

Fig. I-2-17 Location Map of Rock Samples for Hg Ana





一方岩石試料を変質岩、未変質岩に分けてその中の水銀濃度を分析した結果を Table II-2-2 に示す。その岩石採取位置は Fig. II-2-17 に示すとおりである。Table II-2-2 に示すとおり温泉の湧出母岩では、

Dalupirip	:	25 ppb (No. 1, 2, 3 の平均)
I togon	:	1,078 ppb (No. 29)
Klondyke	:	19 ppb (No. 30)
Pugo	:	269 ppb (No. 31)
Laboy	:	21 ppb (No. 32, 33 の平均)
Acupan	:	156 ppb (No. 36, 37, 38, 39, 40 の平均)

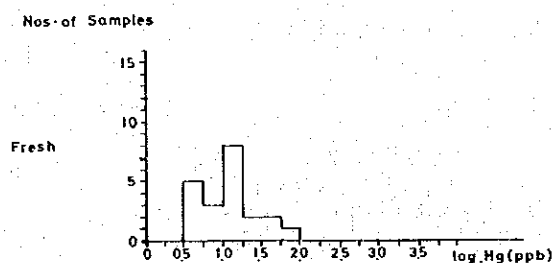
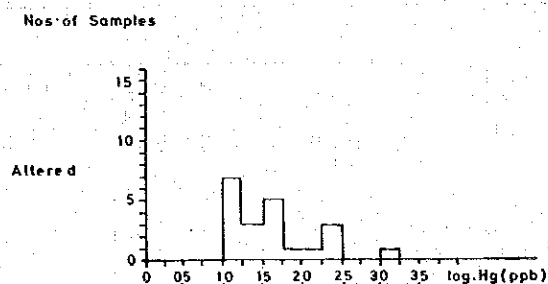


Fig. II-2-18 Histograms for Hg Contents in Rocks

と特に I togon 橋温泉, Acupan 坑内, Pugo 温泉で水銀濃度が高い値がみられる。また Fig. II-2-18 は Table II-2-2 に示される各試料を変質岩と未変質岩とに分けて、その水銀濃度を対数値に変換して頻度分布を比較したものである。log(Hg ppb) で 1.00 から 1.25 の間で頻度分布グラフの重複がみられるが、大体において変質岩中の水銀量の方が未変質岩中の水銀量に比較して高いと言える。岩石に変質をもたらした原因が付近に分布する主に金の欽化作用に

伴なり熱水変質であるのか、または温泉変質に伴うのか定かではないが、一応鉱化作用末期の温泉活動に依るものと考えても良いのではないかと考えられる。それは Itogon 橋で温泉の湧出母岩ではない変質岩中で 43, 33, ppb (No 21, 22) の比較的高い水銀濃度もみられるが、Acupan 鉱山に於いては黄鉄鉱、黄銅鉱が多量に見られる鉱化変質を強く受けた変質岩中でも水銀濃度は 12~24 ppb (No 16, 17, 18, 19, 20) と比較的低い値を示すほか、同様のことが Ambalanga 川 (No 14) にも認められる為である。しかし一方で、Laboy 川の温泉で見られるとおり、湧出母岩中の水銀量の低い場合もあり、地熱流体全てが必ずしも水銀の富化作用をもたらしたとは言い難いのかも知れない。

2-2-5 地温・二酸化炭素ガス・ラドンガス・土壤中水銀量の因子分析  
測定項目値間の相関係数は次のとおりである。

	T	CO <sub>2</sub>	Rn	Hg
T	1.00	-0.20	0.24	0.18
CO <sub>2</sub>		1.00	0.29	-0.18
Rn			1.00	0.07
Hg				1.00

標本データが 50 と少ないため統計的な考察を行なうのは無理があるかも知れないが、求められた相関係数の値が全体的に非常に小さいことが特徴的である。標本データがどの程度関連があるかを示す目安として、便宜上次の基準が用いられている。

- 0.7~1.0 (-0.7~-1.0) : かなり強い関連。
- 0.4~0.7 (-0.4~-0.7) : かなり関連がある。
- 0.2~0.4 (-0.2~-0.4) : やや関連がある。
- 0.0~0.2 (0.0~-0.2) : ほとんど関連がない。

この基準に従えばラドンガス濃度は二酸化炭素ガス濃度および地温とそれぞれ 0.29, 0.24 の相関係数で、互いにやや関連が認められる。また地温と二酸化炭素ガス濃度の間には負の関連がやや有り、一方ラドンガス濃度と水銀濃度はほとんど関連がないと言えるだろう。

変量が地温、二酸化炭素ガス濃度、ラドンガス濃度および土壤中の水銀量の 4 変量であり因子分析を行なうのには変量数が少なく、また前記のとおり標本データ数も充分ではないので問題はあるが手持資料の範囲内で因子分析を行ない、1 m 深の地化学探査の各手法の問題点の指摘および有効性の検討を行なった結果は次のとおりである。計算は生データの入力後ピアソンの積率相関係数を求め、主因子法に依って因子負荷量を求めた。バリマックス回転後の結果は次のとおりで、またはそれを座標表示したものを Fig. II-2-19 に示す。

Table II-2-2 Analytical Data Sheet for Hg Analysis

Sample No.	Location	Geological formation	Rock name	Alteration	Hg contents (ppb)	Remarks
1	Dalupitip		andesitic meta-volcanics fine grained, schistose	deep green, altered hydrothermally, Py. diss. silicified strongly, quartz vein rich.	37	host rock for discharging hot spring.
2	"	"	"	altered hydrothermally, calcite vein rich.	27	"
3	"	"	andesitic vol. breccia	quartz and calcite vein rich.	12	"
4	"	"	hornblende diorite	fresh, although hb. is altered to chlo. partially.	5	"
5	Aguno batholith		meta-sediments of coarse basic pyroclastics	fresh, dark gray in colour.	10	"
6	Pugo		meta-sediments of fine basic pyroclastics	fresh, deep gray in colour.	7	"
7	"	"	green schist	fresh.	40	"
8	Basement		meta-sediments of basic pyroclastics	fresh, although Py. imp. imp.	5	"
9	"	"	actinolite schist	silicified strongly.	12	"
10	"	"	hornblende diorite	fresh.	45	"
11	along S. Ambalanga	Aguno batholith	"	fresh, although hb. is altered to chlo. and Py. diss. weakly	29	"
12	"	"	"	fresh, no Py. and hb. is fresh.	14	"
13	"	"	"	altered by ore mineralization, hb. is altered to chlo. & bio.	12	"
14	"	"	"	fresh, although hb. is altered to chlo. partially, no Py.	10	"
15	"	"	quartz diorite	altered by mineralization, calcite, Py. Cp. rich, hb. is fresh.	12	"
16	Acupan	Balatoc plug	quartz diorite	altered, Py. & Cp. rich, hb. is altered to chlo. & bio. partially.	24	"
17	Aguno batholith	"	hornblende quartz diorite	altered, Py. diss. & stringer rich, hb. is altered to actinolite.	12	"
18	"	"	"	altered, Py. stringer rich, hb. is altered to chlo.	14	"
19	"	"	hornblende diorite	altered, much Py. stringer & diss., hb. is altered to chlo.	14	"
20	"	"	"	altered, argillized.	43	"
21	Itoyon	Zig. Em.	andesitic lapilli roff	altered, chloritized & quartz veined, much Py. stringer & diss.	34	"
22	"	"	andesite dyke	fresh, Py. diss. weakly and bearing malachite.	7	"
23	Antanok	Aguno batholith	hornblende diorite	fresh, grayish green in colour, chlo. & calcite rich.	5	"
24	Klondyke	"	auto-brecciated andesite	fresh, deep green in colour, chlo. & calcite rich.	24	"
25	Kennon Rd.	"	andesitic tuff breccia	fresh, hb. is altered to chlo. partially.	7	"
26	"	"	diorite	fresh, calcite rich.	5	"
27	"	Klondyke	andesitic coarse tuff	fresh, calcite veinlet network and bearing malachite.	5	host rock for discharging hot spring
28	along S. Liang	Pugo	chlorite schist	altered, Py. diss. with calcite veinlet network.	1078	"
29	Itoyon	Balatoc plug	dacite breccia	fresh, dark gray in colour.	19	"
30	Klondyke	"	tuffaceous sandstone	altered, chloritized and much Py. diss.	269	"
31	Pugo hot-spring	Resario	"	altered to white, calcite veinlet rich.	17	"
32	Laboy	Aguno batholith	hornblende quartz diorite	altered, hb. is altered to chlo. & eps., calcite & Py. rich.	24	"
33	"	"	"	fresh, greenish gray, hb. is black in colour, no Py.	12	"
34	"	"	hornblende diorite	fresh, grayish green, hb. is fresh, no Py.	19	"
35	"	"	micro hornblende diorite	silicified strongly, hb. is altered to chlo., Py. diss.	161	host rock for discharging hot spring
36	Acupan	"	diorite	silicified strongly.	82	"
37	"	"	andesite	altered, pale green, chlo. & calcite rich.	190	"
38	"	"	dacite breccia (fine)	altered, pale green chlo. & calcite rich	48	"
39	"	"	" (coarse)	altered, pale green, chlo. & calcite rich	298	"
40	"	"	" (older)			



	第1因子	第2因子
T	0.530	0.120
CO <sub>2</sub>	-0.349	0.491
Rn	0.202	0.572
Hg	0.400	-0.049

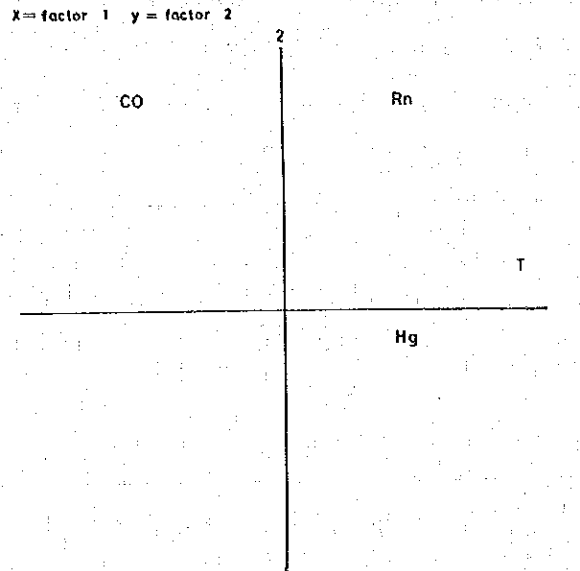


Fig. II-2-19 Factor Loading for Variables

第1因子は地温と水銀濃度に反応し、一方第2因子は二酸化炭素ガス濃度とラドンガス濃度に反応していることが判る。次に各因子の寄与率は第1因子が0.604、第2因子が0.585と略等価であることから、各変量の全体のバラツキを説明するのに両因子が対等に作用していることが判る。しかし各変量についてみると、その共通性は次のとおりである。

T : 0.296  
CO<sub>2</sub> : 0.363  
Rn : 0.368  
Hg : 0.162

いずれもその値が小さく、特に地温および水銀濃度についてそれが顕著である。これは上記各変量について、それが他の変量とどの程度関連するかで、第1因子および第2因子以外の特



殊性の影響が強いことを意味する。従って今回の調査である4変量50標本データを因子分析し、そこで得られたある特定の因子をもって探査指標とすることは難しいのではないかと言える。また逆に言えば、相関関係が不明瞭となり、結果として各変量の共通性が小さくなったとも考えられる。

さて以上のとおり因子分析の有意性については未だ問題も残るが、見掛上第1因子は地温および水銀濃度に反応するものであり、これは各々の分布図であるFig. II-2-5, Fig. II-2-16でも明らかなおとおり温泉水の湧出分布と良好な対応関係にあることから、地下地熱流体の動きを反映しているものと考えられる。一方、第2因子は二酸化炭素ガス濃度およびラドンガス濃度に反応するものであり地下地熱流体の動きとは一応関係ないものと考えられる。ここで各変量についての因子荷重を求めると、

	第1因子	第2因子
T	0.387	0.091
CO <sub>2</sub>	-0.274	0.376
Rn	0.167	0.443
Hg	0.271	-0.031

となる。これを基に50測点について第1因子スコアおよび第2因子スコアを求め、その分布をFig. II-2-20, Fig. II-2-21に示した。前記したとおりの制約はあるが見掛上第1因子は地下地熱流体の動き、第2因子はBatuang付近の地質的に安山岩質ないし花崗閃緑岩質な斑岩の分布に対応するものと考えられる。

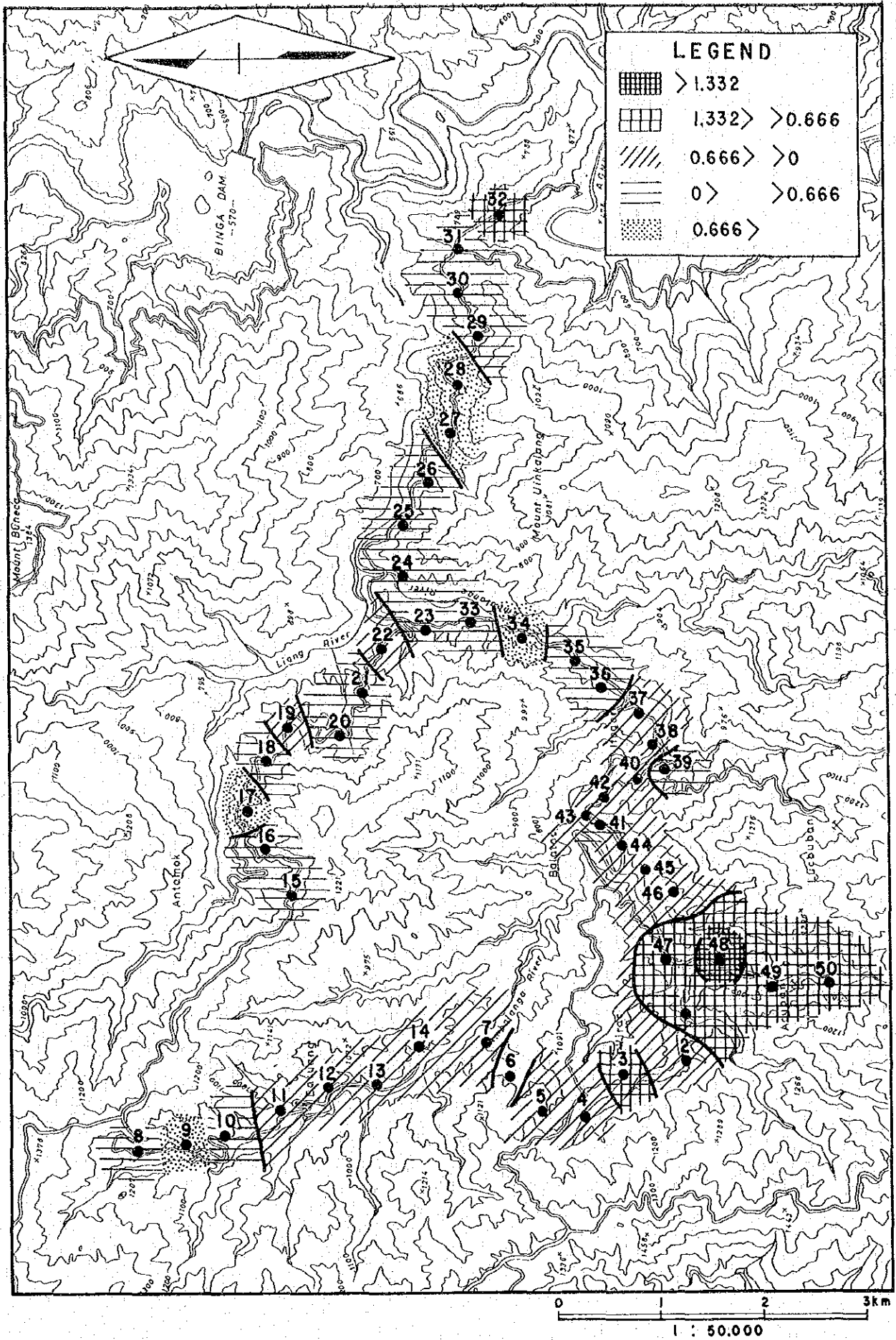


Fig. II-2-20 Distribution Map of Factor Score (Factor-1)



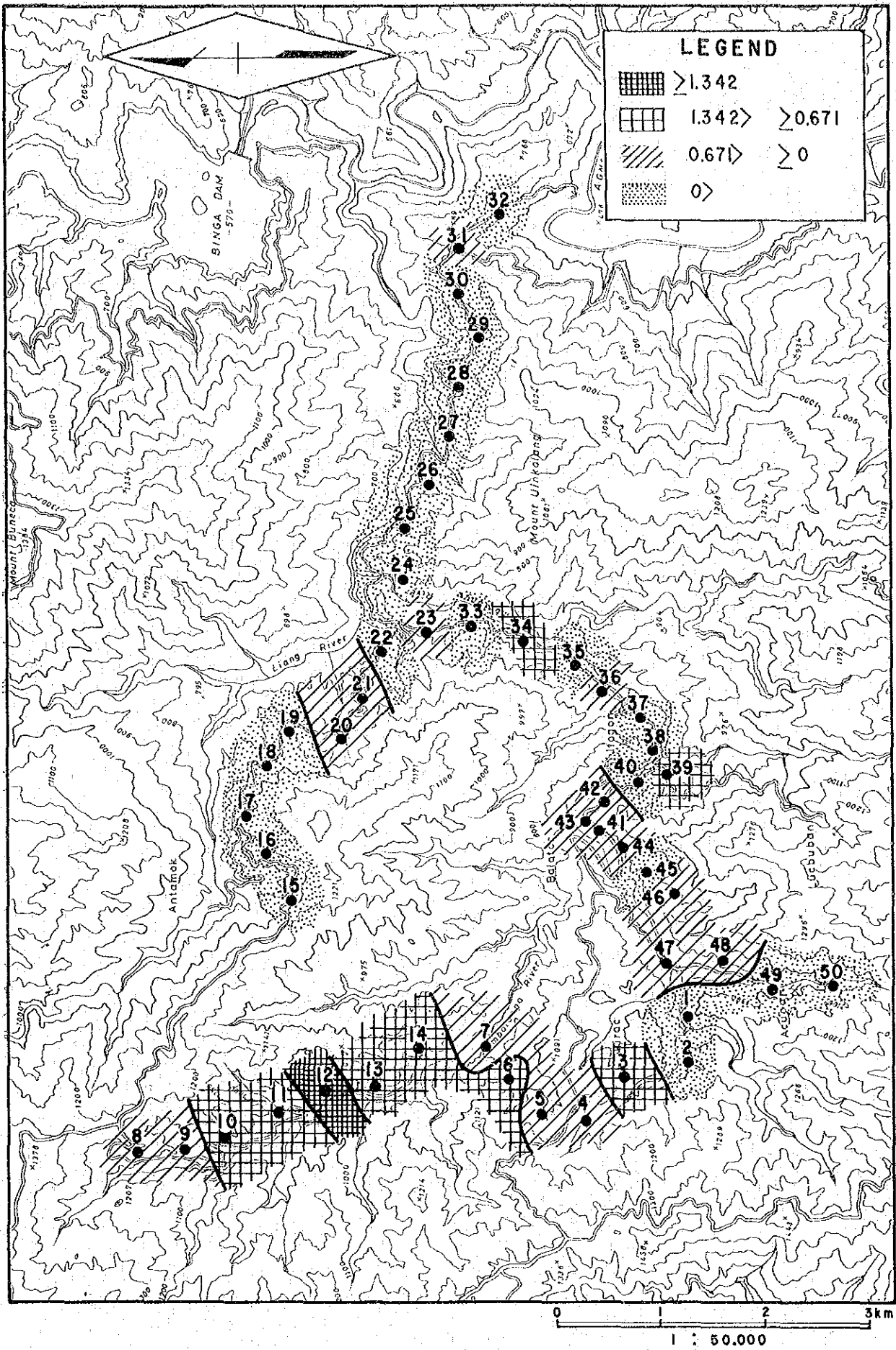


Fig. II-2-21

Distribution Map of Factor Score (Factor-2)



## 2-2-6 地温・二酸化炭素ガス・ラドンガス・土壤中水銀量の測定

1 m 深の地表調査で得られる 4 変量, つまり地温, 二酸化炭素ガス濃度, ラドンガス濃度および土壤中の水銀量のうち, 因子分析した場合の共通性は低いが一応, 地温, 土壤中の水銀量が地下地熱流体の動きを反映し, 一方, ラドンガス濃度および二酸化炭素ガス濃度は直接的には地下地熱流体との関係は認め難く, むしろ地質の差を反映していると考えられる。このうち水銀量と鉍化作用との関連について, 水銀量と金・銀の鉍化作用の関連については不明だが, 水銀量と銅の鉍化作用との関連については手持資料の範囲内では無視しても良いだろう。銅の鉍化作用と金・銀の鉍化作用をある限られた地域内の, ある限られた時間内で考えた場合, 一般的には金・銀の鉍化作用の方がより新期であるものが多いことと考え併わせると, 水銀の富化は一連の地下地熱流体の活動史の中でより末期にあったのではないかと考えられる。この原因として貫入, 噴出した火成岩類の化学性の変化を考えることもできるかも知れないが, いずれにしても水銀濃度分布は過去から累積した形での地下地熱流体の動きの一面を反映していると考えられるだろう。

二酸化炭素ガスおよびラドンガスの濃度については今回のような約 500 m 間隔での概査的な調査では地下の地熱流体の動きを反映するよりはむしろ地質の差を反映しているが, 測点間隔を狭くして, 調査範囲を限定した場合は別の因子が抽出される可能性もある。

いずれにしても地下の地熱流体の動きが地表で観測される地温, 二酸化炭素ガス, ラドンガスおよび土壤中の水銀濃度と言った 4 変量と反応する強さは前記したとおり弱いものと考えられる為, これらの測定をとおして地下を推定するには限界があると思われるので, それら測定をとおして地下地熱流体の動きの特性を調査する場合は, 第 1 因子の地温, 水銀のみならず, 二酸化炭素ガス, ラドンガス濃度の測定が望まれる。ただし二酸化炭素ガス濃度の測定の場合は, 当地域内での土壤の発達極めて薄く, 同一条件下で各測点でのガス濃度測定が難しいこともあり, 精査の 1 m 深地化学探査は, 地温, ラドンガス濃度および土壤中の水銀量測定で充分ではないかと考えられる。

## 2-3 温泉水の地化学調査

今回の調査では Dalupirip, Itogon, Klondyke, Asin, Pugo, Laboy および Acupan 坑内の 7ヶ所より 1.0 試料の温泉水を採取し, 化学分析そして同位体分析を行ない, また噴気のあるところでガス分析を行なった。各温泉湧出地の位置および一覧を Fig. II-2-22, Table II-2-3 にそれぞれ示す。

### 2-3-1 温泉湧出地の記載

Dalupirip 温泉は Aguno 川沿いの河床堆積礫の中から湧出している。湧出範囲の平面的な広がり 6 × 8 m 程度で, コンクリート製の湯槽が 3 つ作られている。湧出量は全体で約 150 l/min,

温度は 37.2~42.5℃, pHは 5.5 でこのうち温泉水試料は最高温度を示す湯槽から採取した。河床堆積礫の下位には Aguno 川沿いに緑色の安山岩質な変質火山砕屑岩類が分布するが一般的に黄鉄鉱の鉱染が強いほか珪化が強く, その中に石英脈および方解石の細脈が発達している。白色化変質は認められない。一部に石膏の白色結晶および硫酸第一鉄の緑色結晶が認められる。

Iitogon 温泉は Iitogon 橋から上流側に 150~300m の位置にある。湧出母岩は Balatoc プラグおよびそれに貫入した安山岩であり, 主な湧出は 3ヶ所で認められる。湧出量は全体で約 10 l/min 程度, 温度は 41.3~89.5℃, pHは 6.5~7.5 で, 温泉水試料はこのうち温度の高い 2 試料を採取した。いずれも岩石の節理面に沿って湧出があり, 母岩は淡緑灰色化の変質を被り方解石脈の発達が顕著である。石膏および硫酸第一鉄の沈澱のほか方解石のセンターも多量に認められる。最高温度を示す湧出地点では温泉ガスの水泡がみられるが, 硫化水素臭は認められず, 採取ガス 87 ml に対し硫化水素は 0.05 ml, 二酸化炭素ガスが 86.95 ml とほぼ全量が二酸化炭素ガスであった。

Klondyke 温泉は Bued 川沿いの枝沢にあり, 湧出母岩は安山岩質な凝灰質砂岩および安山岩質な礫岩層である。温泉の湧出はそれらを境すると考えられる北東-南西性の断層およびその近辺の節理面に沿ってみられる。湧出量の推定は難しく, 温度は 44.0~49.5℃, pHは 7.5 であった。一部硫黄華様の白黄色の沈澱がみられるが, 水泡状に出る温泉ガスを捕集し, ガス検知管で分析した結果では二酸化炭素ガスが 0.05% 以下, 硫化水素ガスは 0.005% 以下であった。臭気も認められない。湧出母岩中には方解石脈が多量にみられる。

Asin 温泉は Baguio 市の西方約 10 km の地点にある。河川堆積層中の約 4×8 m の範囲に湧出し, コンクリート製の湯槽内に集湯し, そこからパイプで配湯している為湧出量は不明である。温度は 73.8℃, pHは 8.0 で硫黄華等の沈澱はみられない。湯槽内に水泡として湧出するガスを捕集し, ガス検知管で測定した結果では二酸化炭素ガスは 0.05% 以下の微量, 硫化水素ガスも 0.005% の検出限界以下であった。

Pugo 温泉は Pugo 川の左岸側にあり, 河川堆積砂中より湧出している。湧出地点は 2ヶ所あり, 温度は 35.3~36.3℃, pHは 5.5~3.0 で湧出量は合計で約 10~15 l/min と推定される。採試した温泉水はコンクリートで仕切った湯槽内に湧出するもので, やはり温泉ガスが水泡状に湧出しているが, 捕集したガスをガス検知管で分析した結果は二酸化炭素ガスは 0.05% 以下, 硫化水素ガスは 0.005% 以下で無臭であった。温泉水の湧出地点から 6~7 m 下位の河床に露出する岩石は凝灰質の中粒砂岩で緑泥石化と共に黄鉄鉱が多量に鉱染している。

Laboy 川には 3ヶ所で温泉の湧出がみられる。そのうち下流および上流の湧出は角閃石・石英閃緑岩の節理面に沿ってみられ, 湧出母岩は全体的に白色珪化変質を被り, 角閃石は緑泥石および緑れん石に一部変質し, また方解石の細脈が多量に分布する。上流側の湧出地点付近では黄鉄鉱の鉱染が極めて強いことが特徴的である。湧出量は下流および上流ともに 15 l/min 程





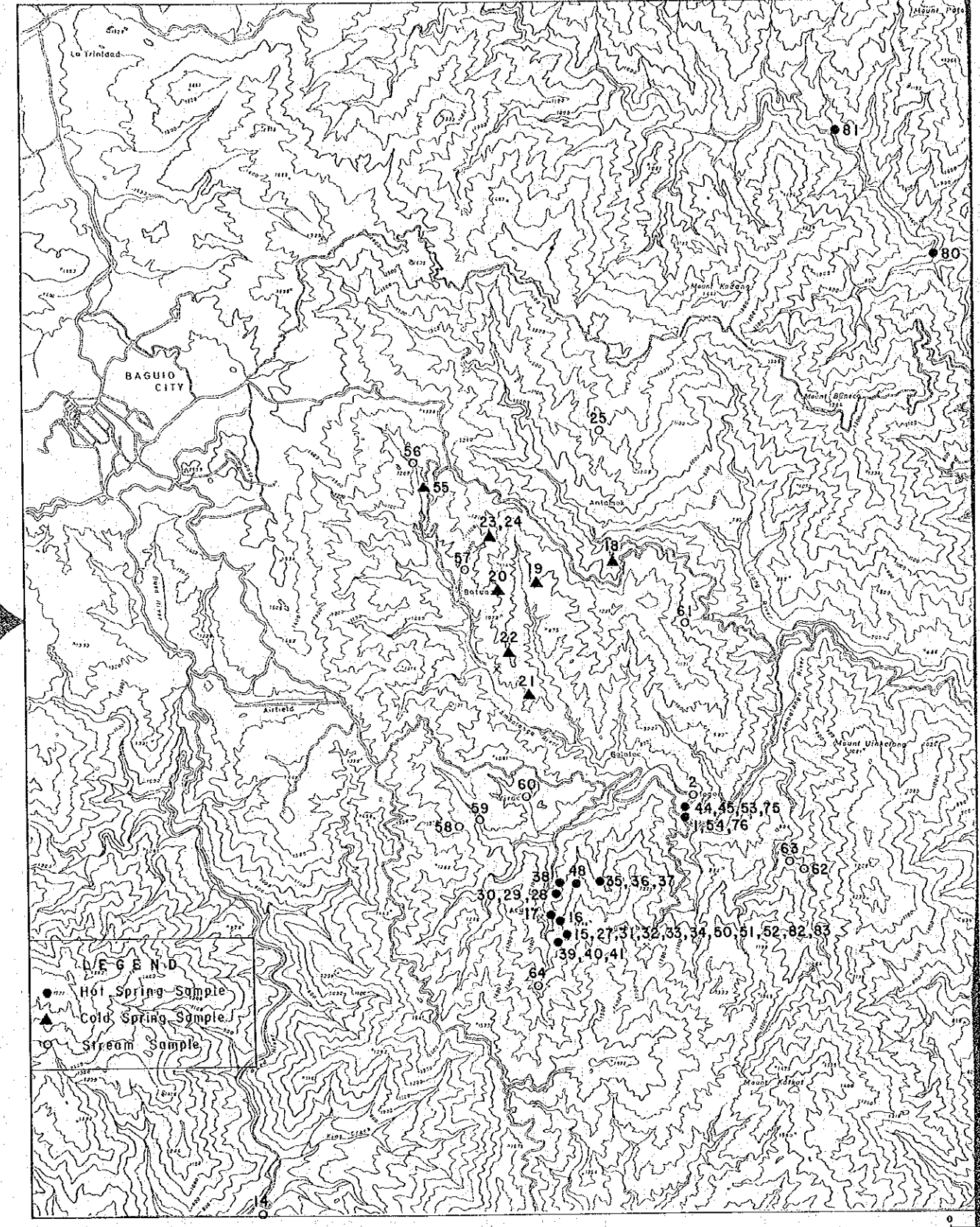
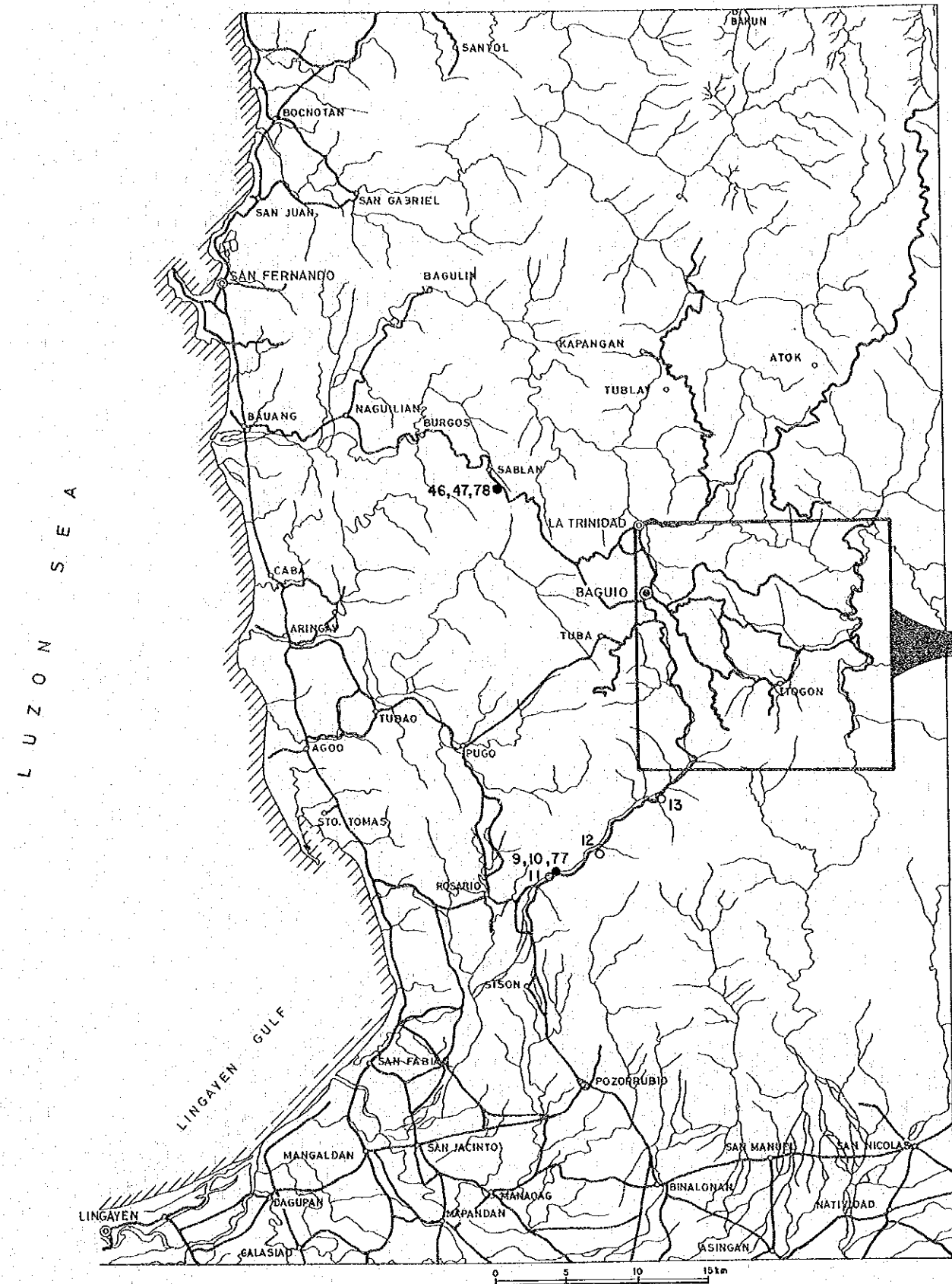


Fig. II -2-22 Location Map of Spring Water Samples

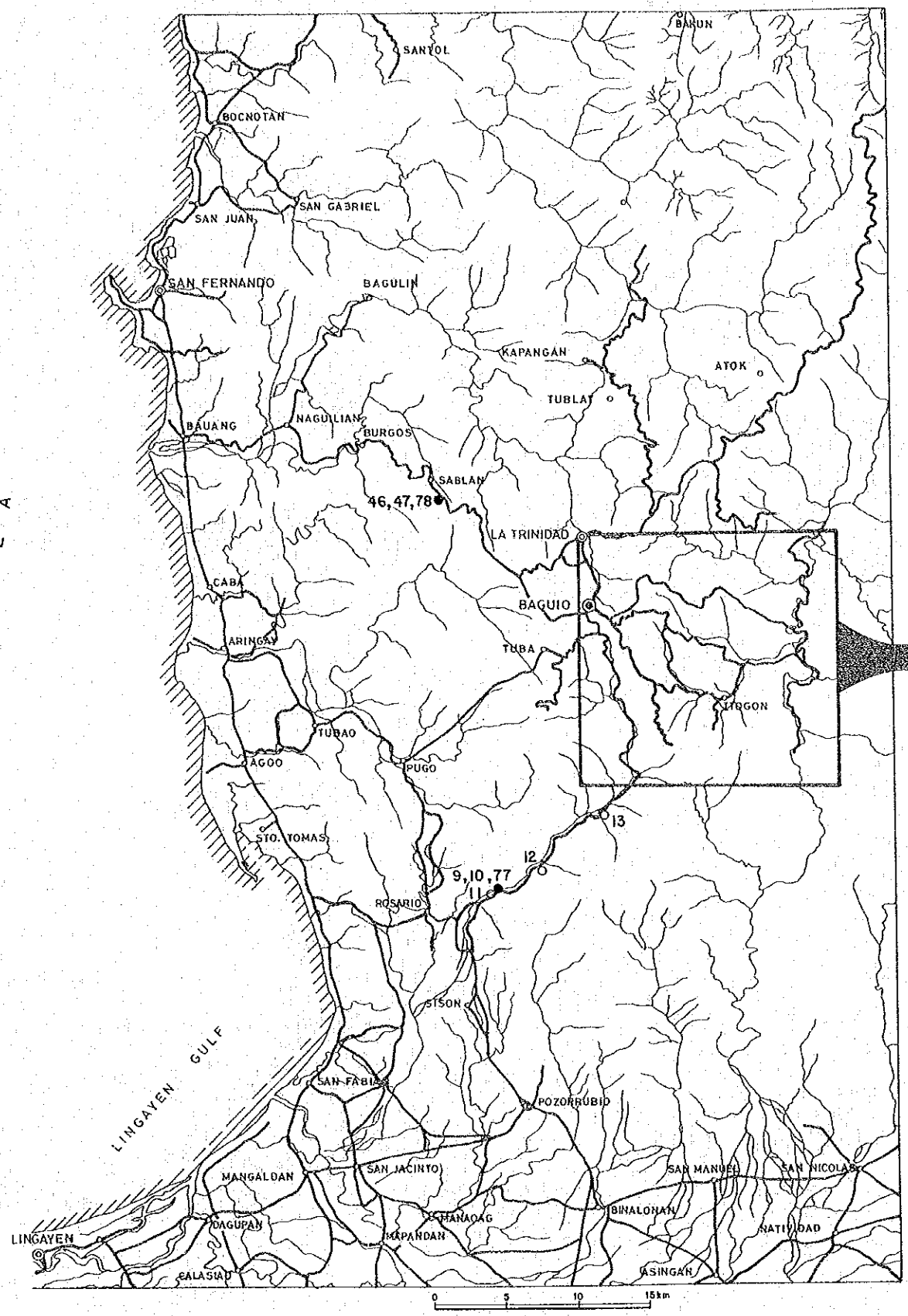


Fig. II -2-22 Location Map of Spring Water Samples



Table II-2-3 List of Spring Water Samples

SAMPLE CODE	HOT SPRING LOCATION	ELEVATION M. a.s.l.	TEMPERATURE (°C)	pH	DISCHARGE VOL. (L/min.)	%V GAS		DEPOSIT	COUNTRY ROCK/GEOLOGY
						CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S		
DA	Daluprip	420	42.5	5.5	> 50	-	-	calcite & quartz vein. CaSO <sub>4</sub> & FeSO <sub>4</sub> films	gravels on Pugo formation
IT-1	Itogon	680	89.5	7.5	5	99.94	0.06	calcite veinlet, calcite sinter, gypsum-like crystals, FeSO <sub>4</sub>	Balatoc Plug along the contact between lower Balatoc Plug and overlying detritic
IT-2			62.2	7.5	5	-	-		
KL	Klondyke	240	49.5	7.5	10	<0.05	<0.005	calcite vein	andesitic tuffaceous sandstone (Rosario Formation)
AS	Asin	260	73.8	8.0	not sure	<0.05	<0.005	none	gravels
PU	Pugo	80	36.3	7.0	5-6	<0.05	<0.005	none	gravels on tuffaceous sandstone (Rosario formation)
LA-1	Laboy	700	47.5	7.0	10	-	-	calcite thin veinlet along jointing	hb. qtz diorite
LA-2			47.5	7.0	15	-	-	calcite epidote veinlet;	granite
BA-1	Balatoc (Acupan Mine)	Acupan mine 3300 level (519m) 3150 level (565m)	81.0	7.5	25	-	-	Eypsum and calcite vein	diorite
BA-2			62.1	8.0	60-80	?	?	?	andesite



度、温度は  $47.5 \sim 48.6^\circ\text{C}$ 、pHは 7.0 で無色、無臭、水泡状の温泉ガスの湧出もみられない。しかし温泉沈澱物として、石膏様の白色鉱物が付近の転石の表面を比較的少量に覆っている。その他下流側の温泉湧出地の upstream 側、直距離で約  $100\text{ m}$  の位置では河床礫の中から温泉水が湧出し、河川水と混合している。そこでは温度  $38.5^\circ\text{C}$ 、pHは 7.0 で湧出量は数  $\ell/\text{min}$  と推定される。

Acupan 鉱山の坑内では処々に沸騰水の噴出がみられるようだが、今回の調査では  $3300\text{ L}$  および  $3150\text{ L}$  レベルの 2ヶ所で温泉水の採取を行なった。  $3300\text{ L}$  レベルでは試錐孔から噴出した直後にコンクリート製水路の中を流れる熱水を採取したものである。付近の地質は閃緑岩で、これが安山岩の岩脈で貫かれている。緑灰色で角閃石は緑泥石に変質し、黄鉄鉱が極めて多量に鉱染し、珪化を強く被っている。水路を流れる熱水は  $25\ell/\text{min}$  程度、温度は  $81.0^\circ\text{C}$ 、pHは 7.5、室内温度は  $66.0^\circ\text{C}$  だった。坑壁に接して設置されているこの付近の排気管には石膏様の白色鉱物が多量に沈着している。  $3150\text{ L}$  レベルに於いては試錐孔口より噴気と共に吐出された熱水が坑道床面に落下したところを採取したものである。試錐孔口の地質は安山岩で珪化が著しい。熱水の湧出量は  $60 \sim 80\ell/\text{min}$  程度で温度は  $62.1^\circ\text{C}$ 、pHは 8.0、室内温度は  $62.0^\circ\text{C}$  だった。  $3150\text{ L}$  レベルに於いては熱水と共に噴気ガスもみられるが、熱気のため試料の採取は不可能であった。

#### 2-3-2 温泉水の化学組成

今回採取した試料についての分析結果の他、B. E. D. (August, 9, 1982), KRTA (September, 1977), B. E. D. - E. L. C. (February, 1979), Sawkins F. J. et al., (1979) の各報告にある分析結果を併せた合計 83 試料についての結果を Table II-2-4 に示す。温泉水の採取位置は Fig. II-2-22 に示すとおりだが、Sawkins F. J. et al., (1979) の試料については詳細位置は不明である。

温泉水の溶存化学組成の地域的な特徴をみるためキー・ダイアグラムを Acupan 坑内および Asin 温泉について Fig. II-2-23 に、Itogon 温泉、Antamok, Dalupirip, Laboy, Klondyke および Pugo について Fig. II-2-24 にそして河川水および冷泉について Fig. II-2-25 に示す。このキー・ダイアグラムに基づけば、陽イオンおよび陰イオンの組成比からみた各地域の温泉の特徴は次のとおり要約される。

Acupan 坑内：主要陰イオンの種類からみると、塩素イオンに富む  $\text{Cl}^-$  型と硫酸イオンに富む  $\text{SO}_4^{2-}$  型に 2 分される。この陰イオンの差が陽イオンの差に対応し、 $\text{Cl}^-$  型は  $\text{Na}^+$  および  $\text{K}^+$  に富む一方、 $\text{SO}_4^{2-}$  型は  $\text{Ca}^{2+}$  に富むことが特徴的である。この化学組成上の差は温泉湧出位置の平面的な分布とも極めて密接に関係し、 $\text{Cl}^-$  型は Balatoc プラグ内およびその縁辺のみに分布し、 $\text{SO}_4^{2-}$  型はその外周に分布していることが特徴的である (Fig. II-2-26)。

Itogon 温泉：陰イオンの組成比でみると、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  比の値が約  $3/2$  で変動し、 $\text{Cl}^-$  量が  $0 \sim 50\%$  間で変動する。一方陽イオンは  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  量が  $60 \sim 100\%$  と大半を占

め、次いで  $\text{Ca}^{2+}$  が多く、 $\text{Mg}^{2+}$ 量は僅かである。Acupan 坑内の温泉水と比較した場合、陰イオンは  $\text{SO}_4^{2-}$ 型に類似する点特徴的である。しかしこのうち № 53, 68 (BED-6, 76-B-11) は比較的  $\text{Cl}^-$ 量が多く、また陽イオンとしては  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ が多量であることから考えると Acupan 坑内の  $\text{Cl}^-$ 型に比較的類似した化学組成であるとみなし得、Itogon 温泉の温泉水は Acupan 坑内の  $\text{Cl}^-$ 型に  $\text{SO}_4^{2-}$  および  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  が相対的に富化したものと考えられる (Fig. II-2-24)。

Antamok : 大部分の試料は陰イオンが  $\text{SO}_4^{2-}$ 、陽イオンが  $\text{Ca}^{2+}$  で、基本的に Acupan 坑内の  $\text{SO}_4^{2-}$ 型に類似するが、一部 № 69 (76-B-12) では  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  が多く、Acupan 坑内でみられる  $\text{Cl}^-$ 型に類似するものもある。この  $\text{Cl}^-$ 型は Antamok 坑内で採取された試料のうち最深部の 1850<sup>L</sup>より採取されたものである (Fig. II-2-24)。

Laboy : 2 試料の分析結果しかないが、いずれも陰イオンは  $\text{SO}_4^{2-}$  で、陽イオンは  $\text{Ca}^{2+}$  が大半を占め、一部  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  が含まれている。Acupan 坑内温泉水のうちの  $\text{SO}_4^{2-}$ 型に類似していると言えるだろう (Fig. II-2-24)。

Dalupirip : 陰イオンは  $\text{SO}_4^{2-}$  および少量の  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  からなり、一方陽イオンは  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  が主体を為す。これは Itogon 温泉の泉質に似ていると言える (Fig. II-2-24)。

Asin, Klondyke および Pugo : いずれも陰イオンは  $\text{Cl}^-$ 、陽イオンは  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  に富んだ泉質と言える。

河川水および冷泉については Fig. II-2-25 に示すとおり陰イオンは  $\text{Cl}^-$  に欠如し、陽イオンは  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  に富んだ水質となっている。

以上主に温泉の化学組成を  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  の陰イオンおよび  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  の量比から泉質を区分したが、次に Li および B の溶存量について検討してみたいと思う。なお考察の対象とする温泉水試料は分析精度の統一性を計る為、今回採取した 10 試料のみについて行ないたい (Table II-2-4 の № 74 ~ 83)。

先ず Li の溶存量については Acupan 坑内の温泉水が 5 ppm 内外と最も高く、次いで Itogon 温泉は 1.4 ~ 2.0 ppm と高い濃度を示すのに反し、他の Laboy, Dalupirip, Asin, Klondyke および Pugo はいずれも 0.1 ppm ないしはそれ以下であり、際立った違いがあることが認められる。

次に B だがこれは Laboy および Dalupirip で 0.1 ないし 0.3 ppm と低い濃度を示すのに対し、その他の Itogon 温泉, Asin, Klondyke および Pugo では数 ppm と濃度が高く、さらに Acupan 坑内の温泉水はいずれも約 40 ppm と際立って高濃度であることが特徴的である。

次に B/Cl 比の値を比較すると、Pugo (0.01), Klondyke (0.03), Asin (0.04), Laboy (0.05) といずれも低い値を示すのに対し、Acupan 坑内 (0.10 ~ 0.11), Dalupirip (0.14), Itogon 温泉 (0.27 ~ 0.30) は比較的高い値を示し、地熱流体の貯留層母岩は、前者の場合



















No.	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Location	Itoyon	Asn	Asn	Acupan	Acupan	Acupan	Acupan	Acupan	Itoyon	Itoyon	Baruang
Code	Benquet-19	Benquet-20	Benquet-21	BED-1	BED-2	BED-3	BED-4	BED-5	BED-6	BED-7	BED-8
Sampling Date	19, Aug., '77	21, Aug., '77	21, Aug., '77	25, Oct., '78	25, Oct., '78	25, Oct., '78	25, Oct., '78	25, Oct., '78	25, Oct., '78	25, Oct., '78	26, Oct., '78
T (°C)	85	70	41	96	87	61	59	79	86	75	20
pH	7.37	8.78	7.43	8.5	6.8	8.8	7.8	7.7	6.3	6.0	2.7
Conductivity (µp/cm)				4,115		4,478	1,757	4,267	1,470	2,323	638
Discharge (l/min)			2.5	60	<6	30	very low	40	20	10	30
Chem. Ana.	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na <sup>+</sup>	355	15,441	523	22,749	122	5,307	783	34,058	-	-	-
K <sup>+</sup>	56	1,432	11	0,281	1.7	0,043	125	3,197	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	152	7,585	222	11,078	64	3,194	12.2	0,609	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	16.0	1,317	N.D.	0,000	5.0	0,411	1.5	0,123	-	-	-
Cl <sup>-</sup>	233	6,572	835	23,552	200	5,641	984	27,755	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	670	13,950	475	9,890	108	2,249	407	8,474	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	347	5,687	26	0,426	170	2,786	382	6,261	-	-	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	0,000	2	0,067	0	0,000					
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	34	0,548	0	0,000	21	0,339					
Li	1.8	0.2	0.1	3.36	-	4.11	0.48	4.55	1.28	2.50	-
As				2.25	-	2.50	-	4.0	0.4	1.0	-
B	9.5	0,879	9.5	0,879	3.3	0,305	38.9	3,599	-	-	-
SiO <sub>2</sub>	103	1,714	32	0,533	32	0,533	267	4,444	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>				0.05	0.38	0.046	0.035	0.031	0.042	0.036	0.040
T.S.M.(mg/l)	1,975.5	2,135.5	727.0	3,000.6		3,539.1	1,471.4	2,767.0	1,735.9	1,768.0	625.7
Alkalinity											
Acidity											
Remarks	hot spring	hot spring	hot spring	hot spring 2,900L	hot spring 3,150L	hot spring 3,150L	hot spring 3,150L	hot spring 3,300L	hot spring	hot spring	cold spring
Reference	KRTA (Sep./77)	do	do	BED-ELC (Feb./79)	do	do	do	do	do	do	do





No.	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
Location	Batuang	Zatung	Virac	Virac	Virac	Balinguay	Itoyon	Itoyon	Acupan	Acupan	Acupan
Code	BED-9	BED-10	BED-11	BED-12	BED-13	BED-14	BED-15	BED-16	BED-17	76-B-3	76-B-4
Sampling Date	26, Oct., '78	26, Oct., '78	26, Oct., '78	26, Oct., '78	26, Oct., '78	30, Oct., '78	1, Nov., '78	1, Nov., '78	31, Oct., '78		
T (°C)	20	19.5	20	20	20	20	20	20	20	63.7	46.1
pH	3.9	4.2	7.3	8.2	8.0	8.0	7.4	7.4	7.2		
Conductivity (µm/cm)	532	247	275	224	183	279	104	134	870		
Discharge (l/min)		6,000	600	6,000	6,000	300	400	400	500		
Chemical Anal.	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na <sup>+</sup>	10.0	7.33	4.0	4.67	6.33	5.67	2.67	2.67	7.50	1.360	59.156
K <sup>+</sup>	0.86	0.43	0.29	0.43	0.29	0.43	0.14	0.004	1.43	0.037	5.115
Ca <sup>2+</sup>	12.7	13.0	42.6	30.4	20.0	47.8	19.6	23.5	220	10.978	4.0
Mg <sup>2+</sup>	8.75	9.31	5.88	9.69	7.63	8.13	1.88	2.81	20	1.646	4.43
Cl <sup>-</sup>	24.2	27.8	3.55	4.43	3.55	3.55	3.90	4.14	6.50	0.183	3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	284	5913	86.6	50.9	33.3	25.3	5.89	18.5	469	9.765	8.204
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	71.6	80.8	77.1	145	69.8	734	12.030	126	6.457
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Li	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.75	<0.01
As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.88	0.544
SiO <sub>2</sub>	74	59	24.2	27.4	42.1	49.6	45.8	23.1	27.2	372	40.7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.040	0.050	0.015	0.140	0.015	-	-	-	-	-	-
T.S.M.(mg/l)	414.5	231.7	238.7	208.7	190.3	285.5	149.7	809.0	877.6	4,478.2	1,726.2
Alkalinity											
Acidity											
Remarks	stream water	stream water	stream water	stream water	stream water	stream water	stream water	stream water	stream water	hot spring	hot spring
Reference	BED-ELC (Feb. 1979)	do	do	do	do	do	do	do	do	Sawkins F.J. et al., (1979)	do



No.	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
Location	Acupan	Itoyon	Antamok	Antomok	Antomok	Acupan	Acupan	Dalupitip	Itoyon	Itoyon	Klondyke
Code	76-B-5	76-B-11	76-B-12	76-B-14	76-B-15	76-B-26	76-B-27	DA	IT-1	IT-2	%L
Sampling Date								24, Sep., '82	24, Sep., '82	29, Sep., '82	25, Sep., '82
T (°C)	46.1	87.9	51.7	40.6	46.1	61.1	Cold	42.5	89.5	62.2	49.5
pH								7.90	7.68	7.79	8.36
Conductivity (µm/cm)											
Discharge (l/min)											
Chem. Ana.	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na <sup>+</sup>	30	26,968	1,620	7,264	120	5,220	8.3	3,088	267.0	11,614	332.0
K <sup>+</sup>	4.3	0.110	8.6	0.220	107	2,737	2	0.072	43.8	1,120	53.5
Ca <sup>2+</sup>	509	25,399	13.2	0.659	565	28,194	79	0.993	90.6	4,521	134.0
Mg <sup>2+</sup>	4.25	0.350	8.3	0.683	92.0	7,370	12	0.230	12.6	1,037	14.2
Cl <sup>-</sup>	4.4	0.124	516	14,554	1,890	53,310	3	0.197	55.0	1,551	64.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,370	28,525	480	9,994	1,660	34,563	168	2,603	600.0	12,493	600.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	162	2,655	522	8,555	886	14,521	110	1,606	294.0	4,818	600.0
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>								0.0	0.000	0.0	0.000
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>								0.0	0.000	0.0	0.000
Li	<0.01	2.80	1.05	0.40	0.5	4.0	<0.01	<0.1	1.4	2.0	<0.1
As											
B	0.12	0.011	2.35	0.217	0.52	0.046	<0.1	0.028	4.5	0.416	5.9
SiO <sub>2</sub>	42	0.699	191	3,179	69.5	254	24.8	0.649	178.0	2,963	151.0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>											
T.S.M. (mg/l)	2,126.1	2,361.5	6,967.8	4,054.5	3,306.1	3,206.1	407.2	345	1,436	1,686	1,548
Alkalinity								1.60	4.80	9.80	0.20
Acidity								0.10	0.20	0.30	0.00
Remarks	hot spring	hot spring	hot spring	hot spring	hot spring	hot spring	cold spring	hot spring	hot spring	hot spring	hot spring
Reference	2,600L	do	do	do	do	do	do	BED-JICA (1982)	do	do	do







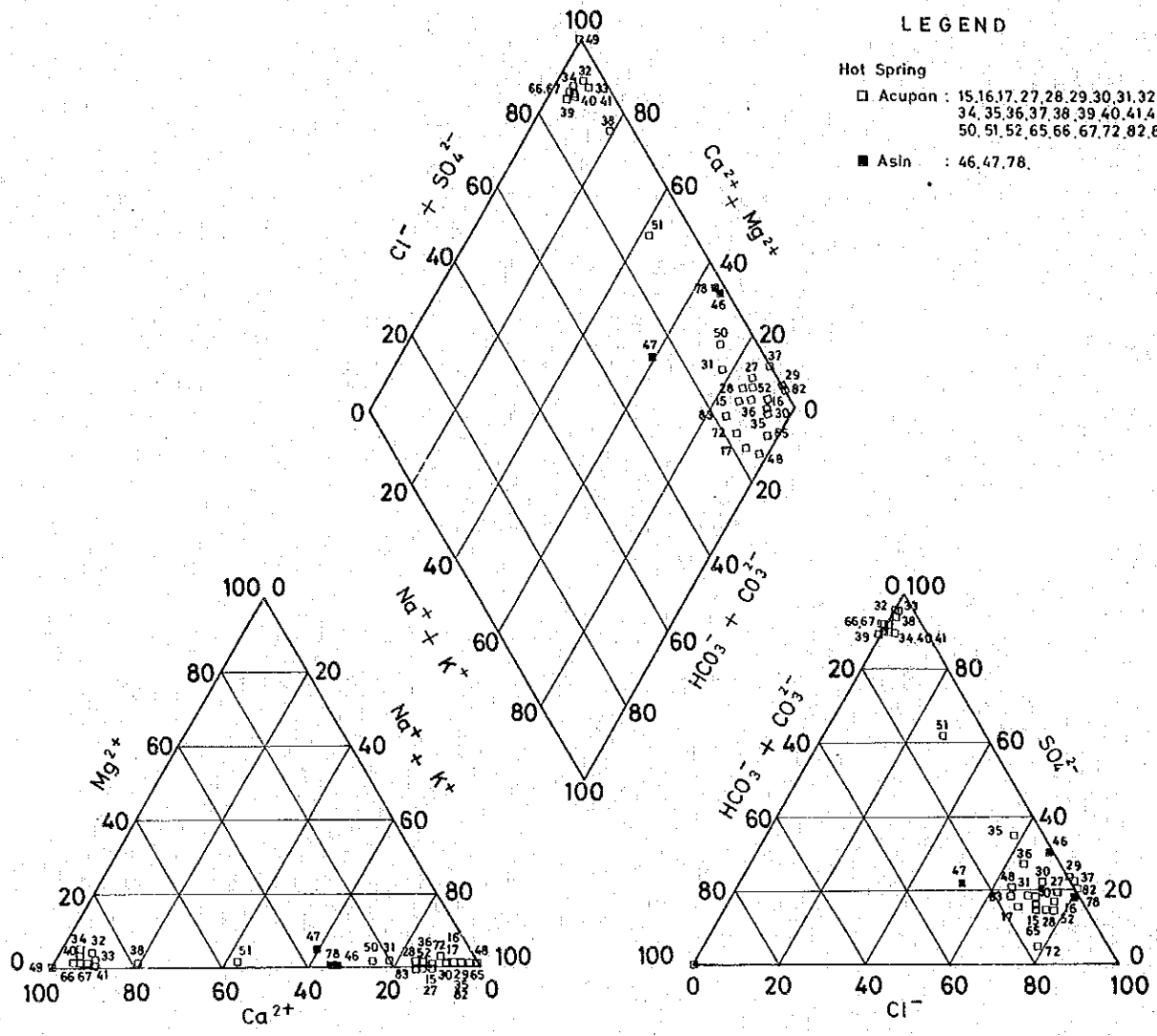


Fig. II-2-23 Key-Diagram for Acupan and Asin Hot Spring





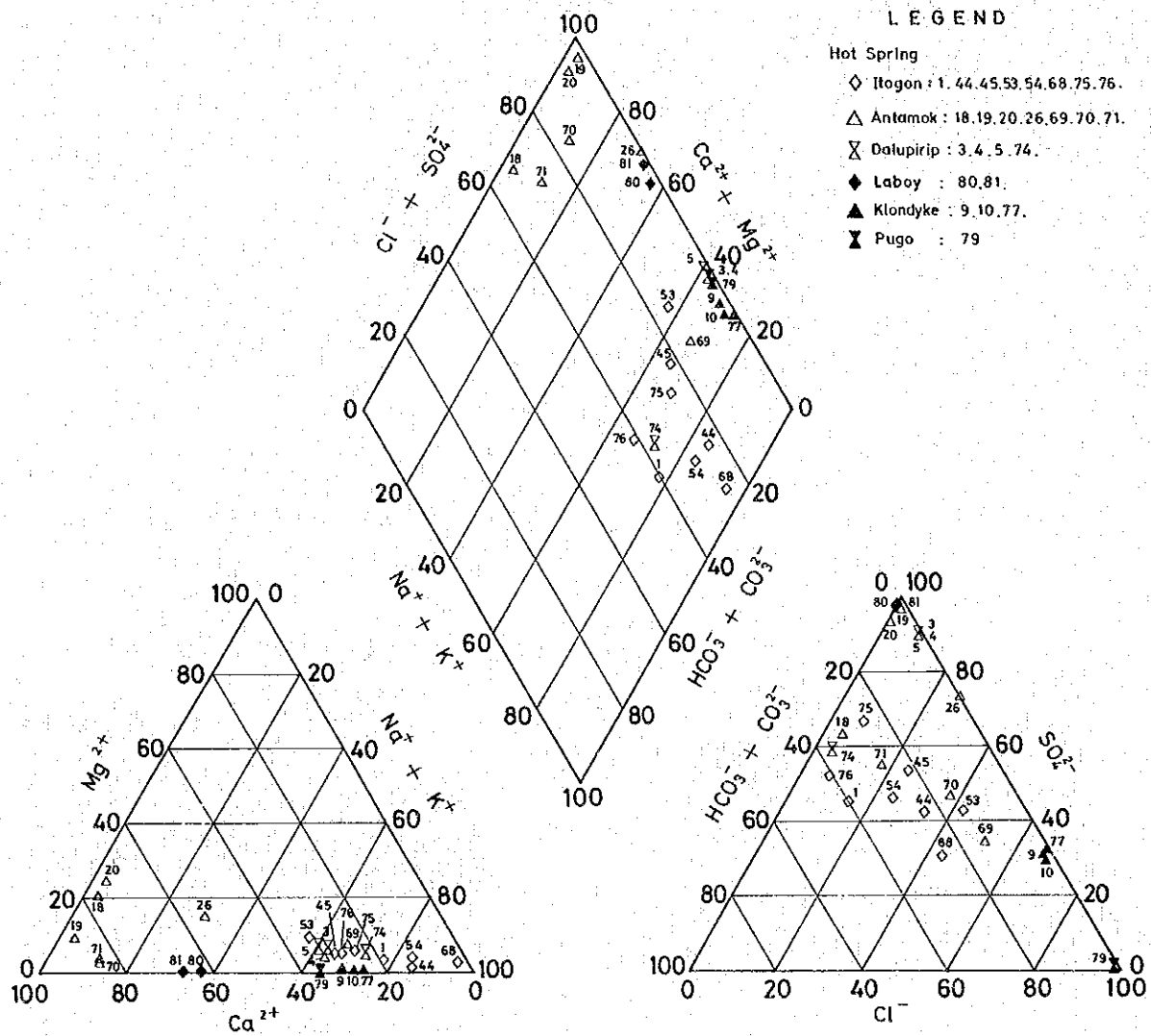


Fig. II-2-24 Key-Diagram for Itogon, Antamok, Dalupirip, Laoby, Klondyke and Pugo Hot Spring



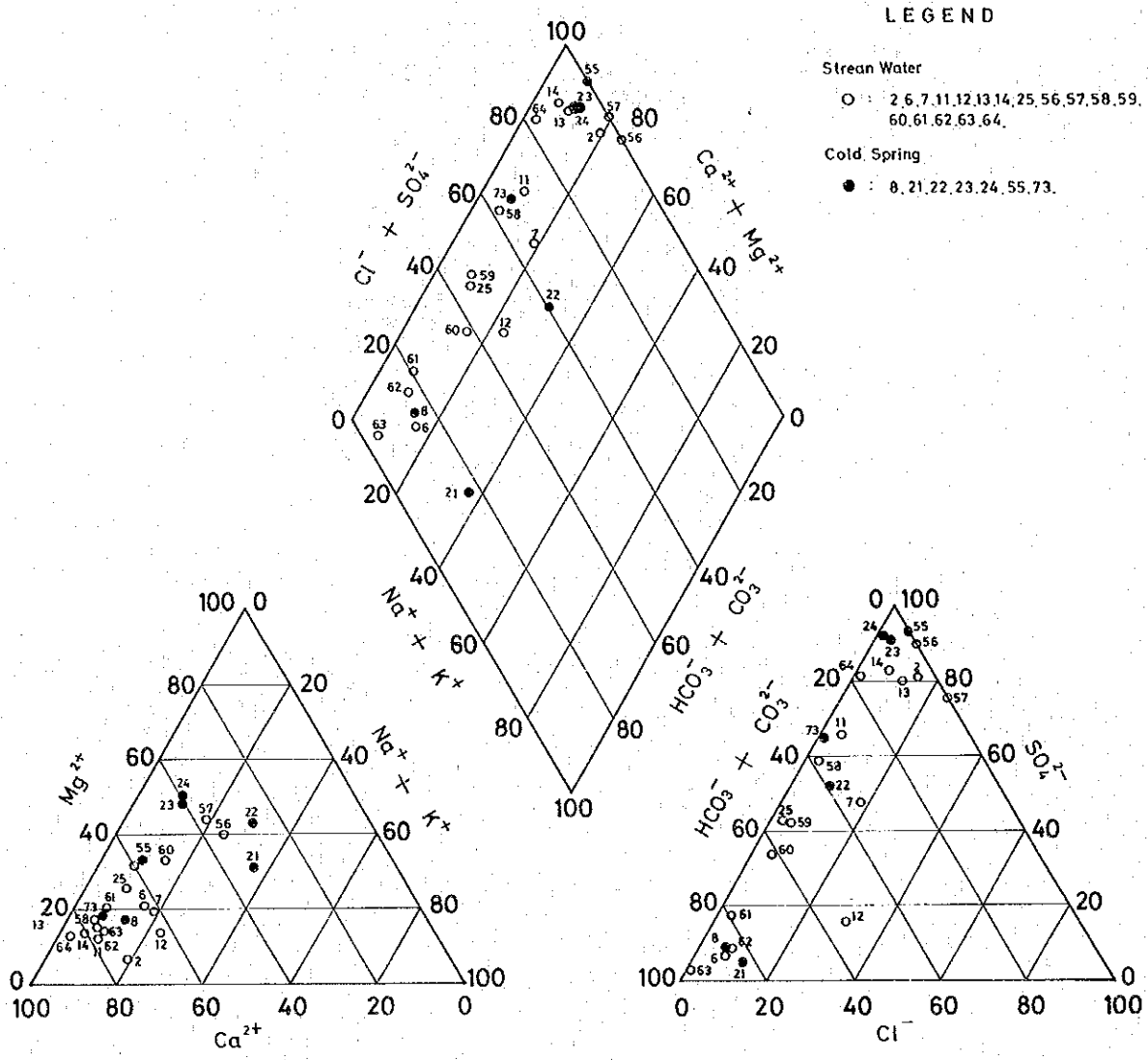


Fig. II-2-25

Key-Diagram for Stream Water and Cold Spring



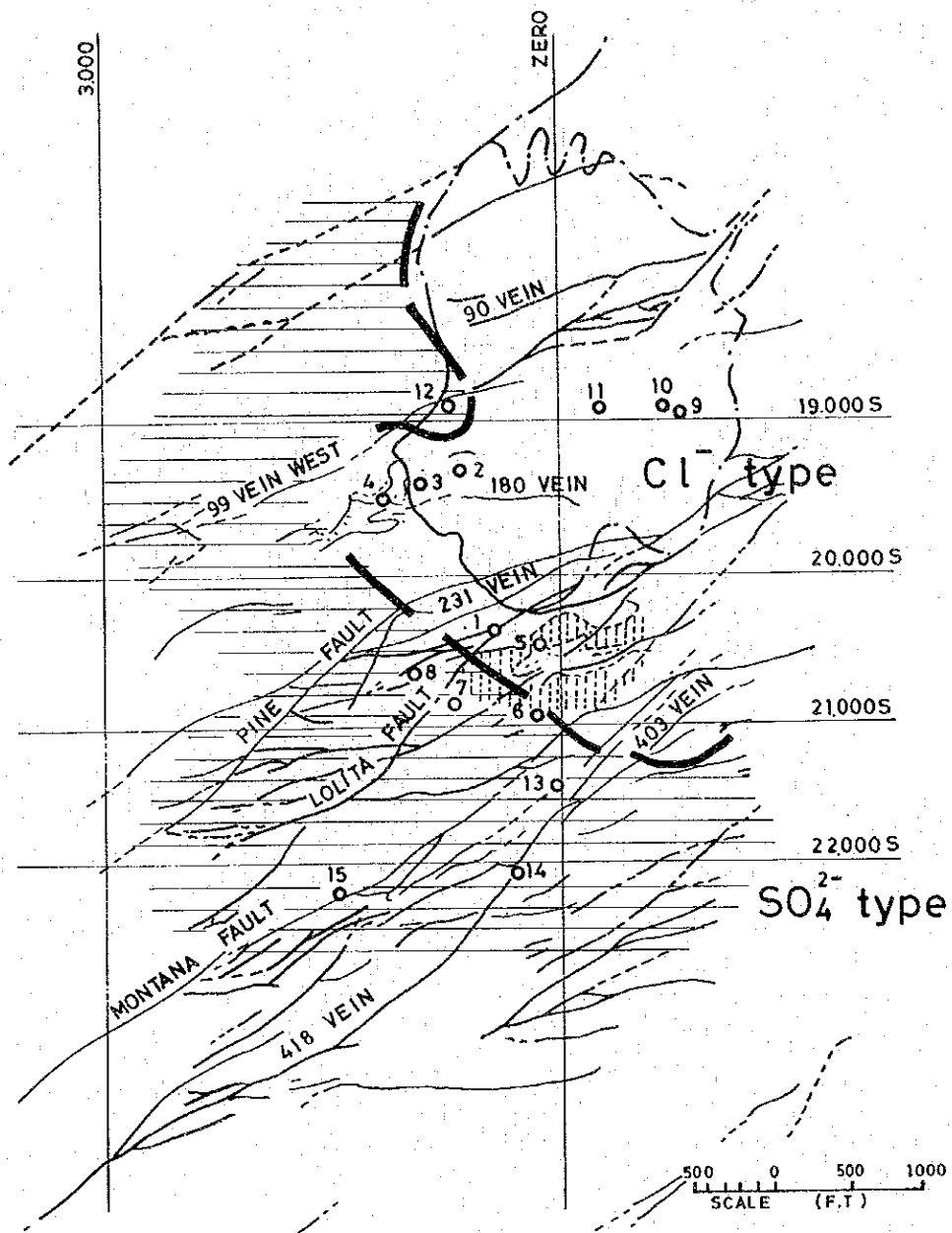


Fig. II-2-26 Chemical Zoning of Spring Water Samples at Acupan Mine



に比較してより安山岩質なまたは泥岩質な地質条件下にあると推定される。

### 2-3-3 温泉水からの地化学温度推定

温泉水中の溶存シリカ濃度およびアルカリ比による地球化学的な地下温度の推定結果を Table II-2-5 に示す。シリカ溶解度の温度依存性を利用したシリカ温度 ( $TSiO_2$ ) には熱伝導冷却過程に基づいた計算方式 ( $TSiO_2$  cond) および断熱冷却過程に基づいた計算方式 ( $TSiO_2$  adia) があるが、この地域内に湧出する温泉水の場合については  $TSiO_2$  cond の方が意味があると考えられる。アルカリ比濃度については Na, K, Ca の濃度比から求めたものと、それをさらに Mg 補正したものの両者について示した。Table II-2-5 の地下温度の推定結果を Fig II-2-27 にグラフ表示する。図中左方向に向いた矢印の位置が Mg 補正した結果を示す。

Acupan 坑内の温泉水は大きく 2 つのグループに分けられる。一つは試料番号 (15, 16, 17, 27, 28, 29, 30, 31, 35, 36, 37, 48, 50, 52, 65, 72, 82, 83) からなり  $TSiO_2$  は 147~229 °C, Mg 補正前の TNa-K-Ca で 193~236 °C と非常に高温の地下温度を示す。一方試料番号 (32, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 66, 67) については  $TSiO_2$  が 100 °C 以下で、また TNa-K-Ca が 50 °C 以下と極めて低温性を示す。さらに Mg 補正したアルカリ比温度はいずれも 0 °C だが、これは地表水の混合に依る結果であると考えられる。このように地化学的に推定される温度から 2 分される温泉水はその化学組成の上でも大きな相違を見せる。つまり地化学温度の高い温泉水は陰イオンは高  $Cl^-$ , 陽イオンは高  $Na^+ + K^+$  で特徴づけられ、逆に地化学温度の低い温泉水は陰イオン、陽イオンがそれぞれ  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$  で特徴づけられる (Fig. II-2-23)。

Itogon 温泉 :  $TSiO_2$  は 155~209 °C, TNa-K-Ca で 112~216 °C の高温を示すものが多く、Acupan 坑内の温泉水のうち、高温型の温度と同様の範囲を示す。

Antamok : シリカ温度およびアルカリ比温度から 2 つの型に分類することができる。一つは試料番号 (18, 19, 20, 26, 70, 71) で  $TSiO_2$  が 76~127 °C, TNa-K-Ca は極めて低く、特に Mg 補正した温度が 0 °C の値を示す。一方試料番号 (69) は  $TSiO_2$  が 158 °C, TNa-K-Ca が 169 °C, Mg 補正後でもある程度の温度を示すものである。これは前記した化学組成の差にも明瞭に差がみられ、前者の低温型は陰イオン、陽イオンがそれぞれ  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$  で特徴づけられ、一方後者の高温型の温泉はそれぞれ  $Cl^-$ ,  $Na^+ + K^+$  で特徴づけられる。

Laboy :  $TSiO_2$  は 178~185 °C の高温を示すが、TNa-K-Ca は 6~20 °C と極めて低温であることが特徴的である。化学組成的に Acupan 坑内温泉水の低温型、Antamok の低温型の温泉水に類似しているが、 $TSiO_2$  が極めて高いことで異なっている。

Dalupirip :  $TSiO_2$  は 91~102 °C, TNa-K-Ca は 54~57 °C の低温を示す。化学組成的には Itogon 温泉に類似するが地化学温度が低いことが特徴的である。

Asin, Klondyke および Pugo : 陰イオンは  $Cl^-$  で、陽イオンは  $Na^+ + K^+$  でいずれも特徴づけ



られ、化学組成的には Acupan 坑内温泉水の高温型に類似するが、 $TSiO_2$  は  $4.6 \sim 14.4$  °C、 $TNa-K-Ca$  は  $2.7 \sim 6.8$  °C と極めて低温性であることが特徴的である。

今 Fig. II-2-27 の  $TSiO_2$  と  $TNa-K-Ca$  を比較した場合、Acupan 坑内温泉水および Antamok の高温型、それに Itogon 温泉では  $TNa-K-Ca > TSiO_2$  となっている。これは Table II-2-5 に示されるとおり、いずれもその pH は中性ないし弱アルカリ性であることと考え併わせると一般的にはほぼ両者が一致すべきであったものが、地表水ないし浅い地下水の混入を受け、濃度そのものが計算式に用いられてるシリカ温度の低下があった為であると考えられる。一方、Acupan 坑内温泉水および Antamok の低温型、さらに Laboy の温泉水についてはその pH がほぼ中性ないし弱アルカリ性であるにもかかわらず  $TSiO_2 > TNa-K-Ca$  となっているが、これは熱水と周囲の岩石と化学平衡に達していない為とみられる。しかし特に Laboy では溶存する  $SiO_2$  量が極めて高いがその原因は不明である。

#### 2-3-4 温泉水の O/H 同位体分析結果

今回採取した試料は温泉水の 10 試料の他、温泉水の混入が心配されない河川水として Dalupirip 東の小沢から、また Baguio 市付近に設営したキャンプ地で採取した雨水を加え、合計 12 試料について O/H の同位体測定を実施した。その結果を Sawkins F. J. et al., (1979) の試料と共に Table II-2-6 に示す。

Table II-2-6 Stable Isotope Analyses of Modern Thermal Water and Stream Water

Sample No.	Sample location	$\delta D$	$\delta^{18}O$	Reference
DA	Dalupirip, hot spring	-67.1	-9.8	BED-JICA (1982)
IT-1	Itogon, hot spring	-67.2	-9.8	"
IT-2	Itogon, hot spring	-67.6	-9.6	"
KL	Klondykes, hot spring	-64.9	-9.2	"
AS	Asin, hot spring	-59.9	-8.5	"
PU	Pugo, hot spring	-55.4	-8.1	"
LA-1	Laboy, hot spring	-69.2	-10.1	"
LA-2	Laboy, hot spring	-70.7	-10.5	"
BA-1	Acupan mine, 3300 <sup>L</sup> , hot spring	-62.3	-7.7	"
BA-2	Acupan mine, 3150 <sup>L</sup> , hot spring	-62.5	-7.6	"
DA-ST	East of Dalupirip, stream	-71.0	-10.1	"
PRE	Precipitate at Baguio city	-66.9	-9.9	"
76-B-1		-65	-8.12	Sawkins F. J. et al. (1979)
76-B-3	Acupan mine, 3150 <sup>L</sup> , hot spring	-57	-6.54	"
76-B-4	Acupan mine, 2600 <sup>L</sup> , hot spring	-71	-10.71	"
76-B-5	Acupan mine, 2600 <sup>L</sup> , hot spring	-71	-10.45	"
76-B-11	Itogon, hot spring	-67	-2.17	"
76-B-12	Antamok mine, 1850 <sup>L</sup> , hot spring	-61	-5.82	"
76-B-14	Antamok mine, 1850 <sup>L</sup> , hot spring	-58	-10.23	"
76-B-15	Antamok mine, 1550 <sup>L</sup> , hot spring	-66	-9.30	"
76-B-26	Acupan mine, 3150 <sup>L</sup> , hot spring	-68	-8.12	"
76-B-27	Acupan mine, 1500 <sup>L</sup> , cold spring	-75	-11.48	"

Table II-2-5 Table of  $T_{SiO_2}$  &  $T_{Na-k-ca}$  for Spring Water Samples (I) (1)

	Sample No.	pH	Temp	$T_{SiO_2}$		$T_{Na-k-ca}$	TMg
				adia	cond		
1	E 1	7.43	50.5	193	209	208	148
2	3	7.64	27.0	103	101	50	0
3	4	7.10	44.0	104	102	57	0
4	5	7.08	41.0	101	99	57	0
5	6	6.78	43.0	104	102	54	0
6	7	7.60	22.0	83	78	74	0
7	8	7.50	21.0	72	66	14	0
8	9	7.93	23.5	106	104	65	0
9	10	7.43	39.0	94	91	33	0
10	11	7.78	45.0	95	91	31	0
11	12	7.48	24.0	84	80	23	0
12	13	7.62	21.0	75	70	-12	0
13	14	7.76	23.0	99	97	18	0
14	15	7.28	19.0	70	63	-2	0
15	16	7.99	62.0	149	155	226	185
16	17	7.95	85.0	171	182	233	156
17	18	6.88	80.0	164	173	238	231
18	19	7.07	19.0	81	76	-15	0
19	20	6.20	20.0	92	89	-1	0
20	21	6.78	18.0	99	97	7	0
21	22	6.62	18.5	92	88	2	0
22	23	6.73	19.0	95	92	3	0
23	24	5.51	19.0	89	85	-5	0
24	25	5.30	18.0	94	91	-3	0
25	26	6.79	17.5	73	67	-8	0
26	Antamok	3.35	37.0	102	100	66	0
27	Benguét-- 1	7.84	79.5	163	172	212	189
28	2	8.36	99.0	192	208	218	0
29	3	0.00	80.0	179	191	230	224
30	4	8.12	72.5	171	182	223	215
31	5	8.05	64.5	159	168	209	187
32	6	7.80	55.0	79	74	8	0
33	7	7.25	73.0	82	77	13	0
34	8	7.25	57.0	79	74	1	0
35	9	8.23	65.0	150	157	223	216
36	10	7.89	52.0	155	162	214	176
37	11	0.00	97.0	163	172	215	0
38	12	7.57	63.0	100	98	33	0
39	13	7.04	51.5	91	87	-6	0
40	14	7.61	0.0	89	85	-2	0
41	15	7.75	45.0	87	82	0	0
42	16	0.00	24.0	84	80	-7	0
43	17	0.00	43.0	87	82	49	0
44	18	7.47	94.0	149	155	210	186
45	19	7.37	85.0	135	139	201	129
46	20	8.78	70.0	87	82	68	0
47	21	7.43	41.0	87	82	27	0



Table II-2-5 Table of  $T_{\text{SiO}_2}$  &  $T_{\text{Na-k-ca}}$  for Spring Water Samples (2)

	Sample No.	pH	Temp	$T_{\text{SiO}_2}$		$T_{\text{Na-k-ca}}$	TMg
				adia	cond		
48	BED - 1	8.50	96.0	186	200	246	230
49	2	6.80	87.0	0	0	0	0
50	3	8.80	61.0	172	183	193	170
51	4	7.80	59.0	142	147	73	0
52	5	7.70	79.0	180	194	204	158
53	6	6.30	86.0	161	170	205	99
54	7	6.00	75.0	168	178	216	134
55	8	2.70	20.0	124	126	-10	0
56	9	3.90	20.0	120	121	17	0
57	10	4.20	19.5	110	110	-0	0
58	11	7.30	20.0	77	71	-25	0
59	12	8.20	20.0	81	76	-14	0
60	13	8.00	20.0	97	94	-14	0
61	14	8.00	20.0	103	102	-18	0
62	15	7.40	20.0	100	98	-31	0
63	16	7.40	20.0	75	69	-21	0
64	17	7.20	20.0	81	76	-13	0
65	76-B- 3	0.00	63.7	206	226	243	236
66	4	0.00	46.1	96	93	4	0
67	5	0.00	46.1	97	94	6	0
68	11	0.00	87.9	167	177	112	32
69	12	0.00	51.7	151	158	169	88
70	14	0.00	40.6	125	127	16	0
71	15	0.00	46.1	117	118	9	0
72	26	0.00	61.1	183	196	210	121
73	27	0.00	0.0	77	72	7	0
74	DA	7.90	42.5	94	91	55	0
75	IT - 1	7.68	89.5	163	172	203	115
76	2	7.79	62.2	154	161	202	130
77	KL	8.36	49.5	128	130	38	0
78	AS	8.64	73.8	140	144	68	0
79	PU	7.93	36.3	54	46	29	0
80	LA- 1	8.02	47.5	173	185	20	0
81	2	8.40	47.5	167	178	6	0
82	BA- 1	8.10	81.0	209	229	228	182
83	2	8.21	62.1	207	226	220	202



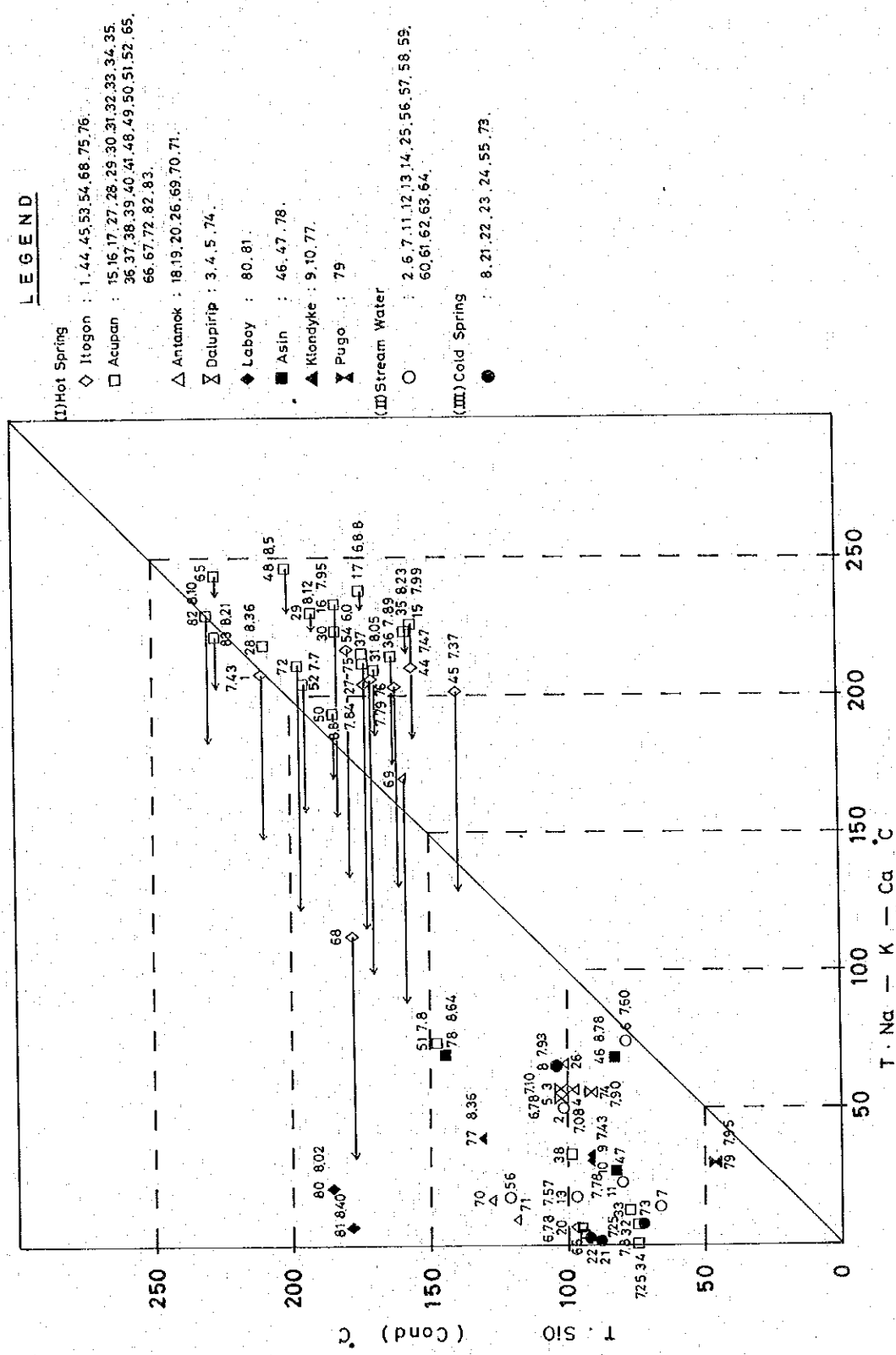


Fig. II-2-27 Diagram of Correlation of  $T_{SiO_2}$  with  $T_{Na-K-Ca}$



Fig. II-2-28はTable II-2-6 から求めたものであり、Meteoric water lineはCraig (1963)の $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$ を示した。Dalupirip 東より採取した河川水(試料番号; DA)および雨水(試料番号; PRE)はいずれもこの直線に近接した $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ 値を示す他 Pugo, Asin, Klondyke, ItogonおよびLaboyの温泉水もやはりCraig(1963)のMeteoric water lineに近接している。その他この直線に近接するものとしてSawkins F.J. et. al., (1979)のAcupan (76-B-4=66, 76-B-5=67)およびAntamok (76-B-15=71)が挙げられる。ここで温泉水の化学組成との対比をみると、温泉水のキーマイアグラム(Fig. II-2-23, 24)にみられるとおりAsin, KlondykeおよびPugoの食塩泉型を除くとAcupan, Itogon, LaboyおよびDalupiripともに主要構成陰イオンは $SO_4^{2-}$ であり、さらにAcupan, Laboyでは主要構成陽イオンは $Ca^{2+}$ である。また地化学温度の推定(Fig. II-2-27)からはいずれも地下温度が極めて低温であると考えられる。

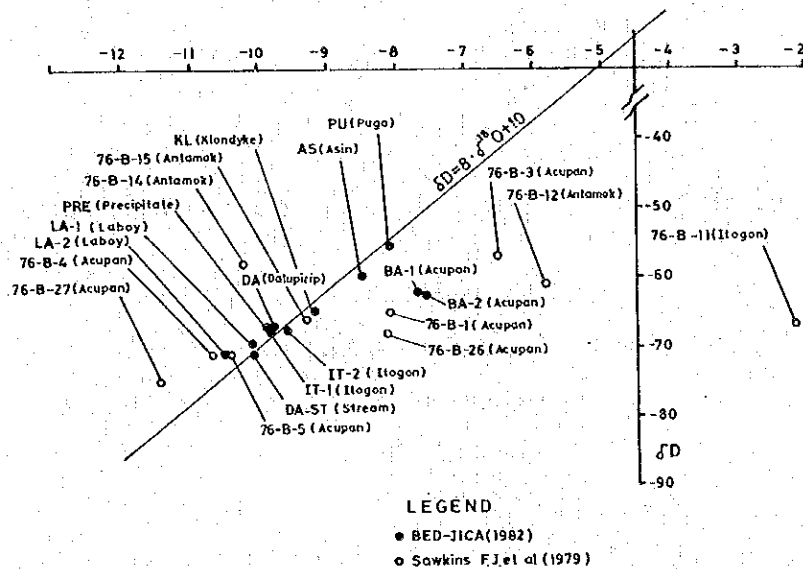


Fig. II-2-28 Plot of  $\delta^{18}O$  for Water Samples

一方Craig (1963)のMeteoric waterからはずれた温泉水としてAcupan (76-B-3=65, 76-B-26=72, BA-1=82, BA-2=83), Itogon (76-B-11=68)およびAntamok (76-B-12=69)が挙げられる。これら温泉水はキーマイアグラム(Fig. II-2-23, 24)にみられるとおりAcupanの温泉水は陰イオンは $Cl^-$ , 陽イオンは $Na^+ + K^+$ で特徴づけられ、またItogonおよびAntamokについても陽イオンは $Na^+ + K^+$ で特徴づけられる他、陰イオンもそれぞれのサンプル群の中で最も $Cl^-$ に富んだものとなっている。また地化学温度の推定でも $TSiO_2$ は $15.8 \sim 22.9^\circ C$ ,  $TNa-K-Ca$ は $112 \sim 243^\circ C$ と云う高温が示されている。



る (Table II-2-5)。これらを総合すると Acupan (76-B-3=65, 76-B-26=72, BA-1=82, BA-2=83), Itogon (76-B-11=68) および Antamok (76-B-12=69) の試料は酸素のシフトを示すものと考えられる。

Fig. II-2-29 は温泉水の採取地点の標高と  $\delta^{18}\text{O}$  値の関係を示したものである。図中に表示

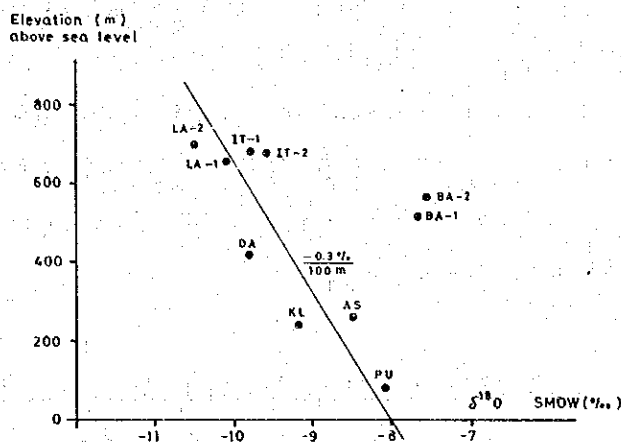


Fig. II-2-29  $\delta^{18}\text{O}$  Versus Elevation of Sampling Points

したものは分析精度の統一を計るため、今回採取した温泉水 10 試料のみに限った。図からも明らかとなり、標高が 100 m 上昇するに当り  $-0.3\text{‰}$  程度の  $\delta^{18}\text{O}$  値の減少が認められるようであり、この線上に Laboy, Itogon, Dalupirip, Klondyke, Asin および Pugo の各温泉がある。このことはこれらの各温泉の熱水が局地的なごく浅い地下水系を起源としている為であると考えられる。一方、Acupan 坑内から採取した 2 試料 (BA-1=82, BA-2=83) はこの直線から大きくはずれ、熱水の起源として浅所の地下水以外のものが大きく影響していると考えられる。

### 2-3-5 噴気ガスの分析

今回の調査でみられた噴気ガスおよび温泉ガスの一覧は次のとおりである (Table II-2-3)。

1. Acupan 坑内の 3150<sup>L</sup>。試錐孔口から多量の熱水と共に噴気ガスの噴出がみられるが保安上の理由からガスの採試および分析は不可能であった。無色・無臭で、硫化水素臭は感じられなかった。

ロ。Itogon 温泉では 89.5℃, pH 7.5 の温泉水の湧出と共に水泡状のガスの湧出が微弱ながら認められる。それを捕集し、ガス検知管で分析した結果は、 $\text{CO}_2 > 20\%$ ,  $\text{H}_2\text{S} = 0.05\%$  であった。そこで水泡状のガスを二口注射器内に捕集し測定したところ、凝縮性ガスは認められなかった。これは噴気が非常に微弱な為、注射器の口元までの 10 数セ

ンチ・メートルの間の接続用のゴムパイプ内で温度降下により凝縮してしまい、注射器内には捕集できなかった為であると考えられる。さて、注射器内に捕集された非凝縮性ガス87mlについて小沢(1967)の方法で分析した結果は、 $\text{CO}_2 = 99.94\%$ 、 $\text{H}_2\text{S} = 0.06\%$ であった。

ハ、Asin, Klondyke および Pugo でも温泉水の湧出に伴ない水泡状のガスがみられるが、それを捕集し、検知管で分析した結果は  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  ともにそれぞれの検出限界である 0.05%、0.005% 以下であった。無色・無臭でありガス成分については不明である。

#### 2-3-6 温泉水の地化学調査から推定される地熱系

温泉水の化学組成、溶存成分から推定される地化学温度、O/H同位体分析結果および噴気ガスの分析結果を総合すると、調査地域の地熱系は次のとおり考えられる。

Acupan 坑内のうち特に Balatoc プラグ内またはその縁辺で湧出する温泉水(試料番号 15, 16, 17, 27, 28, 29, 30, 31, 35, 36, 37, 48, 50, 51, 52, 65, 72, 82, 83)は化学組成的には陰イオンが  $\text{Cl}^-$ 、陽イオンが  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  で特徴づけられる食塩泉型で、 $\text{TSiO}_2$  および  $\text{TNa}-\text{K}-\text{Ca}$  はそれぞれ  $147 \sim 229^\circ\text{C}$ 、 $193 \sim 236^\circ\text{C}$  の高温を示し、さらに O/H 同位体分析結果は Meteoric water line からの酸素のシフトを示す(試料番号 76-B-3 = 65, 76-B-26 = 72, BA-1 = 82, BA-2 = 83)。これらの事実から推察するとこれら温泉水は深部熱水そのもの、またはそれに非常に近い熱水ではないかと考えられる。ここで Acupan 坑内の温泉水中の B 濃度は約 40 ppm (試料番号, 82, 83) と非常に高いが、これが母岩から由来したものか、それ以外から由来したものは不明だが火山性ガスに直接由来する可能性もある。また Li 濃度が 5 ppm 内外と他の試料に比較して非常に高い値がみられるが、これは湧出母岩が Balatoc プラグの酸性火成岩であることによるのかも知れない。仮にこのような性格を持つ温泉水を深部熱水と考えるならば、深部熱水が Itogon (試料番号 76-B-11 = 68) および Antamok (試料番号 76-B-12 = 69) にも一部湧出しているのではないかと推定される。

次に Acupan 坑内の温泉水(試料番号 32, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 66, 67)についてみるとそれは陰イオンが  $\text{SO}_4^{2-}$  で、陽イオンが  $\text{Ca}^{2+}$  で特徴づけられ、また O/H の同位体分析結果(試料番号, 76-B-4 = 66, 76-B-5 = 67)では  $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  は Meteoric water line 上にほぼ乗り、地表水あるいは浅い地下水起源の温泉水と考えられる。この型の温泉水の湧出箇所分布は Fig. II-2-26 にも明らかなおと Balatoc プラグの外側にあり、プラグの内側に分布する前記した深部熱水に由来すると考えられる食塩型温泉を取り囲む形で分布している。ここで後者の  $\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}$  型の温泉の形成過程を考えるとすれば次のように考えられる。つまり Balatoc プラグ沿いに上昇して来た深部熱水から  $\text{SO}_4^{2-}$  が解離して上方または側方に拡散、そこで地表水と混り岩石中の  $\text{Ca}^{2+}$  分を溶解したものと推定される。この型の温泉水が Antamok (試料番号, 18, 19, 20, 26, 70, 71) および Laboy (試料番号, 80, 81) であり、また Itogon

(試料番号, 1, 44, 45, 53, 54, 75, 76) および Dalupirip (試料番号 3, 4, 5, 74) は中間的な相を示すものと考えられる。

その他の温泉, つまり Asin, Klondyke および Pugo の各温泉は上記したいずれの型の温泉水とも異なった非火山性の食塩泉ではないかと推定される。

ここで今回の調査地域全体を考えた時, その中には性質を異にするいくつかの温泉が分布しているが, 温泉湧出地の標高と  $\delta^{18}\text{O}$  値の関係 (Fig. II-2-29) から明らかなとおり, それは比較的局地的範囲に限られた互いに独立した地熱対流系の中で形成されたものであると考えられる。ただ Acupan と Itogon についてはその近接性から考えて同一の地熱貯留層を形成しているかも知れない。また次に今回の調査地域内に分布する温泉水の地化学調査結果から判断する限り, 今後の地熱開発は深部熱水から由来すると考えられる食塩泉型の温泉が広く分布する Acupan 鉸山周辺, またその一部が湧出する Itogon 温泉付近, さらに微弱ながら Antamok 鉸山周辺に限定されるものと考えられる。

## 第3章 重力探查



## 第 3 章 重 力 探 査

### 3-1 調査目的

重力探査法は、地球の重力ポテンシャルを測定することにより、岩石密度の異なる地質構造を重力変化としてとらえ、基盤構造、断層、褶曲構造、地溝状構造および火成岩類の分布などを解析しようとするものである。従って、重力探査法は、石油資源、金属鉱床および地熱資源などの探査法として広く活用されており、特に地熱探査では、地質構造的に熱構造や地熱貯留構造を知るための手法として利用されている。このため、重力探査は初期の段階における概査法の一つとして実施されることが多い。

世界各地の地熱地帯における重力探査では、地熱流体の貯留構造と重力異常に興味ある対応が見られている。一般に、地熱徴候地帯では、熱源が断層に沿って上昇し、また、地下水等が地溝状構造に流入、貯留することが多いため、これらに対応する大規模な低重力異常帯およびその縁辺部において、地熱開発が計画、実施されることが多い。また、多くの地熱発電所がこのような位置に開発されている。

本調査では、地熱貯留構造に適した低重力の盆状構造または陥没状構造を検出するとともに、熱源を地表近くにもたらず断層構造を解明する目的で重力探査を実施した。

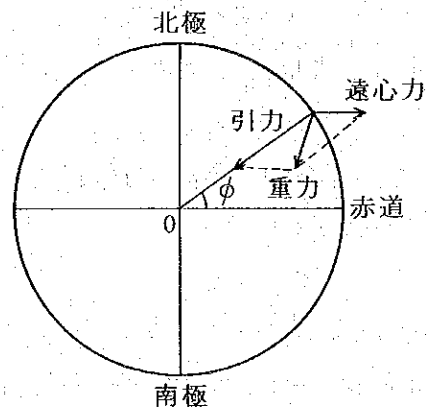
### 3-2 調査方法

#### 3-2-1 重力概論

地球上の物体は、地球の質量による引力、および自転による遠心力を受ける。重力とはこの引力と遠心力との合力のことである。

重力は単位質量に作用する力、すなわち加速度として定義され、地球上ではほぼ  $980\text{cm/sec}^2$  程度である。加速度の単位、 $1\text{cm/sec}^2$  は、ガリレイ (G. Galilei, 1564-1642) の名をとって、通常 1 gal と称している。 $10^{-3}\text{gal}$  を 1 mgal とよび、地球物理学や測地学の分野ではこの単位が多く使われている。

ここで、地球を半径  $R$  の球と仮定し、地球の質量を  $M$  とすれば、引力の大きさは、万有引力の法則より、 $GM/R^2$  である。  $G$  は万有引力定数とよばれ、 $6.6720 \times 10^{-8} \text{cm/g} \cdot \text{sec}^2$  の値をとる。一方、緯度  $\phi$  における遠心力は、自転の角速度を  $\omega$  とすれば、 $\omega^2 R \cos\phi$  である。引力は地球の中心方向に働く。これに対し、遠心力は自転軸に直角方向、すなわちベクトル的には引力に対して常に反対方向に働く。従って、重



力 $g$ は、

$$g = GM/R^2 - \omega^2 R \cos \phi$$

である。特に、極( $\phi = \pm \pi/2$ )と赤道( $\phi = 0$ )での重力は、それぞれ、 $GM/R^2$ 、 $GM/R^2 - \omega^2 R$ となり、重力は極において最大値、赤道において最小値を示す。

これまでは地球を完全な球と仮定していたが、実際には赤道半径を長径とし、極半径を短径とする扁平な回転楕円体である。従って、距離の二乗に反比例する引力は緯度によって変化し、極で大きく、赤道で小さくなる。また遠心力は距離に比例し、極で小さく、赤道で大きくなる。いずれにせよ重力は極で最大となり、赤道で最小となるように緯度によって変化することになる。

地球の形は近似的に回転楕円体であるが、実際には陸地や海洋などによる小規模な質量分布の不均一が存在する。これに対応して、重力ポテンシャル $W$ もまた、回転楕円体面上の重力ポテンシャル $U$ と質量の過不足による重力ポテンシャル $T$ とに分けることができる。 $U$ を正規重力ポテンシャル、 $T$ を乱れポテンシャルという。

$$W = U + T$$

赤道半径を長径とし、極半径を短径とする回転楕円体と正規ポテンシャル面が一致するときの $U$ の値を

$$U = U_0$$

とする。一方、実際の地球をおおむね等重力ポテンシャル面も無数に存在するが、このなかでただ1つ上記楕円体のポテンシャルと一致するものがある。すなわち

$$W = U_0$$

で表わされる面であり、このような面をジオイドとよぶ。この面は全体として楕円面に近いが、楕円面ではなく、地球の質量分布の不均一性によって、その表面に起伏が生じている。また、ジオイドは平均海面に極めてよく一致する。

また、回転楕円体による重力は理論的に算出することができ、この重力を正規重力とよぶ。地球の形が完全な回転楕円体であるならば、地表で測定した重力は正規重力に一致するが、実際には質量分布の不均一性により一致しないのが普通であり、その差異が重力異常 $\Delta g$ で表現される。重力探査はこの重力異常から質量分布の不均一、すなわち密度構造より、地下構造を解明するものである。

なお、実測重力値から重力異常値を求めるためには、各種の補正を必要とするが、これについては後述する。

### 3-2-2 測点計画

測点配置はFig. II-3-1の測点位置図に示すとおりで、国際協力事業団が協議立案した計画に従っている。計画測点は303点であったが最終的には310点を実測する事ができた。こ





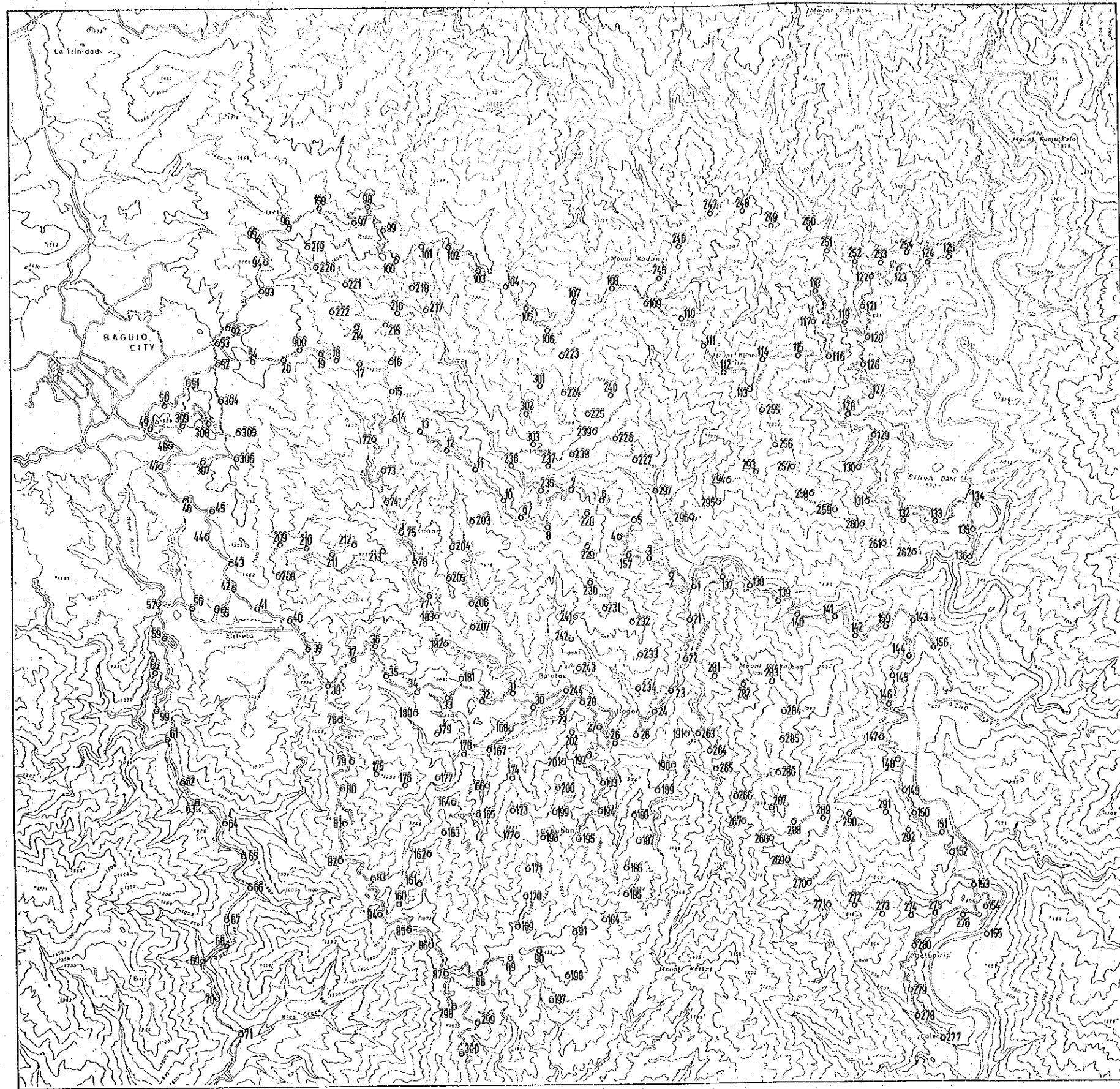


Fig. II-3-1 Location Map of Gravity Station



のうち298点については水準測量を実施し、残りの12点については精密気圧高度計を使用して測点高度を求めた。測点Noは欠番なしの1から309で、他に重力基準点900が含まれている。

調査面積は約220km<sup>2</sup>で、測点間隔は500mを標準とした。測点計画は1961年に作成された地形図上の道路を基準としてなされたが、現在ではかなり道路状況が変化しており、さらに軍用地で立入不可能な地域があったため、現地で道路の発達状況などを調査した後、これらの測点の位置は、トランシットによる測量にポケットコンパスによる簡易測量を併用して決定した。

### 3-2-3 重力計

重力測定には、La Coste & Romberg社のD型重力計を使用した。その仕様・性能は次のとおりである。

型式・番号	D-75
測定範囲	200 mgal
精 度	0.002 mgal
ドリフト	1 mgal/月
再現性	0.005 mgal
恒温槽温度	52.3 °C
製作年月	1982年2月
本体寸法	197×178×251 (mm)
本体重量	3.2 kg
総重量	10 kg
重力計定数	1.3701
リーディングライン	3.10

### 3-2-4 重力値の基準

当初は、本調査地域北西部のBaguio市内に設定されている既知重力点と宿舎に設定した重力基準点No900とを比較測定することにより、本調査に使用する重力値を決定する予定であった。しかし、Baguio市内の既知重力点は、設定時期が古く、現在では道路の改修工事により、点の位置が不明確であったため、Manila市郊外のモンテンルパ(Muntinlupa)にある国際重力点とNo900との比較測定により重力値を算出した。

本来ならば、国際重力基準網1971(IGSN71)に基づいた重力値を採用すべきであるが、フィリピン国内の既知重力点のほとんどがポツダム系の重力値であるため、今後フィリピン国所有の重力探査結果との結合の可能性を考慮して、本調査ではポツダム系の重力値を採用した。

また、No 900 と Muntinglupa の国際重力点との比較測定の結果を Table II-3-1 に示す。

Table II-3-1 Gravity Standard Value

	Latitude	Longitude	Date	Time	Reading Value	Instrument Height (m)
Muntinglupa	N°14 22.5'	E°121 0.9'	1982.10.1	9h 56m	191.497	0.230
G 900	N°16 25.0'	E°120 37.6'	1982.10.9	7h 53m	71.275	0.275

	Milgal Value	Earth Tide Correction	Instrument Correction	Corrected Value	Gravity Difference	Gravity Value
Muntinglupa	250.995	0.157	0.071	251.223	978,115.247	978,366.470
G 900	93.430	0.042	0.085	93.547	978,115.247	978,208.794

### 3-2-5 測 量

#### (1) 水準測量

水準測量は、全測点310点中298点について実施されたもので、カールツァイス社製水準測量器と測器舎製B2型オートレベルによる直接水準測量である。測量の基準には、ベンゲット社 (Benguet Corporation) 所有の水準点AGM-1 (北緯16°23.24', 東経120°40.55', 標高801.580m) を採用した。

水準測量網図を Fig. II-3-2 に示す。図中、主幹ルート (路線長約100km, 167点) の水準測量については、本調査員が実施し、主幹ルートを基準とする二次路線 (路線長約80km, 131点) については、BEDの測量技師が実施した。主幹ルート中、測点No.1~54の56点、約30kmについて閉合ルートを設け、閉塞誤差は213mmであった。これは、閉塞許容誤差  $\epsilon \leq 100\sqrt{D}$  を十分に満たしている。

#### (2) 精密気圧高度計による測量

水準測量を実施することのできなかった測点12点については、英国Negretti & Zambra社製M-1975A精密気圧高度計を使用して測点高度の測量を実施した。

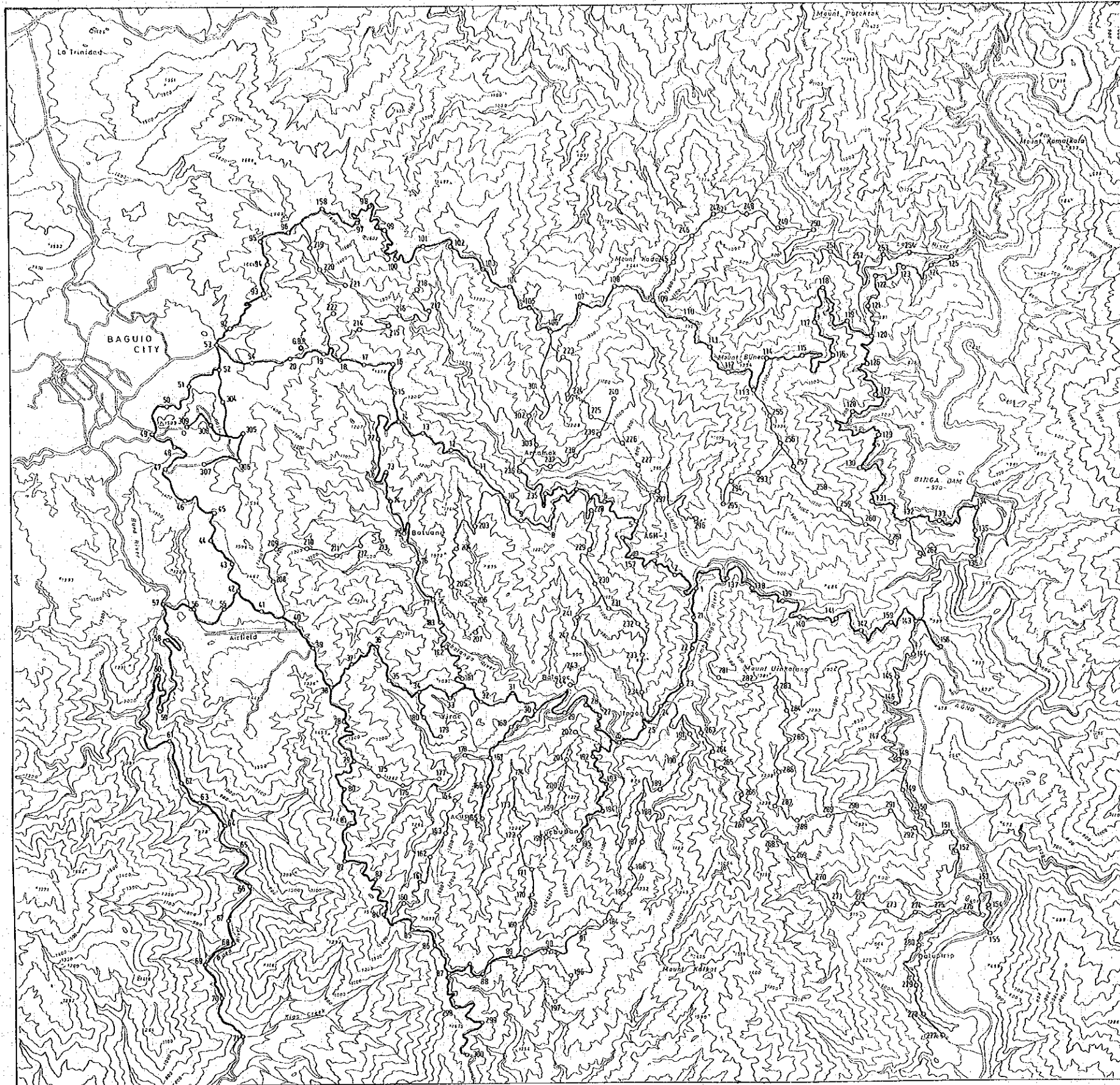
測点高度は、既知標高点と測点との気圧差より、比高差 $\Delta H$ (m)を下式により求め、この比高差を既知標高点に加算して求めた。

$$\Delta H = \log \left( \frac{\text{測点の気圧}}{\text{既知標高点の気圧}} \right) \times 18464$$

$$\times (1 + 0.003665 \times 2 \text{点の平均気温})$$

さらに、水準測量と同様に既知標高点より出発し既知標高点に閉塞させ、得られた閉塞差を時間に比例して各測点に配分し、閉塞差補正を施した。一般的には、この閉塞差補正を施す前に気圧変化を補償する気圧補正を各測定値に施すが、本調査では、閉塞時間が比較的短時間であったため、気圧変化は小さいものと考え、これを省略した。





**LEGEND**

- Primary Route
- Secondary Route
- - -○- - - Leveling by Microbarometric Altimeter



**Fig. II-3-2 Route Map of Leveling Surrey.**

