

昭和51年3月

原 著

# ネパール・ヒマラヤ、 ランタン谷とマルシャンディー谷の陸水の化学成分

信州大学理学部地質学教室 山田哲雄

東京都立大学理学部化学教室 野口喜三雄・一國雅己・上野精一

東邦大学教養部化学教室 相川嘉正・今橋正征

長野県佐久市内山小学校 岡村知彦

(昭和51年1月10日受理)

Chemical Components of the Terrestrial Waters of the  
Langtang and the Marsyandi Kholas, Central Nepal Himalaya.

Tetsuo YAMADA\*, Kimio NOGUCHI\*\*, Masami ICHIKUNI\*\*, Seiichi UENO\*\*,  
Kasho AIKAWA\*\*\*, Masayuki IMHASHI\*\*\*, Tomohiko OKAMURA\*\*\*\*.

\* Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University

\*\* Department of Chemistry, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University,

\*\*\* Department of Chemistry, Toho University

\*\*\*\* Uchiyama Primary School, Saku City, Nagano Prefecture

## Abstract

Nine water samples (3 of river water, 4 of lake water, 1 of cold spring water, and 1 of ice water) from the Langtang Khola and eight water samples (7 of river water and 1 of hot spring water) from the Marsyandi Khola were collected and analysed.

Chemical components of water samples from the Langtang Khola are less than those from the Marsyandi Khola.

The wide difference of the chemical components of the watersheds seems to be related to the geological structure: the Langtang area is composed mainly of mica gneiss and granite, while the Marsyandi area of the Tethyan sediments has abundant limestone and mica gneiss.

## 1. ま え が き

1959年秋、山田哲雄がランタン・ヒマール遠征の途中で、9種の地表水・湧水を採集して持ち帰り、東京都立大学の野口研究室で化学分析をおこない、その概要を報告した(山田・野口, 1963)<sup>1)</sup>。

1971年春、岡村知彦が信州大学アンナブルナII峰登山隊に参加し、その途中で8種の地表水と温泉水を持ち帰り、東邦大学の野口研究室で化学分析をおこない、その結果についても口頭で報告した(山田ほか, 1972)<sup>2)</sup>。

この地域の陸水の化学成分についての資料が少ないので、両地域の結果をまとめて報告する。

東京大学の綿抜邦彦博士には文献を御教示いただき、一部の未公表データを御提供賜わり、私たちのデータと比較検討させて頂いた。また、二つの遠征隊において、現地での採水と試料の運搬にあたって、それぞれの隊員の諸氏にいろいろお世話になった。ここで厚くお礼申しあげる。

## 2. 試 料

各試料の採取方法は、あらかじめ日本から用意して持参した新しい中ブタ付ポリエチレン瓶(1ℓ)を採水点の水でよく洗滌してから、採水後密封して隊荷とともに持ち帰った。したがって、1試料の容量に制限があって、一部に分析不能の成分もある。なお、比較のために、現地での雪あるいは水を溶かした試料も欲しかったが、信頼できる溶融装置が搬入できなかったのであきらめざるを得なかった。

次に、両地域におけるそれぞれの採水現場の条件を簡単にのべる。

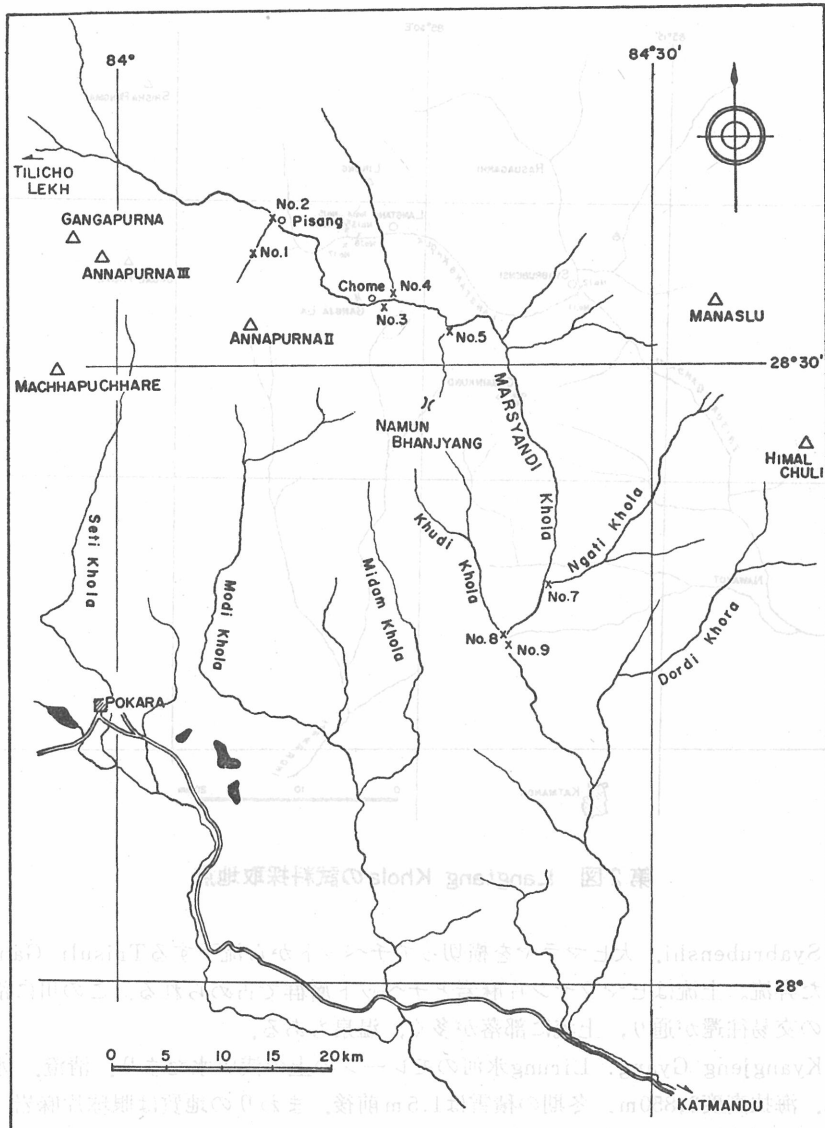
### Marsyandi 谷 (採水地点は第1図に示す)

- No.1: Annapurna II峰(7,973m)の北麓、雪原から流れ出すMarsyandi川の支流サルタン川。海拔高度約3,500m。清流。まわりの地質はチベット層群の古生層で、褐色のマール(泥灰岩)レンズを含む石灰岩が卓越する。夏季の放牧をのぞいて住民なし。
- No.2: Marsyandi本流、Pisang部落上流300m。海拔高度3,050m。やゝ白濁した奔流で、流域の地質はHagen(1968)<sup>3)</sup>によればチベット層群の石灰系~三畳系が主体を占める。上流に数部落あり。
- No.3: Chame温泉、Marsyandi川のChame橋の下流100m左岸の本流河床に湧出する。湧出量は約10ℓ/min。程度。水温31°C。まわりの地質は、HAGEN(1968)<sup>3)</sup>によれば、黒雲母片麻岩・花崗岩質片麻岩とカルクシリケイト岩の境に近く、カルクシリケイト岩とチベット層群の境は、Chame橋の上流約1.5kmにある。
- No.4: Kupar。Marsyandi川に北から流れこむ支流のNaur Kholaを合流点から100m遡った地点。海拔高度約2,500m。Naur KholaはMarsyandi川とほぼ同じぐらいの流域面積をもち、流域はチベット層群の古生層~中生層で占められる。上流に部落あり。
- No.5: Namum Bhanjyang北面の谷川の表流水、海拔高度約2,500m。清明。流域は結晶質のカルクシリケイト岩。上流に部落なし。
- No.7: Himat Chuli西壁から流下するNagati Kholaの吊橋の下。海拔高度900m。流域の

現在勤務先: 野口喜三雄, 東邦大学教養化学教室

一 国 雅己, 東北大学教養部化学教室

上野 精一, 科学技術庁無機材質研究所



第1図 Marsyandi Kholaの試料採取地点

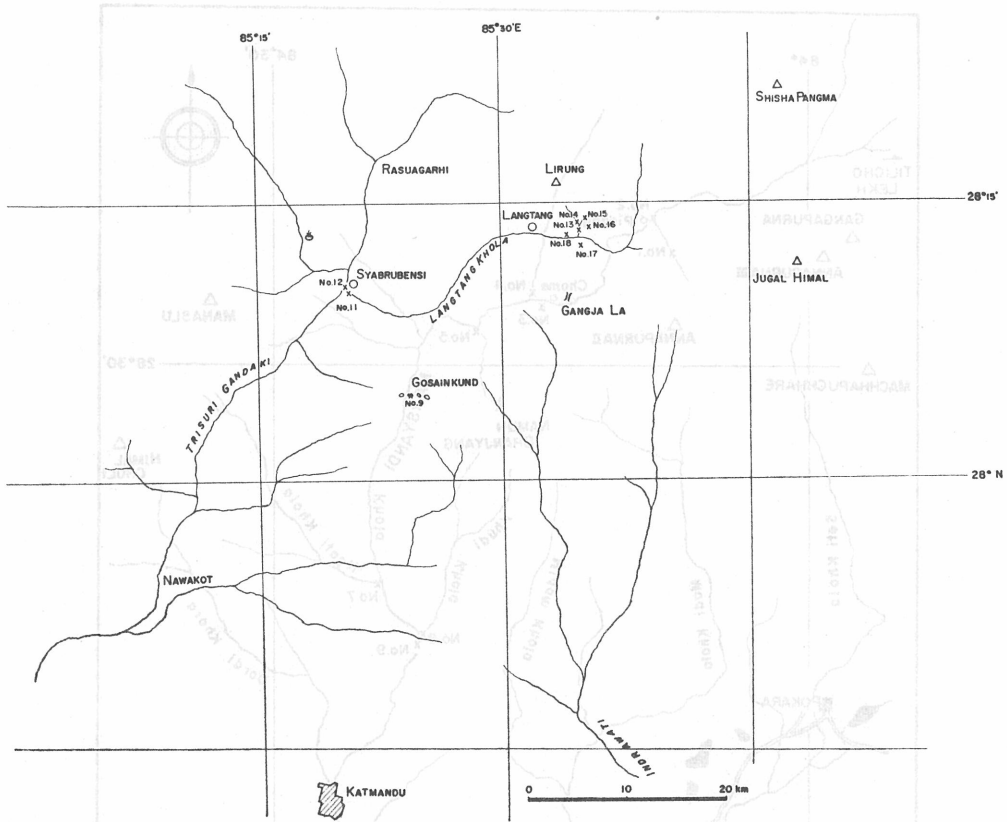
地質は下流から中央部変成堆積岩類、ヒマラヤン片麻岩、上流部はチベット層群の推積岩 (Ohta and Akiba, 1973)<sup>4)</sup>、上流に部落が多い。

No.8 : Khudi KholaがMarsyandi川に合流する手前 (Khudi)、海拔高度780 m。流域の地質は、中央部変成堆積岩類とヒマラヤン片麻岩。流域に部落多い。

No.9 : Khudi下のMarsyandi本流。海拔高度約750m。薄く白濁する。

Langtang 谷 (採水点は第2図に示す)

No.11 : Syabrubenshi。Langtang KholaがTrisuli Gandakiに合流するすぐ上。海拔高度2,000 m。懸濁水。上流に数部落あり。流域の地質はヒマラヤン片麻岩 (ザクロ石一珪線石片麻岩に黒雲母片岩と電気石花崗岩を伴う)。



第2図 Langtang Kholaの試料採取地点

- No.12: Syabrubenshi. 大ヒマラヤを横切ってチベットから流下するTrisuli Gandaki本流、懸濁した奔流。上流はヒマラヤン片麻岩とチベット層群で占められる。この川に沿ってチベットとの交易往還が通り、上流に部落が多く、温泉もある。
- No.13: Kyangjeng Gyang. Lirung氷河のモレーンの上の浅い水たまり。清澄。水たまりの下は氷。海拔高度3,850m。冬期の積雪は1.5m前後。まわりの地質は眼球片麻岩、黒雲母片岩および電気石花崗岩。
- No.14: Kyangjeng Gyang. Lirung氷河の水の末端から噴き出す懸濁水。この氷河は砂礫とその上のヤナギの植生に覆われる（黒い氷河）。海拔高度3,870m。
- No.15: Tshenji氷河（氷瀑＝白い氷河）の下の小さな氷河湖。薄く懸濁している。海拔高度4,050m。まわりの地質は黒雲母片岩と電気石花崗岩。
- No.16: Kyangjeng Gyang上。カルカ（放牧小屋）の南の小川。一部は雪原から流下するが、大部分はモレーンと黒雲母片岩の岩盤をくぐって流れ出す水。清澄。海拔高度4,150m。
- No.17: Kyangjeng Gyang対岸。ランタン川の南の古いモレーンの上の小さな水たまり。Ganja La側からの湧水がたまったものと思われる。清澄。水すましやオタマジヤクシが住む。海拔高度3,700m。
- No.18: Langtang. 眼球片麻岩の割れ目から噴き出す湧水。湧出量は約100 l / min。海拔高度3,500m。

No.19: Gosainkund. 氷河期. こゝはヒンズー教の聖地の一つで, 氷河湖がいくつもあり, 湖畔に無人のレストハウスもある. 他の湖は11月下旬に全面結氷していたが, この湖だけは朝薄氷が張っただけであった. 海拔高度4,400m. 囲りの地質は花崗岩質片麻岩.

### 3. 分析方法

- 1) pHは比色法により測定した.
- 2) Clはモール法で定量した. ただし微量の場合は試料を濃縮した後測定したものである.
- 3)  $\text{SO}_4^{2-}$ は比濁法により定量した.
- 4) アルカリ度は, メチルオレンジを指示薬として酸で滴定したものである.
- 5)  $\text{SiO}_2$ は比色法により定量した.
- 6) CaおよびMgはEDTAを用いた滴定法で定量した.
- 7) NaおよびKは炎光分光分析法または原子吸光法により定量した.
- 8)  $\text{NH}_4$ の定量にはネスラーを使用する比色法を採用した.
- 9)  $\text{PO}_4$ はモリブデン酸アンモニウムを用いた比色法で定量した.
- 10) 蒸発残渣は一定量を蒸発乾涸して後110°Cで乾燥し秤量したものである.

### 4. 結果と考察

#### 水の化学組成

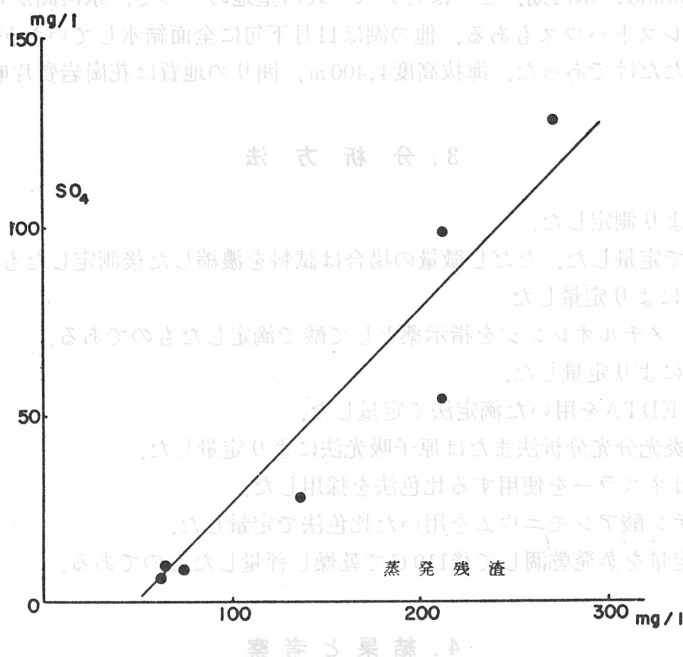
Marsyandi Kholaの水の化学組成は第1表に示す通りであるが, 成分相互の関係を検するとNo.3の温泉水を除外すれば, 第3,4図に示す通り,  $\text{SO}_4$ と蒸発残渣, NaとKの間にいずれも正の直線関係が成立する. すなわち, これらの水は同一系統のものであることが判る. また, アルカリ度は一般にCaおよびMgの重炭酸に基因するとされているが, アルカリ度とミリ当量で表わしたCa+Mgとの関係を第5図に示した. この場合直線関係は成立するが, アルカリ度/Ca+Mg(meq) = 1の線からいく分離れていることが判明した. このことはCa, Mgの重炭酸塩のほかに他の塩

第1表 Nepal Himalaya, Marsyandi Kholaの水の化学成分

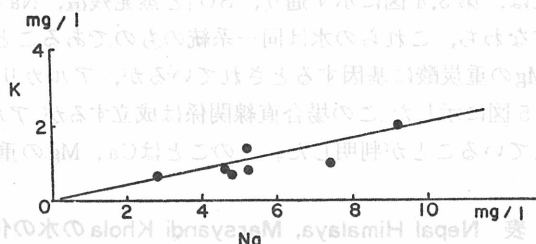
No	Date	Locality	Temp. °C	pH	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Alk. meq/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Ca+Mg meq/l	Na mg/l	K mg/l	NH mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	蒸発残渣 mg/l
1	May 13 1971	Annapuruna II北面 (Base Camp 上)	6.0	7.9	120	54	1.62	29	7.4	2.06	2.8	0.65	2.08	0.000	210
2	"	Pisang 上流300m (Marsyandi 本流)	7.5	7.8	0.8	98	1.94	13	16	1.98	4.6	0.85	0	0.000	212
3	May 14	Chame 橋下100m左岸 (Hot Spring)	31.0	7.5	321	62	1.27	40	6.8	2.56	174	8.1	0	0.011	844
4	"	Kupar (Naur Khola)	7.5	7.7	1.2	128	2.06	14	20	2.34	5.2	0.80	0	0.017	270
5	"	Namun 谷下流 (Namun Bhanjang北面)	7.0	7.0	3	7	0.76	7.9	0.44	0.43	4.8	0.70	0	0.000	61
7	May 17	Ngati Khola	13.0	6.9	6	9	0.85	8.4	1.3	0.53	7.4	1.0	0	0.011	73
8	May 18	Khudi 橋の下 (Khudi Khola)	15.5	6.7	3	10	0.62	2.6	2.0	0.29	5.2	1.4	0	0.000	63
9	"	Khudi (Marsyandi 本流)	13.5	7.2	15	28	1.29	11	4.6	0.93	9.2	2.0	0	0.011	135

Collector: T. Okamura

Analysts: K. Noguchi, K. Aikawa, and M. Imahashi



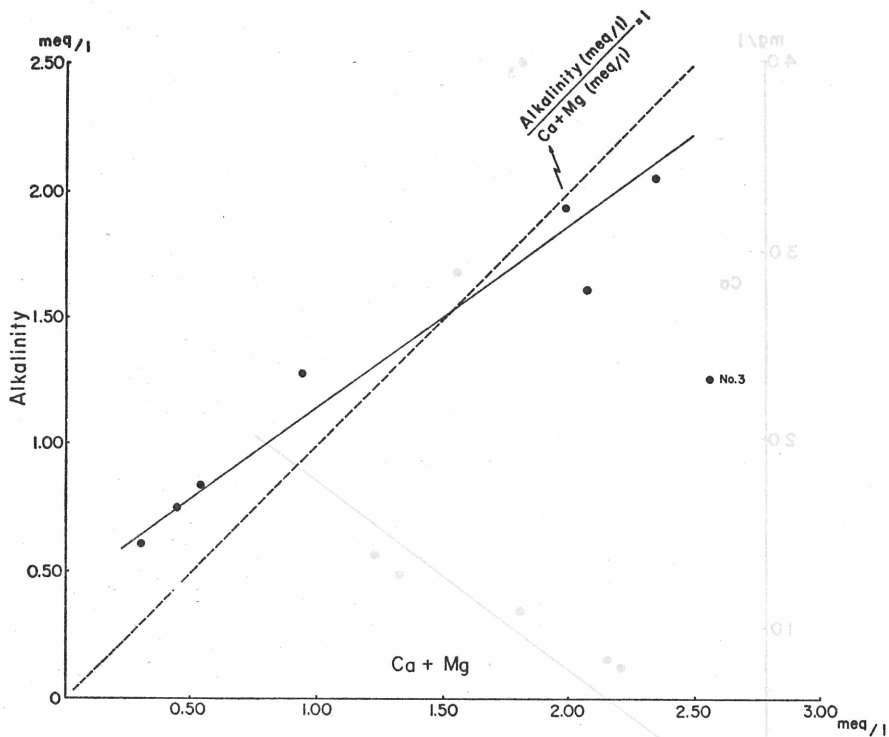
第3図 Marsyandi Kholaの水のSO<sub>4</sub>と蒸発残渣との関係  
但し(3)温泉水は除外する。



第4図 Marsyandi Kholaの水のNo.とKの関係  
但しNo.3の温泉水は除外する。

類が共存するためであろう。Caとアルカリ度との関係を第6図に示した。この場合も直線関係が成立することは明らかであるが、No.3の温泉水とNo.1がこの関係から離れている。このことは、これら2種の水はいずれも他の水と比較していちじるしく塩化物に富んでいることを考慮すればよく理解される。

次にLangtang Kholaの水の化学組成を第2表に示したが、成分相互の関係を検すると、SO<sub>4</sub>と蒸発残渣、Caと蒸発残渣、CaとMg、Caとアルカリ度の関係をそれぞれ第7、8、9、10図に示した。いずれも明らかに正の直線関係が成立する。これらのことは、これらの水が同じ系統に属することを示している。第11図にアルカリ度とCa+Mg(meq/l)との関係を示した。この場合も直線関係が成立し、この直線はアルカリ度(meq/l)/Ca+Mg(meq/l)=1の線にかなり近い。



第5図 Marsyandi Kholaの水のAlkalinity(meq/l)とCa+Mg (meq/l)との関係  
但し数字は試料番号を示す。

Marsyandi Kholaの水とLangtang Kholaの水を相互に比較すると第3表に示す通りである。温泉水は地下深部から上昇する特殊な水であるから除外すれば、Marsyandi Kholaの水はpHが大きく、中性ないし弱アルカリ性を示すが、Lang Kholaの水はわずかに酸性に傾いている。前者は一般に後者より各種化学成分に富んでいるほか、成分相互の割合を検すると、 $\text{SO}_4$ と蒸発残渣の割合、Caとアルカリ度の割合、アルカリ度とCa+Mg(meq/l)の割合において明らかに後者と異なる。このことは、Marsyandi KholaとLangtang Kholaの地質の相違に基因するであろう。

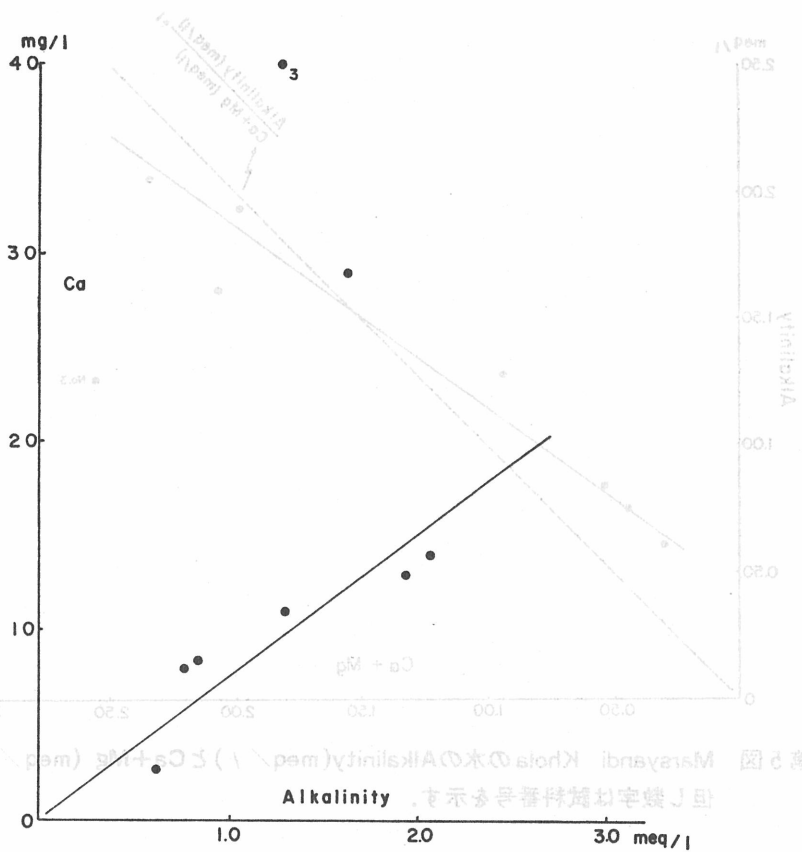
Marsyandi KholaのNo.1にはとくにアンモニヤが検出されている。このことはこの水が塩化物に富むことを考慮すると興味ある点であるが、原因は不明である。

#### 水質の地理学および地質学的考察

Langtang KholaのNo.11~No.19の水は、各化学成分がMarsyandi Kholaの水にくらべると、ほぼ1桁溶存量が少なく、そしてこれらは中部日本の高山湖や河川水（たとえば田中, 1925<sup>5)</sup>、吉村, 1931<sup>6)</sup>、今村, 1933<sup>7)</sup>、横山, 1958<sup>8)</sup>）の成分によく似ている。

たとえば、固形物について調べてみると、ヨーロッパアルプスの湖沼の水の最低値は、St. Gothart湖の4.3mg/lで、一般に10mg/l前後のものが少ない。日本の中央高地においても、今までに知られているその最低値は御岳三の池の3.8 mg/l（田中, 1925）で、他にも10mg/l前後のものは少ない。Langtang Kholaの水は、Gosainkundの氷河湖の水が10.2mg/lで、その他のものたとえば上高地の梓川の水の16.3~25.0（今村, 1933）にほぼ近い値を示している。

それらにくらべると、Marsyandi Kholaの水は一般に成分が濃いし、それぞれの溶存量も少



第6図 Marsyandi Kholaの水のCaとAlkalinityとの関係  
但し数字は試料番号を示す

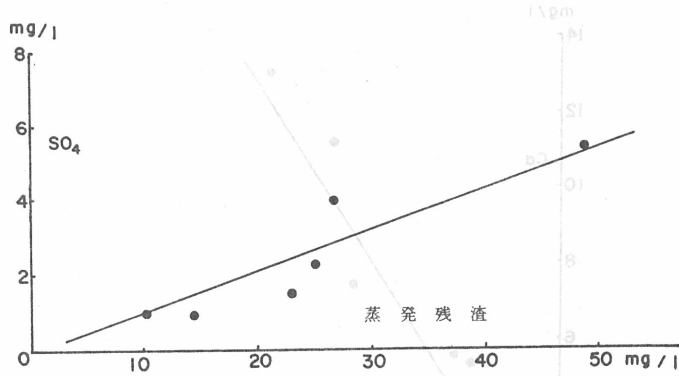
第2表 Nepal Himalaya, Langtang Kholaの水の化学成分

No.	Date	Locality	Temp °C	pH	RpH	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Alk. meq/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Ca+Mg meq/l	Na mg/l	K mg/l	蒸発残渣 mg/l
11	Oct. 4 1959	Syabrubenshi (Langtang Khola)	11	6.7	7.2	0.24	3	0.24		4.5	0.7	0.28	1.4	0.9	
12	"	" (Trisuli Gandaki)	11.5	7.0	7.7	1.0	7	0.76		13	3	0.90	2.0	1.1	
13	Oct. 8	Kyangjeng Gyang (Base Camp)	11	6.7	7.2	0.12	2.3	0.28	3.2	5.49	0.69	0.33	0.7	1.1	25.2
14	"	" (black glacier)	2	6.6	7.1	0.0	4	0.24	3.0	5.24	0.56	0.31	0.9	1.1	26.8
15	Oct. 12	Kyangjeng Gyang (white glacier)	3.5	6.5	7.0	0.1	1.0	0.13	2.2	2.30	0.37	0.14	0.4	0.8	14.4
16	Oct. 28	" (morain)	6	6.8	7.6	0.0	5.6	0.60	5.4	11.14	1.74	0.70	1.2	0.6	48.6
17	Nov. 5	Kyangjeng Gyang 南 (Ganja La side)	8	6.3	7.0	0.1	1.5	0.15	6.8	1.55	0.56	0.12	1.3	0.7	23.2
18	Nov. 15	Kyangjeng Gyang (spring)	5.5	6.7	7.6	1.0	5	0.54		7.3	1.4	0.48	3.8	1.4	
19	Nov. 23	Gosainkund	1.5	6.0	6.4	0.31	1.0	0.10	2.2	0.43	0.27	0.05	0.7	0.3	10.2

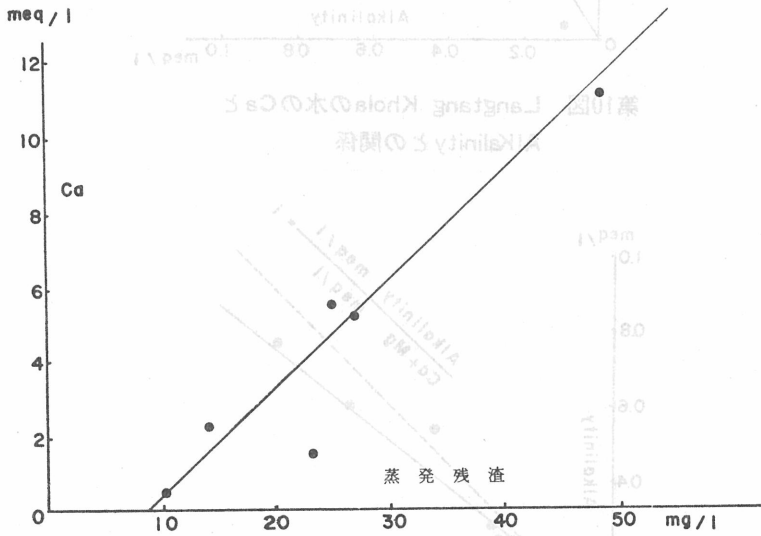
Collector : T. Yamada,

Analysts : K. Noguchi, M. Ichikuni, and S. Ueno

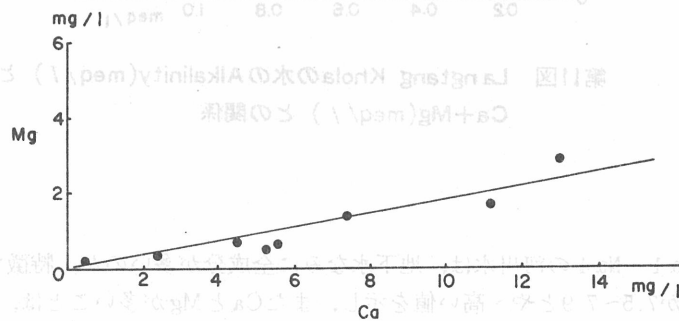




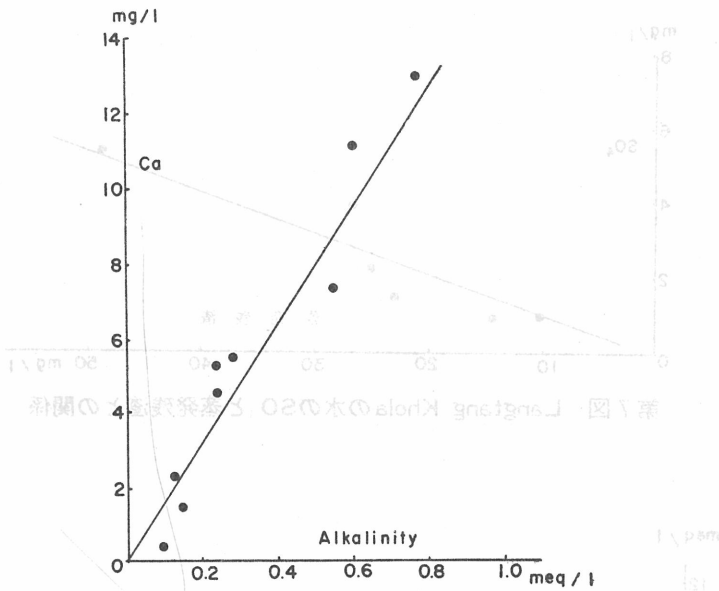
第7図 Langtang Kholaの水のSO<sub>4</sub>と蒸発残渣との関係



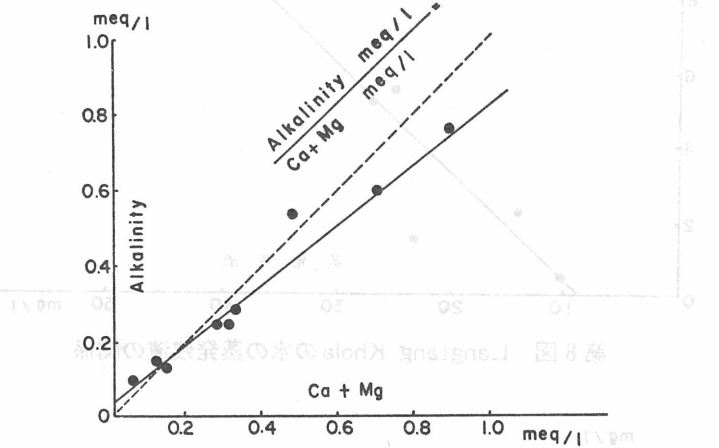
第8図 Langtang Kholaの水の蒸発残渣の関係



第9図 Langtang Kholaの水のCaとMgの関係



第10図 Langtang Kholaの水のCaと Alkalinityとの関係



第11図 Langtang Kholaの水のAlkalinity(meq/l)と Ca+Mg(meq/l)との関係

くない。とくにNo.1~No.4の河川水は、地下水なみに全成分が多いのが、特徴である。このNo.1~No.4の水のpHが7.5~7.9とやゝ高い値を示し、またCaとMgが多いことは、まわりの地質が石灰岩に富むチベット層群の堆積岩であることに関係するものと思われる。このほかにも、たとえばNo.1~No.4のSO<sub>4</sub>は54~128mg/lと高い値を示し、Langtang Kholaのその1.0~7mg/l、あるいは日本の高山湖や高地の河川水の0~3mg/lと比較しても異常に多い。

第3表 Marsyandiの水とLangtangの水との比較

	Marsyandi (1971)	Langtang (1959)
Temp. C	6.0 -15.5 (31.0)	1.5 -11.5
pH	6.7 -7.9 (7.5)	6.0 -7.0
Cl mg/l	0.8 -120 (321)	0.0 -1.0
SO <sub>4</sub> mg/l	7 -128 (62)	1.0 -7
Alkalinity meq/l	0.62-2.06 (1.27)	0.10-0.76
Ca mg/l	2.6 -29 (40)	0.43-13
Mg mg/l	0.44-20 (6.8)	0.27-3
Na mg/l	2.8 -9.2 (174)	0.4 -3.8
K mg/l	0.70-2.0 (8.1)	0.3 -1.4
SiO <sub>2</sub> mg/l	—	2.2 -6.8
NH <sub>4</sub> mg/l	0 -2.08 (0)	—
PO <sub>4</sub> mg/l	0.000-0.017 (0.011)	—
ev. Res. mg/l	61 -270 (844)	10.2-48.6

( )内は温泉水の値を示す

**Chame 温泉**

温度が31℃とあまり高くなく、湧出量も少いうえに河床に自然湧出しているので利用されていない。この温泉水をこの付近の表派水にくらべると、Cl, Na, Kにいちぢるしく富み、組成は全くことなる。また、綿抜氏らの調査したChuren Himalの温泉(綿抜・高野, 1972,<sup>9)</sup> Watanuki and Takano, 1973<sup>10)</sup>と比較すると、第4表に示す通りいずれも弱アルカリ性泉であり、塩化物、硫酸塩などの含量で類似している。そして、Churen Himalの温泉の方が、NaとKにやゝ富んでいる。ヒンズークシの西端アフガニスタンのObek温泉(安部, 1972)<sup>11)</sup>と比較すると、Chame温泉より温度は高いが、Cl, Ca, Mg, Na, Kが少なく、SO<sub>4</sub>がやゝ多いことがわかる。

日本の温泉で地質条件が似ていて成分の似た温泉をさがすと、次のようなものがあげられる。ただし〔 〕の中に付記した点は、Chame温泉とことなる。

北アルプス 宇奈月(黒なぎ) [Clが32~99mg/lで少い]

租母谷 [Clが125mg/lで少ない]

平湯

蓮華 [Kが38.2mg/lで多い]

第4表 Chame温泉と Churen Himal の温泉の比較

	Chame	Churen Himal	
		A	B
Temp. (C)	31.0	50	52
pH	7.5	7.82	7.78
Cl mg/l	321	362	348
SO <sub>4</sub> mg/l	62	25.6	19.7
Alkalinity meq/l	1.27	—	—
Ca mg/l	40	37.5	32.1
Mg mg/l	6.8	8.2	33.1
Na mg/l	174	420	268
K mg/l	8.1	54	62
HCO <sub>3</sub> mg/l	—	583	234
BO <sub>2</sub> mg/l	—	67	—
PO <sub>4</sub> mg/l	0.011	—	—
ev.Res. mg/l	844	1312	987
分析者	著者	Watanuki and Takano(1973)	

長 野 上山田 [pHが8.93で大きい]

鳥 取 三朝 [pHが6.2~7.3でやゝ小さく、Kが19~47mg/lで多い]

中部ネパール・ヒマラヤには各所に温泉が知られているが、地質概略図に重ねてその主な分布をみると第12図に示したようになる。この地域には火山は全くなく、温泉は構造線あるいは大きな衝上断層線の近くに分布するものが多いことから、これらの温泉は構造性のものであることがわかる。

## 5. 結 論

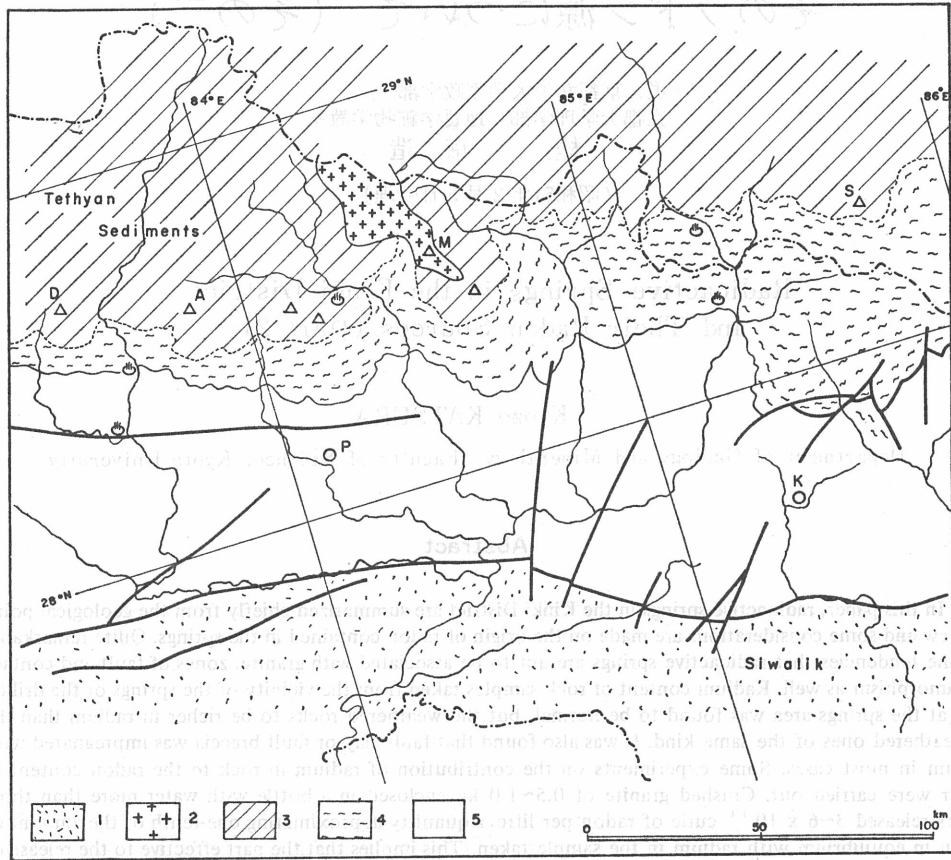
1. Langtang Kholaの水は、日本の中央高地の湖沼あるいは河川水と同じように溶存成分が少いが、Marsyandi Kholaの上流部の水は地下水程度に溶存成分の濃いものがあり、中流部で塩分濃度が薄くなる。これらの成分の違いは地質条件に支配されていると考えられる。

2. Chame温泉の水は、付近の地表水とは組成が異なり、これらは断層に沿って地下深所に浸透する間に岩盤から溶解した成分に富むものと考えられる。

## 文 献

- 1) 山田哲雄・野口喜三雄：地球化学討論会講演 (1963)
- 2) 山田哲雄・野口喜三雄ほか：温泉科学, **23**, 21 (1972)
- 3) T. Hagen, : Report on the Geological Survey of Nepal. Vol. 2, Geology of the Thakkhola, Zürich (1968)

\* ネパール語でTato Pani(=Hot Water)といわれ、地図にこの地名があることで温泉の分布が知られる。



第12図 中部ネパールの温泉分布図

(地質概略図は OHTA and AKIBA (1973) より編図)

D : Dhaulagiri, A : Annapurna I  
 M : Manaslu S : Shisha Pangma  
 P : Pokara K : Kathmandu

1 : SiWaliK層 2 : 花崗岩 3 : チベット層群  
 4 : ヒマラヤン片麻岩 5 : 中央部変成推積岩類

- 4) Y. Ohta, & C. Akiba : Geology of the Nepal Himalaya. Hokkaido Univ. (1973)
- 5) 田中阿歌麿 : 日本北アルプス湖沼の研究, 古今書院 (1925)
- 6) 吉村信吉 : 陸水雑, **1**, 25 (1931)
- 7) 今村学部 : 陸水雑, **3**, 38 (1933)
- 8) 横山時秋 : 御岳研究, 161, (1958)
- 9) 綿拔邦彦・高野稔一郎 : 温泉科学, **23**, 120 (1972)
- 10) K. Watanuki, & B. Takano : Sci. Papers, Coll. General Educ. Univ. Tokyo, **23**, (No.1), 35 (1973)
- 11) 安部喜也 : 温泉科学, **23**, 9 (1972)