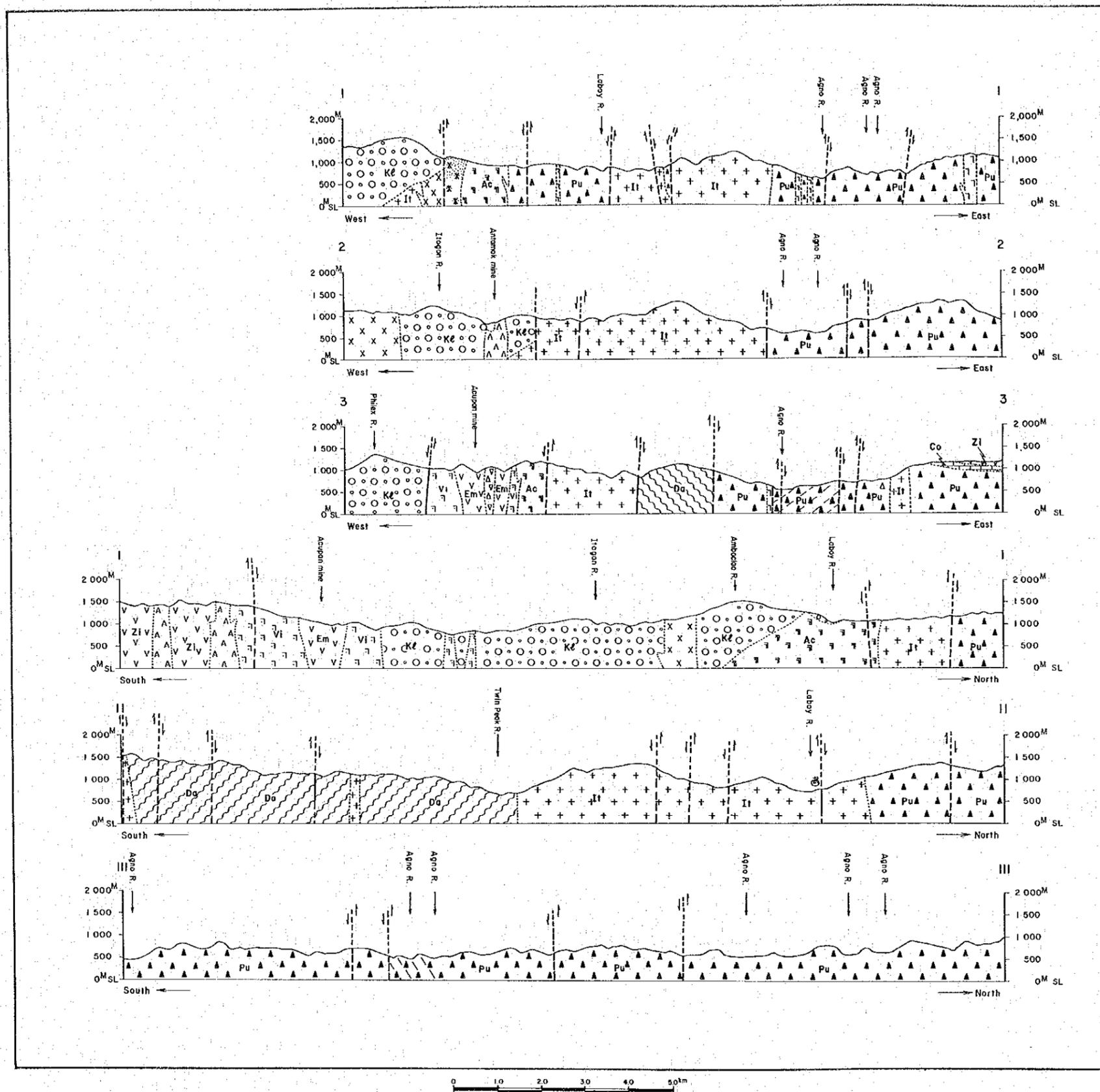


Fig. II -1-4 Geological Profile

〈岩相・構造〉 本変成岩類はゆう黒色の陽起石片岩、暗緑色～淡緑色の緑色片岩からなり、これらの片岩は数cmから数10cmの互層として野外で観察される。これら片岩の種類は源岩の違いによるものと観察され、これら片岩の境は層理を示している。

ゆう黒色の陽起石片岩は硬堅緻密で細粒～中粒のものまで見られ、細粒のものは一見泥質岩起源の黒色片岩様を呈する。

緑色片岩は、暗緑色の（緑レン石）一緑泥石片岩や緑色の（緑レン石）一絹雲母一緑泥石片岩および淡緑色の（緑レン石）一緑泥石一絹雲母片岩からなると肉眼観察される。

片理は一般走向NW-SE～N-S走向を示し、東ないし西に緩傾斜～急傾斜する。

本変成岩類の西側はプゴ層と断層で接し、その東側および北側はイトゴン石英閃緑岩類と被貫入関係で接する。本変成岩類の北側にはNNW方向にイトゴン石英閃緑岩中のゼノブロックとして本変成岩類が点在する。本調査地区南側範囲外では、本変成岩類（角閃石片岩が卓越）がNW-SE方向に分布し、イトゴン石英閃緑岩体と離れ、NW-SE走向の片理構造を示して両側をプゴ層とNW-SE方向の断層で接していることが観察されている（MMAJ-JICA, 1976）。

（顕微鏡観察） Sample No A-138, Location; Itogon 町東方3km (Fig II-1-5)

野外観察結果； 緑色片岩

鏡下； 片状・縞状組織が発達し、変斑状組織が見られる。斜長石>石英>陽起石>緑泥岩>緑レン石>スフェーンの鉱物組成を持つ。

斜長石には粗粒（最大1.8%, 平均0.7%）で自形ないし半自形を呈する粒状ないし短柱状の灰曹長石成分のものと細粒（0.03%±）他形の曹長石成分のものがある。石英は、細粒（0.03%±）他形のものから成り、波動消光を示す。陽起石は、繊維質の自形変晶からなり、長いものは0.5%に達する。緑泥石と陽起石は有色鉱物の縞状組織を作る。緑レン石も少量自形変晶として産する。

〈時代〉 本変成岩類の片理の一般走向は上述のようにイトゴン石英閃緑岩の貫入方向と斜交し、イトゴン石英閃緑岩と接する部分で片理方向がその貫入方向と調和的となる。さらに、調査範囲外南方ではイトゴン石英閃緑岩とは接しておらず、プゴ層と接する関係から、本変成岩類とイトゴン石英閃緑岩とは成因的に無関係と判断され、イトゴン石英閃緑岩より古いと考察される。なお、調査範囲外南方8km付近で採取した角閃石片岩のK-Arの放射年代は 80.6 ± 20.6 Ma.を示した（MMAJ-JICA, 1977）。以上から、本変成岩類の変成作用の時代については、BCI（1976）同様、後期白亜紀と考える。

1-4-2 プゴ層（Pugo Formation, Pu）

〈研究小史〉 本層は、Schafer（1954）が“Pugo Series”として使った変火山一変