

ネパール・ヒマラヤのトリスリガンダキ、 ブリガンダキ、およびマルシャンディー谷の 陸水の化学成分

山田 哲雄¹⁾・野口喜三雄²⁾・相川 嘉正³⁾・加藤尚之³⁾
塚本 邦子³⁾・渡部光則⁴⁾・市野 和雄⁵⁾

¹⁾信州大学理学部地質学教室, ²⁾東京都立大学名誉教授, ³⁾東邦大学医学部化学教室,

⁴⁾森林開発公団会津若松地方建設部, ⁵⁾神戸市土木局公園緑地部

(昭和 57 年 10 月 13 日受付, 昭和 58 年 4 月 28 日受理)

Chemical Components of the Superficial Waters of the Trisuli Gandaki, Buri Gandaki and Marsyandi Khola, Central Himalaya. — A Supplement.

Tetsuo YAMADA¹⁾, Kimio NOGUCHI²⁾, Kasho AIKAWA³⁾, Naoyuki KATO³⁾,
Kuniko TSUKAMOTO³⁾, Mitsunori WATANABE⁴⁾ and Kazuo ICHINO⁵⁾

¹⁾Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University

²⁾Professor Emeritus of Tokyo Metropolitan University

³⁾Department of Chemistry, Faculty of Medicine, Toho University

⁴⁾Aizu-Wakamatsu Regional Construction Bureau, Forestry Development
Public Corporation

⁵⁾Civil Engineering Bureau, Kobe City Office

(Received 28th April 1983)

Abstract

Seven water samples were collected from the Trisuli Gandaki river and one water sample from a hot spring of the Chilime Khola, twelve water samples from the Buri Gandaki river (one sample of lake water was included) and six water samples from the Marsyandi river.

These samples were analyzed at the Chemical Laboratory of Toho University. The analytical results were examined together with the data in the previous report.¹⁾

Though the river and stream waters from the above mentioned three catchment areas are considerably different in chemical composition, the waters from the Trisuli Gandaki, especially from the Langtang Khola, which is occupied mostly by the Himalayan gneisses, are almost neutral in pH and poorer in Cl, SO₄, alkalinity, Ca, Mg, Na and evaporated residues contents than those from the Buri Gandaki and Marsyandi rivers.

On the other hand, the waters from the upperstream of the Marsyandi river, its area being underlain chiefly by the Tethyan sediments intercalated with abundant limestone beds, are

slightly high in pH and rich in SO_4 , alkalinity, Ca, Mg and evaporated residues contents.

However, in the same catchment area, the waters of tributaries which come from the Himalayan gneiss area have similar characteristics with the waters from the Langtang Khola. In the case of the Buri Gandaki river, the chemical features of waters are similar to those of the Marsyandi catchment area.

Both in the Buri Gandaki and Marsyandi Khola, the temperatures of river and stream waters were found to decrease at the rate of 3°C for 1000 m in altitude.

The water from Tato Pani (Hot Spring) of Chilime Khola is distinctly poorer in Na, Cl and evaporated residues contents than the other hot springs in the Central Nepal Himalaya which were reported before.

1. ま え が き

前報(山田ほか, 1976)¹⁾でトリスリガンダキの支流のランタン谷とマルシャンディー谷の河水と温泉の化学成分について報告したが, その後, 1973~74年に信州大学ヒマラヤワンダリングに参加した渡部が, 前記両河川沿いと, それらの丁度真中を流下するブリガンダキ沿いで23ヶの試料(温泉1ヶを含む)を採取して日本へ持ち帰った。翌1975年, 市野が兵庫山岳連盟P-29登山隊に参加し, その帰路ブリガンダキ上流とマルシャンディー谷で7試料を補充採取して持ち帰った。これらの試料を東邦大学で相川らが化学分析をおこない, 結果がまとまったので, 前報の分析値と併せて考察し, ここに報告する。

2. 試 料

試料は, 日本から持参した新しい中ブタ付ポリエチレン瓶(11)を採取地点の水でよく洗滌したのち, 定性ろ紙(TOYO 2号)を用いてろ過し, 採水後密栓して持ち帰った。26ヶの試料の採水地点と試料番号は第1図に○印で示した。前報の採水地点も参考のため×印で示した。三つの河川ごとにあとで述べるようにそれぞれ若干の性質が異なるので, 流域ごとに三つのグループに分けて考察する。

次に各々の採水地点の状況を簡単にのべる。

a) Trisuli Gandaki 川および Langtang 谷

Trisuli Gandaki 本流はチベット側でも Rasuagarhi, Kyirong などの大きな集落が発達するが, Langtang 谷では山腹の Syarpagaon, Syabrubenshi から Gosainkund へ登る中腹の Syabru と U 字谷の底の Langtang 村しか定住村はない。

No.21: Betrawati. Trisuli Gandaki 本流, 茶色に懸濁する奔流。

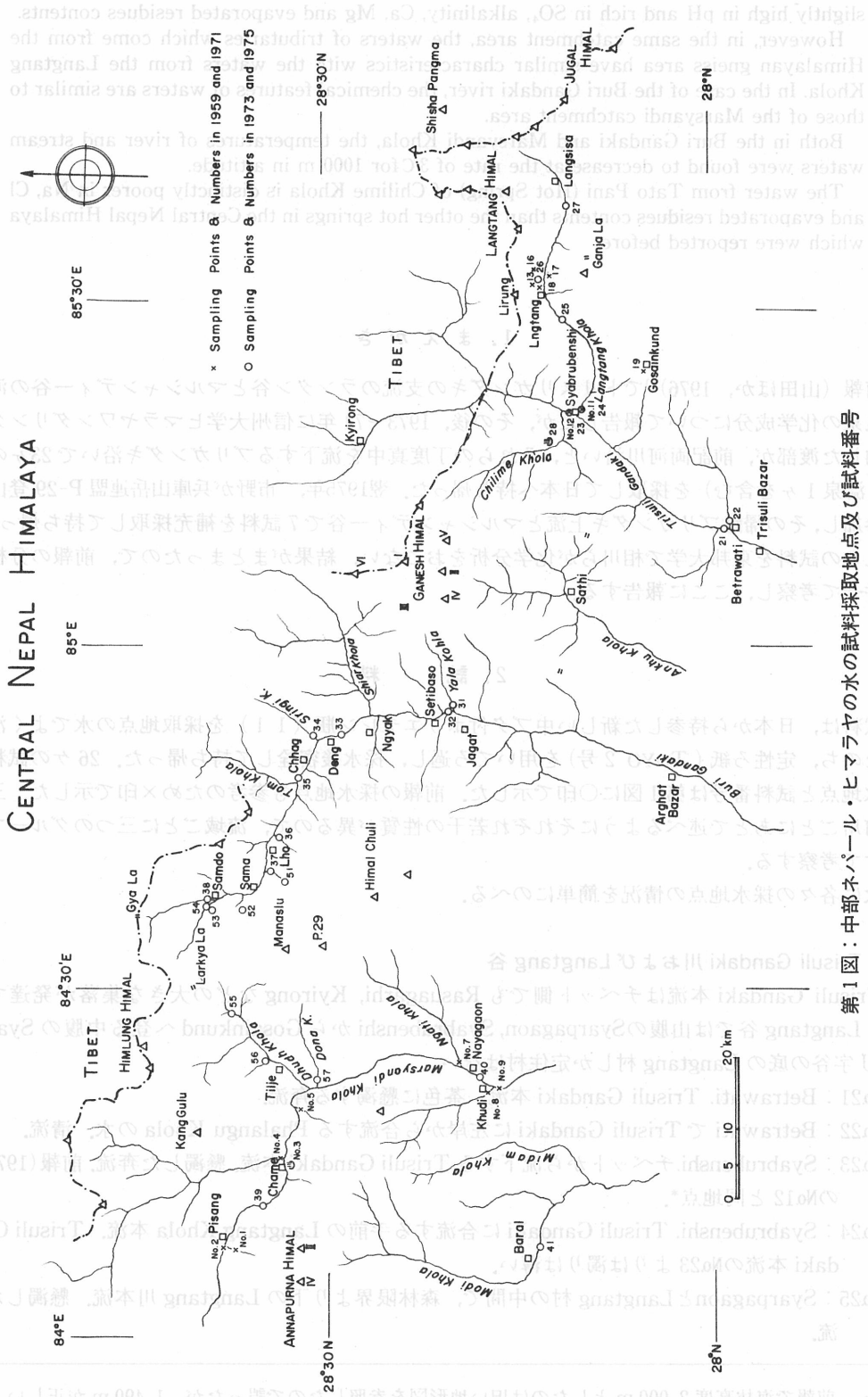
No.22: Betrawati で Trisuli Gandaki に左岸から合流する Phalangu Khola の水, 清流。

No.23: Syabrubenshi. チベットから流下する Trisuli Gandaki 本流, 懸濁した奔流。前報(1976)¹⁾の No.12 と同地点*。

No.24: Syabrubenshi. Trisuli Gandaki に合流する手前の Langtang Khola 本流, Trisuli Gandaki 本流の No.23 より濁りは薄い。

No.25: Syarpagaon と Langtang 村の中間で, 森林限界より下の Langtang 川本流, 懸濁した奔流。

* 前報で海拔高度 2,000 m としたのは古い地形図を参照したので誤ったが, 1,490 m が正しい。



第1図：中部ネパール・ヒマラヤの水の試料採取地点及び試料番号

(前報¹⁾の試料採取地点も同じ図中に示した。)

- No.26: Kyangjeng Gyang (夏期の放牧の中心地で、定住者なし)。Lirung 氷河のモレーンの下を流れる清澄な小川。
- No.27: Kyangjeng Gyang と Langsisa (夏期の放牧地) の間の Langtang 川上流、Pouggen Dopku 氷河出合より 500 m 上流の Nubmatang Karka. 採水時 (朝 7 時 50 分) 表面に薄氷が張った。広い河原を薄く白濁^{*1)}した水がゆるやかに流れる部分。
- No.28: Chilime Khola の温泉。4 m×7 m×1 m (深さ) のプール端で温度は 44°C。湧出孔はプールから 30 m 位山手の樹林帯中の斜面で、そこでは手に触れた熱さから 50°C をこえると推定された。湧出孔からプールまでは木の樋で引湯している。この温泉の下流に、徒歩で約 15 分の位置に人家 2 軒 (地名 Bargaon) があるのみ。近在だけでなく、峠を越えて Ankhu Khola 周辺の村落からも湯治に来るとのことである。採水時の 11 月 30 日にも 10 人位の湯治客があった。

b) Buri Gandaki 川

Buri Gandaki は Lho から下流は峡谷で激流であるが、Sama 付近からは U 字谷で谷底が開けて、川は瀬になって広がる。

- No.31: Buri Gandaki に合流する手前の Yala Khola 本流。清澄。
- No.32: Yala Khola Doban^{*2)}のすぐ上流側の Buri Gandaki 本流。黒灰色に懸濁^{*3)}した奔流。
- No.33: Deng 村から徒歩で約 1 時間下流の Buri Gandaki 本流。黒灰色に懸濁^{*3)}。
- No.34: Bih 村上流で Buri Gandaki に左岸から合流する Sringi Khola 本流。清澄。
- No.35: Chhag~Namru 間でチベットから流下して Buri Gandaki へ合流する Tom Khola 出合より数 100 m 下流の Buri Gandaki 本流の水。黒灰色に懸濁^{*3)}しているが、この濁りの大部分は Tom Khola からのものである。Tom Khola は普段澄んでいるが、採水時頃突然濁りはじめたらしい。3~4 年前にも同じようなことがあったと住民の証言があり、上流で大規模な崩壊があったものと考えられる。
- No.36: Himal Chuli と P.29 (山名) の間から流下する Lidanda 氷河からの水。樹林帯の中の清澄な小川。
- No.37: Manaslu と P.29 の間の Pungen 氷河から流下する小川。かんば、しゃくなげなどの灌木とヒマラヤ五葉松の混交林の中の清流。
- No.38: Samdo. Gya La 峠 (Samdo から半日行程のチベットとの国境) からの清流。岩肌と礫の谷。
- No.51: No.37 の上流で、Pungen 氷河の末端が小川として流れはじめる地点の清流。まわりに夏の放牧小屋がある。
- No.52: Manaslu 氷河末端の湖 (マナスルポカリ—Sama 村からモレーンの上を徒歩で約 1 時間) の水。雪崩によると思われる雪が湖の半分を埋めていた。
- No.53: Samdo 部落の南で Naik Peak からの小川が Buri Gandaki へ合流する手前。まわりは一面の放牧地。
- No.54: Buri Gandaki の源流。Gya La 側の谷と Larkya La への谷の合流点から後側へ約 100

*1) 白沈の原因についてはあとで述べる。

*2) Doban は川の出合を意味する地名。

*3) Tom Khola の土砂崩れあとの粘土の混入によるようである。分析結果からは黒色析出物は考えられない。

m 遡った地点の清流。まわりは草原である。

c.) Marsyandi Khola

No.55 : Dhudh Khola 源流。白い花こう岩の山 Himlum Himal と Cheo Himal を涵養区とする長大な水河^{*1)}の末端で、10 m 以上の厚い氷の下から湧き出る水。乳白色^{*2)}に濁っていた。

No.56 : Dhudh Khola 本流に右岸から合流する小川、Kang Gulu の南の小さなピークから流れ出る森林帯の中の清流。近くにトウモロコシ畑がある。

No.57 : Dona Khola を Marsyandi 川への合流点から約 50 m 遡った清流。

No.39 : Chame と Pisang の間の Marsyandi 川本流。清澄。

No.40 : Nayagaon と Khudi の間の Marsyandi 川本流。清澄。

No.41 : Baral. Modi Khola 本流の水。清澄。

3. 分析方法

Fe : 0-フェナントロリンを用いた比色法で定量した。^{*3)}

Mn : 試料水 20 ml (Mn^{2+} 4 mg/l 以下を含む) をとり、ホルムアルドキシム試薬及び pH 10 の緩衝液をそれぞれ 1 ml ずつ加え、かき混ぜて 5 分放置して発色させる。温度を 25~30℃ とし、L-アスコルビン酸ナトリウム 10 mg と 0.1 M EDTA 1 ml を加えかき混ぜ 10 分放置して鉄ホルムアルドキシム錯塩を分解し、波長 450 μ で吸光度を測定し、予め作成した検量線から Mn 濃度を求めた。^{*4)}尚、第 1~3 表中のその他の化学成分の測定法は前報¹⁾と同一であるから、ここには省略する。

4. 結果と考察

I 水温と標高との関係

水温を縦軸に、標高を横軸にとって図示すると、1973 年 12 月に採取した Buri Gandaki の水については第 2₁ 図、1971 年 5 月及び 1975 年 5 月に採取した Marsyandi Khola の水については第 2₂ 図に示す結果が得られた。一般に 5 月の値が 12 月の値より高いのは、日射量と気温のちがいがから当然である。本流の水はともかく、水量の少ない溪流の水は、空気や河床の礫との接触により、昼頃に高くなることも期待される。

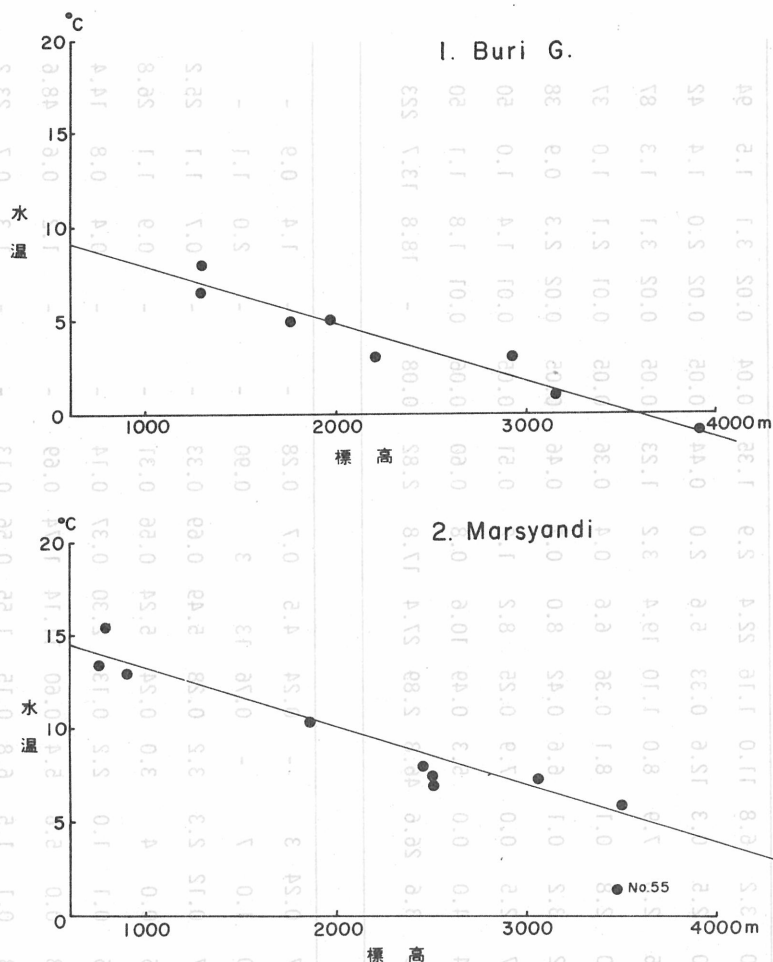
採水時間は午前 8 時から午後 3 時まででにわたるが、昼前後に採られたものが多い。標高が高くなるに従って水温は低下し、標高 1,000 m についての温度低下は Buri Gandaki, Marsyandi Khola とも 3.1℃ と良く一致した。但し、No.55 は氷河から直接出る水であるから、この直線関係から低温側へはずれる。

*1) この氷河は中部ネパールではめずらしい大型氷河で、7000 m 前後の山に囲まれた涵養地から氷舌が森林帯の中まで押し出し、側堆石が高さ 200 m に達する。

*2) 水のカルシウム含量は分析の結果 $CaCO_3$ の溶解度をやや越えているが河床の礫には白色析出物はなかったことから水中に浮遊する岩石粉末と思われる。氷河の末端ではめずらしくない。

*3) 日本分析化学会北海道支部編、水の分析 (新版) P 277~281²⁾

*4) 日本分析化学会北海道支部編、水の分析 (新版) P 287~289²⁾



第2図：(1) Buri Gandaki (Dec, 1973) と(2) Marsyandi Khola
(May, 1971, 1975) の水の温度と標高との関係

II 水の化学組成

著者らの調査した中部ネパールヒマラヤの水の採水位置を第1図に示した。また、それらの分析値は第1, 2, 3表に掲げる通りである。なお、今回は前報¹⁾のデータを含めて考察する。

これらの試料は、その流域によって、(1) Trisuli Gandaki 及びその支流 Langtang Khola, (2) Buri Gandaki, (3) Marsyandi Khola の3グループに分けられる。それぞれのグループの水の化学成分について、成分相互の関係を検討すると(但し、温泉水は河水とは本質的に異なるのでここでは除く)、次の通りである。

1) CaとAlkalinityの関係を第3₁, 3₂, 3₃図に示した。何れも正の直線関係が成立する。Trisuli Gandaki 及びその支流 Langtang Khola の値は、Buri Gandakiの値とほぼ同じ直線上に配列されるが、後者の方がCa及びAlkalinityの含量が大きい。また Marsyandi Khola では前2者に比較してCa/Alkalinity比がAlkalinityの側にずれているものが若干みとめられる。

2) (Ca+Mg) meq/lとAlkalinityの関係を第4₁, 4₂, 4₃図に示した。何れも正の直線関係が成立する。Trisuli Gandaki 及びその支流 Langtang Khola の水では各試料はほぼ原点を通る直線上に配列されており、Alkalinity/(Ca+Mg) meq/l比は1に近い。このことからCa及

第1表：Nepal Himalaya, Trisuli Gandaki の水の化学成分

No.	Date	Locality	Height (m)	Temp. °C	pH	Cl mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l	Alk meq/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cat+Mg meq/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ev. Res. mg/l
21	Oct. 26 1973	Betrawati (Trisuli G.)	680	14.5	7.0	3.2	6.8	11.0	1.16	22.4	2.9	1.35	0.04	0.02	3.1	1.5	94
22	"	Betrawati (Phalangu Khola)	680	22.0	7.0	2.5	0.3	12.6	0.33	5.6	2.0	0.44	0.05	0.02	2.0	1.4	42
23	Oct. 23	Syabrubenshi (Trisuli G.)	1,480	9.0	7.5	2.8	7.9	8.0	1.10	19.4	3.2	1.23	0.05	0.02	3.1	1.3	87
24	"	Syabrubenshi (Langtang Khola)	1,490	8.0	7.0	2.8	0.1	8.1	0.36	6.6	0.4	0.36	0.05	0.01	2.1	1.0	37
25	Oct. 22	Syarpagaon~ Langtang	2,500	8.0	7.2	3.2	0.1	6.6	0.42	8.0	0.7	0.46	0.05	0.02	2.3	0.9	38
26	Oct. 21	Kyangjeng Gyang	3,730	5.0	6.7	2.5	0.0	7.9	0.25	8.2	1.2	0.51	0.05	0.01	1.4	1.0	50
27	"	Kyangjeng Gyang ~ Langsisa	3,950	-0.5	7.4	4.0	0.0	5.3	0.49	10.6	0.8	0.60	0.06	0.01	1.8	1.1	50
28	Nov. 30	Tato Pani (温泉) (Chilime Khola)	2,640	>44	8.0	3.6	26.6	46.8	2.89	27.4	17.8	2.82	0.08	-	18.8	13.7	223
11	Oct. 4 1959	Syabrubenshi (Langtang Khola)	1,480	11	6.7	0.24	3	-	0.24	4.5	0.7	0.28	-	-	1.4	0.9	-
12	"	Syabrubenshi (Trisuli G.)	1,480	11.5	7.0	1.0	7	-	0.76	13	3	0.90	-	-	2.0	1.1	-
13	Oct. 8	Kyangjeng Gyang (Base Camp)	3,850	11	6.7	0.12	2.3	3.2	0.28	5.49	0.69	0.33	-	-	0.7	1.1	25.2
14	"	Kyangjeng Gyang (black glacier)	3,870	2	6.6	0.0	4	3.0	0.24	5.24	0.56	0.31	-	-	0.9	1.1	26.8
15	Oct. 12	Kyangjeng Gyang (white glacier)	4,050	3.5	6.5	0.1	1.0	2.2	0.13	2.30	0.37	0.14	-	-	0.4	0.8	14.4
16	Oct. 28	Kyangjeng Gyang (morain)	4,150	6	6.8	0.0	5.6	5.4	0.60	11.14	1.74	0.69	-	-	1.2	0.6	48.6
17	Nov. 5	Kyangjeng Gyang (Ganja La side)	3,700	8	6.3	0.1	1.5	6.8	0.15	1.55	0.56	0.13	-	-	1.3	0.7	23.2
18	Nov. 15	Kyangjeng Gyang (spring)	3,500	5.5	6.7	1.0	5	-	0.54	7.3	1.4	0.48	-	-	3.8	1.4	-
19	Nov. 23	Gosatinkund	4,400	1.5	6.0	0.31	1.0	2.2	0.10	0.43	0.27	0.04	-	-	0.7	0.3	10.2

註：下の表のNo.11~19は前報¹⁾に記載したもので参考のため掲げる。

第2表: Nepal Himalaya, Buri Gandaki の水の化学成分

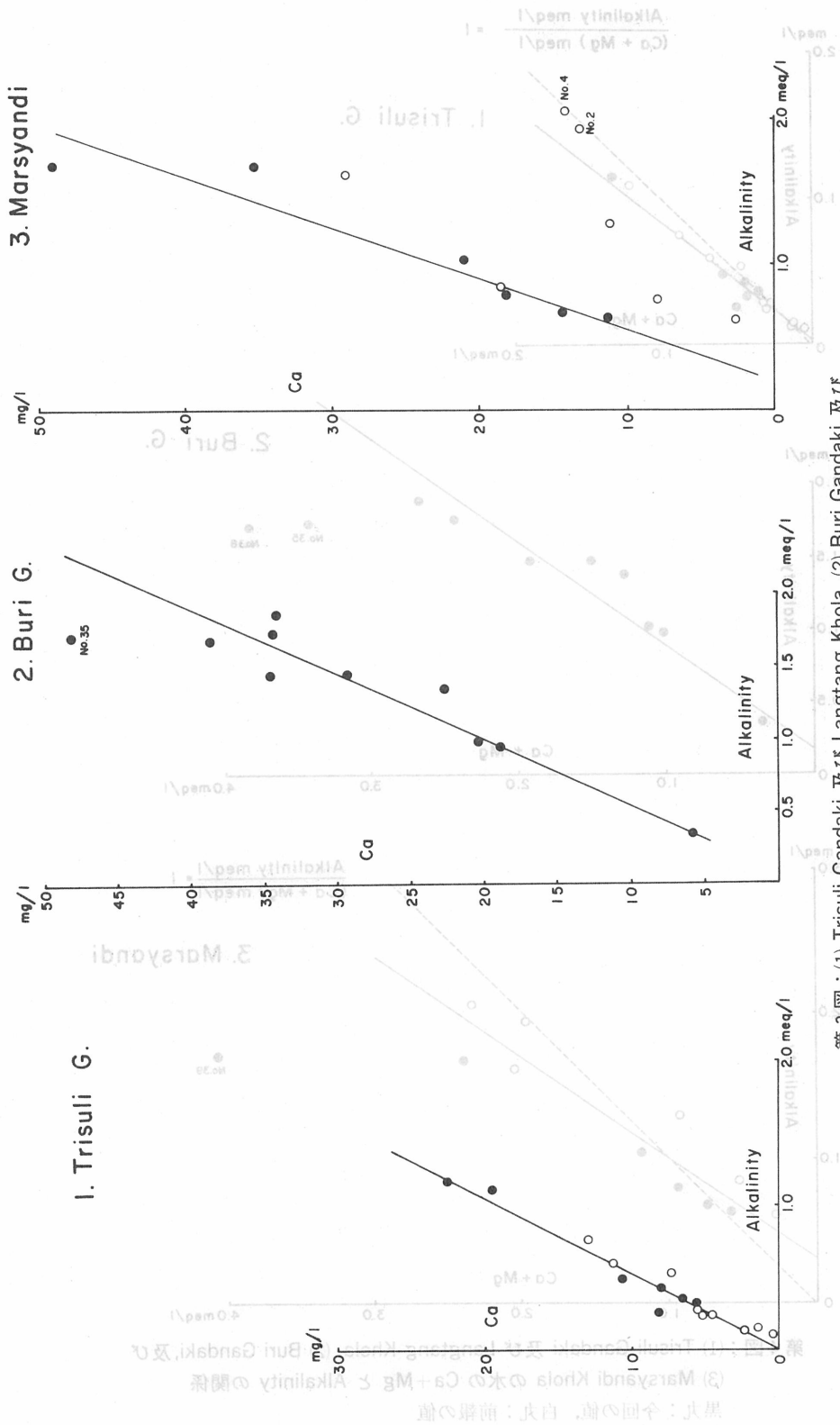
No.	Date	Locality	Height (m)	Temp. °C	pH	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	SiO ₂ mg/l	Alk meq/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Ca+Mg meq/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ev. Res. mg/l
31	Dec. 12 1973	Yala Khola	1,280	6.5	7.0	2.8	0.0	6.3	0.35	5.9	0.7	0.35	0.06	0.06	1.8	1.1	35
32	"	Yala Khola 出合上流 (Buri Gandaki)	1,280	8.0	8.0	4.8	23.7	7.4	1.75	34.3	8.8	2.43	0.06	0.02	4.0	1.1	151
33	Dec. 14	Deng 下流 (Buri Gandaki)	1,760	5.0	8.0	5.6	-	-	-	37.7	12.4	2.90	-	-	8.1	2.2	84
34	Dec. 15	Sringi Khola	1,970	5.0	8.0	4.8	24.9	4.9	1.88	34.1	11.9	2.68	0.05	0.01	1.9	0.9	135
35	"	Chhag 上流 (Buri Gandaki)	2,200	3.0	7.9	6.8	31.8	6.1	1.73	48.1	12.7	3.43	0.05	0.02	4.3	1.0	170
36	Dec. 16	Lidanda Glacier	2,920	3.0	7.9	7.2	3.6	7.7	1.46	34.6	2.3	1.91	0.06	0.01	4.5	1.4	98
37	Dec. 17	Pungen Glacier	3,150	1.0	8.2	2.5	15.0	11.1	-	40.2	1.6	2.13	0.06	0.01	1.4	0.9	83
38	Dec. 20	Samdo 出合上流 (Gya La River)	3,900	-1.0	7.9	4.0	64.0	5.5	1.70	38.6	23.2	3.83	0.05	0.02	3.4	0.8	224
51	May 8 1975	Pungen Glacier	3,830	4.8	7.8	2.4	0.0	1.4	1.46	29.2	0.0	1.45	0.06	0.01	0.4	0.3	81
52	May 11	Manaslu Glacier	3,490	3.5	7.7	1.6	0.0	1.9	1.00	20.4	1.1	1.11	0.06	0.01	0.8	0.6	64
53	May 12	Samdo 出合上流 (Gya La River)	3,640	2.5	7.6	2.4	0.0	1.4	0.96	18.9	0.8	1.01	0.06	0.01	0.5	0.3	55
54	May 13	Samdo 出合上流 (Larkya La River)	3,745	5.5	7.8	2.8	1.6	3.8	1.36	22.6	1.8	1.27	0.05	0.01	1.1	0.6	73

表3番: Nepali Himalaya, Buri Gandaki の水の化学成分

第3表：Nepal Himalaya, Marsyandi Khola の水の化学成分

No.	Date	Locality	Height (m)	Temp. °C	pH	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	SiO ₂ mg/l	Alk meq/l	Ca mg/l	Mg mg/l	CatMg meq/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ev. Res. mg/l
55	May 16 1975	Dhudd Khoia (Glacier)	3,465	1.5	7.4	2.4	0.3	13.3	0.64	11.2	0.4	0.59	0.06	0.02	2.4	2.4	57
56	May 17	Dhudd Khoia	2,450	8.0	7.4	2.4	0.0	4.8	0.68	14.3	0.5	0.75	0.06	0.01	1.2	0.6	47
57	May 18	Dona Khoia	1,850	10.5	7.4	4.0	0.0	4.1	0.80	18.0	0.5	0.94	0.06	0.01	1.4	1.1	60
39	Dec. 28 1973	Chame~Pisang	2,980	0.0	8.0	4.0	53.2	5.4	1.70	48.9	19.9	4.07	0.04	0.03	3.1	1.4	212
40	Jan. 2	Nayagaon~	960	8.0	7.9	21.6	25.1	8.2	1.68	35.3	7.8	2.40	0.07	0.01	14.2	2.8	179
41	Jan. 5 1974	Bara~ (Madi Khoia)	680	11.0	7.6	5.2	2.9	9.3	1.04	20.8	1.8	1.19	0.06	0.01	3.1	2.1	83
1	May 13 1971	Annapuruna (Base Camp)	3,500	6.0	7.9	120	54	-	1.62	29	7.4	2.05	-	-	2.8	0.65	210
2	" 12	Pisang (Marsyandi)	3,050	7.5	7.8	0.8	98	-	1.94	13	16	1.97	0.02	0.01	4.6	0.85	212
3	May 14	Chame (Hot Spring)	1,180	31.0	7.5	32	62	-	1.27	40	6.8	2.55	-	-	174	8.1	844
4	" "	Kupar (Naur Khoia)	2,500	7.5	7.7	1.2	128	-	2.06	14	20	2.34	0.02	0.05	5.2	0.80	270
5	" 15	Namun Valley	2,500	7.0	7.0	3	7	-	0.76	7.9	0.44	0.43	-	-	4.8	0.70	61
7	May 17	Nagti Khoia	900	13.0	6.9	6	9	-	0.85	8.4	1.3	0.53	-	-	7.4	1.0	73
8	May 18	Khudi (Khudi Khoia)	780	15.5	6.7	3	10	-	0.62	2.6	2.0	0.29	-	-	5.2	1.4	63
9	" "	Khudi (Marsyandi)	750	13.5	7.2	15	28	-	1.29	11	4.6	0.93	-	-	9.2	2.0	135

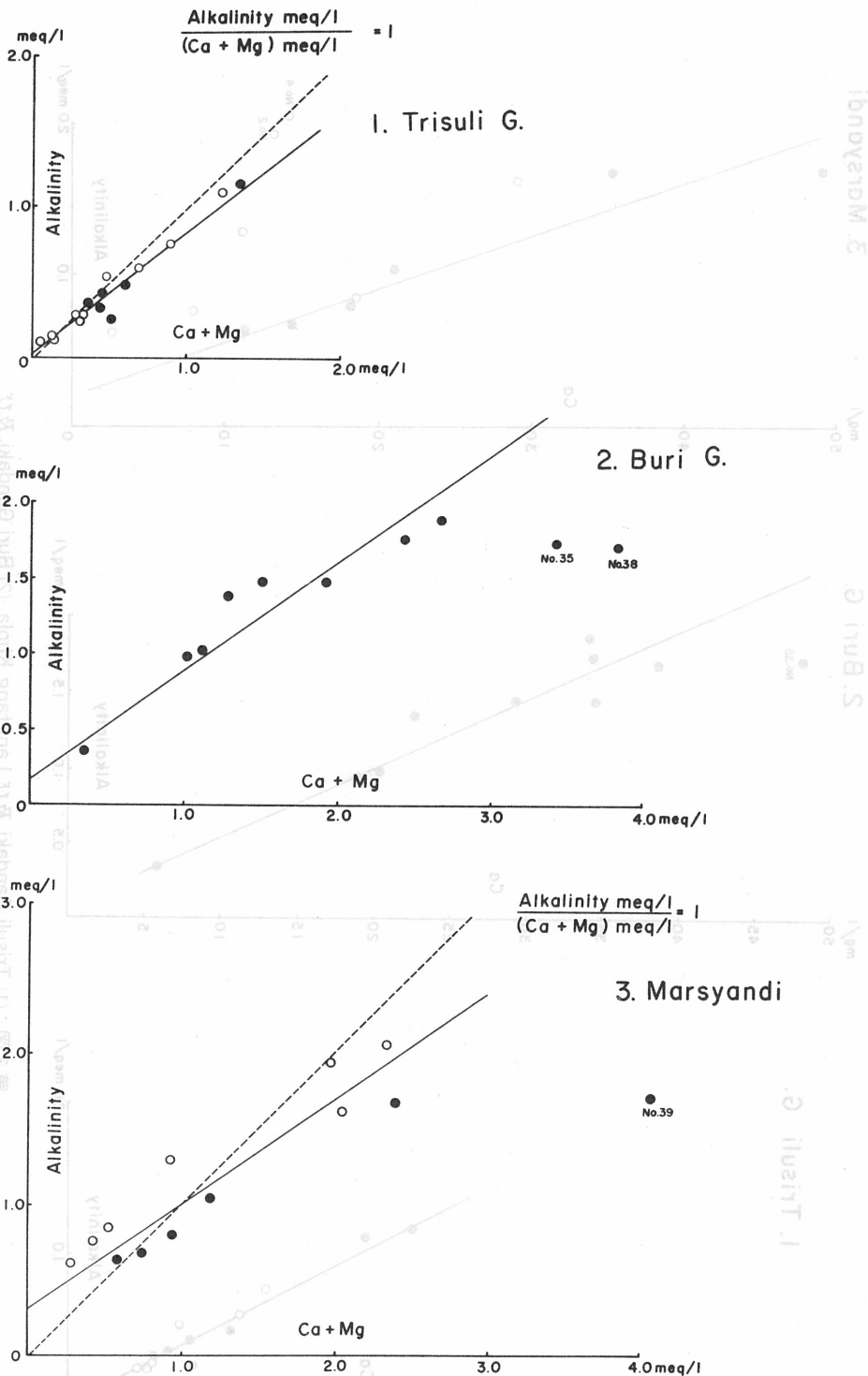
註：下の表のNo.1~9 は前報¹⁾に記載したもので参考のため掲げる。



第3図：(1) Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola, (2) Buri Gandaki, 及び

(3) Marsyandi Khola の水の Ca と Alkalinity の関係

(No. 3 と No.28の温泉は除く) 黒丸：今回の値, 白丸：前報の値



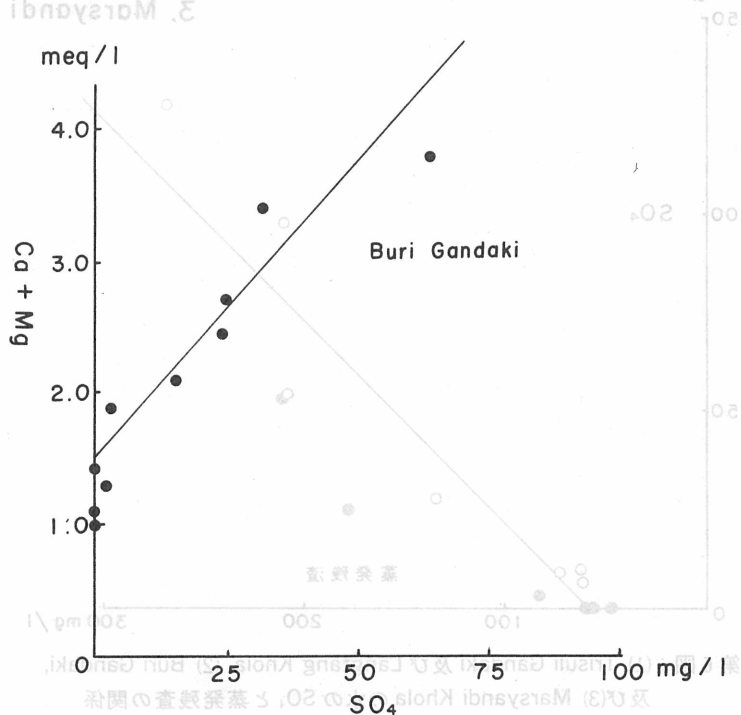
第4図：(1) Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola, (2) Buri Gandaki, 及び (3) Marsyandi Khola の水の Ca+Mg と Alkalinity の関係
 黒丸：今回の値, 白丸：前報の値

び Mg はほとんど重炭酸塩として水中に溶存することがわかる。No.27 の白沈は単なる粘土の混入に基因するようである。水の分析結果からは Ca 含量が CaCO_3 の溶解度をやや越えているが、河床の砂礫には白色の析出物は見られなかった、

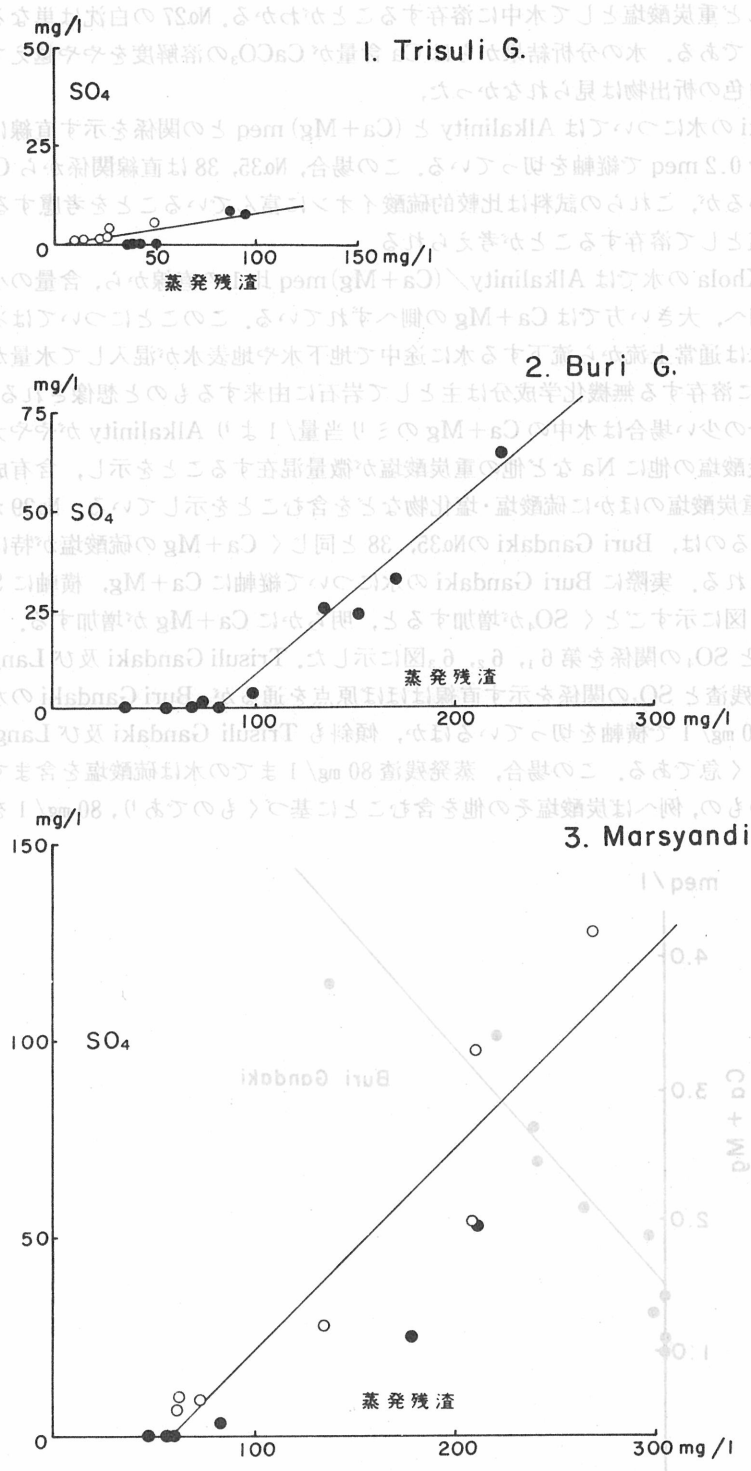
Buri Gandaki の水については Alkalinity と $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{ meq}$ との関係を示す直線は原点を通らず、Alkalinity 0.2 meq で縦軸を切っている。この場合、No.35, 38 は直線関係から $\text{Ca}+\text{Mg}$ 側へ著しくずれているが、これらの試料は比較的硫酸イオンに富んでいることを考慮すると、Ca, Mg の一部が硫酸塩として溶存することが考えられる。

Marsyandi Khola の水では Alkalinity / $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{ meq}$ 比 1 の直線から、含量の小さい方では Alkalinity の側へ、大きい方では $\text{Ca}+\text{Mg}$ の側へずれている。このことについては次のように考えられる。河水は通常上流から流下する水に途中で地下水や地表水が混入して水量が増加する。この場合、水中に溶存する無機化学成分は主として岩石に由来するものと想像される。Marsyandi 川では含有成分の少ない場合は水中の $\text{Ca}+\text{Mg}$ のミリ当量/l より Alkalinity がやや大きい。即ち $\text{Ca}+\text{Mg}$ の重炭酸塩の他に Na など他の重炭酸塩が微量混在することを示し、含有成分の多い水は $\text{Ca}+\text{Mg}$ の重炭酸塩のほかに硫酸塩・塩化物などを含むことを示している。No.39 が著しく $\text{Ca}+\text{Mg}$ 側へずれるのは、Buri Gandaki の No.35, 38 と同じく $\text{Ca}+\text{Mg}$ の硫酸塩が特に多く溶存するためと考えられる。実際に Buri Gandaki の水について縦軸に $\text{Ca}+\text{Mg}$ 、横軸に SO_4 をとって図示すると第 5 図に示すごとく SO_4 が増加すると、明らかに $\text{Ca}+\text{Mg}$ が増加する。

3) 蒸発残渣と SO_4 の関係を第 6₁, 6₂, 6₃ 図に示した。Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola の水では、蒸発残渣と SO_4 の関係を示す直線はほぼ原点を通るが、Buri Gandaki の水ではその直線は蒸発残渣 80 mg/l で横軸を切っているほか、傾斜も Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola の場合より著しく急である。この場合、蒸発残渣 80 mg/l までの水は硫酸塩を含まず、蒸発残渣は硫酸塩以外のもの、例へば炭酸塩その他を含むことに基づくものであり、80 mg/l を越えるもの



第 5 図 : Buri Gandaki の水の $\text{Ca}+\text{Mg}$ と SO_4 の関係



は硫酸塩を含み、主としてその量の増加によって蒸発残渣が増加することを示している。Marsyandi Kholaの水では、蒸発残渣と SO_4 の関係をあらわす直線は、蒸発残渣 60 mg/l で横軸を切り、傾斜は Buri Gandaki よりもさらに急であり、各試料の値はこの直線関係からはずれるものがあり、ばらつきが大きい。この場合、蒸発残渣の増加は主として硫酸塩の増加によるものと考えられるが、直線関係にばらつきがある点を考慮すると、硫酸塩以外の成分、例えば塩化物・重炭酸塩その他によっても若干増加することを示している。

4) 蒸発残渣と SiO_2 の関係を第7₁、7₂、7₃図に示した。含有成分の少い Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola の水では蒸発残渣と SiO_2 の間には原点を通る正の直線関係が成立し、蒸発残渣が増加するに従って SiO_2 の含量も増加することが認められた。しかし、含有成分の多い Buri Gandaki 及び Marsyandi Khola の水ではいずれの試料も SiO_2 含量が少く、各試料は横軸にはほぼ平行な直線上に配列され、従って蒸発残渣が増加しても SiO_2 含量は増加しない。

5) Na と K の関係を第8₁、8₂、8₃図に示した。いずれの場合もほぼ似たような直線関係が成立する。これらの直線は Trisuli Gandaki 及び Buri Gandaki の水ではおよそ $K=0.5 \text{ mg/l}$ で縦軸を切るが、Marsyandi Khola の水ではほぼ原点を通る。Marsyandi Khola の水には、この直線関係よりも K に富むものが若干ある。

III Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola, Buri Gandaki, Marsyandi Khola の化学成分の比較

河水の化学成分は降雨により、また採水時刻によって変化するから、それらを単純に比較することは困難であるが、ここでは3つの川の流域の水の化学成分をそれぞれの平均値に重点をおいて観察すると第4表の結果が得られる。Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola の水は、他の2者に比較して Cl, SO_4 , Alkalinity, Ca, Mg, Na, 蒸発残渣等の含量が少く、純水に近い(即ち氷河の氷が溶けたままの状態に近い)ことがわかる。水温は Buri Gandaki の水が最も低い、12月に採水されたものが多いためであろう。pH については Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola の水はほぼ中性であるが、他の2者は幾分アルカリ性に傾いている。前報でも述べたように、石灰岩の多いチベット層群の分布域が広い Marsyandi Khola の上流地域の水と Marsyandi 本流の水は溶存成分も多く pH もやや高い。Buri Gandaki でも同様の傾向が認められる。

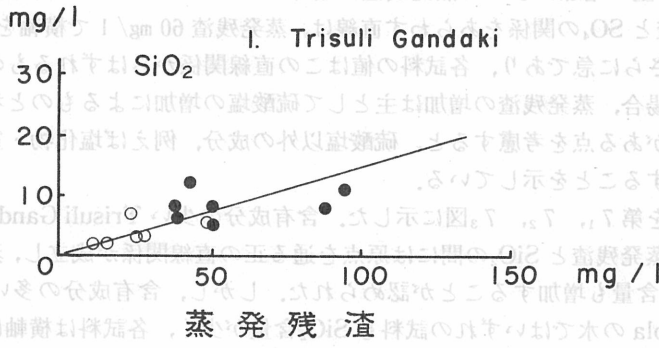
第9図に Marsyandi Khola, Buri Gandaki, Trisuli Gandaki の流域における SO_4 の分布を示した。 SO_4 は Marsyandi Khola 及び Buri Gandaki の水に多いことが極めて明瞭である。これらの本流に流入する支流の水、即ち、Marsyandi Khola では、No. 5, 7, 8, 55, 56, 57, Buri Gandaki では No. 31, 36, 51, 52, 53, 54 等はいづれも SO_4 が少い点が注目に値する。これら SO_4 に富む水は概して Ca にも富んでいる。

IV 温泉水の化学成分とその成因

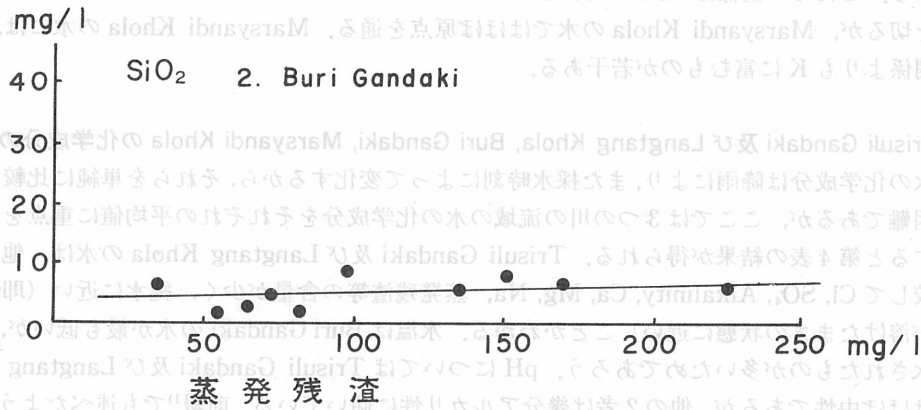
温泉水はその場所で深部から上昇した高温の水であり、河水はその地域の冷い地表水であるから本質的に異なるが、今 Trisuli Gandaki 流域の Chilime Khola の Tato Pani (温泉) を付近の地表水と比較すれば、第1表に示した通り、温泉水は水温が 44°C 以上であるだけでなく pH は 8.0 でアルカリ性を示し、河水より SO_4 、 SiO_2 、Alkalinity, Ca, Mg, Na, K, 蒸発残渣に富んでいる。しかし、蒸発残渣は 223 mg/l に過ぎないからアルカリ性単純泉に属する。

塩化物の含量は 3.6 mg/l で非常に少く、その地域の河水と大差ない。この温泉に含まれる Cl^- 、 SO_4^{--} 、Alkalinity の含量を 1 l 中のミリ当量で比較すると 0.10 : 0.55 : 2.89 となる。Alkalinity は一般に Ca, Mg などの重炭酸塩に基因するとされているから、この温泉の成因については次のように考えられる。この地域の地質はヒマラヤン片麻岩であるが、岩漿の揮発物質のもっとも末

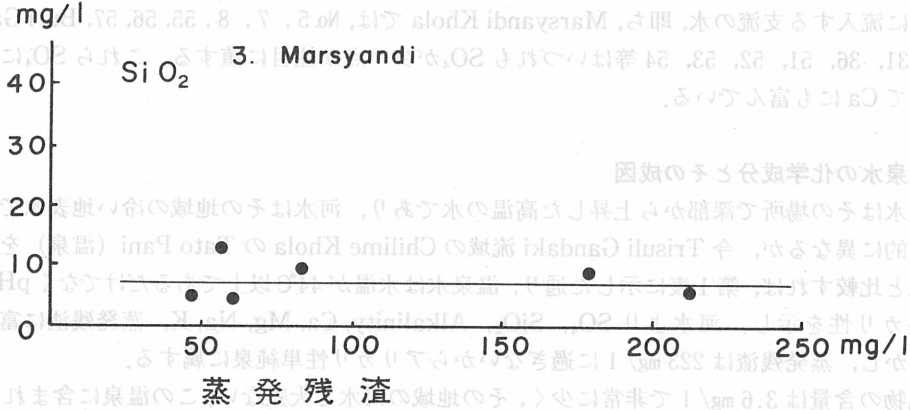
は硫酸塩を含み、主としてその量の増加によって増加している。Marsyandi Kholaの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣60 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Buri Gandakiの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Langtang Kholaの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Trisuli Gandakiの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Marsyandi Kholaの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。



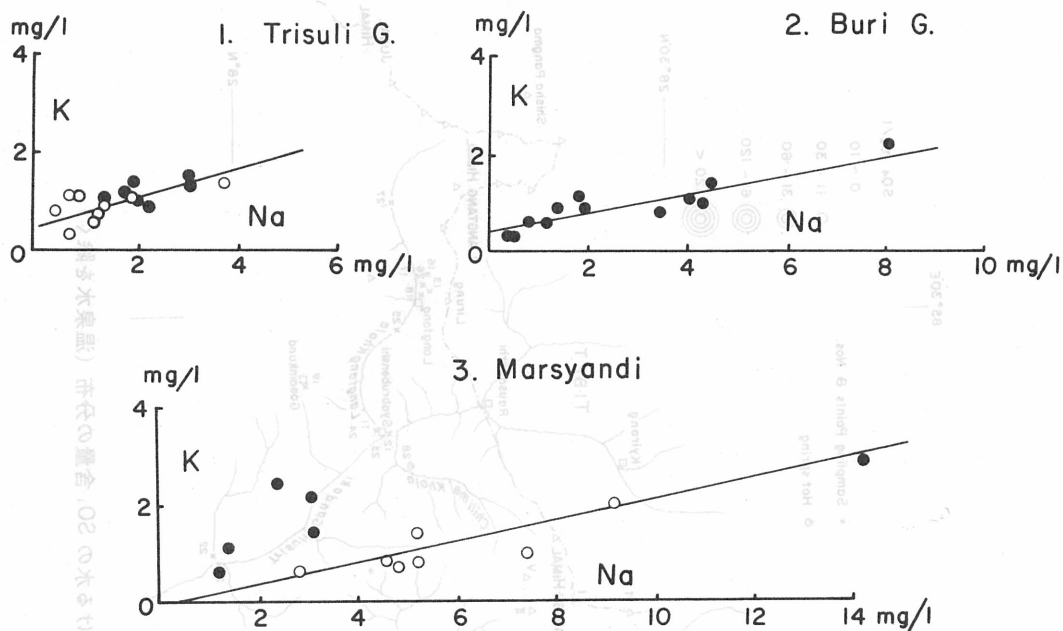
これらの直線は、蒸発残渣と SiO_2 の関係を示している。Marsyandi Kholaの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Buri Gandakiの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Langtang Kholaの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Trisuli Gandakiの水では、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。



第9図にMarsyandi Khola, Buri Gandaki, Trisuli Gandakiの流域における SiO_2 の分布を示す。Marsyandi Kholaの水は、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Buri Gandakiの水は、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Langtang Kholaの水は、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。Trisuli Gandakiの水は、蒸発残渣と SiO_2 の関係は、蒸発残渣100 mg/lに SiO_2 が約10 mg/l増加する。



第7図：(1) Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola, (2) Buri Gandaki, 及び (3) Marsyandi Khola の水の SiO_2 と蒸発残渣の関係。黒丸：今回の値，白丸：前報の値。



第8図：(1) Trisuli Gandaki 及び Langtang Khola, (2) Buri Gandaki 及び (3) Marsyandi Khola の水の Na と K の関係

Ganda

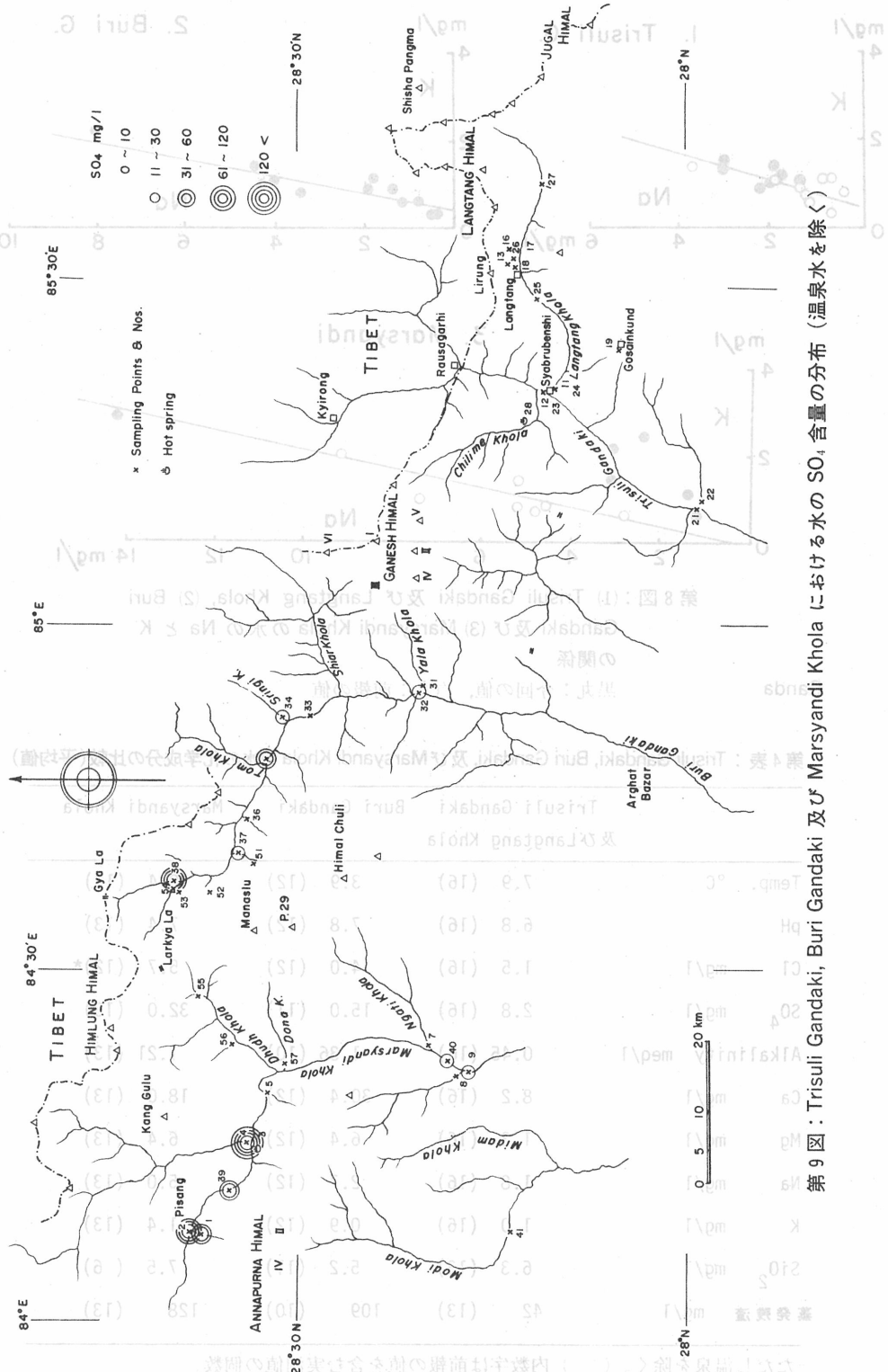
黒丸：今回の値，白丸：前報の値

第4表：Trisuli Gandaki, Buri Gandaki, 及び Marsyandi Khola の水の化学成分の比較(平均値)

	Trisuli Gandaki 及びLangtang Khola	Buri Gandaki	Marsyandi Khola
Temp. °C	7.9 (16)	3.9 (12)	8.4 (13)
pH	6.8 (16)	7.8 (12)	7.4 (13)
Cl mg/l	1.5 (16)	4.0 (12)	5.7 (12)*
SO ₄ mg/l	2.8 (16)	15.0 (11)	32.0 (13)
Alkalinity meq/l	0.45 (16)	1.36 (10)	1.21 (13)
Ca mg/l	8.2 (16)	30.4 (12)	18.0 (13)
Mg mg/l	1.3 (16)	6.4 (12)	6.4 (13)
Na mg/l	1.8 (16)	2.7 (12)	5.0 (13)
K mg/l	1.0 (16)	0.9 (12)	1.4 (13)
SiO ₂ mg/l	6.3 (13)	5.2 (11)	7.5 (6)
蒸発残渣 mg/l	42 (13)	109 (10)	128 (13)

ただし温泉を除く。()内数字は前報の値を含む実測値の個数。

*はNo.1の120mg/lを除いた平均。



第9図：Trisuli Gandaki, Buri Gandaki 及び Marsyandi Khola における水の SO₄ 含量の分布 (温泉水を除く)

第5表: Nepal Himalaya の温泉の化学成分の比較

	Tato Pani Chilime K.	Chame Marsyandi	Tato Pani Kari G.	Tato Pani Mayandi K.	Tato Pani Mayandi K.	Kodari Sun-Kosi
Date	Nov. 30 1973	May 14 1971	1971	1971	May 19 1974	Dec. 27 1979
Temp. (°C)	>44.0	31.0	52	50	60.0	45.0
pH	8.0	7.5	7.78	7.82	7.4	6.78
Cl mg/l	3.6	321	348	362	371.7	37.0
SO ₄ mg/l	26.6	62	19.7	25.6	65.4	82.3
SiO ₂ mg/l	46.8	-	-	-	-	-
Alkalinity meq/l	2.89	1.27	-	-	-	-
HCO ₃ mg/l	-	-	234	583	655.3	513
Ca mg/l	27.4	40	32.1	37.5	50.9	51.1
Mg mg/l	17.8	6.8	33.1	8.2	8.8	19.5
Fe mg/l	0.08	-	-	-	0.25	1.12
Na mg/l	18.8	174	268	420	420.5	140.9
K mg/l	13.7	8.1	62	54	33.0	29.6
Ev. Res. mg/l	223	844	987	1,312	1,382	644
分析者 (文献)	Yamada, Noguchi, et al. ¹⁾ 1983	Yamada, Noguchi, et al. ¹⁾ 1976	Watanuki & Takano ³⁾ 1973	Watanuki & Takano ³⁾ 1973	Yonechi et al. ⁴⁾ 1982	Yonechi et al. ⁴⁾ 1982

期の状態のもの即ち塩化水素を含まず、S化合物も極めて少く、少量の二酸化炭素を含む水蒸気が深部から上昇し、これが地下水と混合して炭酸を含む水溶液となり、周囲の岩石と反応して重炭酸塩として溶け込んで上昇し、湧出したものとして説明可能である。

なお、これまでに報告されたネパールヒマラヤの温泉の分析結果を一括して表示すると第5表の通りである。Chilime温泉のpHがもっとも大きく、また、蒸発残渣を比較すればChilime温泉の223 mg/lはChame温泉の844 mg/l¹⁾、Kali GandakiのTato Paniの987 mg/l、1312 mg/l³⁾、Sun KosiのKodari温泉の644 mg/l⁴⁾と比較して著しく少く、とくにClとNaの少いのが注目される。

5 結 論

1) 中部ネパール・ヒマラヤの河水の化学組成を、南北に流れる三つの水系、すなわちTrisuli Gandaki, Buri Gandaki, Marsyandi Kholaに分けて比較すると、それぞれの水系ごとに特徴がある。

Trisuli Gandakiおよびその支流Langtang Kholaの水はほぼ中性で、溶存成分が少なく、純水に近い。一方、石灰岩に富むチベット層群の分布域が広いMarsyandi Kholaの上流部と本流の

水(No. 1, 2, 4, 9)は pH も高く、溶存成分も濃い、花こう岩あるいはヒマラヤン片麻岩の分布域から流れ出す支流の水 (No. 7, 8, 55~57) は溶存成分が少ない、Buri Gandaki でも上流のNo.38 で多く、本流のNo.32, 35 に比べて、支流のNo.31, 51~54 で少なく、同様の傾向が認められる。

2) Buri Gandaki および Marsyandi Khola で、同じ月に採水された河川水の水温に着目すると、標高が高くなるに従って温度が低下し、標高 1,000 m についての温度低下は両者とも 3.1℃である。

3) Chilime Khola の温泉の水は、これまでに調査された中部ネパールの温泉と比較すると、溶存成分が少なく、特に Cl に乏しく、蒸発残渣は 223 mg/l に過ぎない、この温泉水の成因について考察した。

謝辞：二つの遠征隊で試料の採取・運搬に御協力いただいた高橋雄治氏（当時信州大学農学部学生、現松本さく泉KK勤務）および兵庫県山岳連盟登山隊の隊員諸氏に厚くお礼申しあげる。

文 献

- 1) 山田哲雄, 野口喜三雄, 一国雅己, 上野精一, 相川嘉正, 今橋正征, 岡村知彦: 温泉科学, 26, 123 (1976)
- 2) 日本分析化学会北海道支部編: 水の分析, 新版, 化学同人, 398 頁 (1971)
- 3) K. WATANUKI, & B. TAKANO: Sci. Papers, Coll. General Educ., Univ. Tokyo, 23, (No.1), 35 (1973)
- 4) 米地文夫, 加藤武雄, 渡辺茂蔵, 大竹直, 鈴木慎吾: シンポジウムネパール, 9, 61, (1982)

Yonochi et al. 1982	Yonochi & Yonochi et al. 1982	Watanuki & Watanuki (Takano) 1973	Watanuki & Watanuki (Takano) 1973	Yamada, Yamada, Noguchi, Takano et al. 1982	Yamada, Yamada, Noguchi, Takano et al. 1982
------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	---	---

（この部分には、本文の逆転した文章が印刷されているように見えます。）

結 語

（この部分には、本文の逆転した文章が印刷されているように見えます。）