

松代群発地震にともなう温泉水の変化に 関する地球化学的研究 第2報

*東邦大学教養化学教室・**東京都立大学理学部化学教室

野口喜三雄*・上野 精一**・相川 嘉正*・国友 香子*

(昭和45年10月1日受理)

Geochemical Study on the Variation of Hot Spring Waters Caused by the Matsushiro Earthquake Swarm II

Kimio NOGUCHI*, Seichi UENO**, Yoshimasa AIKAWA*
and Koko KUNITOMO*

*Department of Chemistry, Toho University and **Department of Chemistry,
Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University

ABSTRACT

In 1965 and 1966, earthquakes occurred repeatedly in Matsushiro, Nagano Prefecture. The variation of hot spring waters and the waters which flowed out of the fissures created by the earthquakes on the surface at Sezeki and Makiuchi were reported precisely in No. 2, Vol. 20, of this journal. After that, the study on the variation of water caused by the earthquakes has continued and the following results were obtained:

- 1) The water flowing out of the well drilled 173 m in front of Ikedanomiya Shrine in March, 1969, was found to be distinctly rich in free carbonic acid and chloride. Therefore, it was quite different from the water, alkaline and poor in chloride, which flowed out at the same place for a few months just after the earthquakes in 1966.
- 2) In the case of the fissures created at the rear side of Nakasone's residence, when the water started flowing out of the fissures, the rate of flow and chloride content in water quickly increased simultaneously and reached the maximum values within two weeks. After that, the rate of flow decreased gradually and later stopped on the 19th of January, 1967, but chloride content in water remained in a high state until the water disappeared. Almost all the springs or new springs created by the earthquakes which showed rapid increases of a rate of flow and chloride content in water at the beginning of the phenomena showed behaviors similar to that of the above mentioned Nakasone's new spring.
- 3) The water of Nakamura's shallow well at Sezeki increased in chloride distinctly from the 18th of September, 1966 and reached the maximum value, 3570 mg/l Cl, on the 20th of January, 1967. Then the content decreased gradually and showed 126 mg/l Cl on the 23rd of April, 1970. It is assumed that, in this case, at the beginning of the phenomenon, chloride content of the well water increased quickly by the increase of the amount of extraordinary water, very rich in chloride, which penetrated into the shallow ground water, from the 18th of September, 1966. After the 20th of January, 1967, the amount of extraordinary water decreased gradually and chloride content of the well water approached that of an ordinary shallow ground water.

松代群発地震は1965年8月3日から始まり、地震活動の第1回の山は同年11月下旬、第2回の山は翌年(1966年)4月に現われて最も激しく、第3回の山は1966年8月下旬に現れた。

特に皆神山の北及び東側山麓に位する瀬関、牧内等には1966年5月頃から地表面の隆起と共に無数の地割れを生じ日時の経過と共にそれらが次第に生長したが、9月には瀬関、瀬関牧内間、牧内等の地割れ並に加賀井温泉、池田の宮前、太陽通信工業KK構内井等から莫大な量の水が湧出した。それと共に地割れ地帯即ち瀬関、牧内、桐久保等に大規模の地すべりが発生した、松代群発地震に伴って発生したこれらの湧水の水量並に化学成分の変化についてはすでに前報¹⁾で詳細に報告した。今回は松代群発地震の残余活動とみなされるその後の湧水の変化について報告する。

分析 方法

Cl, Br, I, HBO₂, Ca, Mg, Fe等の分析方法は前報と同様であるからここには省略する。尚遊離炭酸については溶存ガスが逃失しないよう注意して一定量の試料を採取し、フェノールフタレンを指示薬として炭酸ナトリウム溶液で滴定し次に試料水の一定量を200c.c.の三角フラスコにとり充分振盪して溶存する二酸化炭素を完全に逃失せしめて後、炭酸ナトリウムで滴定し両者の差から求めた。遊離炭酸の著しく多く含まれる試料には $\frac{1}{2.2}$ N Na₂CO₃溶液を用い、比較的少い試料には $\frac{1}{22}$ N Na₂CO₃溶液を用いた。

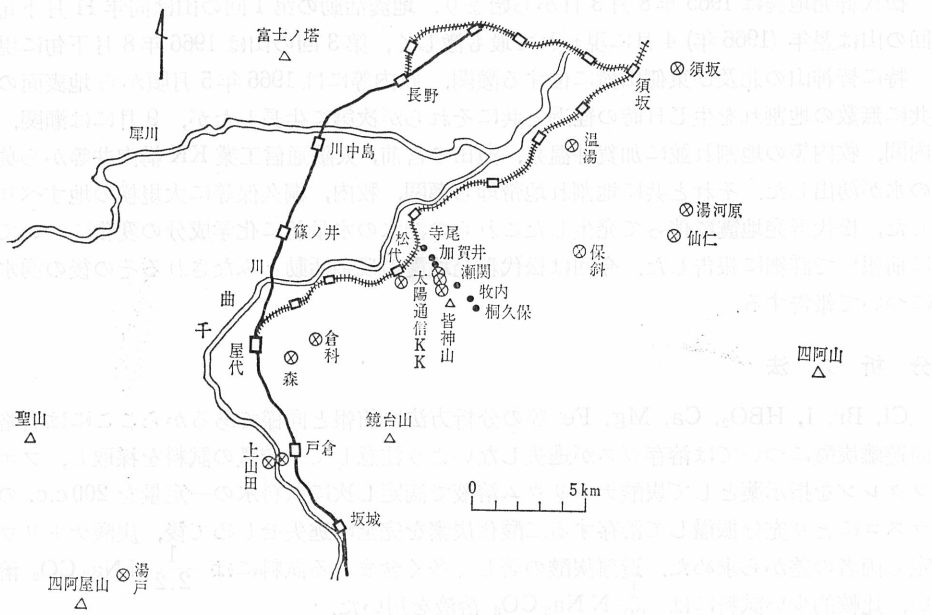
測 定 結 果

1969年3月17日加賀井温泉1, 2, 3号及び地回り地帯湧水の化学成分を調査した。その結果は表1に示す通りである。又これら湧水の位置を図1に示した。

表1 温泉及び地割れ湧水の化学成分 1

試 科	測定年月日	水 温 °C	Cl mg/l	Br mg/l	I mg/l	HBO ₂ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l
(1) 加賀井温泉 No. 1	1969.3.17	37.4	5775	10.4	2.3	672	970	176
(2) " No. 2	"	32.4	4850	8.9	2.0	550	1050	158
(3) " No. 3	"	39.0	5700	10.4	2.1	672	1000	170
(4) 池田の宮前クッサク井 (深さ 173 m)	"	31.4	2475	4.32	1.1	214	1435	276
(5) 牧内地すべり地帯湧水	"	17.3	5000	9.34	2.6	427	2400	359
(6) 牧内地すべり地帯湧水排水路	"	4.2	150	0.25	0.03	3.2	96	24
(7) 瀬関牧内間湧水	"	17.5	2550	4.48	0.5	224	880	389
(8) " (赤褐色沈殿物あり)	"	19.3	3270	5.99	0.9	302	1340	356
(9) " (赤褐色沈殿物あり)	"	19.5	2500	4.46	0.6	238	960	295
(10) 瀬関中村兼治郎氏井戸	"	9.3	560	0.90	0.05	37.1	222	57
(11) 太陽通信工業 K. K.	"	21.4	88	—	—	2.9	51	15
(12) 皆神山北側山麓湧水	"	16.2	77	—	—	3.0	29	17

尚池田の宮前湧水は図1において皆神山と太陽通信工業KKを結ぶ直線上に位し、且加賀井温泉と瀬関地割れ湧水とを結ぶ線にも位置する。この水は1966年9月16日始めて湧出し



松代町及びその周辺の温泉
 ⊗ 弱アルカリ性の塩分の少い温泉
 ● 炭酸ガスを伴い著しく塩分の多い温泉
 尚、寺尾、瀬関、牧内、桐久保は今回の松代地震で初めて湧出したものである。

図 1

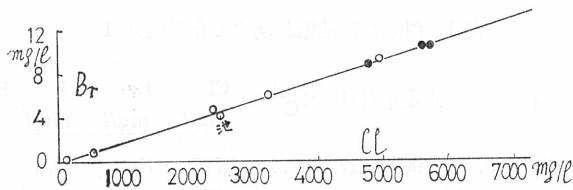


図 2 Cl と Br との関係

(●) 加賀井温泉 (○) 地震によって生じた湧水

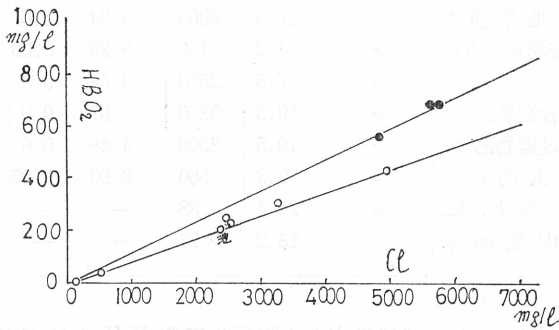


図 3 Cl と HBO₂ との関係

(●) 加賀井温泉 (○) 地震によって生じた湧水

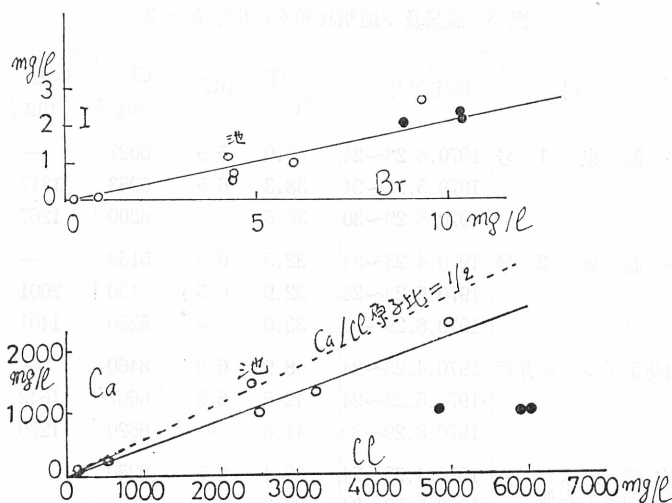


図4 BrとI並にClとCaとの関係
 (●) 加賀井温泉 (○) 地震によって生じた湧水

た、著者らは9月16日調査したほか同年12月22日に再び調査した結果によれば水温 29°Cを示すが、弱アルカリ性の塩分の少ない温泉水であって、これと殆ど同時に多量に湧出した太陽通信工業KK構内水、並に皆神山北側山麓湧水と殆ど同一の系統の水であった。この水はその後の時間の経過に従って急速に水量を減じ遂に涸渇した。1969年ここに深さ 173 m のボーリングを行った処多量の炭酸ガスを伴い、Cl⁻ 含量 2475 mg/l を示す水が自噴した。この水の水温は 31.4°C を示した。この水は多量の炭酸ガスを伴うほか塩分に富むが HBO₂/Cl 比及び Ca/Cl 比の値により瀬関並に牧内の地割れ湧水に酷似していることが判明した(図3, 4参照)。従って地震活動の盛んであった際に湧出した水は地震活動の沈静した1969年クッサクによって自噴した水とは全く異なることは注目し値する(表2参照)。

表2 池田の宮前湧水の化学成分

試 科	測定年月日	水 温 °C	pH	Cl mg/l	アルカリ液 mg/l	F mg/l
(1) 地震によって生じた湧水	1966. 9.16	—	—	81	3.58	0.40
(2) "	1966.12.22	29.0	7.3	142	4.16	—
(3) クッサク井(深さ 173 m) 自噴, CO ₂ を伴う	1969. 3.17	31.4	—	2475	—	—

加賀井温泉及び瀬関、牧内の地割れから湧出した水に関して1969年3月17日に調査した結果を表3に示す。ClとBrとの関係を検すると図2に示す通り1つの正の直線関係が成立し且 Br/Cl比は前報の値と一致した。又池田の宮前にクッサクして得られた湧水の Br/Cl比は加賀井温泉及び瀬関、牧内の地割れ湧水の Br/Cl比とよく一致した。次に ClとHBO₂との関係を検すると図3に示す通り2本の正の直線関係が成立し HBO₂/Cl比は加賀井温泉と地割れ湧水とでは若干異なる。又図4に示す如く BrとIの間にも正の直線関係が成立し、Cl

表 3 温泉及び地割れ湧水の化学成分 2

試 科	測定年月日	温 度 °C	pH	Cl mg/l	CO ₂ mg/l	Fe mg/l	湧水量 l/min
(1) 加賀井温泉 1号	1970.4.23~24	40.0	6.5	6027	—	—	—
	1970.5.23~24	38.3	6.5	5953	1817	—	—
	1970.8.29~30	39.5	—	6200	1267	17	—
(2) 加賀井温泉 2号	1970.4.23~24	32.5	6.5	5153	—	—	—
	1970.5.23~24	32.9	6.5	5130	2001	—	—
	1970.8.29~30	33.0	—	5250	1401	17	—
(3) 松代荘構内防災センター井戸	1970.4.23~24	48.9	6.6	8460	—	—	—
	1970.5.23~24	42.6	6.5	6667	1643	—	—
	1970.8.29~30	41.6	—	6620	1270	24	—
(4) 瀬関牧内間湧水(太管) 下流へ向って右側	1970.4.23~24	20.4	6.5	2280	—	—	—
	1970.5.23~24	20.3	6.4	2263	—	—	—
	1970.8.29~30	20.7	—	2200	1513	0.4	126
(5) 瀬関牧内間湧水(細管) 下流へ向って左側	1970.4.23~24	19.4	6.0	3043	—	—	—
	1970.5.23~24	19.7	6.1	2983	—	—	—
	1970.8.29~30	20.4	—	2950	447	41	32
(6) 牧内地すべり地帯湧水	1970.4.23~24	17.5	6.4	5010	—	—	—
	1970.5.23~24	17.3	6.2	5293	1919	—	—
	1970.8.29~30	17.7	—	4920	1992	5.5	1
(7) 瀬関中村兼治郎井戸	1970.4.23~24	9.5	6.9	126	—	—	—
	1970.8.29~30	16.0	—	180	37	4.4	—
(8) 太陽通信工業K.K.井戸	1970.4.23~24	21.3	7.4	111	—	—	—
	1970.8.29~30	21.3	—	106	10	0.3	18

と Ca との関係に関しては地割れ湧水については Ca/Cl 比が 1/2 に近い値を示した。これらの関係は何れも前報の結果とよく一致する。池田の宮前にてクッサクによって得られた湧水は HBO₂/Cl 比, Ca/Cl 比において瀬関, 牧内の地割れ湧水に酷似することが判明した。

温泉及び地割れ湧水の化学成分の変化

温泉及び地割れ湧水について1970年4月23~24日, 5月23~24日, 8月29~30日に調査した結果を表3に示した。又温泉及び地割れ湧水の時間的変化に関しては1967年11月1日までの結果を前報で詳細に報告した。今回は1ヶ月の最大値に着目して1965年10月より1970年5月までの観測結果を報告する。図5に加賀井温泉1号中の Cl 含量と湧水量の変化を示した。Cl 含量は松代群発地震が第1回の活動の山とされている1965年11月から最も活動の激しかった第2回の山の1966年4月まで減少しつづけ, それ以後は増加した。特に5月から始った湧水量の急激な増加と呼応して著しい Cl 含量の増加が認められた。1966年10月以後は湧水量が急激に減少したが Cl 含量はますます増大した。そして1967年7月頃漸くほぼ一定値を示した。このような Cl 含量並に湧水量の著しい変化にも拘らず水温は僅な変化(約1°C)しか示さなかった。従って松代地震の初期においては加賀井温泉1号は Cl 含量の少い稍温い

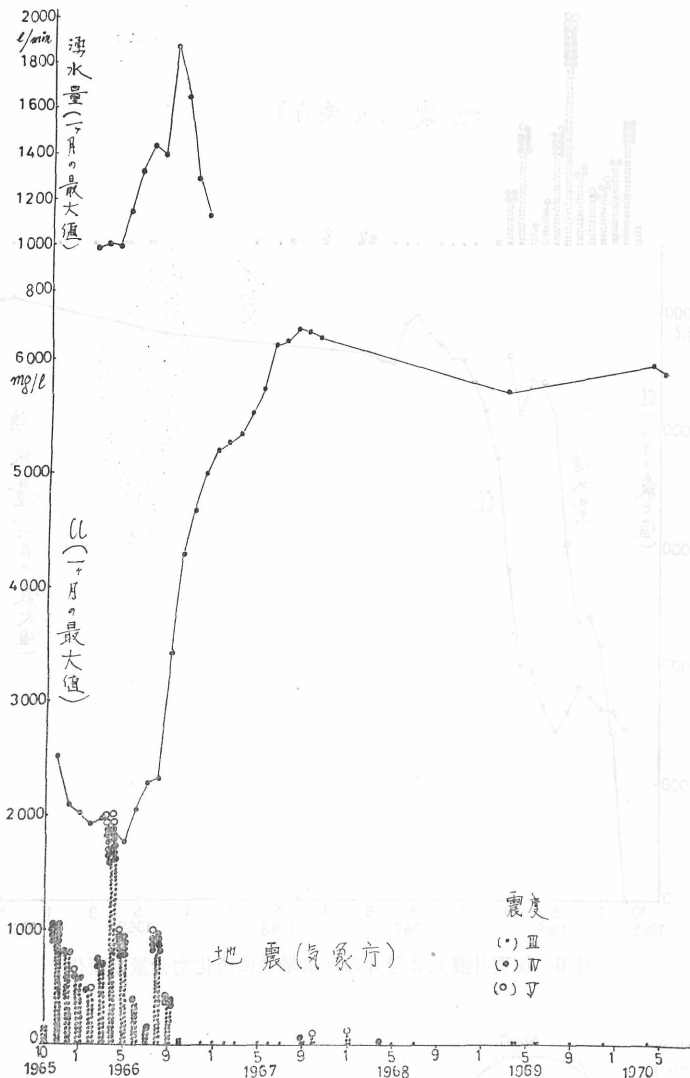


図5 加賀井温泉1号井の湧水量並に塩化物含量の変化

水が地下で混入し第2回の山を過ぎた1966年5月からは塩分に富む水が著しく湧出した。地震活動の最盛期とCl含量の最小値を示した時期とが一致している点が注目される。尚1966年5月から水量並にCl量が増大したがこのことは塩化物に富む水が益々湧出したためと考えられる。そして活動の末期を示す1966年10月以降は水量の減少と共にCl含量がかえって増大した。このことは水量が減少する際には相対的には塩化物の少ない水の方が先に減少したためと考えられる。

加賀井温泉2号の変化を図6に示した。この井戸はすでに涸渇した古井戸であるが、今回の松代地震により復活したものである。1965年11月下旬から湧出し始め次第にその水量が増大した。1966年9月頃にはこの井戸の附近の各処から湯が自噴し、遂に水量測定が不可能になっ

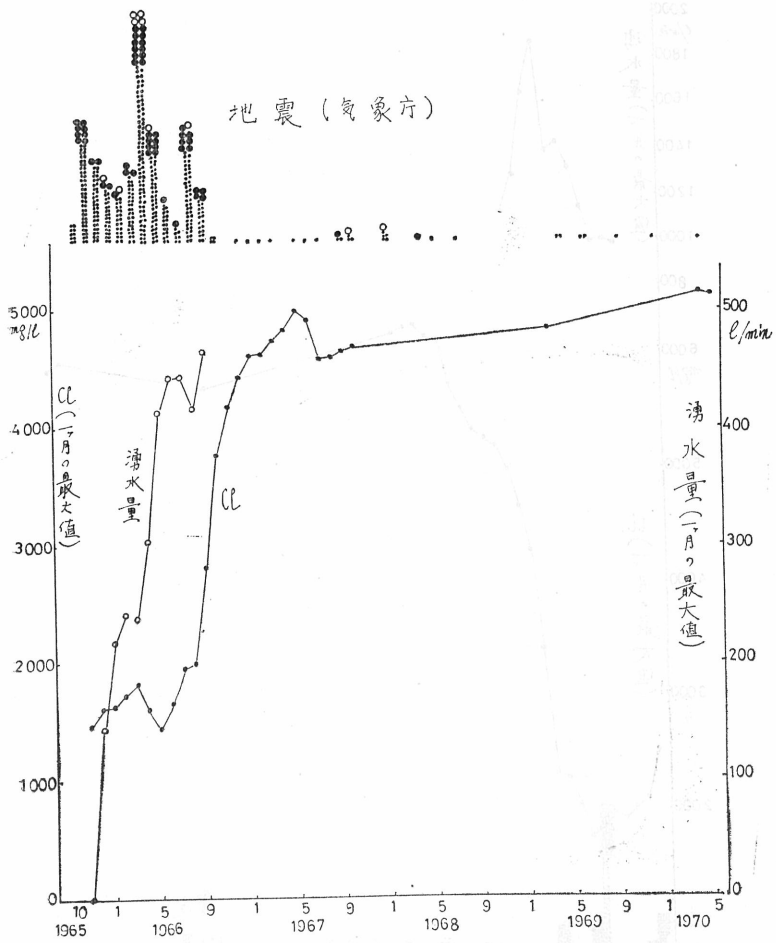
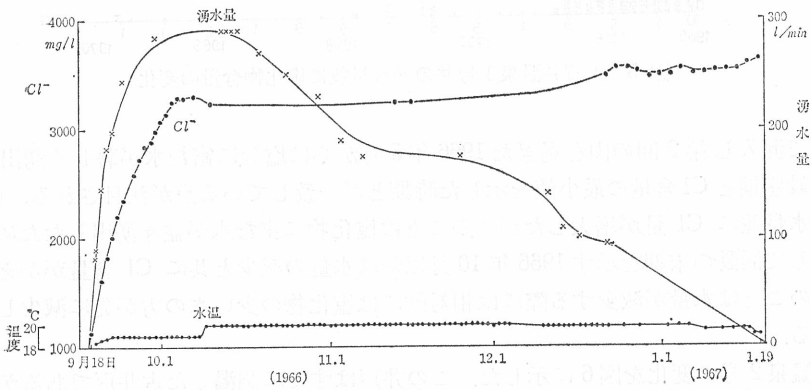


図 6 加賀井温泉 2 号井の湧水量並に塩化物含量の変化



瀬関中曽根喜一方地割れ湧水の水量並に塩化物含量の変化

図 7

た。一方 Cl 含量は No. 1 の Cl 含量と類似の変化を示し 1967 年 2 月頃にはほぼ一定値を示した。1966 年 10 月から水量は減少したが Cl 含量はかえって増大したことは No. 1 と同様である。

瀬関地区中曽根喜一方地割れ湧水の水温、湧水量及び Cl 含量の変化を図 7 に示した。この場合は湧出の初期には水温の上昇、湧水量並に Cl 含量の著しい増加が認められたが 1966 年 10 月 1 日頃にはほぼ一定値となり、これ以後は湧水量は次第に減少したが、Cl 含量は減少せずむしろ稍上昇を示した。1967 年 1 月 19 日頃涸渇した。この場合湧出の初期に出た水は浅い通常の地下水で温度が低く、Cl 含量少い。これが日時の経過と共に次第に Cl 含量の大きい水が二酸化炭素を伴って湧出した。末期には水量は時と共に著しく減少したが Cl 含量は減少しなかった。

瀬関地区の中村兼治郎氏井戸は中曽根喜一宅より下方約 100 m の距離にあるが、浅井戸で手押ポンプを使用して揚水している。この井水の水質の変化を図 8 に示した。この変化は中曽根氏地割れ湧水の出現と呼応して起った。Cl 比含量は 1966 年 9 月急激に上昇し、1967 年 1 月 20 日に最高値 3570 mg/l を示した。その後 Cl 含量が徐々に減少し、1970 年 4 月 23 日には 126 mg/l に減少した。この場合は井戸水であるから常に浅い地下水が存在する。従って深部から割目を通して上昇する Cl⁻ 含量の多い水が増大すれば当然井水の Cl⁻ 含量が増大するが 1967 年 1 月 20 日以後この異常水が減少したため井水の Cl⁻ 含量が次第に浅い地下水の

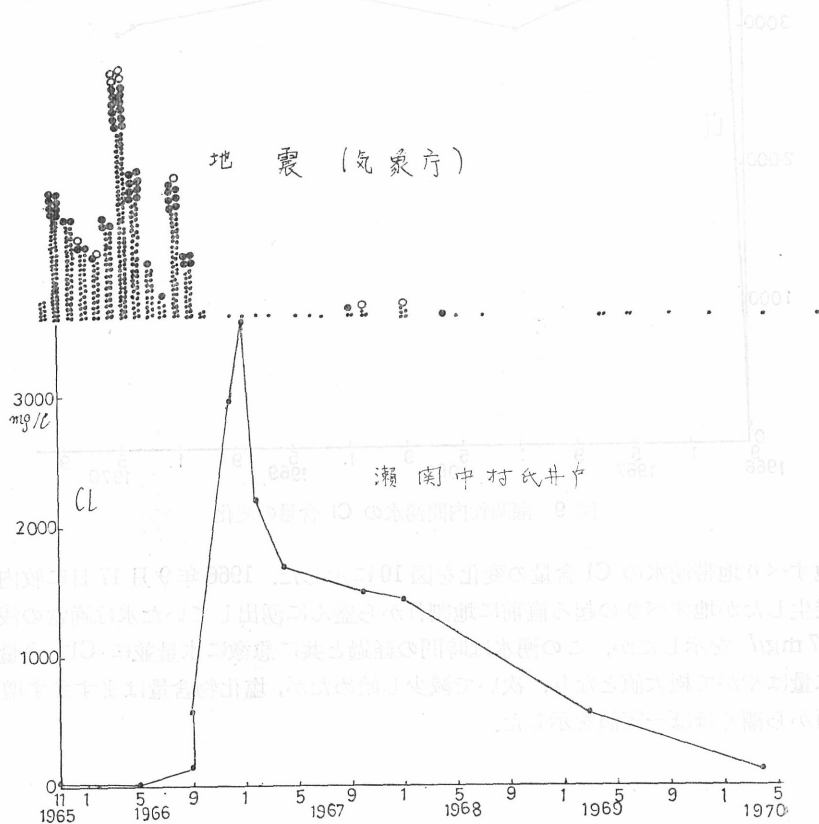


図 8 瀬関中村兼治郎氏井戸の Cl 含量の変化

値に近づいたものと想像される。

瀬関、牧内間にも地割れから莫大な量の水が湧出した。この水の Cl^- 含量の変化を図9に示した。この場合も湧出初期(1966年9月)には塩分の少い浅い地下水が湧出し、次いで水量並に塩分濃度が急激に高まり、1966年12月22日には Cl^- 含量は最大値 4392 mg/l に達した。その後水量は次第に減少したが、塩化物濃度はそれほど減少せず現在に至っている。従って湧出初期には冷たい塩分の少い通常の地下水が先に湧出し、次いで水量の増加と共に塩分濃度が増大し、末期には水量は著しく減少したが、 Cl^- 濃度はそれほど減少しない。尚この塩分に富む水は温度が 19.0°C であり、常に二酸化炭素をガスとして伴っている。

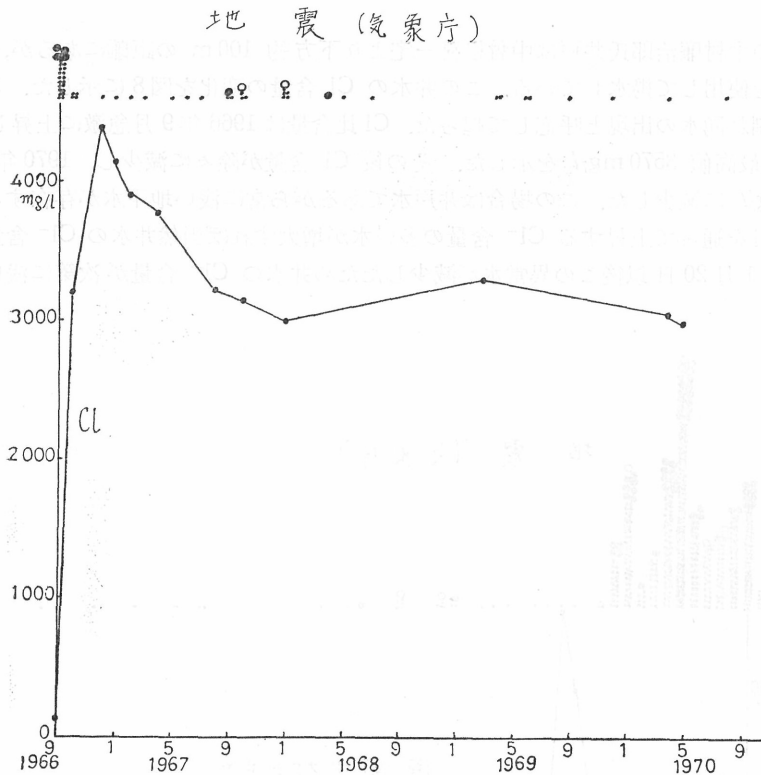


図9 瀬関牧内間湧水の Cl^- 含量の変化

牧内地すべり地帯湧水の Cl^- 含量の変化を図10に示した。1966年9月17日に牧内に大地すべりが発生したが地すべりの起る直前に地割れから盛んに湧出していた水は通常の浅い地下水で Cl^- 37 mg/l を示したが、この湧水は時間の経過と共に急激に水量並に Cl^- 含量が増大した。湧水量はやがて極大値となり、次いで減少し始めたが、塩化物含量はますます増大し1969年5月頃から漸くほぼ一定値を示した。

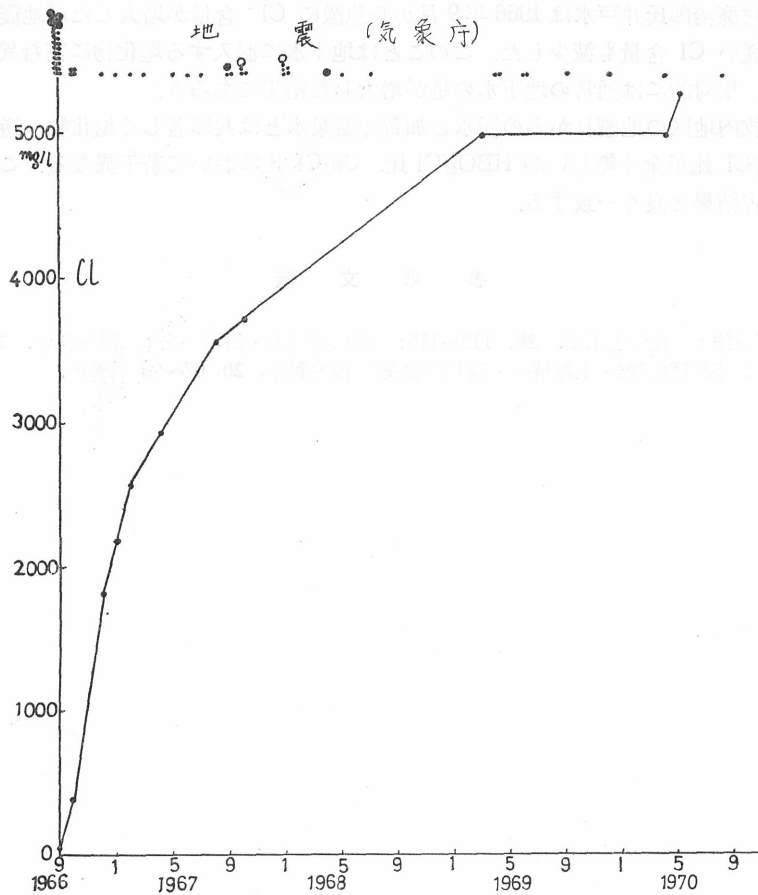


図 10 牧内地すべり地帯湧水の Cl 含量の変化

結 語

以上を総括すると次の通りである。

- 1 池田の宮前にて深さ 173 m クッサクしこれより自噴した水は松代群発地震によって湧出した水とは全く異なり、著しく炭酸ガス、塩化物に富んでいる。HBO₂/Cl 比、Ca/Cl 比を検するとこの水は瀬関、牧内地区の地割れから湧出した水と同じ系統に属することが判明した。
- 2 地割れから湧出した水の水温は 17~20°C を示し通常の浅い地下水より明に高いが著しく高温ではない。
- 3 松代群発地震によって加賀井温泉並に瀬関、牧内等の地割れから湧出した水は時間と共に水量並に Cl 含量が増大したが地震活動が沈静するに従い湧水量は顕著に減少したが Cl 含量は概して減少しない、地割れから初期に湧出した水は浅い塩分の少い地下水であり、次いで水量の増加と共に深部から来る塩分の多い水が湧出した。
- 4 松代群発地震が最も活動期にあった 1966 年 4 月に加賀井温泉 No. 1 の Cl⁻ 含量は最少値を示した。

- 5 瀬関中村廉治郎氏井戸水は1966年9月から急激に Cl^- 含量が増大したが地震活動が沈静するに従い Cl^- 含量も減少した。このことは地下水に混入する塩化物に富む異常水の量が減少し、相対的には通常の地下水の量が増大した結果であろう。
- 6 瀬関、牧内地区の地割れからの湧水と加賀井温泉水とは共に著しく塩化物、遊離炭酸に富み、 Br/Cl 比が全く等しいが HBO_2/Cl 比、 Ca/Cl 比において若干異なる。このことは前回の調査結果と良く一致する。

参 考 文 献

1) 野口喜三雄：化学と工業，20，113~116；野口喜三雄・掛川一夫：温泉科学，20，94~99 (1969)；野口喜三雄・上野精一・西井戸敏夫：温泉科学，20，67~93 (1969)。

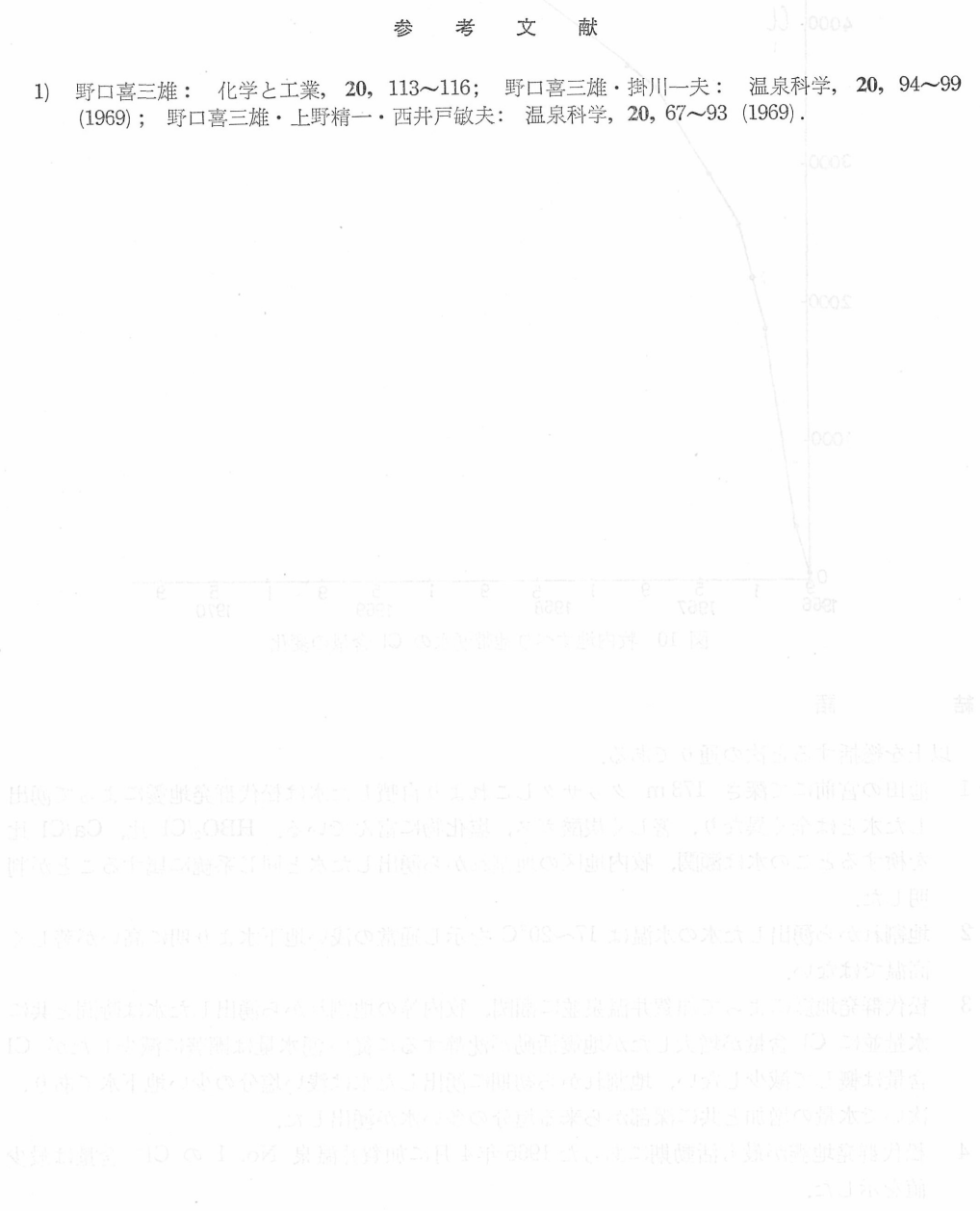


図 10 瀬関地区の No. 10 井戸水における Cl^- の濃度変化