

## 虫亀地すべり地周辺の湧水の水質

—地すべり地の陸水の水質 4—

佐藤 修\*・青木 滋\*・矢沢茂伸\*\*・鈴木幸治\*

**The chemical composition of spring waters from Mushigame landslide and its neighbourhood. — The chemical composition of ground water in landslide area 4 —**

by

Osamu SATŌ, Shigeru AOKI, Shigenobu YAZAWA and

Kōji SUZUKI

(Abstract)

Spring waters (54 samples) were collected from the landslide area and stable area in Yamakoshi village and its neighbourhood (Fig. 1, 2) and analysed for major ion constituents ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , and  $\text{Cl}^-$  ion). The distribution of each elements was discussed referring to geologic nature of sampling location and summarized as follows.

1. Electrical conductivity of spring waters from study area was 40~510  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . It correspond to the ion concentration 0.82~3.6 epm. As the class frequency distribution of total ions is not normal or log-normal distribution, it is concluded that the origin of chemical constituents of them is prural (Figs. 4, 5, 6).

2. Sodium ion is a dominant cation in many samples (Fig.3, Table.1) and its concentration is high in Shiiya formation. As chloride ion concentration of the most samples from Shiiya formation is higher than that of rain water and average river water in Japan, it is assumed that chloride ion originated from gas-blaine like water distributing in this formation (Figs. 7, 8, 9).

3. Concentration of hydrogencarbonate and sulphate ions are high in samples from springs in Shiiya formation area. The hydrogencarbonate ion may also come from carbondioxide gas dissolved in gas-blaine like water. Sufate ions are produced by bacterial oxidation of pyrite found in mudstone (Figs.10, 11).

4. Calcium and magnesium ions also rich in Shiiya formation area. Generally  $\text{Ca}/\text{Mg}$  ratios are low comparing with average river water in Japan. High  $\text{Ca}/\text{Mg}$  waters were found in springs in volcanic rock area and Shiiya formation (Figs.12, 13).

5. The characteristic nature of the spring waters from Shiiya formation area suggests the vigorous weathering of the mudstone and should be related to the frequent occurrence of landslides in this formation area.

---

\* 新潟大学積雪地域災害研究センター

\*\* 元新潟大学理学部 (学生)

## Ⅰ ま え が き

地すべり後、半年以内の地すべり地には、塩類濃度の高い水が多く見られるが、地すべり地の近傍では一般に塩類濃度は低い(佐藤, 1981, 1982)。塩類濃度の高い水の陽イオンはカルシウムイオン, マグネシウムイオンが主なものとナトリウムイオンが最も多いものがあり、陰イオンでは塩化物イオン, 炭酸水素イオンを主成分とするものと硫酸イオンを主成分とするものが存在する。

虫亀地すべり地のボーリング孔内の水質の垂直分布と経時変化の観測結果によれば、塩化物イオン, 炭酸水素イオン, ナトリウムイオンを主成分とするガス付随水類似の水は深部に分布し、硫酸イオン, カルシウムイオン, マグネシウムイオンを主成分とする水は表層から供給される(佐藤, 1983)。この他、炭酸水素イオン, カルシウムイオン, マグネシウムイオンを主成分とする水がみられるが、この炭酸水素イオンはガス付随水様の水に多量に含まれる炭酸ガスに由来すると推定されている(佐藤, 1983)。

これ等の結果はおもに地すべり発生後比較的早い時期の湧水, 地下水等の分析結果であり、これがこの地域一般の水質であるか、あるいは、地すべり直後の特異な現象であるかは以上の結果のみからは、判断できない。不動地, 古い地すべり地に分布する多数の湧水の水質を調査し、従来の分析結果と比較することにより、地すべり直後の水の特異性を明らかにすることができる。本報では、従来、調査を進めてきた虫亀, 濁沢周辺の不動地, 古い地すべり地に多数分布する湧水の水質と地質の関係を調査すると共に、従来調査してきた地すべり地内の水との比較検討をおこなう。

## Ⅱ 調査地域及び分析方法

調査地域は新潟県古志郡山古志村を中心とした地すべり地帯である(図-1)。調査地域の地質の概略を図-2に示す。調査地域の中央部に広く椎谷層が分布する、虫亀, 濁沢の地すべり地もこのなかに含まれる。

その東側と西側に西山層が分布し、さらに南東部に灰爪層, 魚沼層が分布している。湧水地点は図中に黒丸で示した。試料の採取, 前処理, 分析法は既報の方法に従った(佐藤, 1981)。

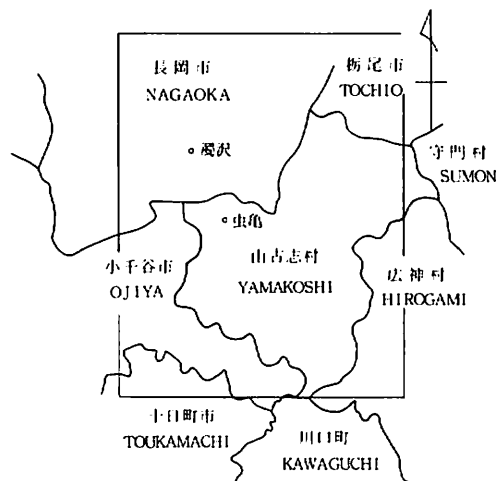


図-1 調査地域図  
Fig.1 Map of study area

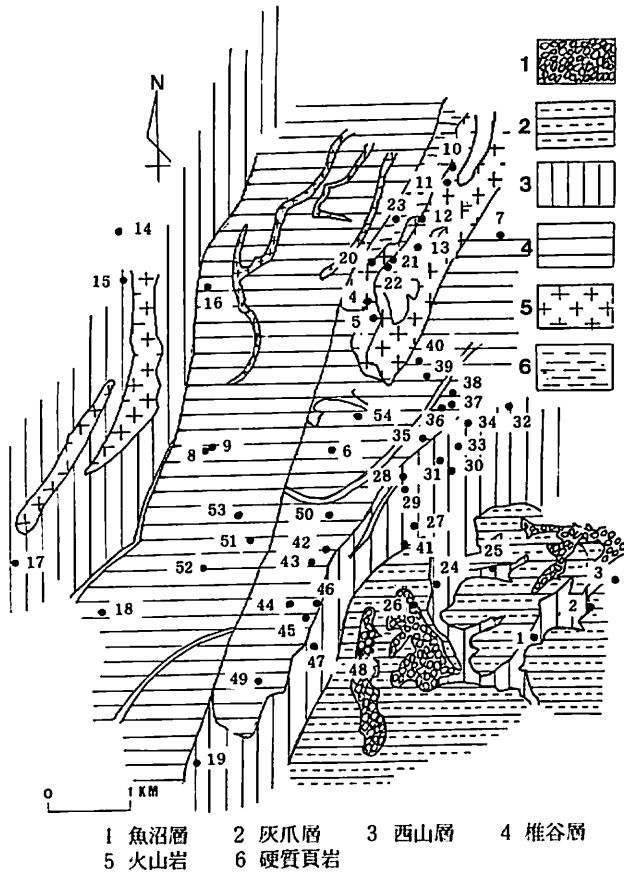


図-2 調査地域の地質の概略と採水地点  
Fig.1 Map of outline of geology in study area and sampling location

1. Uonuma formation
2. Haizume formation
3. Nishiyama formation
4. Shiiya formation
5. Volcanic rock
6. Hard shale

### Ⅲ 結果と考察

ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、塩化物イオン、硫酸イオン、炭酸水素イオンの分析結果を表-1と、三角座標上にプロットしてしめた(図-3-A)。地すべり直後に地すべり地で採水した湧水、地下水の分析結果を比較のために図-3-Bにしめた。調査地には重炭酸アルカリ土類、鉍酸アルカリ土類の水が多いのに対して、地すべり直後の水には塩化アルカリ、硫酸アルカリに属するものが多い。地すべり直後の水にはCa/Mgが1:2でナトリウムイオンの割合が異なる水が多い。調査地域の水でも同じような傾向も見られるが、Ca/Mgが大きい水が多い。調査地域の湧水の陰イオンの組成では、塩化物イオンの割合が50%を超えることはないが、地すべり直後の水では50%を超える水が存在している点が最も大きな差異である。この図ではイオン組成の多様性は確認できるが、個々のイオンの濃度は、地理的分布の様子は表示できない。以下個々に各イオンについて分布を見る。

#### 1. 導電率・全イオン濃度

調査地域の湧水の導電率は40~510  $\mu\text{s}/\text{cm}$ であり、全イオン濃度(7種のイオンの合計)では0.82~13.6epmに相当する。導電率はイオン濃度と良い相関があるから、全陽イオンの頻度分布で、全イオン濃度、導電率の頻度分布を代表させると、図-4のようになる。この分布は一見して正規分布ではないことが判る。陸水のイオンの階級頻度の分布はしばしば対数正規分布を示すことが報告されている(半谷, 1960)ので、対数確率紙により分布を検討した。結果(図-5)は対数正規分布ではないことを示しており、同一の水が降水により希釈されたとは考えられず、複数の起原が予想される。

表-1 水の化学組成

Table.1 Chemical constituents of water

試料採取地点 Sampling Location	水温 W.T.C°	導電率 E.C. μs/cm	pH	Na <sup>+</sup> epm	K <sup>+</sup> epm	Ca <sup>2+</sup> epm	Mg <sup>2+</sup> epm	全陽イオン Total cation epm	Cl <sup>-</sup> epm	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> epm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> epm	全陰イオン Total anion epm
1	11.1	89.9	7.70	0.28	0.06	0.28	0.21	0.83	0.18	0.47	0.20	0.85
2	11.2	80.2	7.33	0.30	0.06	0.27	0.21	0.84	0.18	0.48	0.20	0.86
3	11.7	56.6	7.04	0.24	0.03	0.16	0.16	0.59	0.18	0.24	0.20	0.62
4	11.9	74.1	7.22	0.35	0.03	0.33	0.13	0.83	0.18	0.48	0.19	0.85
5	9.6	79.3	7.56	0.30	0.03	0.38	0.20	0.91	0.18	0.70	0.06	0.94
6	12.3	486.0	7.83	4.44	0.05	0.72	0.59	5.80	0.80	1.57	3.15	5.52
7	9.1	107.8	7.98	0.32	0.03	0.52	0.27	1.14	0.16	0.25	0.75	1.16
8	14.0	259.0	7.73	1.80	0.07	0.69	0.57	3.13	0.19	1.44	1.45	3.08
9	12.0	252.0	7.51	1.80	0.07	0.71	0.58	3.16	0.22	1.47	1.44	3.13
10	10.7	69.5	7.55	0.25	0.02	0.33	0.14	0.74	0.18	0.48	0.09	0.75
11	9.0	69.2	7.48	0.30	0.03	0.33	0.17	0.83	0.17	0.62	0.08	0.87
12	9.8	49.6	6.70	0.21	0.02	0.22	0.08	0.53	0.17	0.31	0.06	0.54
13	10.4	79.8	7.25	0.29	0.02	0.31	0.23	0.85	0.45	0.39	0.04	0.88
14	10.8	52.3	7.26	0.27	0.03	0.16	0.12	0.58	0.19	0.27	0.12	0.58
15	9.8	58.7	7.02	0.26	0.02	0.24	0.10	0.62	0.20	0.28	0.14	0.62
16	13.3	144.6	7.45	0.75	0.04	0.50	0.35	1.64	0.33	0.53	0.74	1.60
17	13.3	88.3	7.29	0.37	0.03	0.35	0.20	0.95	0.26	0.44	0.29	0.99
18	10.2	54.5	7.14	0.26	0.05	0.15	0.12	0.58	0.17	0.26	0.17	0.60
19	12.8	95.6	6.58	0.46	0.03	0.28	0.21	0.98	0.20	0.15	0.64	0.99
20	9.8	86.1	7.24	0.27	0.01	0.51	0.20	0.99	0.18	0.73	0.11	1.02
21	8.4	71.8	7.00	0.26	0.02	0.38	0.13	0.79	0.22	0.40	0.18	0.80
22	7.7	59.2	7.07	0.26	0.03	0.25	0.14	0.68	0.18	0.43	0.04	0.65
23	9.7	465.0	7.05	0.12	0.03	2.46	1.18	5.79	0.19	0.70	4.73	5.62
24	9.5	130.1	7.27	0.28	0.08	0.52	0.58	1.46	0.18	0.84	0.47	1.49
25	11.0	84.1	6.60	0.32	0.08	0.29	0.24	0.93	0.21	0.56	0.16	0.93
26	3.2	57.1	6.66	0.26	0.04	0.17	0.14	0.61	0.21	0.21	0.17	0.59
27	5.0	56.3	6.89	0.25	0.03	0.18	0.14	0.60	0.21	0.28	0.13	0.62
28	5.5	95.0	7.16	0.38	0.06	0.36	0.27	1.07	0.19	0.51	0.40	1.10
29	7.7	70.2	7.09	0.27	0.05	0.24	0.20	0.76	0.16	0.39	0.22	0.77
30	9.8	84.5	6.90	0.27	0.08	0.25	0.30	0.82	0.19	0.34	0.31	0.84
31	8.1	71.9	6.93	0.27	0.06	0.23	0.22	0.78	0.18	0.20	0.20	0.76
32	6.8	126.5	7.45	0.35	0.07	0.67	0.37	1.46	0.22	0.71	0.47	1.40
33	10.2	201.0	6.44	0.37	0.12	0.76	0.89	2.14	0.18	0.18	1.82	2.18
34	8.4	82.5	7.07	0.34	0.06	0.24	0.21	0.85	0.18	0.48	0.21	0.87
35	6.2	100.4	7.18	0.29	0.07	0.41	0.34	1.11	0.19	0.53	0.40	1.12
36	6.4	251.0	7.57	1.21	0.07	1.09	0.70	3.07	0.21	1.14	1.63	2.98
37	6.7	259.0	7.22	0.68	0.04	1.25	1.03	3.00	0.22	0.70	2.14	3.06
38	7.2	215.0	7.17	0.99	0.02	0.78	0.62	2.43	0.22	0.60	1.62	2.44
39	5.0	88.5	7.08	0.39	0.02	0.31	0.22	0.94	0.25	0.40	0.29	0.94
40	11.2	179.6	8.18	1.80	0.02	0.23	0.16	2.21	0.17	1.44	0.64	2.25
41	8.9	48.4	6.57	0.22	0.02	0.13	0.11	0.48	0.21	0.20	0.06	0.47
42	8.7	149.2	7.08	0.44	0.09	0.60	0.52	1.65	0.23	0.73	0.73	1.69
43	7.0	76.5	7.06	0.29	0.03	0.36	0.13	0.81	0.19	0.50	0.10	0.79
44	8.2	47.3	6.61	0.25	0.02	0.11	0.09	0.47	0.21	0.18	0.07	0.46
45	10.2	40.5	6.32	0.24	0.02	0.08	0.07	0.41	0.20	0.15	0.06	0.41
46	6.8	68.4	6.79	0.28	0.04	0.22	0.18	0.72	0.24	0.26	0.22	0.72
47	7.2	114.3	6.60	0.37	0.05	0.51	0.29	1.22	0.20	0.55	0.53	1.28
48	9.6	72.2	6.92	0.27	0.07	0.21	0.19	0.74	0.18	0.38	0.19	0.75
49	8.2	72.9	6.52	0.30	0.04	0.26	0.16	0.76	0.18	0.29	0.29	0.76
50	7.4	77.9	6.89	0.34	0.04	0.32	0.13	0.83	0.27	0.40	0.17	0.84
51	10.6	101.8	6.49	0.49	0.04	0.37	0.22	1.12	0.33	0.33	0.31	0.97
52	10.6	510.0	7.88	5.63	0.04	0.74	0.33	6.74	0.59	4.78	1.44	6.81
53	10.8	176.5	7.11	0.76	0.04	0.63	0.40	1.83	0.26	0.87	0.73	1.86
54	9.2	77.6	6.93	0.32	0.03	0.32	0.12	0.79	0.21	0.48	0.09	0.78

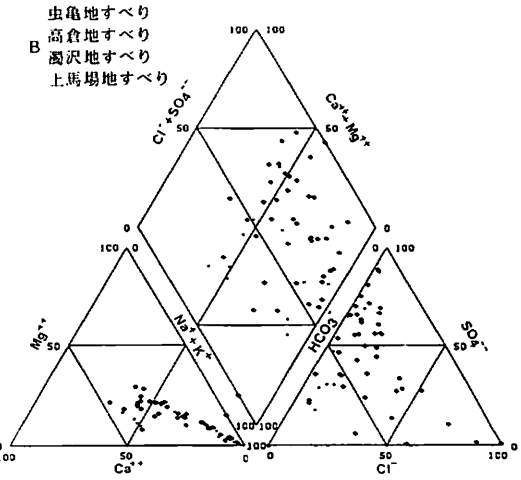
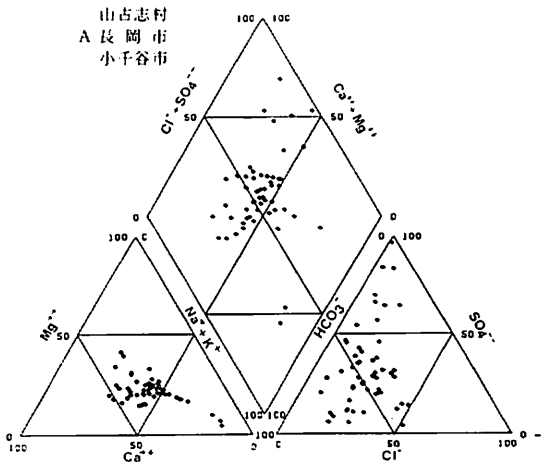


図-3 三角座標上にプロットした調査地域の湧水(A)と地すべり地の地下水、湧水(B)の主要イオンの割合  
Fig. 3 Trilinear diagram of major ion constituents of spring waters from study area (A) and groundwaters and spring waters from landslide areas

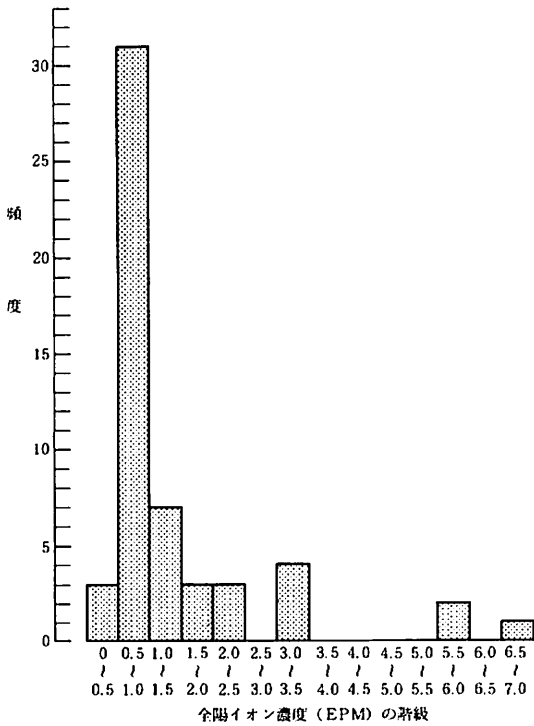


図-4 全陽イオン濃度の頻度分布  
Fig.4 Histogram of class frequencies of total cation

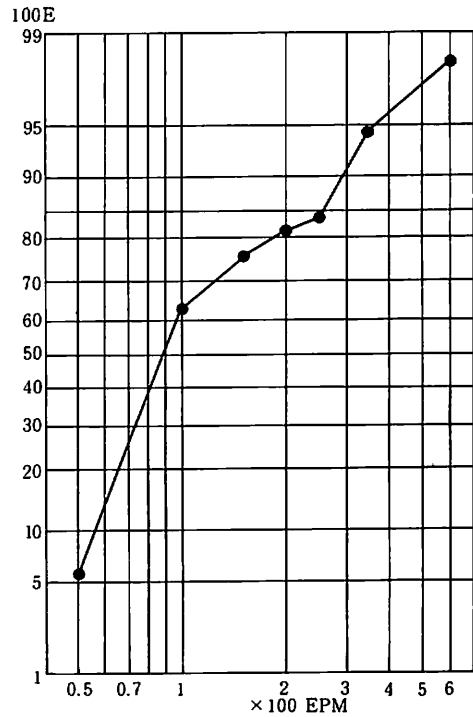


図-5 対数確率紙による全陽イオン濃度分布の検討  
Fig.5 Test of distribution of total cation concentration by log-normal probability graph paper

地理的分布は、小林（1971）の全国河川水の平均値（以下河川水と略す）から計算した0.91epmを基準にして図一6に示した。54試料の内0.9epm以上の水は25試料であり、そのうち16が椎谷層、8が西山層、硬質頁岩と火山岩に1、灰爪層と魚沼層にはみられなかった。2.5epm以上の水は硬質頁岩の1試料を除いてすべて椎谷層にみられた。試料数の少ない灰爪、魚沼層は別にして、椎谷、西山の両層については、明らかに椎谷層に塩類濃度の高い水が分布しているといえる。

## 2. ナトリウムイオンと塩化物イオンの分布

虫亀、濁沢の地すべり地および近傍の不動地の水がナトリウムイオンに富む（佐藤，1981，1982）ことから推測されるように、この地の水にはナトリウムイオンに富むものが多い（図一7）。ナトリウムイオンの多い水の分布は図一6と類似している。

一方、塩化物イオンはナトリウムイオンほどには濃度は高くはないが、雨水の0.03epm（菅原，1964）はもとより河川水の0.25epmより高い水が椎谷層に7試料みられた（図一8）。然しながら塩化物イオンが1epmを超える水はみられなかった。地すべり後に濁沢地すべり地で採水した7試料の内3試料が1epm以上であり、虫亀地すべり地では23試料中8試料が1epm以上であり、ボーリング孔内の2試料では10epmを超えた。前報（佐藤，1983）で述べたように、この地域の多量の塩化物イオンはガス付随水様の深層の地下水に由来すると考えられるから、地盤が攪乱される地すべりの後には高濃度の塩化物イオンがみられるが、不動地や地すべり後長時間経た地すべり地の地表に湧出する水の塩化物イオン濃度が低いのは当然である。河川水より高い濃度の塩化物イオンを含む湧水が椎谷層地域に広く分布することは、椎谷層の深部には広くガス付随水様の水が存在していることを予想させる。不動地や古い地すべり地で高濃度の塩化物イオンが検出されることがあれば、それは深い所に存在した水が移動しはじめたことを意味し、地盤の変動を予期させる。これまでの1回の調査から、椎谷層地域の塩化物イオンの濃度の高い水がこれからさらに濃度が上昇するか、今後濃度が低下するのかを判断することはできない。濃度の上昇は地盤の変動を暗示し、今後地すべりが発生する可能性があることになる。

この地域の水のナトリウムイオンと塩化物イオンの比の分布（図一9）は、単純ではない。虫亀のボーリング孔内の水のNa/Clは1.05であり、塩化物イオンの多い水ではNa/Clが低いことが予想されるが、事実は逆に図一8と図一9と比較して判るように、塩化物イオン濃度が高い水ではNa/Clが高い。このことは塩化物イオンを多く含む水が接触してきたナトリウムイオンに富む泥岩が風化の初期段階（佐藤，1981）を経過しつつあることを示している。然しながら、虫亀の例（佐藤，1983）に見られるように表層と深層とでは全く異なった水が分布することは大いに有り得ることであり、塩化物イオンに富む深層の水が少量表層の水に混入している可能性も否定できない。今後、トリチウム、重水素等の同位体をつかって、水の年代や、混合の様子を検討する必要がある。

## 3. 炭酸水素イオンと硫酸イオンの分布

塩類濃度の低い水では、炭酸水素イオンが最も多い陰イオンである場合が多く、イオン濃度が1epm以上の高塩類濃度の水20試料については、最も多い陰イオンが硫酸イオンである試料が8、炭酸水素イオンである試料が6、両者がほぼ等しい試料（差が±3%以内）が6であった。

炭酸水素イオンの多い水は主に椎谷層、西山層、火山岩地帯に見られ、なかでも椎谷層では多くの試料が炭酸水素イオンに富んでいた（図一10）。泥岩地帯の高濃度の炭酸水素イオンはガス付随水様の水に含まれる炭酸ガスに由来すると考えられるから、椎谷層地帯の地下深部にはガス付随水様の水が分布していると推察でき、塩化物イオンの分布と整合性がある。

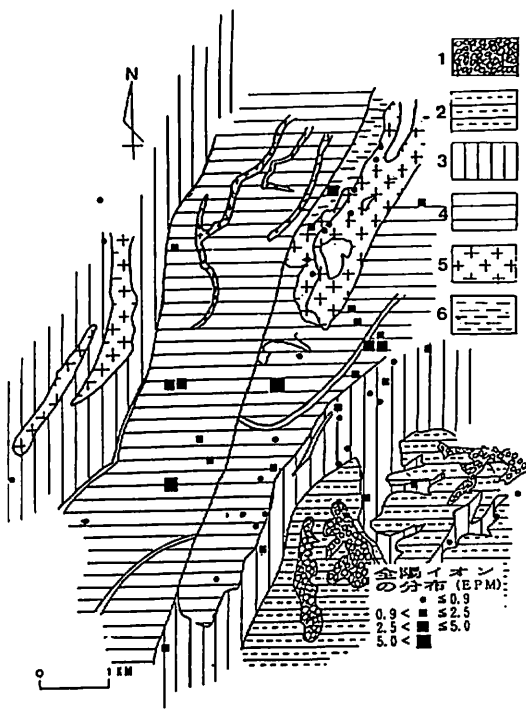


図-6 全陽イオンの分布  
Fig.6 Map of distribution of total cation

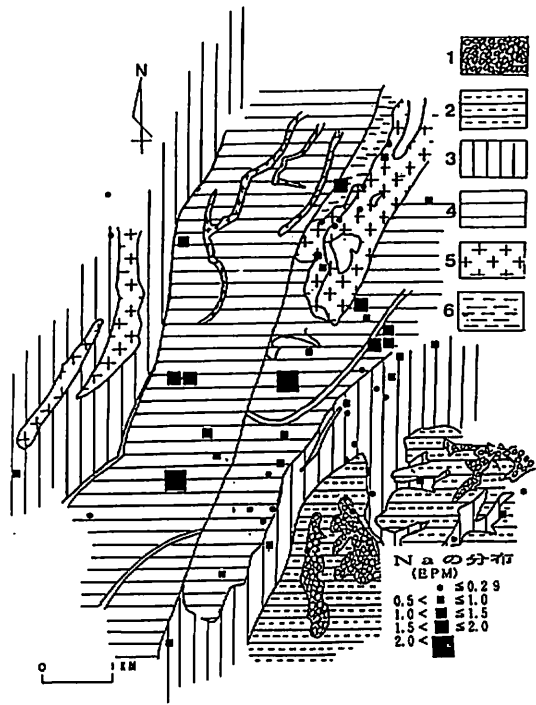


図-7 ナトリウムイオンの分布  
Fig.7 Map of distribution of sodium ion

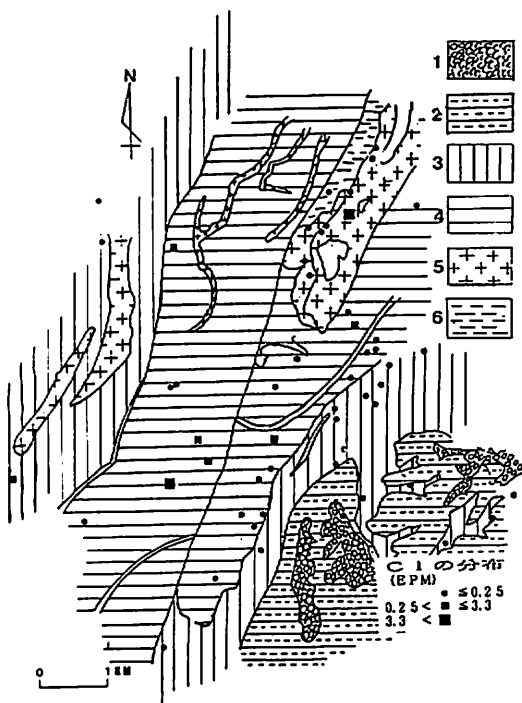


図-8 塩化物イオンの分布  
Fig.8 Map of distribution of chloride ion

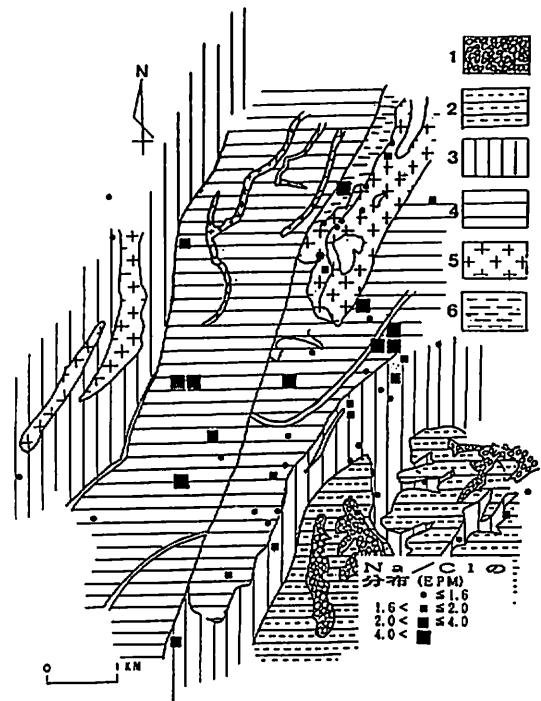


図-9 Na/Cl の分布  
Fig.9 Map of distribution of Na/Cl

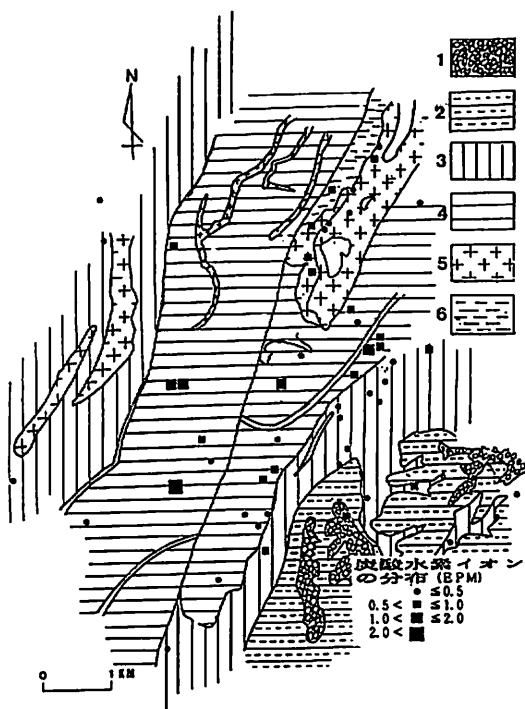


図-10 炭酸水素イオンの分布  
Fig.10 Map of distribution hydrogen-carbonate ion

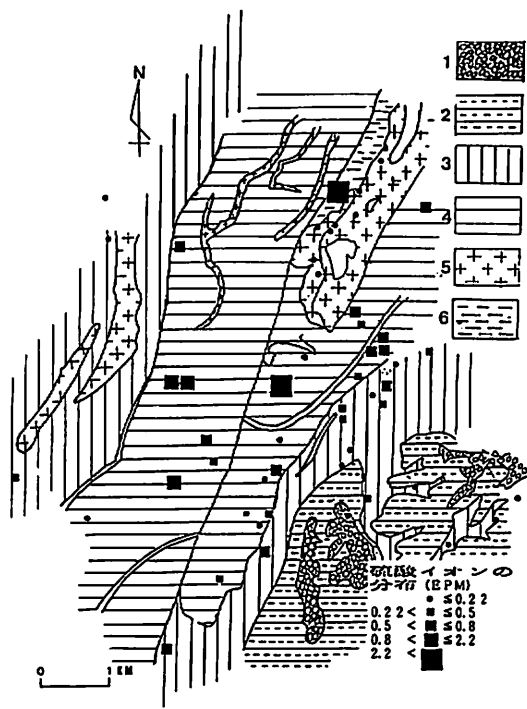


図-11 硫酸イオンの分布  
Fig.11 Map of distribution of sulfate ion

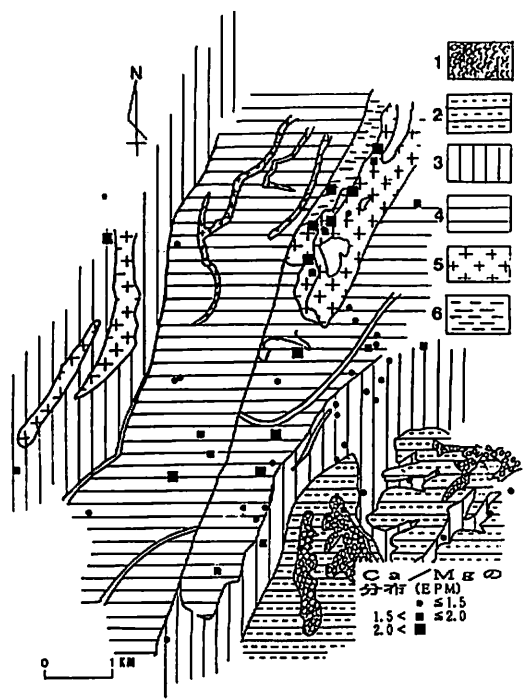


図-12 アルカリ土類イオンの分布  
Fig.12 Map of distribution of Ca/Mg

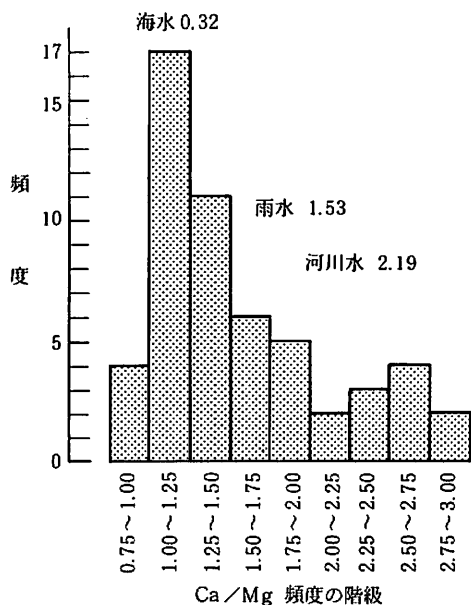


図-13 Ca/Mg の頻度分布  
Fig.13 Histogram of class frequencies of Ca/Mg



硫酸イオンもまた椎谷層に多く、西山層でも椎谷層が表面に出ている場所の近くに硫酸イオンに富む水が分布する(図-11)。硫酸イオンは、黄鉄鉱の化学的酸化、あるいは微生物学的酸化によって生産されていると考えられるから(佐藤, 1983)、このような地層による硫酸イオン濃度の差は、各々地層の黄鉄鉱の含有量の差および微生物の活性の差異によって生じる。現在、地層の違いに着目し、黄鉄鉱の分布と鉄酸化バクテリア、硫黄酸化バクテリアの活性の分布を調査しつつあり、黄鉄鉱の存在量とバクテリアの活性の両者が硫酸イオンの生成に関係していることが明らかになってきたが、これは別の機会に報告する。

#### 4. カルシウムイオンとマグネシウムイオンの分布

カルシウムイオン濃度の範囲は0.11~2.46epmであり、マグネシウムイオン濃度の範囲は0.07~1.18epmで、両イオンの濃度の頻度分布は正規、あるいは対数正規分布ではない。いずれも分布は三群にわかれる。カルシウムイオンは0~0.5epmに37、0.5~0.9epmに14、0.9epm以上に3試料が分布している。マグネシウムイオンは、0~0.3epmに44、0.3~0.7epmに7、0.7epm以上に3試料が分布している。地層との対比では両イオンとも濃度の高い試料は椎谷層から得たものである。山地の湧水にもかかわらずカルシウムイオン、マグネシウムイオンの濃度が平均河川水の値を超える例が多いのは、これらの水が比較的新鮮な海成の泥岩地帯の地下水に由来するためである。

カルシウムイオンとマグネシウムイオンの比の頻度分布は図-13に示すように、1.5と2.5を中心とする二群にわかれる。小林(1971)の平均河川水ではこの値は2.8であり、これらの値はこの地域が相対的にマグネシウムイオンに富むことを示唆している。

この比の地理的分布(図-12)では、火山岩地帯の水に比が高く、火山岩のCa/Mgが大きいことを予想させる。その他では椎谷層に比の高い水が分布している。虫亀の地すべり地の20mのボーリングコアの水溶性と交換性のイオンを分析した小林(1982)の分析結果から計算すると、同一のコアについてはCa/Mgは0.76~14.4であり、一地点から多様なCa/Mgの水が出現する可能性があり、椎谷層にCa/Mgが高い水や低い水が分布しても不思議ではない。今後、泥岩の化学分析を進める必要がある。

### IV ま と め

これまでに報告した虫亀、濁沢地すべり地の周辺の不動地、古い地すべり地の湧水の水質分析を行い、地質との関係を検討した結果つぎのことが明らかとなった。

(1) 調査地域の湧水の導電率は40~510 $\mu$ s/cmであり、イオン濃度(7種のイオンの合計)では0.82~3.6epmであった。導電率の頻度分布は正規、或いは対数正規分布ではない。この地の水は一群の水とはいえず、複数の起原をもつ。

(2) 陰イオン中のナトリウムイオンに対する割合が高いのがこの地の水の特徴である。塩化物イオンの濃度が雨水や河川水より高い試料があり、塩化物イオンは椎谷層の深部に存在すると予想されるガス付随水様の水の混入に由来すると結論した。

(3) 炭酸水素イオンは椎谷層に多く、ガス付随水様の水に由来する炭酸ガスとの関連が推察された。

(4) 硫酸イオンも椎谷層に多く、この地層に黄鉄鉱が多く、硫酸イオンを生成するバクテリアが存在する可能性を指摘した。

(5) カルシウムイオン、マグネシウムイオンはやはり椎谷層に多い。この地の水は全般的にCa/Mgが平均的河川水より低い、なかでは火山岩地帯の水と椎谷層のいくつかの試料は他の試料と比較して明確に高い値をしめした。

## 文 献

小林 久(1982)：地すべり構成土とその風化物の粘土鉱物学的及び、理学的性質について，静岡大学大学院農学研究科修士論文。

小林 純(1971)：水の健康診断，付表16～17，岩波書店，東京。

佐藤 修(1981)：地すべり地の陸水の水質 1，虫亀・高倉地すべり，新潟大災害研年報，3，47～58。

佐藤 修(1982)：地すべり地の陸水の水質 2，濁沢・上馬場地すべり，新潟大災害研年報，4，77～85。

佐藤 修(1983)：虫亀地すべり地の地下水のアニオンの起原 一地すべり地の陸水の水質 3一，新潟大災害研年報，5，33～42。

菅原 健・半谷高久(1964)：地球化学入門，138，丸善株式会社，東京。

半谷高久(1960)：水質調査法，307～317，丸善株式会社，東京。