

松代地盤隆起型地すべりについて

山口真一・奥田節夫・北野 康・高田雄次
奥西一夫・竹内篤雄・古谷尊彦・吉岡竜馬

ON THE MATSUSHIRO LANDSLIDES

By *Shinichi YAMAGUCHI, Setsuo OKUDA, Yasushi KITANO,*
Yuji TAKADA, Kazuo OKUNISHI, Atsuo TAKEUCHI,
Takahiko FURUYA, and Ryuma YOSHIOKA

Synopsis

The Makiuchi landslide and the Gongenyama landslide had occurred at Matsushiro town, Nagano city, in Sept. 17 and Oct. 9, 1966 respectively. These areas where the landslides occurred are situated at the middle part of the Matsushiro earthquake swam which effect on the faults, cracks, spring discharges and upheaval of crustal block. These landslides are very rare one for its clasifications, therefore we are studying natural radioactivity survey and chemical analysis were carried out to explain the mechanisms of these landslide occurrence.

Natural radioactivity of near cracks and faults from $2.5 \times 10^{-3} \text{m7/h}$ to $6.2 \times 10^{-3} \text{m7/h}$ implies being of active faults and hotspring activity. Farther more we continue this survey to explain that the faults and cracks and hot spring activity are increasing or not by the natural radioactivity variations.

Chemical analysis of the water samples from the springs which recently gushed out was carried out in relation to pH, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , and soluble SiO_2 . The wide variation of the content of each ion from 10mg/l to 3,000mg/l suggests that these water samples contain the highly mineralized water from the great depths. The concentration of ions in the spring water increased several times from September to October but the increasing rate varies with the kind of ions. Therefore the variation of the concentration of each ion can not be explained solely by the dilution of the mineratized water by the surface water.

1. 序

長野市松代町東条牧内地籍に昭和41年9月17日に牧内地すべりが発生し、翌月9日には権現山地すべりが発生した。これらの地すべり地域は、過去にすべった形跡のない非地すべり地帯であり、松代群発地震の震源域内に発生したこと、この一年間に地すべり発生地域周辺で地下水の湧出量・温度や地盤の異常隆起等の変化があったことなどから、新しい型の地すべりである。

今回発生した新しい型の地すべりについて、その原因・移動形態・地すべり地塊の分類等を究明し、その全ぶりを明らかにするため、自然放射能調査と地下水・湧水の水質分析等を行ない研究中であるが、現在まだ充分な資料収集・解析が終っていないので、中間報告としてまとめたものである。

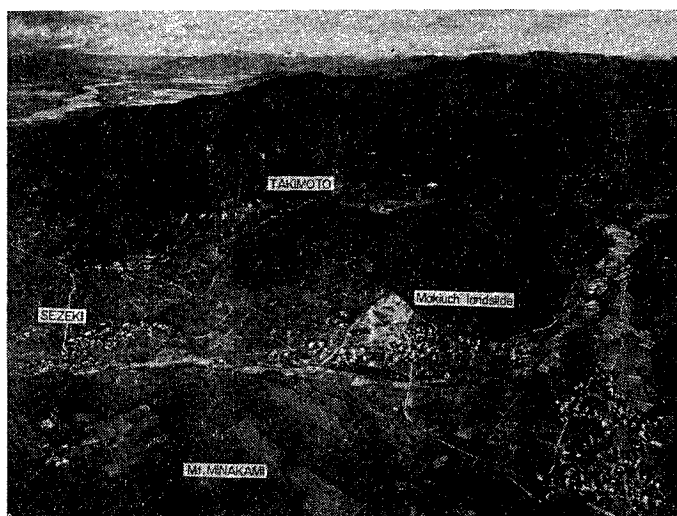


Photo. 1 The view of the Tojyo area, in the center of this we can see the Makiuchi landslide.

2. 地すべり発生までの経過

突発的の地すべりの発生した地域についてよく検討してみると、そのほとんどが過去に一度はすべった場所であったり、地すべり地帯と呼ばれる地域に含まれていたりしており、発生の地質的素因がある程度解っている場所に発生している。本地すべり地は、このような過去の現象・地質的素因は見られない点で特異な地すべりといえよう。(Fig. 1)

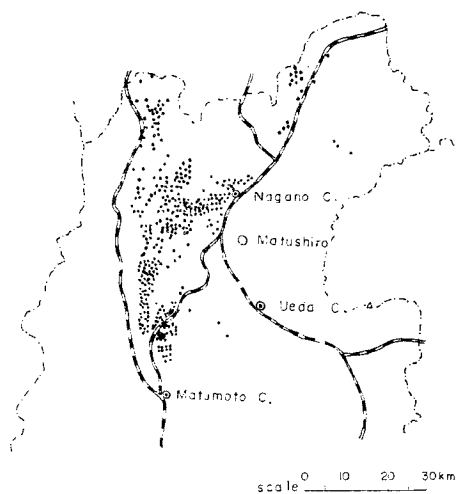


Fig. 1 The landslide distribution in north Nagano Pref.

皆神山を中心とした松代群発地震の影響で皆神山東北東から加賀井地区に、南東から北西方向に亀裂が生じ、これが主断層であると考えられている¹⁾。この主断層に雁行して、牧内・般若寺・中川・加賀井地区に規模の大小はあるが、副亀裂を生じ、今年の6・7月頃までは地震の放出エネルギーに比例して序々に拡大していた²⁾。

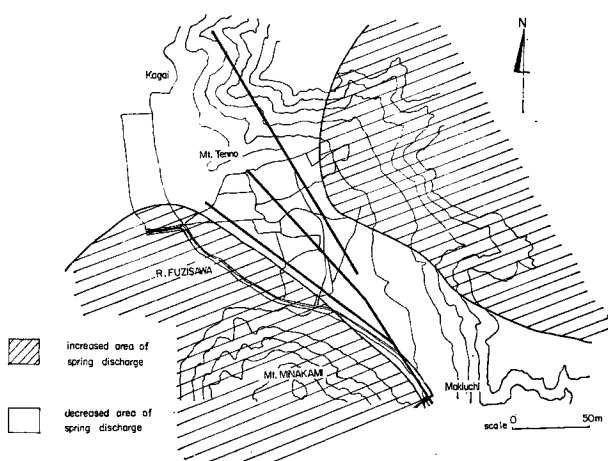


Fig. 2 Spring water anomaly about its discharge and temper temperature.

一方亀裂の拡大と併行して、この附近の温泉現象の異常が目立つようになり、加賀井温泉を中心として、ほぼ北東から南西にのびる帯状地帯と、これに直交する地帯の湧出量の減少が著しくなって、加賀井温泉では湧出量・温度とも減少の傾向が6月までに見られ、湧出量の減少する地域では、一般に温度も低下する傾向が認められていた。(Fig. 2)

3. 地すべり発生

9月17日、午後2時頃より約2時間にわたって松代町東条牧内地籍に発生した地すべりは、長さ150m、巾80m、推定すべり面の深さは最深部で15mの規模である。最初の移動は上端より100mまで円弧すべりを生じ、円弧すべりの末端部から新たにクリープ型に変わって土塊移動が起ったものと推定される（これは前後2回すべりがあったという記録と付合する。(Fig. 3)

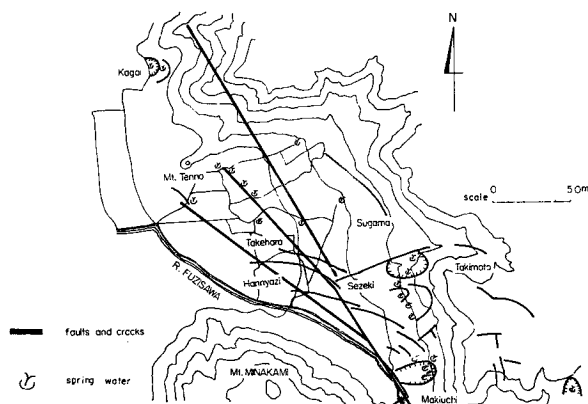


Fig. 3 The faults and cracks distribution.

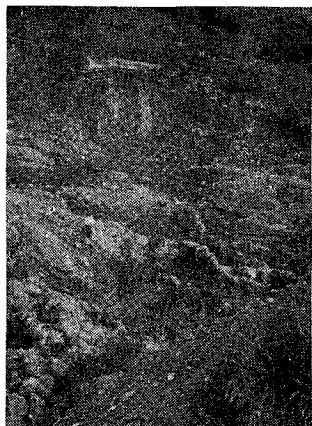


Photo. 2 The gushed out spring at the top of the Makiuchi landslide.



Photo. 3 The view of the Gongenyama landslide.

発生後地すべり上部滑落崖には、**Photo. 2** に示すごとく、数ヶ所より湧水がみられ、その量は5~6 ton/min. と多い湧出量であった。地すべり発生に先立って、牧内地籍内の地割れは一週間前より巾・落差とも肉眼でも進行していることが認められるようになっていたようで、16日には巾 40 cm 落差 60 cm (最大) に達した。この頃、移動土塊の地域内では湧水は殆んどみられず、すべり落ちた土塊周辺部の亀裂より湧水が生じ、亀裂の進行とともに湧出量は増加していた。16日の夕方より湧水量は殆んどなくなり、17日には湧水は止っていたようである。湧水量の減少と亀裂の発達過程との相互関係は明確にされていない。湧水減少の意味は、地すべり地内にそのまま潜入した結果と解釈される。

10月9日に発生した権現山地すべりは、牧内地すべりとは異なり、末端部堆積土塊は安山岩質を主とした亜角礫であり、滑落面よりの湧水量は牧内に較べ少なく、且つ末端部で伏流している。何れの地すべりでもすべり面近くにはシルト質粘土があるが、権現山地すべりの場合には、すべり面より上層の土質が主として亜角礫であるために、クリープは起らず、牧内地すべりと比較すると急傾斜で安定を保っている。**(Photo. 3)**

一般の地すべりでは、豪雨時、又は融雪時にそのほとんどが発生しており、これが地すべりの誘因といわれている。しかし本地すべりの前に激しい降雨はなく、誘因を降雨に関係づけることは考えられない。地すべり発生以前に観測された異常現象は、湧水量の変化・地下水温変化・異常降起・断層の活発化等であり、地下水の状態・地盤が序々に地すべりを促進するような変化をしていたものと考えられる。即ち、断層の活発化と異常降起現象によって、今まで地質構成から不偏の地下水流が乱

れ、安定を保っていた土質が流入した地下水のために安定を阻害されたものと推定される。

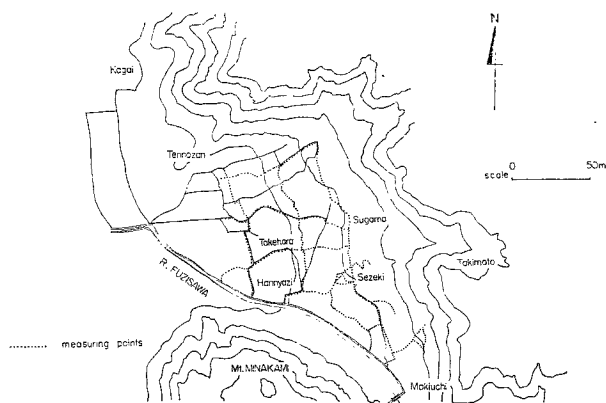


Fig. 4 The measured points of natural radioactivity.

4. 自然放射能測定

使用計器はシンチレーションカウンタを用い、9月20～26日に Fig. 4 に示す測点で実施した。本調査解析の基準値は、国民宿舎の庭に取り、 $2.7 \times 10^{-3} \text{ m}\gamma/\text{h}$ を得た。基準値の変動はこの期間中ほとんどなかった。Fig. 5 には基準値に対して2倍以上の高放射値を示した地域を斜線で示した。この高放射能帯のほとんどが、断層又は湧水のみられるヶ所である。地表面に地況変化が見られない場所で高い値が得られた地域については、今後検討を重ねて原因を究めたい。

高い自然放射能の値を示す場所は、その主因が亀裂自身の発達によるのか、温泉作用の強弱によるのかは不明である。高放射能帯の変化と亀裂の発達・温泉作用の変化との関係を検討し、自然放射能値の高低差から地中変化の様相を知る手がかりにするものである。約30点に定時観測用の地点を設けて現在測定中であるが、他の観測資料と比較検討中であり、結果がまとまり次第発表したい。

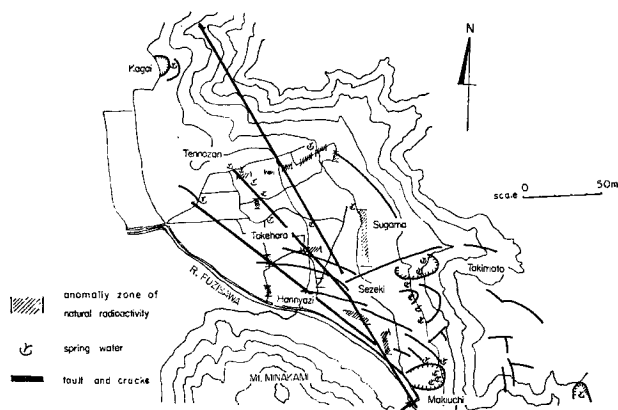


Fig. 5 The anomaly zone of the natural radioactivity.

5. 地下水調査

すでに述べたように崩壊地点のみならず、その周辺一帯において多くの湧水が認められ、その水量も毎分数 m^3 に達しており、湧水状況の変化が地すべりに密接な関係があることは明らかであるから、その連続的な観測は発生機構の解明に必要なばかりでなく、対策工法の検討にも重要な基礎資料を提供するものである。

5.1. 採水地点の選択

第一回の採水は牧内地すべり発生直後、1966年9月20～21日に地元住民からの聞きとりによって最近湧水の出現した箇所を調べてその殆んどについて採水、测温、あるいは湧出量測定を行なった。

第二回の採水は権現山地すべり発生後、その崩壊地付近を含めて新しい採水地点を選んだ。

その後採水調査継続の必要性が認められ、地元：松代高校および更級農業高校の職員、生徒有志の協力が得られることになったので、定期的採水地点の決定に当って、地域的代表性および採水者の安全性を考慮して Fig. 6 に示すような固定採水点を選んだ。

同図中には今迄に行なった観測地点をすべて記号によって示している。

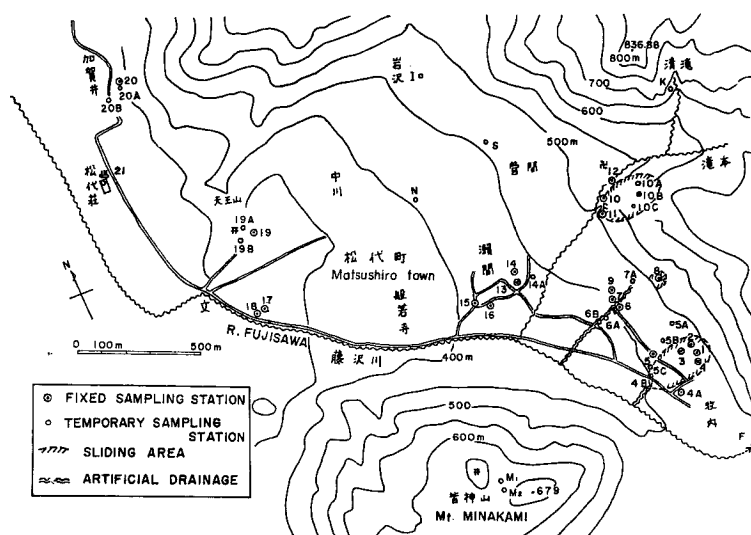


Fig. 6 The location of the water sampling stations.

5.2. 採水および分析

採水は容量 500c.c. のポリエチレン製びんに入れて研究室に持ち帰ってから分析を行なったが、水温および pH は現地で測定した。

とくに湧水量の大きい地点では水が湧出後、流下して定断面の水路を通過する地点を選び、通水断面と平均流速を実測して流量を計算した。

11月以降の定期的調査では地元高校の協力によって、月一回採水してもらい試料を研究室に送付してもらう予定であるが、その際も水温、pH (比色法による) の測定は現地で行なうことにしている。

5.3. 分析結果

11月末までに行なった分析結果は Table 1 および Table 2 に示されている。

同表中の Station 記号は Fig. 6 の位置に対応する。なお採水地点の種類は湧水を spring (Sp と略記)、流水を stream (St と略記)、川を river と記し、とくに 20°C 以上の湧水を hot spring と記している。(温泉法の基準とは異なる)。

とくに炭酸ガスが気泡として噴出している地点、流量測定を行なった地点は remarks 欄にその旨を記している。

5.4. 考察

1966年11月末までに得られた調査にもとづいて考察した結果の概要を次に説明する。

(i) Ca^{++} と HCO_3^- の関係 (Fig. 7 参照)

北野³⁾ は多くの天然地下水においては Ca^{++} と HCO_3^- の含量は分子比ほぼ 1 : 3 を保ちながら大きく変動していることを示したが、松代地域では平均して Ca^{++} の割合の方がこの比より大きくなっている。

しかしながらその比はほぼ一定に保ったままで絶対値は約40日の間に10倍程度増加している。

(ii) Mg^{2+} と HCO_3^- の関係 (Fig. 8 参照)

この関係は $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ の関係よりもばらつきが大きい。10月の採水結果をみると、権現山附近の水 (10A, 10B, 10C) は平均よりも Mg^{++} の相対的含量が多く、加賀井地区の水 (19, 20) お

Table 1 Chemical Composition of Water at Matsushiro District [1st Sampling] Sept. 20~21, 1966

Station (place)	time	water temp. °C	pH	Conduct. $\mu\text{v}/\text{cm}$	Na ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	soluble SiO ₂ mg/l	remarks (gush rate)
St. 1 (Spring)	21st 16:00	14.6	7.2	706	25	73	21	128	63	112	29	
2 (Sp.)	21st 16:00	15.4	7.4		20	51	22	89	51	87	31	
4A (stream)	21st 16:00	13.4	7.7	206	11	23	1	65	14	28	20	(1 m ³ /min)
4B (St.)	21st 16:00	16.0	8.0	515	21	57	17	100	48	111	27	
5 (Sp.)	21st 14:30		6.9		14	53	7	40	18	59	34	
5A (Sp.)	21st p.m.	13.0	7.0		7.5	16	4	46	4.2	21	44	
5B (Sp.)	21st p.m.		6.4		16	31	8	77	16	51	28	
5C (St.)	21st 16:00	17.8	7.6	460	15	47	7	52	22	68	40	(6 m ³ /min)
6 (St.)	21st 14:30	15.0		570	36	69	8	87	94	59	49	
6A (Sp.)	21st 14:30	17.6	6.1	550	17	60	6	34	54	103	37	
6B (St.)	21st 14:30	15.1	7.5	985	36	133	26	132	211	123	60	(18 m ³ /min)
7 (St.)	21st 14:30	15.2	6.9	1220	36	188	20	134	277	113	40	
7A (Sp.)	21st 14:30	15.7	6.5	2320	91	300	103	406	586	176	43	
8 (Sp.)	21st 14:30	13.5	5.8	129	28	5.4	3	30	5.6	45	45	
12 (St.)	21st 13:15	13.1	7.9	242	8.8	31	2	37	7.4	40	34	
13 (Sp.)	21st 13:45	14.6	6.0	2400~3100	105	269	31	276	486	122	50	
14 (Sp.)	21st 13:45	19.0	6.0	7100	420	809	164	1121	1851	225	61	(300 l/min) bubbling CO ₂
19 (hot Sp.)	21st 10:45	27.4	7.3	1000	61	69	15	193	90	102	65	
19A (Sp.)	21st 10:45	15.2	6.2	385	38	12.2	16	73	20	79	53	
19B (Sp.)	21st 10:45	14.7	6.1	370	33	15	16	96	21	53	42	
20 (Sp.)	21st 9:45	20.4	6.7	1860	46	237	50	464	342	86	60	(80 l/min)
20A (Sp.)	21st 9:45	19.8	7.3	890	25	110	10	238	102	29	50	(80 l/min)
20B (hot Sp.)	21st 9:45	24.7	6.4	1600	1380	349	15	1662	1974	146	86	bubbling CO ₂
F (river)	21st 16:00	13.5	7.7	650	28	108	4	30	33	245	18	
I (St.)	21st 11:20	14.9	7.6	68	4.7	8	2	33	4.0	6.2	39	
K (water fall)	21st 13:05	17.5	8.2	73	4.7	8	6	24	2.6	9.8	34	
M ₁ (well)	22nd 11:00	16.6	5.9	412	9.9	44	8	10	9	121	33	
M ₂ (pond)	22nd 11:00	16.8	6.8	154	6.4	15	1	29	6.9	18	21	
N (Sp.)	21st 11:30	16.6	6.2	870	29	100	23	90	124	64	65	
S (Sp.)	21st 12:00	15.2	6.1	2150	46	294	69	438	527	40	60	

(Sp.) Spring, (St.) Stream

Table 2 Chemical Composition of Water at Matsushiro District [2nd Sampling] Oct. 28~29, 1966

Station (place)	time	water temp. °C	pH	Conduct $\mu v/cm$	Na ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	soluble SiO ₂ mg/l	remarks
St. 1 (Spring)	28th 14:40	15.0	7.1		86	378	83	512	585	213	31	
2 (Sp.)	14:30	13.5	6.9		73	387	131	521	735	232	35	
3 (Sp.)	14:55	14.2	6.6		88	417	145	540	770	210	39	
5 (Sp.)	15:20	13.4	6.4		18	77	16	76	87	75	43	
6 (Stream)	13:26	15.5	7.2		130	499	222	585	1242	207	54	
7 (St.)	13:26	16.0	6.6		195	736	208	790	1593	223	68	
8 (Sp.)	13:55	13.5	6.4		48	98	25	90	215	101	45	
10A (Sp.)	11:20	12.2	7.5		65	129	106	117	395	226	31	
10B (Sp.)	12:45	12.8	7.1		80	166	156	116	475	419	33	
10C (Sp.)	12:45	12.6	6.4		77	214	138	200	623	196	39	
11 (St.)	13:05	12.2	7.3		53	171	79	203	351	175	31	
12 (St.)	11:58	12.2	7.3		53	211	36	116	314	139	30	
13 (Sp.)	29th 16:30	14.5	6.2		103	302	56	321	575	130	47	
14 (Sp.)	16:30	18.4	6.1		750	1187	273	1496	3076	288	79	bubbling CO ₂
14A (Sp.)	28th 16:00	20.5	6.0		740	1389	219	1513	3187	367	77	bubbling CO ₂
19 (hot Sp.)	9:50	27.8	7.3		78	88	17	249	139	82	48	bubbling CO ₂
20 (Sp.)	9:07	20.5	6.7		118	341	66	696	539	71	59	
N (Sp.)	16:20	13.8	6.2		145	478	132	488	1134	63	49	

(Sp.) Spring, (St.) Stream

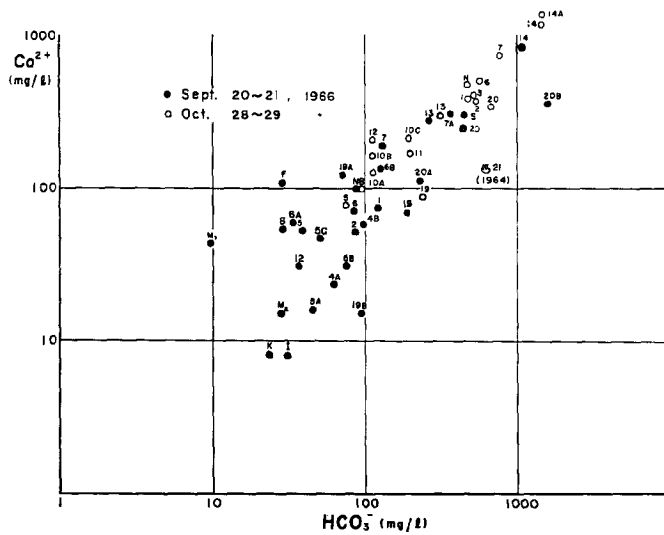


Fig. 7 The correlation between the concentration of Ca^{2+} and that of HCO_3^- in each water sample.

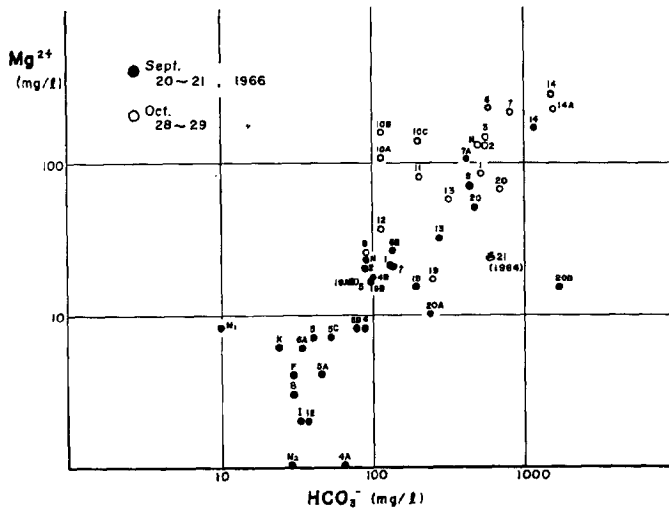


Fig. 8 The correlation between the concentration of Mg^{2+} and that of HCO_3^- in each water sample.

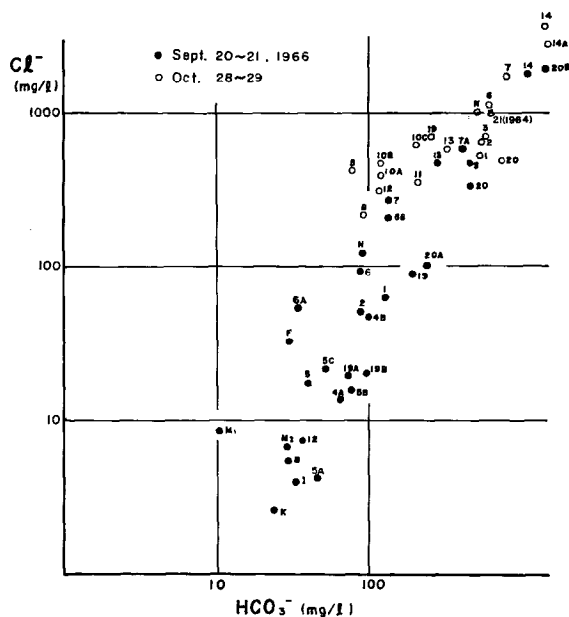


Fig. 9 The correlation between the concentration of Cl^- and that of HCO_3^- in each water sample.

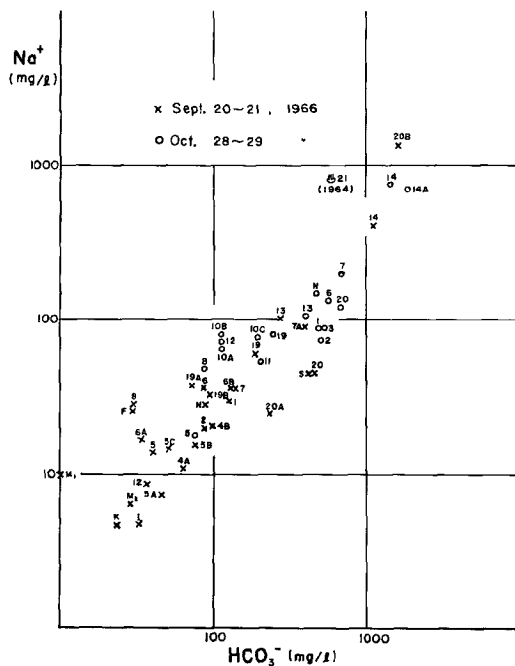


Fig. 10 The correlation between the concentration of Na^+ and that of HCO_3^- in each water sample.

よび松代温泉の水(21, ただし分析は1964年11月)は平均よりも Mg^{2+} の相対的含量が低く, その他の地域の水より系統的に異なっているように思われるの分析を待つて検討する予定である。

(iii) Cl^- と HCO_3^- の関係 (Fig. 9 参照)

Cl^- と HCO_3^- の関係は9月にはほぼ正比例関係が認められるが, (両対数目盛で勾配1) 10月には Cl^- 勾配がやや小さくなり, 40日位の間に相対関係が異なってきた。 Cl^- 濃度の増大は他の element に比して大きく平均15倍程度でとくに牧内近傍の水において増大が著しく, 瀬関, 加賀井近傍では増加率が小さい。

(iv) Na^+ と HCO_3^- の関係 (Fig. 10 参照)

Na^+ と HCO_3^- の関係はほぼ正比例関係を保っており, Na^+ 濃度の増大は平均して10倍以下である。

とくに松代荘温泉の値(図中心で記入)とくらべるとき, 最近の水の方が Ca^{2+} , Mg^{2+}/HCO_3^- は増大, Cl^-/HCO_3^- はほぼ等しいが Na^+/HCO_3^- のみは減少していることは注目に値する。

(v) 水温, pH の変化

継続的測定のなされた採水点における水温と pH の変化は Fig. 11 に示されている。

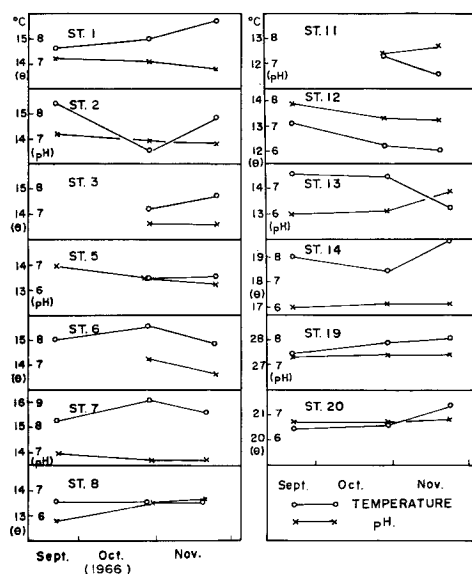


Fig. 11 The time change of the temperature and pH of the water at each station.

水温については気温変化に順応し易い流水 (St. 6, 7, 11) および湧出量の小さい湧泉 (13) を除いてはいずれも10月から11月に向かって昇温しており, これらの湧水が気温変化に影響されない地下水に起源を有することを示している。

pH については全般的な傾向は認められずさらにひき続いた観測を待つて検討を行なう予定である。

以上の各項目について検討した結果より, 松代地区における湧水の一般的特性を考察すると,

- (1) 1966年9月から10月にかけて各種イオン濃度の著しい増大が認められる。
- (2) イオンの種類によって濃度上昇率が異なるから, 地表水の供給低下による濃度変化だけで説明することはできない。

(3) イオンの相対濃度比, および増加率に地域的な差が認められ, さらに SO_4^{2-} , Soluble SiO_2 の分析によって水系の識別が可能になるものと予想される。

(4) 水温の変化が気温に影響されないこと, イオン濃度の値がこの地域の地表流水 (清滝 Table 1 K) の値にくらべて格段に高いことから, 湧水の源は地中深所にあるものと考えられる。

従って既に発生した地すべりの機構を検討し, 将来の崩壊を予知するためには地下水の観測は重要な意義を有するが, さらに定量的な考察を行なうに際して湧出量の観測が不可欠なので現在代表的な湧出地点を選んで流量計をとりつけ中である。さらに地すべり地付近の地下水位の変動調査も地元で行われているから, 今後は地下水文学的諸量と水質の分布変化を組合わせて総合的な解析を試みる計画である。

謝 辞

本調査に当って, 悪条件のもとで種々の援助をいただいた長野県八代土木出張所, 松代高等学校, 更級農業高等学校, 松代中学校の諸氏に感謝する。

また, 現地調査資料の入手, 整理に格別の援助をいただいた横山康二技術員に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 長野地方気象台, 松代地震の記録, 第二報
- 2) 長野地方気象台, 地震調査報告, 第二報, 昭41. 8, p.8—12.
- 3) 同 上
- 4) 北野康, 岩石崩壊の地球化学的機構, 災害の地域的特異性に関する基礎的総合研究 研究報告 (昭.41. 3)