

## 新潟県松之山地すべり地のNa-Cl型地下水の起源

渡部直喜<sup>\*</sup>・大木靖衛<sup>\*</sup>・佐藤 修<sup>\*</sup>・日下部実<sup>\*\*</sup>

Origin of Na-Cl type groundwaters in the Matsunoyama landslides,  
Niigata Prefecture

by

Naoki WATANABE, Yasue ŌKI, Osamu SATO  
and Minoru KUSAKABE

(Abstract)

Many landslides classified into "Tertiary type" landslides have occurred in the Niigata Prefecture. The Matsunoyama town located in the southwestern Niigata prefecture is typical of landslide areas. The groundwater behavior is one of the most important factors for landslide movements. There are Na-Cl type groundwaters of high concentration in several landslides including the Matsunoyama landslides. The Na-Cl type groundwaters cannot be derived from reactions between groundwater and rock forming minerals. Na-Cl type geothermal waters have developed in Niigata sedimentary basin including the Matsunoyama. These are similar to the geopressed hydrothermal system in the Gulf of Mexico, USA. The Na-Cl type groundwaters have been formed by mixing between shallow meteoric groundwaters and deep geothermal waters on the basis of geochemical analyses. This suggests the deep geothermal waters rise through fault fractures and inject into shallow groundwaters close to the slip plane of landslide block.

Key words : the Matsunoyama landslides, Tertiary type landslides, Na-Cl type groundwaters,  
the geopressed hydrothermal system

キーワード : 松之山地すべり地, 第三紀層地すべり, Na-Cl型地下水, ジオプレッシャー型熱水系

### I は じ め に

新潟県の第三紀層地すべり地ではNa-Cl型の地下水が見出されている(例えば, 今泉, 1996; 佐藤・白石, 1996; 渡部ほか, 1995; 佐藤, 1981, 1982, 1993; 牧・富田, 1965など)。松之山地域の水梨地すべりではCl濃度が1100 mg/lにも達する地下水がある。通常, 地下水のCl濃度は5~10 mg/l程度である。岩石中のCl含有量は極めて小さいので, Na-Cl型地下水は地下水と岩石の反応では形成されない。気候条件は温帯湿潤であり, 蒸発による濃縮は考えられない。松之山地域は比較的内陸に位置するので, 風送塩の影響も少ない。Na-Cl型地下水は地すべり地に特徴的な水であって, 近

\* 新潟大学積雪地域災害研究センター

\*\* 岡山大学固体地球研究センター

傍の安定地の家庭用井戸等には見出されない。この特異なNa-Cl型地下水の起源を明らかにすることは、第三紀層地すべり地の地下水の挙動を知る上で重要である。

最近、水分子を構成する酸素と水素の安定同位体比を利用した地球化学的アプローチがわが国の地下水の研究にも盛んに取り入れられるようになってきた(例えば、池田ほか, 1993; 井内ほか, 1993; 水谷・山本, 1993; 本島, 1993; 吉岡ほか, 1993; 井伊・三沢, 1994; Ii and Misawa, 1994; 風早・安原, 1994; 安原・風早, 1994)。酸素と水素の安定同位体は地下水や地熱水の起源や水文条件を知る上で有効な指標となる。

本研究は地下水・温泉水の水素・酸素の安定同位体比組成と化学組成をもとに、松之山地域の地すべり地にみられるNa-Cl型地下水の起源について検討した。その結果について報告する。

## II 調査地域の概要

松之山町は新潟県南西部に位置する (Fig. 1)。松之山町の地すべりは、主として大松山 (標高 674.0m) を中心とする松之山ドーム構造の丘陵斜面に分布している。昭和37年に発生した松之山地すべりは約850haにも達する大規模なものであった。本地域は毎年のように大小の地すべりが発生し続ける全国でも有数の地すべり多発地帯である。

松之山町は温泉地としても知られている。松之山温泉はメタンガスを伴う塩化物泉であり、深さ170m~1170mの掘削で得られた泉温35~95°Cの非火山性の自噴泉である。これらの温泉は背斜軸部に厚層泥岩をキャップロックとしてトラップされており、静水圧を大きく上回る異常高圧に被圧されている。山頂付近で掘削されているにもかかわらず、すさまじい勢いで自噴する。これらの温泉の特徴は、メキシコ湾岸の石油掘削で認識されたジオプレッシャー型熱水の基本的特徴を具備している (大木ほか, 1992)。

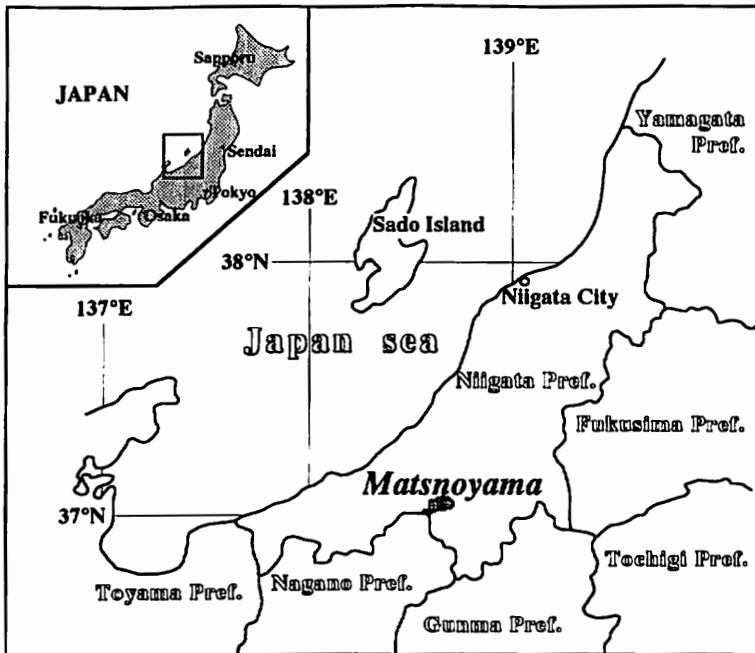


Fig. 1 Map showing study area. The Matsunoyama town is located in the southwestern Niigata Prefecture and is 120 km southwest of Niigata City.

### III 調査および分析の方法

#### 3.1 試料採取

同位体測定のために松之山, 松代, 津南町一帯の地下水, 地表水, 温泉水を採取した。地すべりの地下水は集水井, 横孔ボーリングからの排水, および調査用ボーリングの孔内水である。地表水は河川, 池の水である。松之山地域では地すべり地地下水, 地表水, 温泉水を採取した。松代地域では地すべり地地下水を採取した。津南地域では地下水, 地表水, 温泉水を採取した。

採取した水は大気との同位体交換を避けるため, ガラス瓶に密栓して保存した。試料採取および同位体比測定は1992年から1994年にかけて3度行った。

#### 3.2 同位体比測定

酸素および水素の安定同位体比の測定は, 岡山大学固体地球研究センター設置の質量分析計で行った。水素同位体比測定のための水素ガスの調整は粒状亜鉛の還元法で行った。酸素同位体比の測定は二酸化炭素交換法で行った。

酸素・水素の同位体比は, 以下のように未知試料の同位体比 ( $R_x$ ) と標準試料の同位体比 ( $R_s$ ) との偏差を千分率 (%)  $\delta$  値で表す。標準試料はSMOW (Standard Mean Ocean Water, 標準平均海水) である。

$$\delta R_x (\%) = \{ (R_x / R_s) - 1 \} \times 1000$$

測定精度は $\delta D$ 値については誤差 $\pm 1\%$ 以下,  $\delta^{18}O$ 値については誤差 $\pm 0.1\%$ 以下である。分析・測定結果をTable. 1に示す。

### IV 測定結果

#### 4.1 地下水の酸素・水素同位体組成と天水ライン

天水の酸素・水素同位体組成はシステムティックな関係にある(例えば, Craig, 1961)。この関係は次式で表され, 天水ラインと呼ばれる。

$$\delta D (\%) = 8 \delta^{18}O + 10$$

Na-Cl型地下水および松之山温泉を除く, 松之山, 松代, 津南地域の地下水, 地表水, 温泉水の $\delta D - \delta^{18}O$ の関係をFig. 2に示す。これらの同位体組成の回帰直線は次式で表される。

$$\delta D (\%) = 7.99 \delta^{18}O + 23.8$$

天水ラインは緯度や高度, 気候条件などに起因した地域的な変動がみられる。山本 (1989MS) による新潟県上越市周辺域の降雪の $\delta D - \delta^{18}O$ の関係は次の通りである。

$$\delta D (\%) = 7.48 \delta^{18}O + 24.2$$

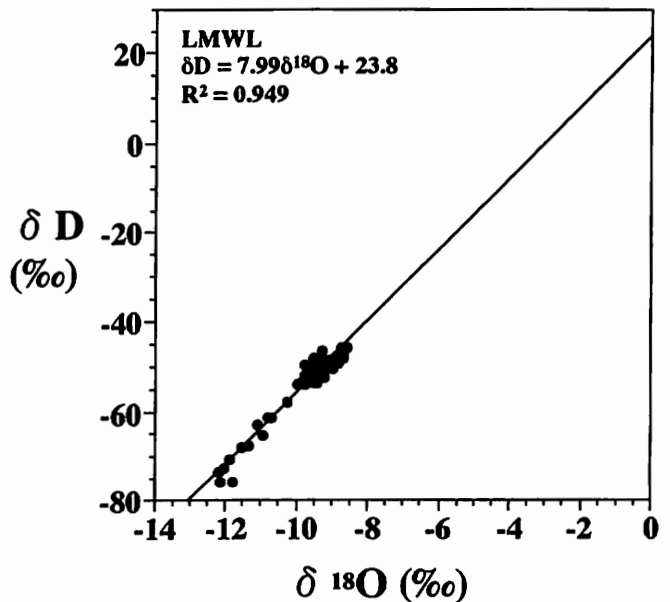


Fig. 2 Diagram showing the local meteoric water line (LMWL). LMWL is estimated by  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  values of groundwaters in the Matsudai, Matsunoyama and Tsunan area.

Table.1 Chemical and isotopic compositions for groundwaters, surface waters and geothermal waters in the Matsunoyama landslide area.

Sample Name	Type	Temp. (°C)	E.C. (μS/cm)	pH	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> (mg/l)	Alk. (meq/l)	Cl (meq/l)	SO <sub>4</sub> (meq/l)	Na (meq/l)	K (meq/l)	Mg (meq/l)	Ca (meq/l)	Fe (meq/l)	δ <sup>18</sup> O (‰)	δD (‰)
M1	温泉	35.2	25900	7.4	37.5	11.56	251.22	n.d.	249.53	0.83	4.36	10.61	0.16	0.86	-15.30
M2	温泉	60.5	25600	8.0	111.7	1.42	250.06	1.53	152.37	3.73	0.04	99.15	0.01	1.15	-22.54
M5	温泉	90.5	25800	7.4	83.7	1.00	262.46	1.57	159.73	3.59	0.15	103.52	0.01	1.22	-20.75
M7	温泉	77.5	26000	7.3	70.2	0.95	255.27	1.43	159.22	2.70	1.62	96.67	0.02	1.22	-19.96
M8	温泉	58.0	25200	7.2	67.6	1.28	252.05	0.76	153.13	3.85	1.92	90.44	0.03	1.14	-21.62
M9	温泉	25.0	2600	8.9	70.2	9.63	16.27	0.07	25.56	0.07	0.08	0.17	0.01	-8.86	-53.83
M11	温泉	27.3	5380	7.2	39.5	3.48	52.21	n.d.	42.47	0.04	0.91	13.39	0.09	-7.80	-46.12
M12	調査孔	13.5	1600	7.0	24.0	5.32	9.73	0.20	13.39	0.21	1.34	1.34	0.18	-8.83	-51.15
M35	集水井	9.0	851	7.0	59.2	1.77	0.56	5.71	3.88	0.21	1.36	2.59	0.01	-9.76	-53.91
M36	集水井	11.5	607	6.9	40.8	2.18	0.96	2.47	3.39	0.11	0.56	1.53	0.04	-9.59	-54.27
M37	集水井	11.0	211	6.1	42.8	0.72	0.69	0.27	0.66	0.06	0.31	0.71	0.01	-9.35	-50.34
M38	集水井	12.1	290	7.1	51.4	2.22	0.26	0.47	0.50	0.03	0.60	1.72	0.10	-9.22	-52.26
M41	集水井	20.3	148	6.6	31.3	1.05	0.22	0.15	0.36	0.07	0.15	0.85	0.01	-9.41	-51.84
M42	集水井	12.1	283	6.7	47.6	1.74	0.74	0.19	0.78	0.03	0.49	1.31	0.03	-9.26	-51.90
M49	集水井	10.9	114	6.2	46.2	0.70	0.21	0.10	0.27	0.02	0.16	0.53	0.01	-9.46	-52.21
M61	集水井	12.7	2066	7.7	32.2	3.45	16.76	0.34	17.31	0.05	0.64	1.38	0.10	-7.85	-49.00
M62	集水井	12.7	236	6.6	44.2	1.66	0.28	0.34	0.82	0.03	0.37	1.04	0.12	-8.91	-48.15
M63	集水井	11.4	176	6.6	35.3	1.12	0.23	0.26	0.52	0.03	0.28	0.80	0.09	-9.27	-51.99
M71	集水井	16.6	334	7.2	21.9	1.97	0.41	0.90	1.61	0.05	0.45	1.20	0.05	-8.81	-49.28
M85	地表水	14.4	93	6.8	24.7	0.21	0.13	0.43	0.32	0.02	0.17	0.20	0.02	-9.74	-49.35
M86	地表水	-	36	6.2	13.7	0.17	0.12	0.04	0.13	0.03	0.06	0.09	0.03	-9.54	-49.78
M87	地表水	13.4	40	6.7	17.5	0.13	0.12	0.09	0.13	0.01	0.07	0.10	0.01	-9.74	-51.65
M92	集水井	14.1	1331	7.4	32.2	3.48	4.35	4.91	9.00	0.09	1.21	1.96	0.09	-8.84	-51.73
M100	集水井	11.8	930	7.4	28.6	6.31	0.34	3.82	9.36	0.06	0.18	0.72	0.03	-9.48	-54.88
M101	集水井	13.0	731	7.4	52.7	3.85	0.30	3.44	4.79	0.15	1.10	1.30	0.07	-9.01	-52.04
M102	集水井	12.4	3660	8.2	24.7	10.39	31.06	n.d.	39.75	0.10	0.47	1.14	0.02	-7.16	-42.56
M104	集水井	11.8	1116	7.9	47.6	8.14	1.45	1.82	10.16	0.03	0.48	0.71	0.05	-9.05	-52.08
M109	集水井	14.1	345	6.4	69.2	1.04	0.40	1.77	1.64	0.09	0.59	0.77	0.16	-8.89	-48.81
M115	集水井	12.6	510	8.5	21.8	4.60	0.40	0.83	5.18	0.02	0.28	0.34	0.04	-8.68	-46.79
M123	集水井	8.9	713	6.4	57.5	1.75	0.36	3.71	2.73	0.12	1.18	1.94	0.03	-9.96	-53.79
M127	温泉	57.5	22000	7.8	45.5	1.02	242.02	1.45	153.75	3.42	0.49	90.28	0.03	1.45	-20.90
M140	集水井	14.7	1230	7.4	24.4	2.99	5.93	2.53	10.58	0.04	0.31	0.69	0.09	-9.32	-51.85
M175	温泉	95.4	24200	7.3	107.1	0.85	264.1	1.85	167.9	2.75	0.49	90.82	0.03	1.15	-21.54

Temp.; temperature, E.C.; electric conductivity, Alk.; alkalinity.

上で求めた松之山, 松代, 津南地域の $\delta D-\delta^{18}O$ の関係は, 山本 (1989MS) の結果と調和的であり, この地域の天水ラインを示す考えられる。このことから松之山地すべり地の大部分の地下水は, 主に融雪水を起源とする天水である。

#### 4.2 松之山温泉の酸素・水素同位体組成

松之山温泉の酸素・水素同位体組成をFig. 3に示す。松之山温泉の同位体組成は, 初生マグマ水, 変成水, 日本の高温火山ガス, 妙高火山の火山ガスの酸素・水素同位体組成の領域と異なる。加藤・梶原 (1986) によって, 新潟ガス・油田地帯の層準別の地層水の酸素・水素同位体組成が報告されている。これらの組成と比較すると, 寺泊層相当層を貯留岩とする松之山温泉の同位体組成は下位の七谷層の地層水と上位の椎谷層の地層水のはほぼ中間的な組成である (Fig. 4)。このことから, 松之山温泉の起源は寺泊層相当層にトラップされた変質した化石海水である。

#### 4.3 Na-Cl型地下水の酸素・水素同位体組成

Fig. 5に松之山地すべり地域の地下水, Na-Cl型地下水, および松之山温泉の酸素・水素同位体組成を示す。Na-Cl型地下水の酸素・水素同位体組成は, 地すべり地域の天水起源の地下水と変質した化石海水である松之山温泉の混合線上にある。 $\delta^{18}O$ とCl濃度の関係においても同様の傾向がみられる (Fig. 6)。ここでは省略するが,  $\delta D$ とCl濃度の関係も同様である (Watanabe, 1995)。

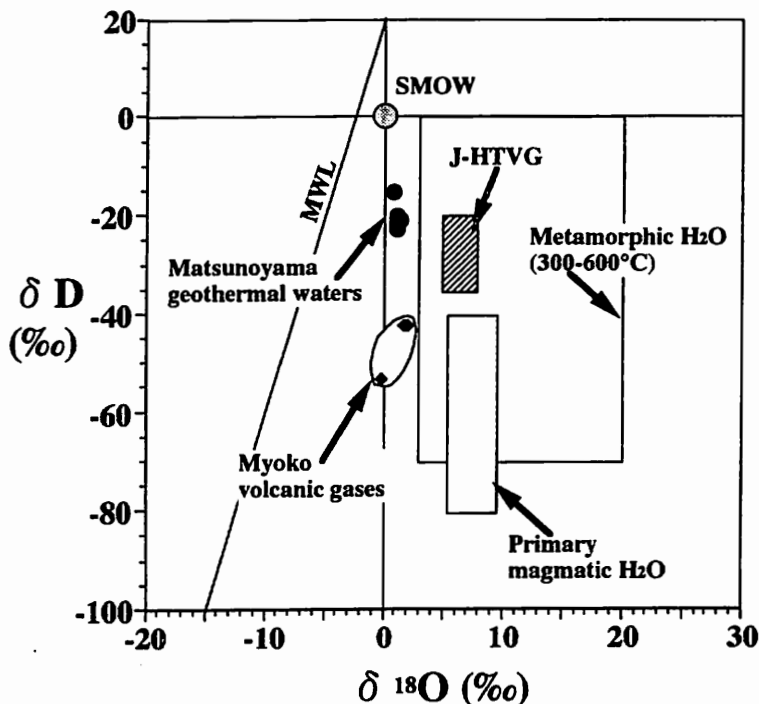


Fig. 3 Isotopic composition and fields for Primary Magmatic H<sub>2</sub>O, Metamorphic H<sub>2</sub>O, High temperature volcanic gases in Japan (J-HTVG), Myoko volcanic gases and Matsunoyama geothermal waters (Data from Sheppard, 1986, Kusakabe and Matsubaya, 1986, Kiyosu et al., 1993).

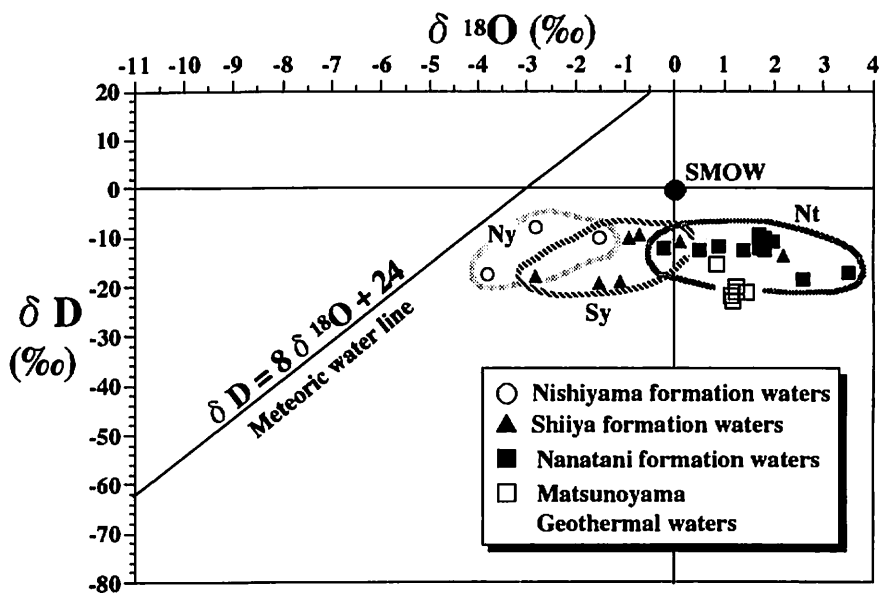


Fig. 4  $\delta D$  vs.  $\delta^{18}O$  plots of Matsunoyama geothermal waters and formation waters from oil and gas fields in Niigata sedimentary basin. (Data of formation waters from Kato and Kajiwara, 1986).

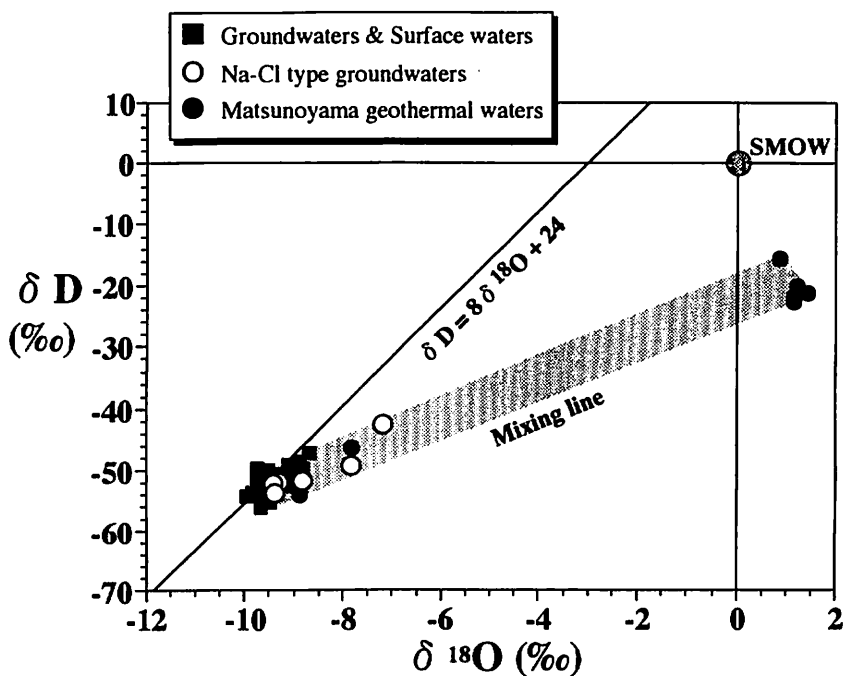


Fig. 5  $\delta D$  vs.  $\delta^{18}O$  diagram for groundwaters, surface waters and geothermal waters in the Matsunoyama landslide area.

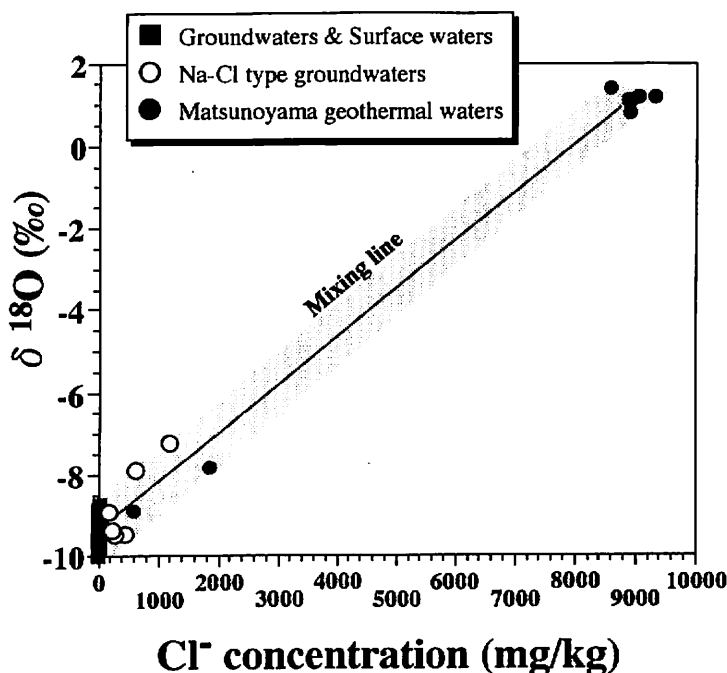


Fig. 6  $\delta^{18}\text{O}$  vs. Cl concentration diagram for groundwaters, surface waters and geothermal waters in the Matsunoyama landslide area. Diagram shows that Na-Cl type groundwaters are generated by mixing of geothermal waters and meteoric waters.

## V 考 察

### 5.1 天水の混入のない温泉

松之山温泉は深さ170m~1170mの掘削で得られた泉温35~95°Cの変質した化石海水を起源とする非火山性の自噴泉である。松之山温泉の酸素・水素同位体組成とCl濃度は温度によらずほぼ一定である。Fig. 7とFig. 8にはそれぞれ松之山温泉の温度とCl濃度、温度と酸素同位体比の関係を示した。仮に沸騰が生じた場合、気化熱が奪われることによって冷却されると、温度の低下にともなってCl濃度は増加するはずである。次に浅い低温の地下水との混合によって冷却された場合を考えてみる。低温の地下水が地下深部に浸透する過程で地温勾配にしたがって水温が変化したとしても、混合によって生じた水のCl濃度や酸素同位体比はFig. 7とFig. 8に示した混合領域になくなくてはならない。これらのことから松之山温泉の温度の変動は周囲の岩石の熱伝導による冷却に支配されており、沸騰や天水の混入による冷却ではないことがわかる。地表から浸透した天水は松之山温泉の貯留層まで到達していない。

新潟地域の石油探鉱では以前から貯留岩の異常高圧の存在が知られていた(例えば、真柄, 1966)。地層の圧密作用は、堆積物の荷重の増加に伴って間隙水を排出させるので、間隙水圧は静水圧勾配にしたがって変化する。不透水性の厚い泥岩層の存在など、地質条件によっては、間隙水がうまく排出されず、間隙水圧が静水圧を上回る非平衡圧密の状態になる。この非平衡圧密が異常高圧の主な原因であると考えられる。すでに述べたように松之山温泉は深さ170m~1170mの掘削で得られた泉温35

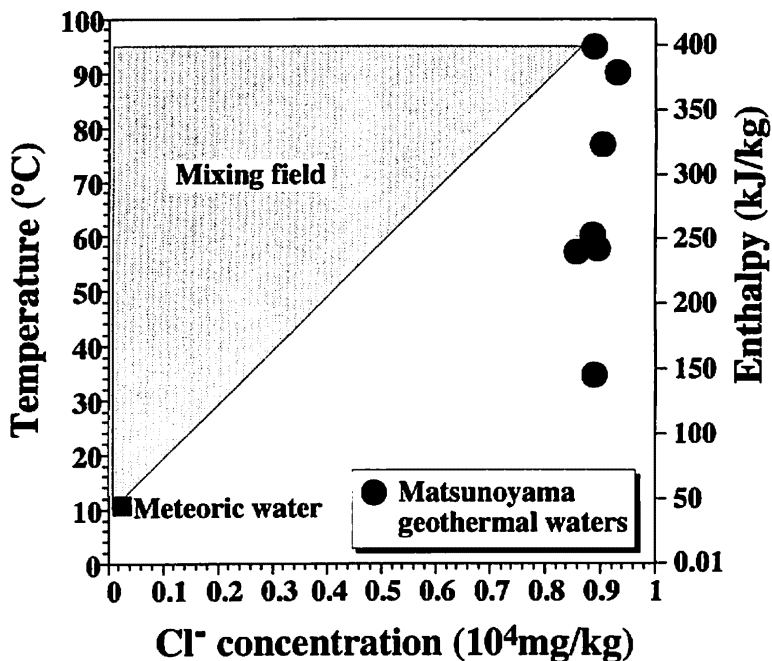


Fig. 7 Plots of Cl concentration vs. orifice temperature of the Matsunoyama geothermal waters. The Cl concentration of the geothermal waters is independent of temperature or enthalpy. The geothermal waters ascend without mixed with meteoric groundwaters, and they are cooled by conduction.

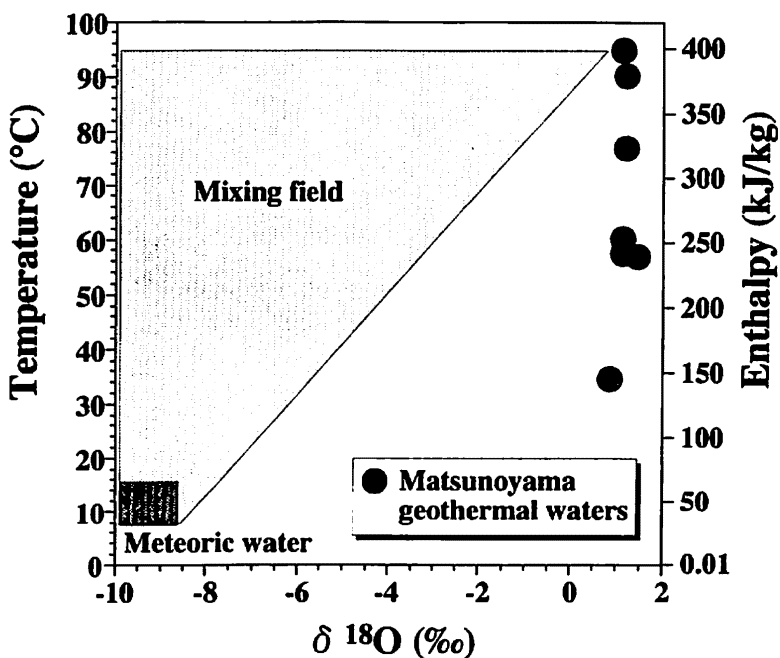


Fig. 8 Plots of  $\delta^{18}\text{O}$  concentration vs. orifice temperature of the Matsunoyama geothermal waters. The  $\delta^{18}\text{O}$  concentration of the geothermal waters is independent of temperature or enthalpy. The geothermal waters ascend without mixed with meteoric groundwaters, and they are cooled by conduction.



～95℃の非火山性の自噴泉である。中でも鷹の湯1号、2号井はそれぞれ深さ170m、264mの掘削で得られた泉温90℃の高温泉である。地化学温度計で得られた貯留層の温度（139℃）と新潟堆積盆の平均的な地温勾配（30～50℃/km）から、貯留層は地下2500～4000mにあると推定される。したがって、松之山温泉は地下深部の熱水が断裂を通じて、最も浅いところでは深さ170mのところまで上昇してきているものと考えられる。

## 5.2 Na-Cl型地下水の起源と地すべりの地質学的要因としての異常高圧熱水

松之山地すべり地のNa-Cl型の地下水の形成は、Cl濃度や酸素・水素同位体比から、地下深部のNa-Cl型熱水と天水起源の地下水との混合で説明できる（Fig. 5, 6）。Fig. 9に松之山地すべり地のCl濃度の高い（>50mg/kg）地下水の分布を示す。Cl濃度の高い地下水は推定断層の近傍や地層境界の近傍に分布している。このことは、断層や亀裂を通じて異常高圧のNa-Cl型熱水が上昇し、地すべり土塊中へ注入されていることを示唆する。静水圧を大きく上回る異常高圧熱水系と地すべり土塊の静水圧地下水系の間生じた圧力勾配は、水の流れを一方向に規制する。松之山温泉のCl濃度や酸素・水素同位体比は温度によらずほぼ一定であり、天水の混合は考えられないから、地表から浸透した天水は深部まで到達していない。一方、深部の異常高圧熱水は断裂を通じて地表近くまで上昇し、地すべり土塊中に注入し、天水起源の地下水と混合する。この現象は地すべりの発生と密接に関係している地すべり土塊の間隙水圧や地下水位の上昇に影響を及ぼすものと考えられる。

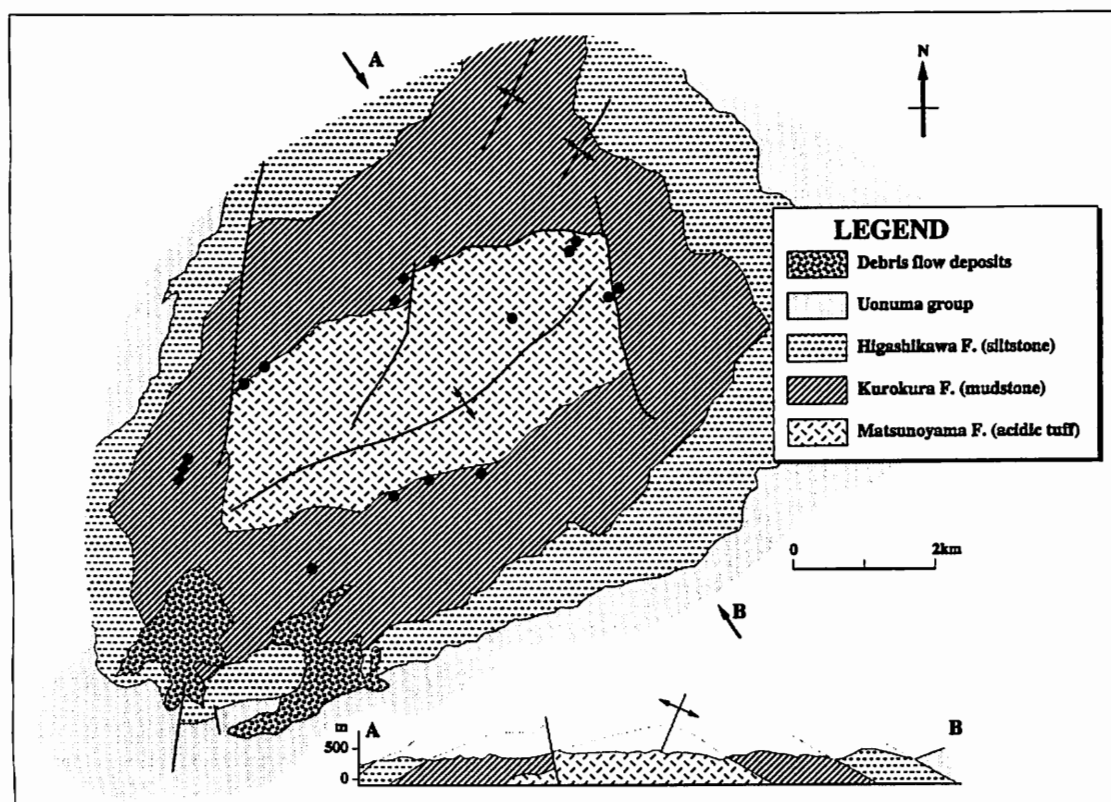


Fig. 9 Distribution of high Cl groundwaters (>50mg/kg). High Cl groundwaters discharge close to faults and along the formation boundary.

松之山地域と南接する津南地域との比較をしてみる。津南地域は、松之山に比べて地すべりの発生頻度も数も少ない。降水量等の気候条件に大きな違いはない。津南の地形・地質は、信濃川の右岸側は第四紀の河岸段丘地形からなるが、左岸側は第三紀層および一部第四紀層からなる関田山地の南斜面である。Fig.10は地下水・温泉水の同位体組成から識別された水質断面である。津南町の温泉は1000mを越す深さであっても天水起源である。地表から浸透した水は深部まで達し、一部を除いてほぼ地温勾配にしたがって温められている。ここでは水の流れを支配するのは基本的にポテンシャルであろう。地すべり多発地である松之山の水質断面は、化石海水起源の異常高压熱水系の上昇を示唆している。

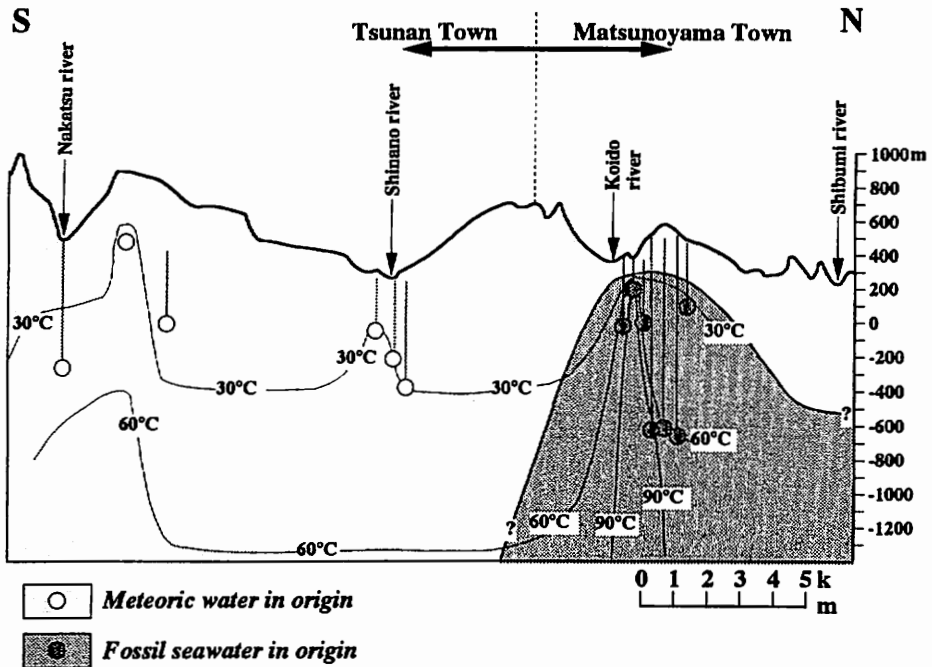


Fig.10 Geochemical profile of the geothermal waters and groundwaters from the Matsunoyama area to the Tsunan area.

地すべりの発生が地下水の挙動に支配されていることは広く認められている。異常高压熱水系の存在によって、地すべり多発地は温泉も含めた大局的な地下水のかん養・循環システムに違いがあると考えられる。地すべりに対する異常高压熱水系の寄与を考えると、直接的には異常高压熱水が地すべり土塊中に注入されることによって局所的な過剰間隙水圧が生じ、剪断破壊の誘因となる可能性がある。間接的には天水の地下深部への浸透を妨げる一種のバリアーとなって、丘陵地の地下水頭を全体的に高めている可能性がある。地形・地質、気候条件が類似しているにもかかわらず、地すべりの発生頻度にはしばしば偏りがみられる。地下深部の異常高压熱水系は、地下水の大局的なかん養・循環システムを支配し、地すべり発生の地質学的素因の一つとなっている。

## 謝 辞

酸素・水素同位体比測定では岡山大学固体地球研究センターの野儀多鶴恵氏にお世話になった。本研究に文部省科学研究費特別研究員奨励費（代表：渡部直喜，課題番号1740），文部省科学研究費一般研究B（代表：宮下純夫，課題番号06452092）および(財)砂防・地すべり技術センター研究開発助成金（代表：大木靖衛，平成4年度）の一部を使用させていただいた。記して感謝申し上げます。

## 文 献

- Craig, H. (1961) : Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, **133**, 1702-1703.
- 井伊博行・三沢伸也(1994) : 松本トンネルの湧水とその周辺地下水の水質について. 地下水学会誌, **36**, 13-29.
- Li, H. and Misawa, S. (1994) : Groundwater chemistry within a plateau neighbouring Matsumoto city, Japan. *Environmental Geology*, **24**, 166-175.
- 池田英史・宮永洋一・大隅多加志(1993) : 同位体を指標とした土壤水・地下水浸透推定手法の適用性. 地下水学会誌, **35**, 95-106.
- 今泉真之(1996) : 第三紀層泥岩地すべり斜面の浅層地下水の水質変化—新潟県板倉町の大池地すべりを例として—. 応用地質, **37**, 2-18.
- 井内国光・中山祐輔・柿沼忠男(1993) : 興居島における地下水の安定同位体比. 地下水学会誌, **35**, 157-163.
- 加藤 進・梶原義照(1986) : 新潟地域油・ガス田付随水の水素および酸素の同位体組成. 石油技術協会誌, **51**, 113-122.
- 風早康平・安原正也(1994) : 湧水の水素同位体比からみたハヶ岳の地下水の涵養・流動過程. ハイドロロジー, **24**, 107-119.
- 清棲保弘・宮島秀晴・浅田恵子(1993) : 妙高火山における熱流体の地球化学的研究. 地球化学, **27**, 97-108.
- 日下部実・松葉谷治(1986) : マグマ性揮発性物質・火山ガス・地熱水. 火山, **30**, 特別号, S267-S283.
- 真柄欽次(1966) : 検層データによる油層圧の推定—紫雲寺ガス田における検討. 石油技術協会誌, **31**, 266-273.
- 牧 隆正・富田利保(1965) : 松之山地すべり地帯陸水の水質特性について. 地すべり, **1**, 1-7.
- 水谷義彦・山本晃一(1993) : 富山県礪波平野浅層地下水中の溶存炭酸の起源. 地下水学会誌, **35**, 77-86.
- 本島 勲(1993) : 酸素, 水素およびラドンの同位体による地下空洞周辺地下水の考察. 地下水学会誌, **35**, 185-200.
- 大木靖衛・佐藤 修・青木 滋(1992) : 北部フォッサマグナのジオプレッシャー熱水系に起因する地震と地すべり. 月刊地球, 号外No.5, 121-125.
- 佐藤壽則・白石秀一(1996) : 松之山地すべりの地質と地下水. 地すべりの地盤工学的諸問題に関するシンポジウム論文集(地盤工学会四国支部), 65-70.
- 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(1993) : 北陸地方の第三紀層地すべり地帯の地下水形成と動態. 地すべり学会関西支部シンポジウム資料集, 53-66.
- Sheppard, S. M. F. (1986) : Characterization and isotopic variations in natural waters. In: Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes. (J. W. Valley, H. P. Taylor, Jr. and J. R. O'Neil, eds) *Reviews in Mineralogy*, Vol. **16**. Mineralogical Society of America. 165-183.

Watanabe, N. (1995) : Geochemistry of groundwaters in the Matsunoyama landskides Niigata Prefecture. Ph.D.thesis of Niigata University, 130pp.

渡部直喜・鷺津史也・大木靖衛・佐藤 修(1995) : 新潟県松之山地すべり地域の地下水の水質について, 地すべり, **32**, 32-40.

安原正也・風早康平(1994) : ハヶ岳の深層地下水の地球化学的研究. ハイドロロジー, **24**, 121-132.

山本 豊(1989MS) : 北陸地域における降雪中の安定同位体比・化学組成の地理的分布. 上越教育大学修士論文, 312pp.

吉岡龍馬・北岡豪一・小泉尚嗣(1993) : 同位体組成から推定される地下水の流動系について-三島市及びその周辺地域を例にして-. 地下水学会誌, **35**, 271-285.