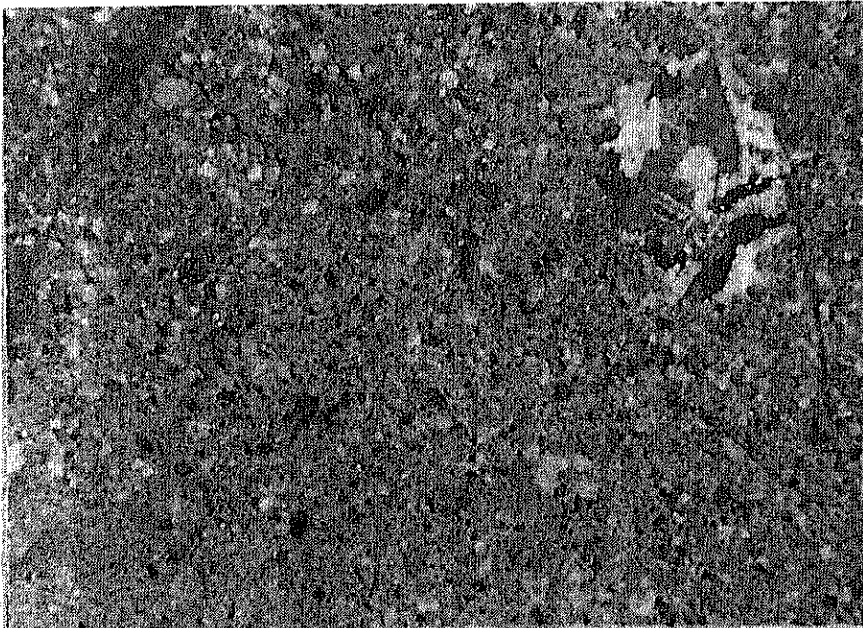


Limestone

石灰岩

Cal : Calcite

下方ポーラーのみ



同上

直交ポーラー

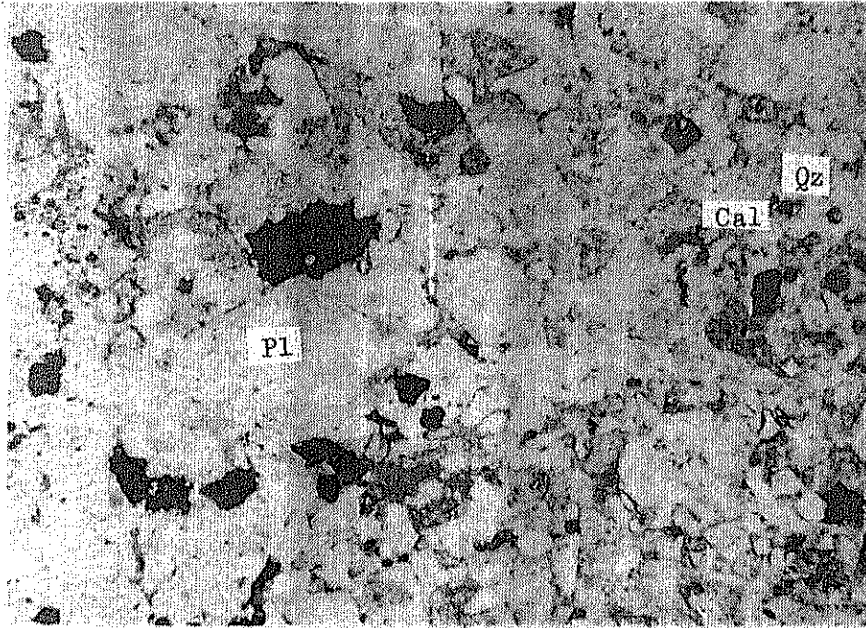


Y F - 6

石灰石

肉眼的には，暗灰色，細粒塊状の石灰岩（石灰質岩）である。鏡下では，中粒～微粒の方解石・鉄酸化物を有し，わずかに細粒の斜長石・石英が含まれる。方解石は粒度で2種類に分かれ，一つは微粒（数ミクロン），他形を呈すもの，もう一つは中粒～細粒（0.3～0.1 mm），半自形～他形を呈し，外形は長石または mafic 鉱物を交代したと思われる。

N-4-1

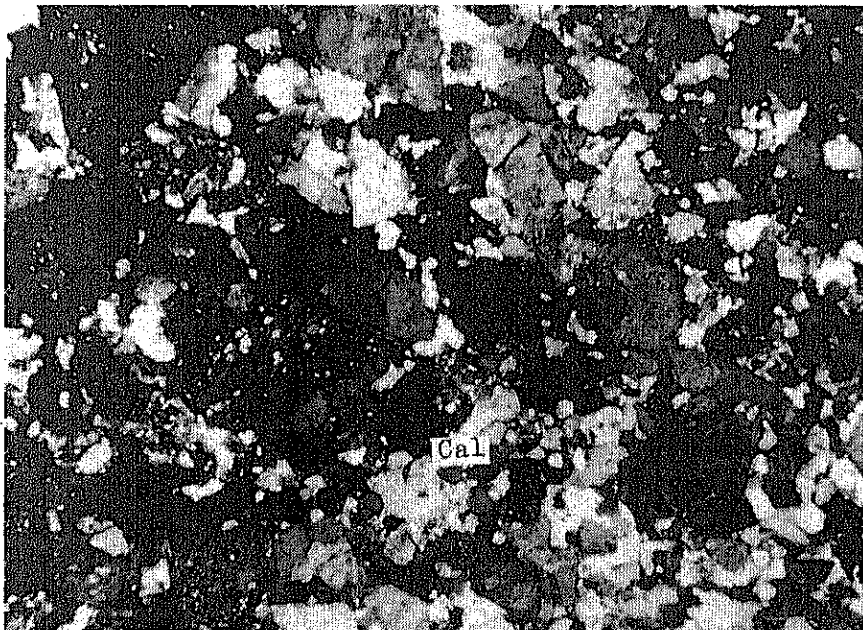


Lithic-tuff
石質凝灰岩

Pl : Plagioclase
Qz : Quartz
Cal : Calcite

下方ポラーのみ

0 0.5mm



同 上

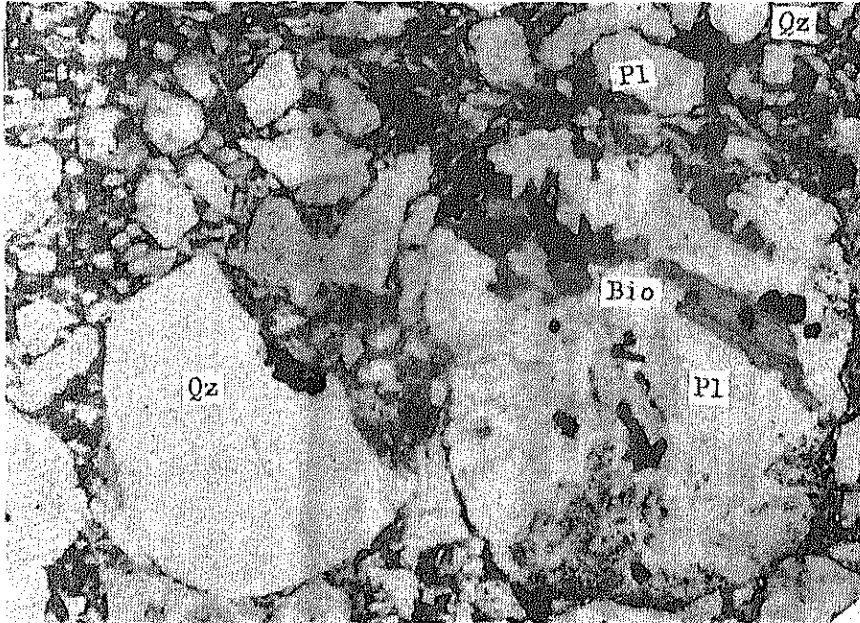
直交ポラー

0 0.5mm

石質 - 凝灰岩

肉眼的には、岩片入灰赤色凝灰岩である。縞状、層状構造が見られる。鏡下では、級化構造が見られ、構成鉱物として石英、斜長石、方解石、黒雲母および岩片を多量に含んだ、石質-結晶質凝灰岩である。火山ガラスは少ない。

- 石 英 …………… 大きさ, 0.7 ~ 0.1 mm。他形。
全体的に円磨度の進んだ形状を呈すが一部に不規則も見られる。
- 斜 長 石 …………… 大きさ, 0.5 ~ 0.1 mm。自形~半自形。
多くは板状を呈すが破碎されているものが多い。アルバイト・カールスバッド双晶および累帯構造が発達している。結晶内部に方解石の含有物を包有したり、セリサイト化を受けている。
- 方 解 石 …………… 大きさ, 0.3 ~ 0.1 mm。他形。
結晶粒子間を埋めている。
- 黒 雲 母 …………… 大きさ, 0.3 mm。自形。
変形した blade 状を呈す。量的には少ない。
- 岩 片 …………… 大きさ, 平均で 0.5 × 0.3 mm。
角礫および少量の亜円礫から成る。多くは斑状組織を呈す安山岩質で、主に斜長石、方解石を有す。



石質 - 結晶質 凝灰岩

Bio : Biotite
Pl : Plagioclase
Qz : Quartz

下方ポーラーのみ

0 0.5 mm



同 上

直交ポーラー

0 0.5 mm

石質 - 結晶質凝灰岩

肉眼的には、暗赤色、軽石入粗粒凝灰岩である。鏡下では、岩片を多量に含んだ、粗粒の石英・斜長石・黒雲母・方解石から成る結晶質凝灰岩である。マトリックスは、黒色の非結晶質物および細粒の石英・長石より成り、火山ガラスは見られない。

斜 長 石 …………… 大きさ, 1.5 ~ 0.3 mm。自形。

板状を呈すが一般に破砕されているものが多い。アルバイト・カルスバッド双晶および累帯構造が発達する。一部に炭酸塩化・セリサイト化が見られる。

石 英 …………… 大きさ, 1.0 ~ 0.2 mm。他形。

円磨度の進んだ形状を呈す。

黒 雲 母 …………… 大きさ, 0.5 ~ 0.2 mm。自形~半自形。

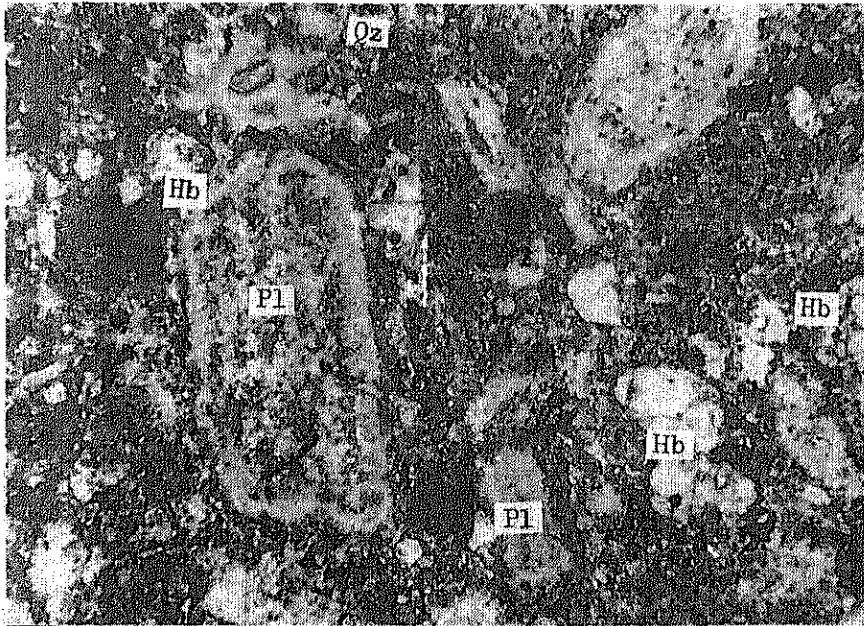
多色性・異方性顕著。

方 解 石 …………… 大きさ, 0.3 mm。他形。

結晶粒間を埋める。

岩 片 …………… 大きさ, 2.0 × 0.5 mm ~ 0.3 × 0.2 mm。

角礫~亜円礫をなし安山岩質および石英安山岩質である。



普通角閃石安山岩

Hb : Hornblende

Pl : Plagioclase

Qz : Quartz

下方ポラーのみ



同上

直交ポラー

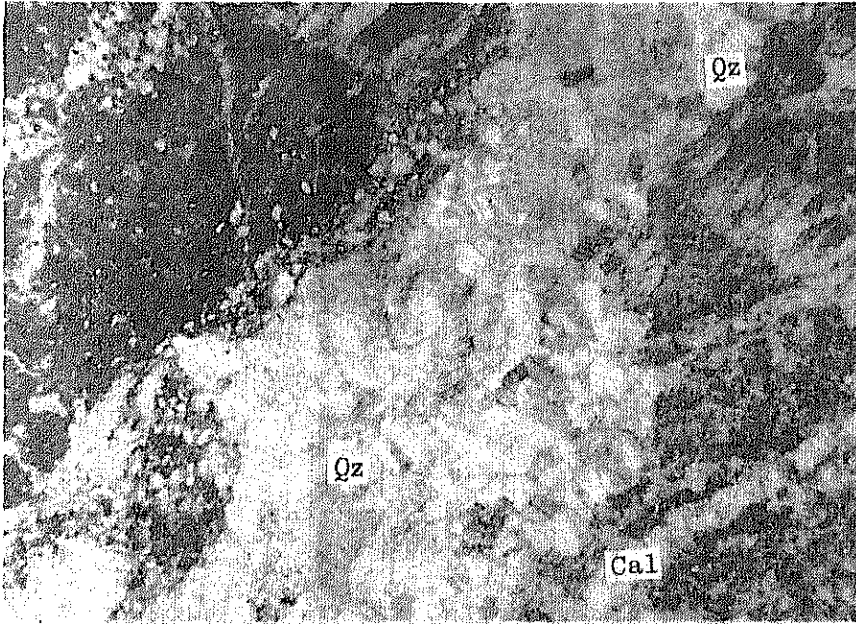


普通角閃石安山岩

肉眼的には、灰緑黒色斑状組織の安山岩である。長石は変質を受け白色化している。鏡下では、斑状組織を呈し、斑晶として斜長石・普通角閃・単斜輝石を有し、石基は斜長石・普通角閃石・単斜輝石・石英からなる、試料全体に変質（熱水変質）を受け、石基部は粘土化・クロライト化を強く受けている。

○斑 晶

- 斜 長 石 …… 大きさ， 2.0～0.5 mm。自形～半自形。
 アルバイト・カールスパッド双晶が発達している。セリサイト化・クロライト化・粘土化を受け，結晶内部の汚濁が著しい。一部に角閃石・方解石の小粒を包有する。
- 普通角閃石 …… 大きさ， 1.0～0.3 mm。自形。
 短柱状～板状を呈すが破砕されているものが多い。斜長石・単斜輝石を inclusion として含むものも見られる。
- 単斜輝石 …… 大きさ， 0.5 mm。半自形。
 短柱状～四角形を呈す。鉄酸化物を包有したり，一部クロライトに交代されている。

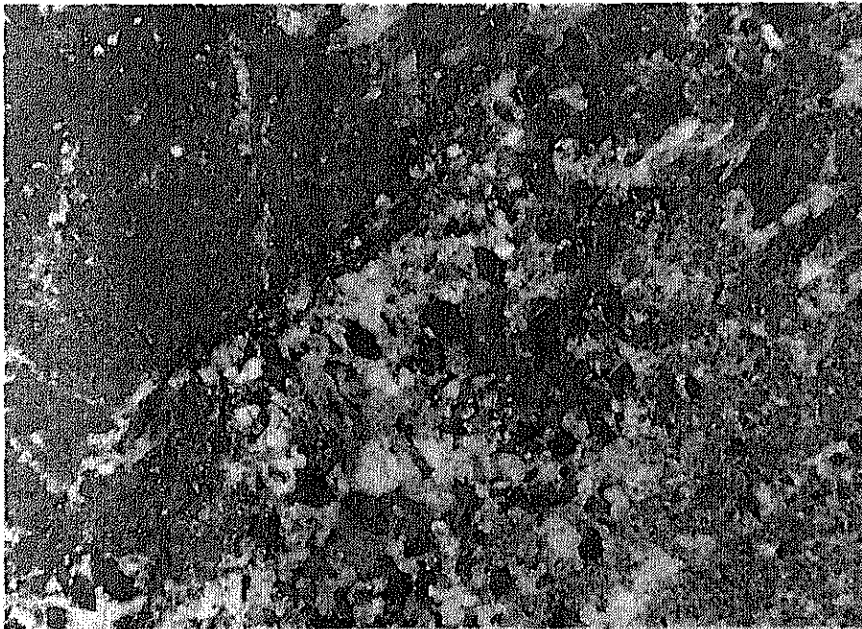


Limestone with
calcite veinlet
方解石細脈入石灰岩

Cal : Calcite

Qz : Quartz

下方ポーラーのみ



同 上

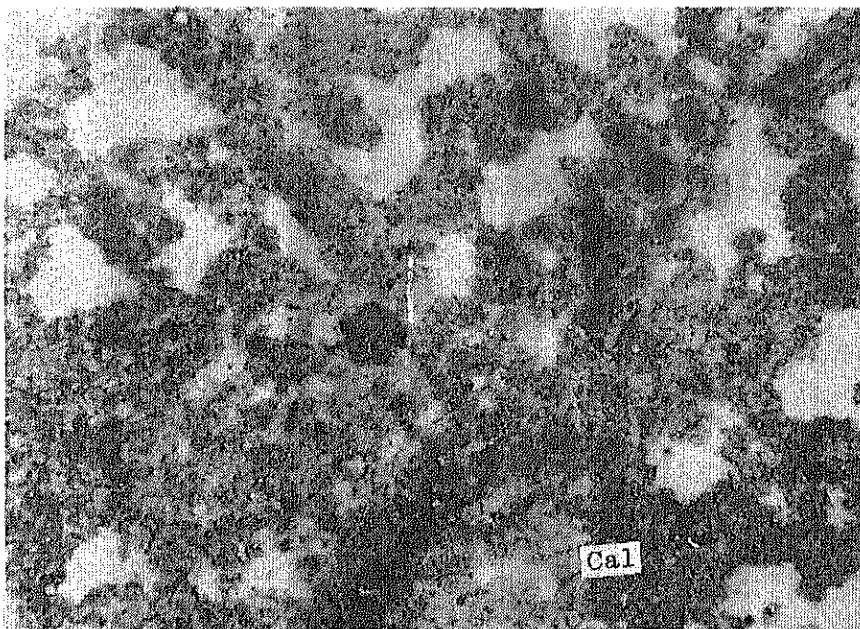
直交ポーラー



N 1 1 - 0 1

方解石細脈入石灰岩

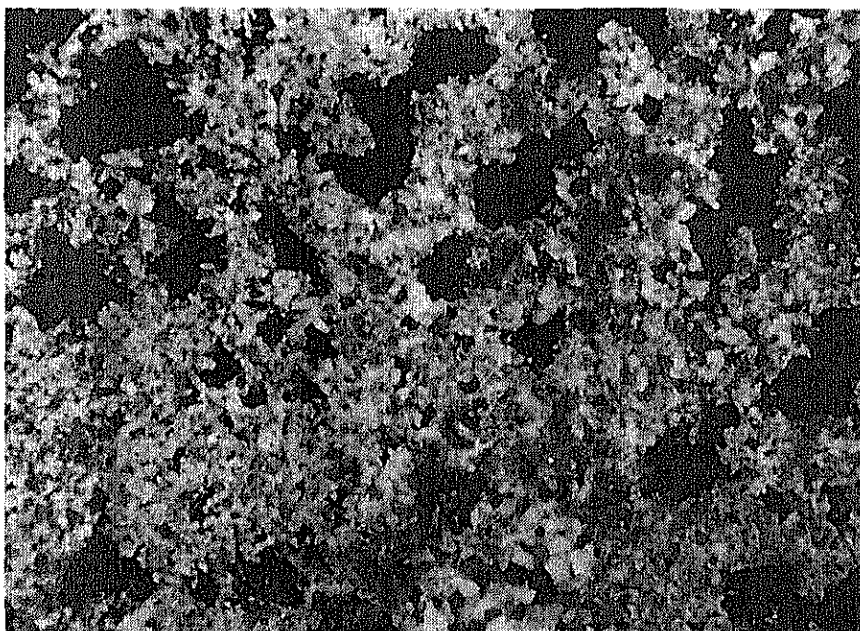
肉眼的には，暗灰色，緻密な白色方解石細脈の発達した石灰岩。鏡下では，細粒～極細粒（ 0.1 mm ～数ミクロン）の方解石から成る塊状の石灰岩中に，粗粒～中粒（ 1.0 mm ～ 0.2 mm ）の方解石から成る細脈が，多数発達している。方解石以外には，中粒～細粒（ 0.3 mm ～ 0.05 mm ），他形の石英を有す。



Limestone
(Carbonaceous rock)
石灰岩 (石灰質岩)
Cal : Calcite

下方ポーラーのみ

0 0.5 mm



同 上

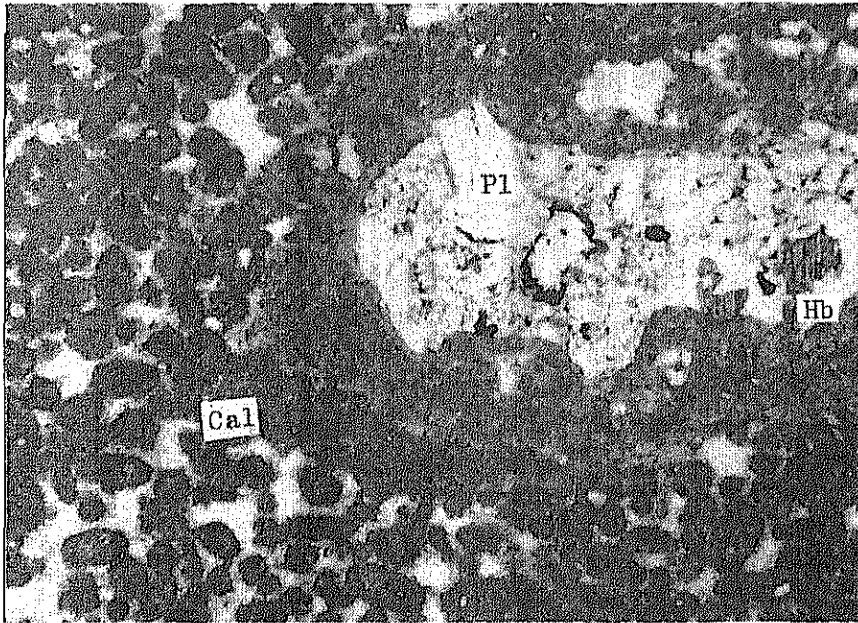
直交ポーラー

0 0.5 mm

N 1 1 - 0 2

石灰岩（石灰質岩）

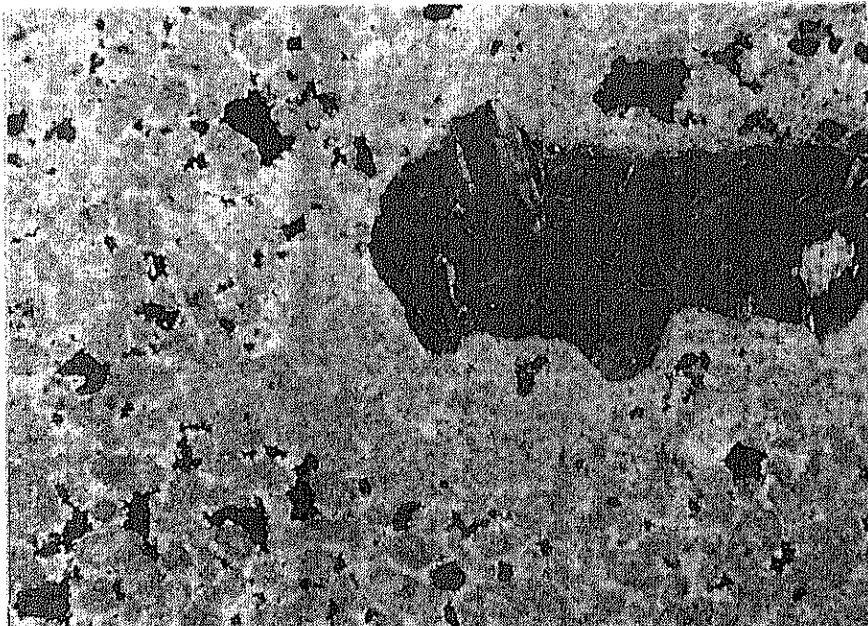
肉眼的には，灰白色，層状石灰質岩（石灰質沈殿物）。鏡下では，孔隙が多く，細粒（数十 μ ），他形の方解石より成る。方解石以外には，わずかに鉄酸化物および炭質物を有す。



岩片入オーライト質石灰岩

Cal : Calcite
Hb : Hornblende
Pl : Plagioclase

下方ポラーのみ



同 上

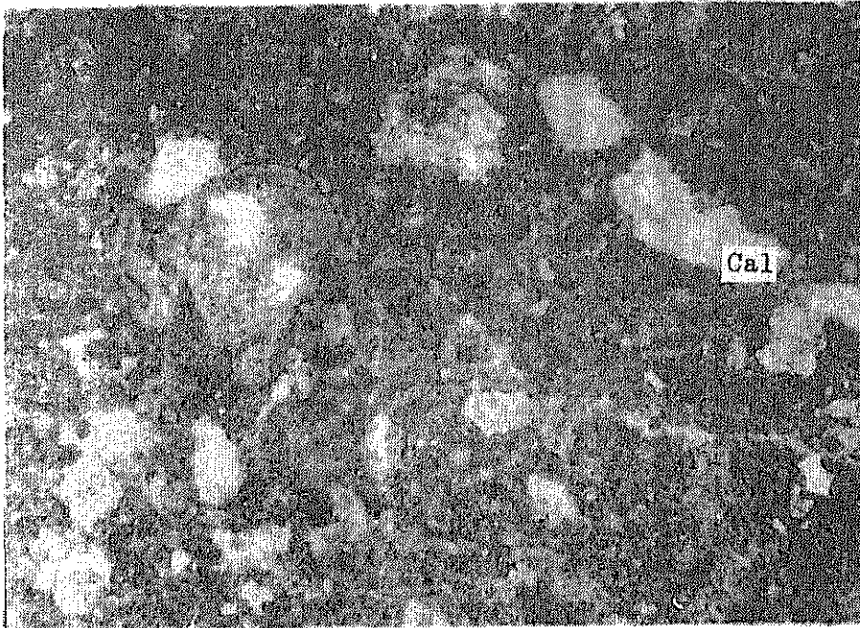
直交ポラー



N 1 2 - 0 1

オーライト質石灰岩

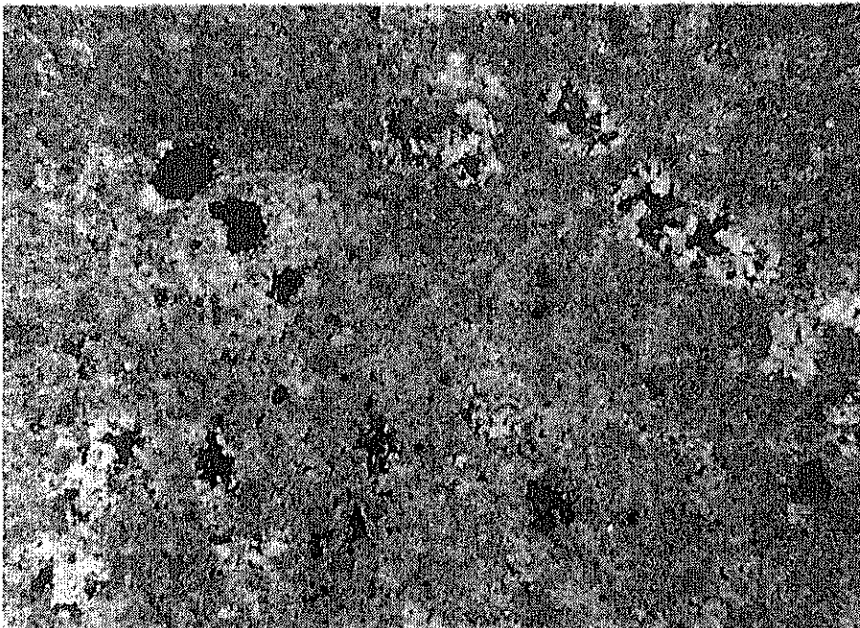
肉眼的には、灰白色、孔質な石灰質岩。鏡下では、オーライト組織を示す。方解石の粒度は極細粒～細粒（数 μ ～数10 μ ）で他形を呈す。オーライトの長径は0.5～0.1 mmである。本試料中には、玢岩岩片（ $2.0 \times 0.5 \sim 0.3 \times 0.1$ mm）および斜長石の破片（ $0.5 \times 0.01 \sim 0.1 \times 0.1$ mm）を有す。玢岩岩片は主に斜長石（0.2 mm）から成り、少量、普通角閃石（ 0.3×0.3 mm）を有す。



Oolitic limestone
(オーライト質) 石灰岩

Cal : Calcite

下方ポーラーのみ



同 上

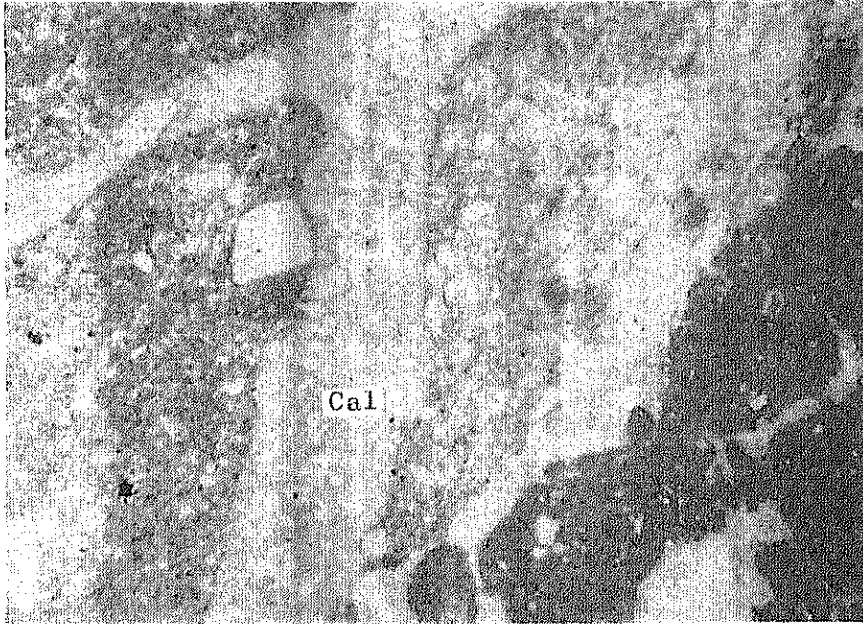
直交ポーラー



N 1 2 - 0 2

(オーライト質)石灰岩

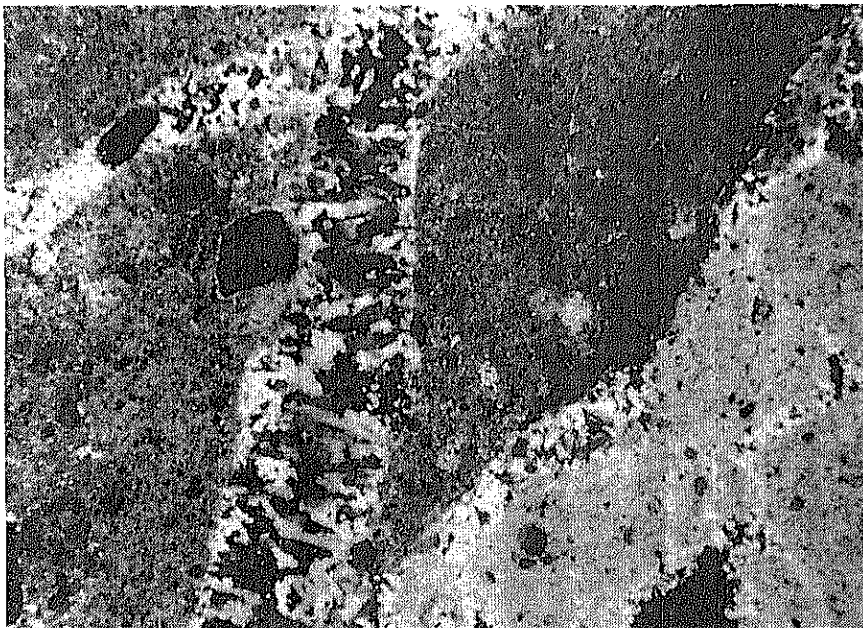
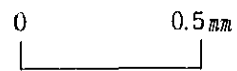
肉眼的には、灰白色～乳白色、塊状の石灰岩である。鏡下では、少量オーライトが見られるが、N 1 2 - 0 1 に較べ、はるかに少ない。主に、極細粒の方解石から構成されているが、一部、cavity あるいは、長石・mafic 鉱物類を交代して再結晶した、細粒 (0.1 mm ～ 数10 μ) の方解石も見られる。方解石以外には、不規則形を呈す細粒の石英・斜長石・緑泥石が見られる。



Oolitic limestone
オーライト質石灰岩

Cal : Calcite

下方ポラーのみ



同 上

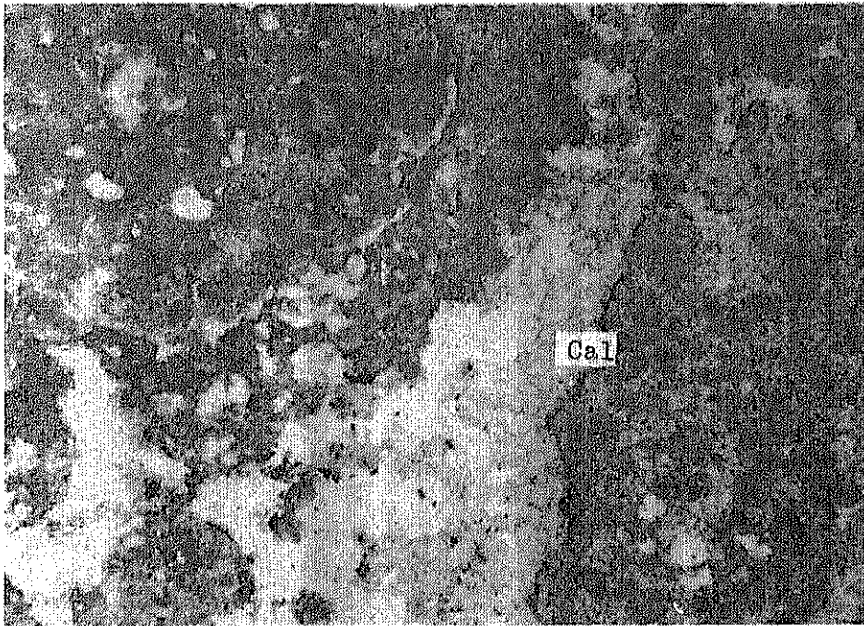
直交ポラー



N 1 2 - 0 3

オーライト質石灰岩

肉眼的には、直径数 mm のオーライトから成る茶褐色～乳白色石灰岩である。鏡下では、粗粒（長径 $5.0\text{ mm} \sim 0.2\text{ mm}$ ）のオーライト組織を呈す。オーライトの粒間を細粒（ $0.3\text{ mm} \sim 0.1\text{ mm}$ ）の方解石が充填する。オーライト内部には安山岩質岩片・長石・石英の小片が混入している。



Oolitic limestone
オーライト質 石灰岩

Cal : Calcite

下方ポラーのみ

0 0.5 mm



同 上

直交ポラー

0 0.5 mm

N 1 2 - 0 4

オーライト質石灰岩

肉眼的には、灰白色～暗灰色、縞状石灰岩である。鏡下では、縞状組織を呈し、明瞭なオーライトは持たないが、孔隙の多い極細粒の方解石から成る石灰岩である。岩片や長石片などの不純物は含まれないが、構成鉱物あるいは岩質的に、上記N 1 2 - 0 1～N 1 2 - 0 3と同様の石灰岩である。

3-3 地化学調査

3-3-1 調査の概要

地熱開発を計画する場合、その地域の温泉の化学的性質は非常に重要な意義を持ち、特に地熱データの少ない初期には、一つの目安となる。また温泉の湧出量に関連してその地域の放熱量が積算され、地熱開発規模を推定する指標ともなる。この意味においてマカララ、リオ・ハルマ地区における温泉、河川水調査が実施された。

また、最近土壌中の水銀 (Hg)、砒素 (As) などの揮発性元素を分析することにより、地熱地域の熱水挙動を推定する方法が行われつつあり、今回はこの方法も併せ試みた。

3-3-2 温泉水調査

温泉の湧出はリオ・ハルマ地区において一カ所、キンコージョ地区において数カ所みられたが、マカララ地区では見出されなかった。

これらの温泉、化学分析値は表7-5に示す通りで、各湧泉ともほぼ同一成分を有するが、リオ・ハルマ泉はキンコージョ泉より高塩分である。

Fournier らが提唱する地下温度推定法 (図7-13, 14) によれば、この地区の地下温度は表7-6の如く算出される。この値は他の地熱地帯におけるものより低く、先に調査されたラ・ラヤ地区よりも低い。この点のみからいえば、当地域は必ずしも地熱開発に適しているとはいえない。

しかしながら、本地区は次節に記すように、河川上流の水量が下流の水量より多い値が得られるなど複雑な地下水利を示し、稀釈の影響も考えられ、早急な断定は出来ない。

リオ・ハルマ地区の温泉湧出量については3-3-3に述べる。

表 7-5 リオ・ハルマ温泉水化学成分

(単位: ppm)

	泉温	pH	HCO ₃	CO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SiO ₂	Fe ⁺⁺	Al ⁺³
Rio Jarma 泉	50.7	6.9	269	65.1	11,500	2,893	7,500	114	809	190	37	0.11	0.11
Quisicollo 泉	52.7	6.9	241	50.2	9,000	2,400	5,680	87	826	124	36	0.46	0.15
Raya-Norte 泉	55.5	6.6	861	356	1,800	651	1,140	130	432	44	77	4.46	0.01

表 7-6 化学温度計による推定温度

	Ka - K 温度計					SiO ₂ 温度計	
	Na/K	log Na/K	$\sqrt{Ca+Mg}/Na$	$\log \sqrt{Ca+Mg}/Na$	y 注)	推定温度 °C	推定温度 °C
Rio Jarma 泉	113.2	2.05	0.50	-0.30	1.95	116	89
Quisicollo 泉	110.7	2.04	0.65	-0.19	1.98	114	87
Raya-Norte 泉	14.87	1.17	2.26	0.35	1.64	150	121

(注) $y = \log \frac{Na}{K} + \beta \log \left(\frac{\sqrt{Ca+Mg}}{Na} \right)$

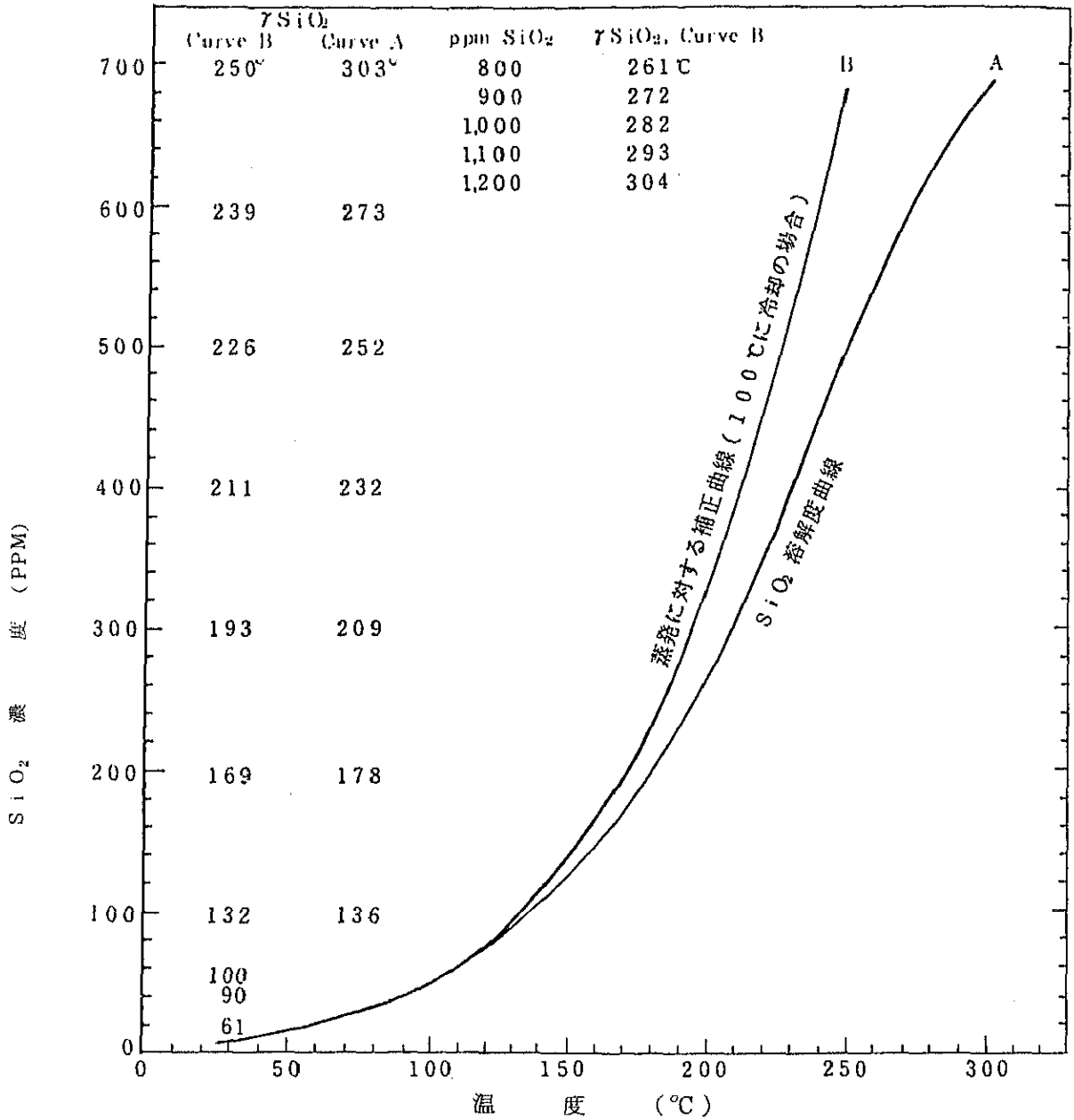
$10^3/T = 0.65y + 1.3$ T: °K

ただし $\beta : \log \frac{\sqrt{Ca+Mg}}{Na} > 0$ のとき 4/3

$\log \frac{\sqrt{Ca+Mg}}{Na} < 0$ のとき 1/3

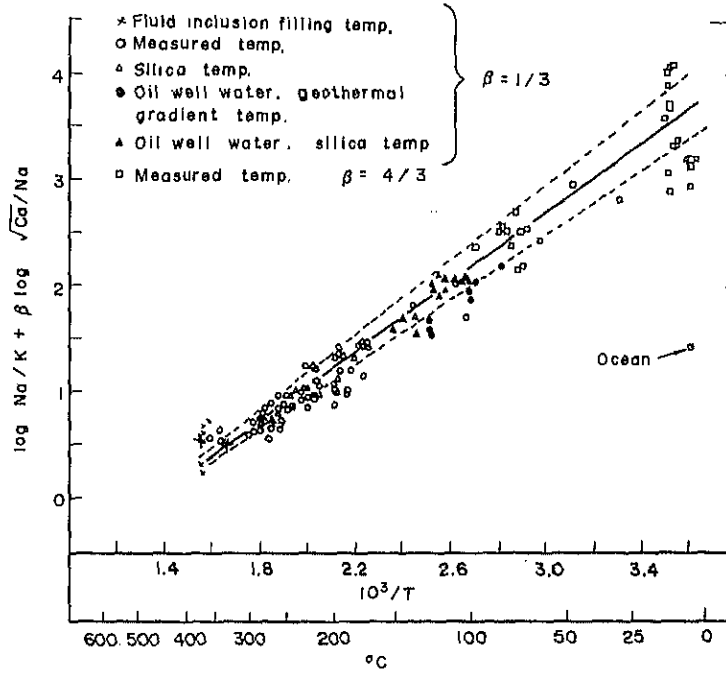
(Fournier による)

図 7 - 1 3 熱水中の SiO_2 濃度に対する温度



(出所) FOUNIER, TRUESDELL, 1970

図 7-14 熱水中のアルカリ比に対する温度



(出所) Fournier, Geothermics (1977)

3-3-3 放熱量調査

一般に地熱地域における熱の放出形態は

- ① 温泉水の湧出
- ② 蒸気，ガスの噴出
- ③ 岩石の熱伝導（地表面）
- ④ 水面からの蒸発

などの経路があるが，本地域では蒸気，ガスの噴気はなく，リオ・ハルマ地区では①の温泉水の湧出，マカララ地区では③，④の湿地帯地表面を含む水面からの蒸発が熱放出の大部分を占めると考えられる。

この地区における概略の放熱量を算定するため，河川温度，水量，化学成分の簡単な計測を行った。その結果を表7-7に示す。

表7-7 調査地域河川水の調査

試料番号	採取月日	水温	流量	pH	電導度	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe
W-1	10/11	22°C	22ト/分	7.6	12,000	2,350	37.5	315	67.5	0.22
W-2	(計算値)	18.8	16.7	-	-	2,060	-	-	-	-
W-3	10/11	16	1.1	7.8	380	59	1.3	28.5	3.8	0.05
W-4	"	19	15.6	7.8	9,700	2,200	40.0	270	55	0.13
W-5	"	13	1.9	7.8	330	47.5	1.0	31.5	2.5	0.45
W-6	"	13	0.2	7.6	2,300	510	7.2	55	7.7	<0.05
W-7	"	12	0.8	7.8	315	34.5	0.73	38	3.5	0.05
W-8	"	15	1.6	7.8	1,000	150	2.6	43	5.0	<0.05
W-9	"	17	2.9	7.7	355	65	1.3	27.5	3.0	0.07
W-10	"	16	0.8	7.8	405	53	1.3	29.5	4.5	<0.05
W-11	10/12	28	31.4	7.5	13,500	3,650	75.0	500	82.5	0.12
W-12	"	18	12.7	8.0	1,100	2,200	40.0	290	60.0	0.10
W-13	"	13	5.4	7.8	900	145	3.0	50	8.5	<0.05
W-14	10/5	-	-	7.6	175	11.5	0.4	28.5	2.0	<0.05
W-15	10/4	-	-	8.8	145	7.5	0.9	20.5	8.0	<0.05

(注) W-2はリオ・ハルマ温泉上流の河川水の値を得るため(W-3)+(W-4)として算出した。

1) リオ・ハルマ地区

この地区においては表7-5(既出)に示す温泉が、川沿いに湧出している。湧出地域の上下流の河川の水温、成分濃度より、この地区における温泉湧出量を次の如く算出した。

$$G_0 = G_2 \times \frac{t_2 - t_1}{t_0 - t_1} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

あるいは

$$G_0 = G_2 \times \frac{Na^+_{2} - Na^+_{1}}{Na^+_{0} - Na^+_{1}} \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

- G_0 : 温泉総湧出量
- G_2 : 下流の河川水量
- t_0 : 温泉の温度
- t_1 : 上流河川温度
- t_2 : 下流河川温度
- Na^+_{0} : 温泉のNa濃度
- Na^+_{1} : 上流河川Na濃度
- Na^+_{2} : 下流河川Na濃度

①より

$$G_0 = 0.37 \text{ m}^3/\text{sec.} \times \frac{22.0 - 19.0}{52.0 - 19.0} = 0.034 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

②より

$$G_0 = 0.37 \text{ m}^3/\text{sec.} \times \frac{2.350 - 2.060}{7.500 - 2.060} = 0.020 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

両者の差はかなり大きいですが、オーダー的には同一であり、サンプリング時の水温、水質の不均一性を考慮すれば、概略値として使用可能と考えられる。

従ってこの地区の放熱量Qは、泉温 $\theta_0 = 52^\circ\text{C}$ 、基準地下温度 $\theta = 10^\circ\text{C}$ とすれば、

$$\begin{aligned} Q &= (\theta_0 - \theta) \times G_0 \text{ kg/sec.} \times C \times \rho \\ &= (52 - 10)^\circ\text{C} \times (2.0 \sim 3.4) \text{ kg/sec.} \times 1.0 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \\ &= (0.84 \sim 1.4) \times 10^3 \text{ kcal/sec.} \\ &= (5.0 \sim 8.4) \times 10^7 \text{ cal/min.} \end{aligned}$$

この値はさきに調査されたキシコージョ地区の約10分の1である。