

## 松代群発地震地域に発生した異常湧水の塩素イオン濃度の変化と分布について

|     |                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 著者  | 鈴木 宏芳, 高橋 博                                                                         |
| 雑誌名 | 防災科学技術総合研究報告                                                                        |
| 号   | 18                                                                                  |
| ページ | 73-91                                                                               |
| 発行年 | 1969-03-30                                                                          |
| URL | <a href="http://id.nii.ac.jp/1625/00002568/">http://id.nii.ac.jp/1625/00002568/</a> |

## 松代群発地震地域に発生した異常湧水の 塩素イオン濃度の変化と分布について

鈴木宏芳・高橋博

国立防災科学技術センター

### Distribution and Variation of Cl in Anomalous Ground Water at Matsushiro Earthquake Swarm Area

By

Hiroyoshi Suzuki and Hiroshi Takahashi

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

#### Abstract

From September 1966 a large amount of ground water containing  $\text{Cl}^-$  of high concentration sprang out in the northwest area of Matsushiro Town, Nagano Prefecture, the center of Matsushiro Earthquake Swarm Area.

The authors analysed  $\text{Cl}^-$  contents seven times in a period from November 1966 to July 1968. Results of the analyses are summarized as follows.

- (1) By the  $\text{Cl}^-$  contents, newly sprung ground water can be distinguished from formerly sprung ground water.
- (2) The  $\text{Cl}^-$  contents become 4,500 p p m the maximum.
- (3) The  $\text{Cl}^-$  contents have a little increased in the analysed period.

#### まえがき

松代群発地震の活動が次第に活発になるとともに、震源域内の各地で湧水や湧水がおき<sup>2)</sup>第3活動期に入るや震源域の北西縁沿いに湧水や温泉等の湧出が著しくふえ、特に松代町内においてはおびただしい量の湧水にみまわれ、ついに地すべりの発生をみ、著しい被害を生じた。この湧水は単に水量が著しく多いというだけでなく、その水質

が刻々に変化し、そのため、被害がさらに農作物、魚から飲料水にまで及んだ。そこで、水量の調査と平行して水質の調査がぜひ必要となった。またこの湧水は、今回の地震の原因またはその発生機構と密接な関係があると考えられることから、基礎研究上もその水質、水温、水量の変せんを追求することは非常に重要と考えられ、他の諸観測と平行しておこなう必要が生じた。湧水の調査は

大関関係でも行なっているが、それらのデータは必ずしも思うようには入手できず、時には採水のベリー・ポイントが明らかでなかったりすることなどもあり、一方、防災上や他の諸観測とあわせて考えてゆくためには、刻々と変る湧水の状況をつねに把握しておく必要があることから、当センターでも水質調査をすることとした。分析する成分については、当時すでに野口<sup>5)</sup>によって $CO_2$ と他の組成の変化の間に、ほぼ一次の関係があることが知られていたことと、当所の設備、水質分析経験ともに弱体であることと、目的とを考えあわせて、主として $CO_2$ を取上げることとした。なお、水質、水温の分布と変化を利用して、基盤の弱線の分布と活動及び湧水の上昇通路も探査したいと考えたので、分析地点は広い範囲につきなるべく多数とすることとし、その結果は地質調査所の地中ガスによる探査の結果と対応させてみる考えで出された。

この研究はまだ進行中ではあるが、現在までの結果につきここに報告する。

この研究を行なうに当り、心よく分析の指導と援助をして下さった工業技術院地質調査所の藤貫正、後藤準次の両氏に厚く感謝します。

また、試料の採取に協力をいただいた松代町の皆様に感謝します。

### 1. 異常湧水の分布

松代町における湧水、温泉、井戸水、水路等における顕著な異常は、西からいうと町営ごみ焼場付近からはじまり、東寺尾、加賀井、長礼、田中、屋地、中川、般若寺、瀬関、竹原、岩沢、菅間、滝本、牧内、桑根井からさらにその東方の山中（知られている最東端は牧内水道水源付近）に及び、その延長は約5 km、巾最大1 kmの広域にわたっている。

これらのうち、滝本のような標高の高い地域や、菅間、岩沢部落のような扇状地の上部地域では、湧水、流水等の顕著な減少がみられ、他方扇状地の下部地域（瀬関、竹原、般若寺、中川）や山地から平坦部へ移行する地域（牧内、長礼、加賀井、東寺尾、皆神山山麓）では顕著な湧水がみられる。特に牧内地区、瀬関南地区と皆神山山麓部では、1日数千tに達する量の湧水が流出して地すべり等の災害をおこし、また湧水そのものによって農作物や飲料水等に少なからぬ被害を与えている。湧水の量的変化については別に飯島<sup>\*</sup>が報告してい

るが、湧水の最盛期は41年9～11月で、その後湧量は徐々に減少しており、完全に湧出の停止したものもあるが、現在でもなお相当量の湧出が続いている。

湧水地点の分布をみると、ほぼNW～SE方向の狭い地域に帯状に集中している。これは松代群発地震に伴って皆神山北側に発生した地割れ群の分布<sup>1,2,3)</sup>にはほぼ一致するものであり、湧水自体、地割れの上、あるいはすぐ近傍に発生しているものが少くないことなどより、これら地割れ群と湧水との間に密接な関係があると考えられる。なお、この帯状地域の上には、現在および過去に温泉が湧出している。

松代地域にはこのほか、皆神山の北側の麓付近から屋地の部落を経て廻川の土手に至る間で、瀬関南地区に匹敵する大量の湧水がみられ、地震観測所坑内においても黒色けつ岩の節理から多量の湧水を生じた。これらのものは、野口によれば、水質的には般若寺付近にある太陽通信KKの温泉と同質のもので、善光寺平東縁にそって分布する上山田温泉の系統（弱アルカリ泉）に属し<sup>5), 12)</sup>第3活動期に同じく湧出量がまし、温湯、石枕において地すべりを促進または引きおこしたものと同系統のものである<sup>2, 13)</sup>。この型の分布域には、NW-SE方向のものでみたような地割れはみられないが、EW方向の地割れが厚い粘土質の地盤下に伏在する可能性があり<sup>1)</sup>、あるいは瀬関一滝本間にみられたNE-SW方向の地割れが皆神山より岩の下に伏在している可能性もあるが、山岸の瀬関一倉科の噴気孔を結ぶ線<sup>3)</sup>や、瀬谷の重力の負異常を結ぶ線<sup>7)</sup>上にもあたり、電気的不連続線が天王山両側の基盤中にみられることから<sup>8)</sup>NE-SW方向の弱線が基盤岩中に存在するのかもしれない。なお、この型の水はガスとしては $N_2$ を含み、時に $H_2S$ を多少ともなう<sup>12)</sup>。

### 2. 試料の採取

単に水質の変化を追求するだけでなく、基盤の弱線の活動を把握することと、地すべりや農業、飲料水などの防災上の知識をうるため、採取点はできるだけ多くとることとした。したがって、採取地点は今回新たに湧出した所だけでなく、水質の変化があると思われる水路や滞水や、ボーリング孔からの溢水、温泉、井戸などからもえらんだ

\* 本報告書に報告

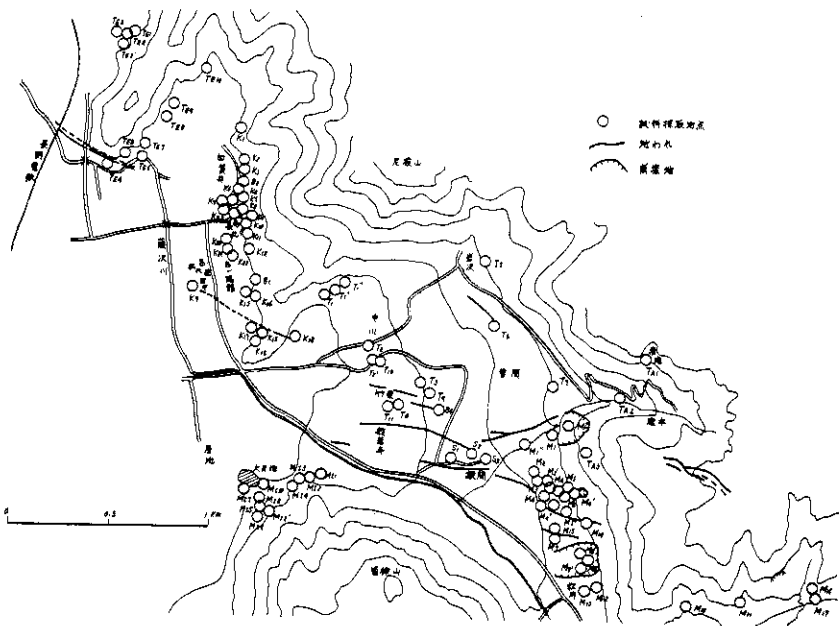


図 - 1 試料採取地点  
Localities of Sampling.

(図-1)。

湧水地点では狭い範囲内に密集して源泉が存在している場合が多いため、その中で特に代表的と思われるものにかぎって採取するようにした。ゆえに、実際の源泉の数は図-1に示したよりはるかに多い。

また、今回のように、水質が日毎に、場合によっては数分以内にさえ変化しており、かつ、血管の末端のごとく多数の源泉から湧出しているので、データの比較のためにも、また、採取地点をあやまらないためにも、採取した所が厳密にわかる必要があるので、採取地点を町製の1/3,000地形図上に正確にプロットするだけでなく、採取地点のスケッチを作った。

また、分析を続けるうちに災害対策工事の進行や、湧水の潤涸、研究の必要上などから、採取の中止を余儀なくされたり、採水条件に変化が生じたり、新期の採取を初めたところなどが相当生じた。したがって、初めから終りまで同じ条件で採取が続いている地点は全体の半分程度となった。

分析は後に述べるように現地分析法によった

め、試料を20筒程度ずつ、松代荘などにはこび分析し、再び採水にむかうということをくり返した。採水に用いた試料ビンには100ccおよび250ccのポリエチレンビンで、交換水、蒸留水の大量の運搬は困難なため、一度用いた試料ビンは井戸水などで十分洗ったのち、採水点において採取する水によって、10回ぐらい十分に洗じようしてから採取した。なお、主要な地点については新しい試料ビンで100~1000cc程度別に採水して保存している。

分析個数は増減はあるが、毎回70~80個程度である。なお、今回の報告には入れてないが、他地区の状況を知るためや、種々の検討のために分析したものが他に10数個ある。

採水に際しては、試料を採取すると同時に、源泉につき1/10目盛り、検定につき水銀温度計で水温を測定し、肉眼による水の濁りやガス、沈殿物の観察も行なっている。水比抵抗計による水比抵抗の測定も1回行なった。

### 3. 分析方法

分析地点の数および今回の目的から、NW-SE

表-1 試料採取地点

Localities of Sampling.

凡例 湧水:湧,井戸:井,温泉:温,ノチ:△,  
ボーリング井B,沼:沼,水路(流水):流

| 地点番号             | 地 点                     | 種 類     | 沈 殿      | ガス  | 備 考           | 地点番号             | 地 点        | 種 類    | 沈 殿    | ガス  | 備 考         |
|------------------|-------------------------|---------|----------|-----|---------------|------------------|------------|--------|--------|-----|-------------|
| TE <sub>1</sub>  | 真寺 <sup>ノ</sup> 処理場下    | 湧       | 赤 褐      | ++  |               | T <sub>10</sub>  | 中 川 井(横井戸) | —      | —      | —   | 42.3より      |
| TE <sub>2</sub>  | " "                     | 湧       | " "      | ++  |               | B <sub>4</sub>   | 竹 原 B      | 黄 褐    | ++     | —   | 深さ4.4m      |
| TE <sub>3</sub>  | " "                     | 流       | 赤 褐 多量   | —   | 水路改修42.7      | T <sub>11</sub>  | " "        | 湧      | —      | —   |             |
| TE <sub>3'</sub> | " "                     | 湧(多量)   | 赤 褐      | +++ | 42.7より        | T <sub>12</sub>  | 滝 本 清 滝    | 流      | —      | —   |             |
| TE <sub>4</sub>  | " 堀志那神社                 | 湧(少量)   | 黄 褐      | +++ |               | T <sub>12'</sub> | " 乙女沢      | 流      | —      | —   |             |
| TE <sub>5</sub>  | " ガケ下                   | 湧       | 赤 褐      | +   |               | T <sub>13</sub>  | 笠 原        | 湧(少量)  | —      | —   |             |
| TE <sub>6</sub>  | " 松代 <sup>ノ</sup> 松2    | (日→△)   | 黄 褐      | +++ |               | S <sub>1</sub>   | 瀬 関        | 湧      | 黄 褐    | —   |             |
| TE <sub>7</sub>  | "                       | 井(温性)   | 赤 褐, 黒   | +   |               | S <sub>2</sub>   | "          | 湧(温性)  | 赤 褐 多量 | +++ | 42.9以後カレ    |
| TE <sub>8</sub>  | "                       | 沼       | —        | —   | 水路改修 42.7     | S <sub>3</sub>   | "          | 湧(温性)  | "      | +++ | 42.3以後カレ    |
| TE <sub>9</sub>  | "                       | 湧(少量)   | 赤 褐, 黒   | ++  | 42.2以後カレ      | M <sub>1</sub>   | 笠原,地すべり跡   | 湧(少量)  | —      | —   | 42.7以後カレ    |
| TE <sub>10</sub> | "                       | 湧       | —        | —   |               | M <sub>1'</sub>  | " " 上端     | 湧(少量)  | —      | —   | 42.4以後カレ    |
| K <sub>1</sub>   | 加 賀 井                   | 湧       | 赤 褐, 微量  | —   |               | M <sub>1''</sub> | " 乙女沢      | 流      | —      | —   |             |
| K <sub>2</sub>   | "                       | 井(横井戸)  | —        | —   | 42.3以後 量減     | M <sub>2</sub>   | 瀬 関 南      | 湧      | 褐 (少量) | ++  | 42.4以後カレ    |
| K <sub>3</sub>   | "                       | 湧       | —        | —   |               | M <sub>3</sub>   | "          | 湧      | "      | ++  | 42.9 暗渠工事   |
| K <sub>4</sub>   | "                       | 湧       | 赤 褐, 多量  | ++  | 42.7以後 量減     | M <sub>4</sub>   | "          | 湧      | —      | —   | 42.7 暗渠工事   |
| K <sub>5</sub>   | "                       | 湧(横穴)   | "        | ++  | 42.9 暗渠工事     | M <sub>5</sub>   | "          | 湧      | —      | ++  | 2月以後 量に變更   |
| K <sub>6</sub>   | "                       | 湧       | "        | —   |               | M <sub>6</sub>   | "          | 湧      | —      | ++  |             |
| K <sub>7</sub>   | "                       | 湧(温性)   | 赤 褐, 黄 褐 | +++ |               | M <sub>7</sub>   | 牧 内        | 湧      | —      | —   |             |
| K <sub>8</sub>   | 長礼.排水孔                  | 流       | 黄 褐 少量   | —   |               | M <sub>8</sub>   | 牧内(地すべり内)  | 湧      | 赤 褐    | ++  |             |
| K <sub>9</sub>   | "                       | 湧       | 赤 褐 少量   | —   |               | M <sub>9</sub>   | " "        | 湧      | "      | ++  | 42.7以後 暗渠工事 |
| K <sub>10</sub>  | "                       | 湧       | "        | —   | 42.3以後 排水不可   | M <sub>10</sub>  | 棚 久 保      | 湧      | 赤~黄褐多量 | ++  | 42.12以後カレ   |
| K <sub>11</sub>  | "                       | 湧       | "        | —   |               | M <sub>11</sub>  | "          | 湧      | 褐, 少量  | ++  | 42.7以後カレ    |
| K <sub>12</sub>  | "                       | 湧(少量)   | —        | —   | 42.3以後 カレ     | M <sub>12</sub>  | 牧 内        | 湧      | —      | —   |             |
| K <sub>13</sub>  | 田 中                     | 湧       | 赤 褐 多量   | +++ | 42.3以後暗渠工事    | M <sub>13</sub>  | "          | 湧      | —      | —   |             |
| K <sub>14</sub>  | "                       | 湧       | "        | +++ | "             | M <sub>14</sub>  | 瀬 関 南      | 湧      | 褐      | ++  | 42.3より測定    |
| K <sub>15</sub>  | "                       | 湧(温性)少量 | 赤~黄褐     | ++  | 42.9 暗渠工事     | M <sub>15</sub>  | "          | 湧      | 赤 褐    | —   | 42.3より測定    |
| K <sub>16</sub>  | "                       | "       | —        | —   |               | M <sub>16</sub>  | "          | 湧      | —      | —   | 42.9 暗渠工事   |
| K <sub>17</sub>  | "                       | "       | 赤~黒褐     | +++ | 42.4 排水工事     | M <sub>17</sub>  | "          | 湧      | 赤 褐    | +++ | "           |
| K <sub>18</sub>  | 旭 田 宮                   | "       | 黄 褐~白    | +++ |               | M <sub>18</sub>  | 瀬関南ボーリング   | B      | "      | ++  | "           |
| K <sub>19</sub>  | 田中, 松代荘南                | "       | 赤 褐      | +++ | 42.4~排水工事     | M <sub>19</sub>  | "          | 井(横井戸) | —      | —   | 42.3より測定    |
| B <sub>1</sub>   | 田中, 町屋 <sup>ノ</sup> ボー  | B(温)    | 赤 褐 多量   | +++ | 41.11-42.2掘進中 | M <sub>20</sub>  | 牧内地すべり内    | 湧      | 赤 褐    | ++  | "           |
| B <sub>2</sub>   | 加賀井, 林野 <sup>ノ</sup> ボー | B       | "        | +++ | 42.3より深さ9cm   | M <sub>21</sub>  | 牧 内        | 井      | —      | —   | "           |
| B <sub>3</sub>   | " B <sub>2</sub> -1     | B       | 黄 褐 少量   | ++  | " 深さ28.6cm    | M <sub>22</sub>  | 牧内防犯センター   | B      | —      | —   | "           |
| K <sub>20</sub>  | 長礼 (旧湯田)                | 温(B)    | 赤 褐 多量   | +++ | 41.12 破 損     | M <sub>23</sub>  | 立 石 沢      | 流      | —      | —   | "           |
| K <sub>21</sub>  | " 新湯田(A)                | 温(B)    | "        | +++ | 42.7 2D       | M <sub>24</sub>  | "          | 流      | —      | —   | "           |
| K <sub>22</sub>  | " 新湯田(C)                | 温(B)    | "        | +++ |               | M <sub>25</sub>  | 瀬関南ボーリング   | B      | 赤 褐    | ++  | 42.3より測定    |
| K <sub>23</sub>  | " 松代荘南 <sup>ノ</sup> 湯田  | 温(B)    | "        | +++ |               | M <sub>26</sub>  | 皆 神 山 山 麓  | 湧      | —      | —   | 42.7より排水工事  |
| T <sub>1</sub>   | 中川, 善徳寺裏                | 湧       | 赤 褐 多量   | ++  |               | M <sub>27</sub>  | "          | 湧      | —      | —   | "           |
| T <sub>1'</sub>  | "                       | 湧       | "        | —   | 42.3より        | M <sub>28</sub>  | 皆神山 横井戸    | 井      | —      | —   | "           |
| T <sub>1''</sub> | "                       | 湧       | "        | —   | "             | M <sub>29</sub>  | "          | 湧      | —      | —   | "           |
| T <sub>2</sub>   | 中 川                     | 井(横井戸)  | —        | —   |               | M <sub>30</sub>  | " 大日堂ウラ    | 湧      | —      | —   | 42-4以後カレ    |
| T <sub>3</sub>   | 竹 原                     | 井(横井戸)  | —        | —   | 42.3 2D       | M <sub>31</sub>  | "          | 湧      | —      | —   | 42.7 排水工事   |
| T <sub>4</sub>   | "                       | "       | —        | —   |               | M <sub>32</sub>  | " 大日堂流水    | 湧      | —      | —   | "           |
| T <sub>5</sub>   | 岩 沢                     | 流       | —        | —   |               | M <sub>33</sub>  | " 神 水      | 湧      | —      | —   | "           |
| T <sub>6</sub>   | 岩沢-皆神間                  | 湧       | —        | —   | 42.2 カレ       | M <sub>34</sub>  | " コンクリート管  | B      | 赤 褐    | +   |             |
| T <sub>7</sub>   | 皆 間                     | 流       | —        | —   |               | M <sub>35</sub>  | "          | 湧      | —      | —   |             |
| T <sub>8</sub>   | 竹 原                     | 湧       | —        | —   |               |                  |            |        |        |     |             |

系統の分布を示す湧水に重点をおいて分析方法の検討を行なった、野口らの研究からこの系統に属する温泉の組成が、 $\text{Cl}^-$ の濃度にはほぼ比例して増減していることが知られており、湧水が加賀井温泉の系統のものと察せられたことと、防災上の必要から $\text{Cl}^-$ を分析し、これによって湧水成分の濃さの指標とすることとした。また、若干のものについてはアルカリ度の分析も行なった。皆神山北麓付近一帯と同質と思われる湧水を以下皆神系統の水と呼ぶことにするが、第3活動期以後震源域がさらに拡大し、坂井村付近でも湧水及び湧水が生じたので、防災上の必要もあってこの系統の水質につき指標となる分析成分を検討したが、結論がえられず採水したにとどまっている。もちろん、筆者らは分析組成は1成分でよいなどと決めているわけではない。たとえば筆者らは、主成分の分析は大学関係者で行なわれているが、微量成分まで知りたいと考えていたので、瀬岡でMnイオンが20ppmあり、飲料水として不安が生じた機会に、42年5月大量の水を採取し、他の協力をえてその分析を行なったりしている。ただ通常は $\text{Cl}^-$ に限るというより限らざるをえないのは、ひとえに当センターが設備と人の面で至って弱体であることによるのであり、しかも、目的上多数の試料を迅速に処理する必要から生じたものである。

次に、すでにのべたような方法で試料の採取を行ない、分析方法としては現地分析の方法をとった。その理由は今回の測定目的から分析地点を沢山とり、データを迅速に知りたいことと、筆者らは一人でも何役も行なわざるをえないことと、目的自身が地球化学的探査の性格をもっているためである。各回の試料を源泉中におけると同じような状態のまま完全に保管し、全部の試料を同一人が完全な設備下で一気に行なえば、測定値の精度は非常に高く、濃度の変化につき極めて信頼度の高い値がえられることを指摘されるむきもあるが、そのような仕方は筆者らの目的に反するのと、筆者らはこの場合に関してだけはどちらかというと高度に精度の高い値を必ずしも必要としていない。注1) 当地のように、毎日というより激しい場合は数分以内で化学組成がかわっているような場合、多数の機関で、異った時刻にできるだけ多数の分析値がえられることは望ましいし、それらの値を互いに交換しあうことはぜひ必要なことである。ただその場合、信頼性の高い値でないとそれらを

交換した意味をもたなくなる。ただ筆者らの値の場合、上述のような事情があるので、厳密な値の比較をする場合には、用いていたかたの方がよいと考えるので、特にここにことわっておく。しかし、そうはいっても信頼性のないデータはだしたくない。有名な分析化学者や分析機関で行なった分析値でも、なかなか一致しない場合があることはよく経験する所である。人によるバラツキのないようにする方法を地質調査所の化学課で以前から検討してきており、現地あるいは現物分析を多数行なっているの、筆者らは地質調査所の分析法によることとした。

注) もちろん、筆者が信頼性の高い値のものによって研究しなければならないことは承知している。そうしていないために誤った議論していた例もしており、多くの研究では分析の厳密性の不足に問題が多いと考えている。が一方、品位分析ほどではなくとも、精度を若干犠牲にしても多数の試料を迅速に処理できる方法による分析の必要な場合もある。これらえられた分析値の信頼性におかまいなしで集計や比較をする人達のいることも問題であると思う。分析値を何で知るために使うのか、それによって、その時必要とされる精度がきまってくるものである。そのような安易な考えは化学者にとってははなはだおもしろくないものであることは、筆者らは百も知っており、その時の目的によっては筆者自身、不同意あるいは安易な分析値を排除する側にも立ってきているのではあるが、分析が化学の研究のためにのみ行なわれるのでないの、このようなことは止むをえないことである。なおこの研究には関係ないことであるが、非常に厳密に吟味して分析された値でも、使い方によっては母集団に対する代表性が小さい場合もある。なぜなら、化学組成は非正規分布をするので、分布ひずみの大きいものでは特にそういえよう。<sup>10)</sup> (注おわり)

分析は次のようにして行なった。すなわち、採取試料から正確に5~20mlを交換水にて十分洗じようしたビーカー(容量100ml)にとり、クロム酸カリウム10%溶液を2~3滴加え、 $\text{N}_{10}$ の硝酸銀標準溶液で滴定し、わずかに、赤褐色を呈する点を終点とした(図-2) なお $\text{Cl}^-$ 濃度の著しく多いものについては、蒸留水で2~5倍にうすめて滴定した。その場合の求める $\text{Cl}^-$ 濃度は次のようになる。

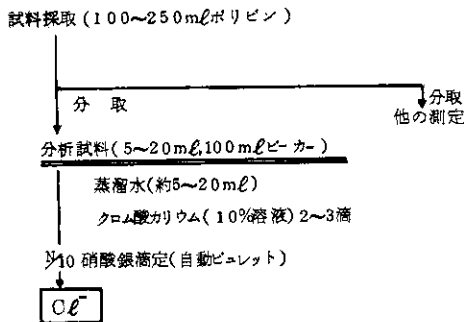


図-2 現地分析法系統図  
Field analysis system.

$$\text{Cl}^- (\text{ppm}) = 3.545 \times f \times n \times 1000 / S$$

f: 硝酸銀溶液ファクター

n: N/10 硝酸銀標準溶液使用量 (ml)

S: 試料の量 (ml)

本当は  $\text{Cl}^-$  の濃度に応じて滴定に用いる硝酸銀標準溶液の濃度もかえる方がよいが、松代の場合、 $\text{Cl}^-$  濃度が数 ppm から数千 ppm にまでまたがっているため、硝酸銀標準溶液の濃度を変えるためには別の分析器具を用いるか、器具をいちいち洗滌しなければならず、現地分析ではそれは困難である。そのためこの研究では、硝酸銀標準溶液はすべて N/10 溶液を用いた。誤差をできるだけ少なくするため、高濃度試料は 5 ml、低濃度試料は 10 ~ 20 ml あるいはそれ以上とった。

分析の精度をしらべるため、NaCl の種々の濃度の溶液を作成して、野外調査と同じ分析方法で測定誤差を求めてみた。結果は 1,000 ppm 以上では 2% 以内、1,000 ~ 100 ppm で 2 ~ 4%，100 ~ 25 ppm で 5 ~ 10%，10 ppm で 20% という値で、いま議論する程度には十分使用できることをたしかめた。

なお、加賀井温泉における野口の分析値との比較をすると図-3 のようになる。泉質の変化は一

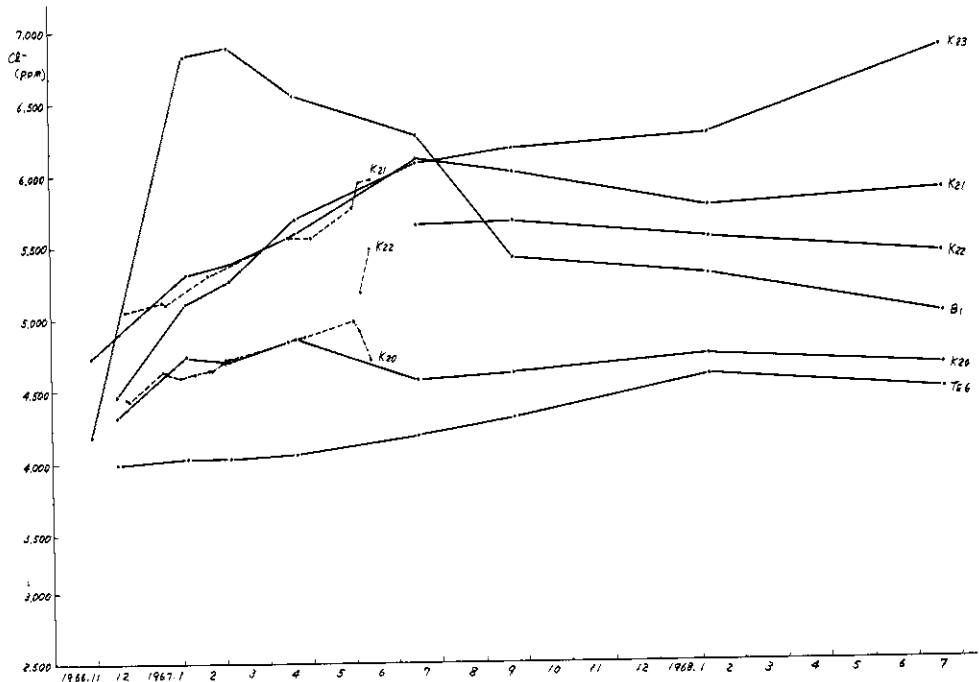


図-3 温泉水の  $\text{Cl}^-$  濃度変化 (点線は都立大学野口の資料による)  
 $\text{Cl}^-$  variation of hot spring.

様ではないから、このように時をことにするもので比較しても無意味であるともいえるが、精度の一応の目安になるものと考える。

#### 4. 水質とその変化

測定は1966年11月に予備調査として数個行なったのち、本格的な調査を次のように1967年末までに8回行なった。

|      |                 |
|------|-----------------|
| 予備調査 | 1966年11月27日～29日 |
| 第1回  | 1966年12月14日～16日 |
| 第2回  | 1967年2月4日～6日    |
| 第3回  | 1967年3月3日～7日    |
| 第4回  | 1967年4月19日～22日  |
| 第5回  | 1967年7月15日～17日  |
| 第6回  | 1967年9月22日～24日  |
| 第7回  | 1968年2月7日～9日    |
| 第8回  | 1968年7月19日～21日  |

測定した結果を表-2に示す。また、測定地域における $\text{Cl}^-$ 濃度の分布の傾向を第1回と第4回の測定値について図示すると図-4-1.2のごとなる。これをみると大体的には高濃度の所が、NW-SE方向に分布し、それが皆神山北側の所で低濃度帯に横切られているような概観を示している。全体的な分布の問題は次に譲るとして、各地域ごとに濃度に特徴があるようにみえる。すな

表-2  $\text{K}_{23}$ 井分析表(1965.5.20)  
Analysis of  $\text{K}_{23}$  well.

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 温度                 | 41℃ (1965. 6.16)  |
| 水素イオン濃度            | 6.7               |
| おもな含有成分および含有量(ppm) |                   |
| $\text{K}^+$       | 293.9             |
| $\text{Na}^+$      | 1717.             |
| $\text{Ca}^{++}$   | 429.1             |
| $\text{Mg}^{++}$   | 60.33             |
| $\text{Fe}^{++}$   | 10.92             |
| $\text{Cl}^-$      | 3064              |
| $\text{SO}_4^{--}$ | 174.5             |
| $\text{HCO}_3^-$   | 1164              |
| 泉質                 | 含食塩硫化水素泉          |
| 分析者                | 長野県衛生研究所<br>赤尾 秀雄 |

わち、同一地域に湧出している $\text{Cl}^-$ の濃度から湧出点が幾つかのグループは比較的是っきりした境界で他のグループと接しているように見れる。そして同じような $\text{Cl}^-$ 濃度の値をもつグループの間では、地形的にも似かよった特徴を持っているように思われる。そこで、以下にまず地域ごとに $\text{Cl}^-$ 濃度の分布とその変化の特徴を記す。

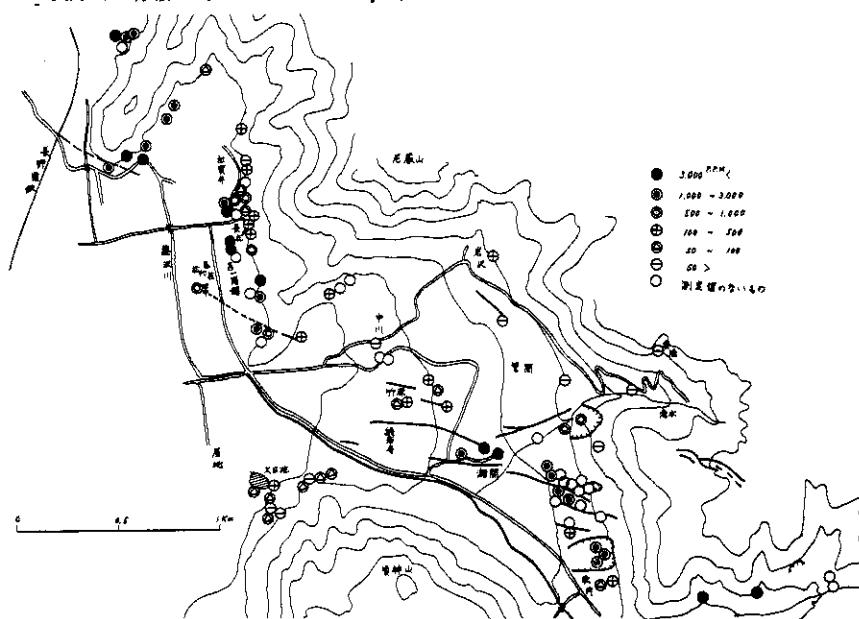


図-4-1  $\text{Cl}^-$ 濃度分布図(1966.12)  
Distribution of  $\text{Cl}^-$  concentration(1966.12).

Distribution of  $\text{Cl}^-$  concentration (1967.7).

この地区は半島状に平野部に突出した山地の周辺に点々と湧水の分布がみられる地区である。この地区を仔細にみると、半島状山地の東側は山地と平野部の境に沿って点々と、その最盛期にはほぼ連続的に湧水をみた所で、地形的には千曲川の自然堤防の東側、山地との間の沼沢地であった所である。これに対して山地の西側には、湧水はゴミ焼場下付近のやや湿潤な低地で、昔温泉があった所に集中的に発生している。

秋は例年になく  $\text{CO}_2$  が多量に発生し、家人が窒息しそうな事故が生じた。東側の地区のものは湧出箇所も多く、濃度もほほそろっているが、各湧出点の湧出量は何れも多くない。T<sub>B</sub>6は、T<sub>B</sub>8付近に掘られた松代荘の温泉用ボーリングの2号線で、パイプによって図上の地点までひいて、三角ノッチにより流量を観測しているものである。T<sub>B</sub>6のSE方向の田の中にも湧水が生じているらしく、稲の生育が著しく悪い所がある。半島のつけねにあたる部分ではT<sub>B</sub>10に示されているように、湧水はあるが、 $\text{Cl}^-$  濃度も、水温も低く、これは地形的にも背後が谷であり、普通の地下水が全般的な地下水面の上昇により湧水したものと考えられる。

東寺尾地区全体としてO<sub>2</sub>濃度はわずかながら増加する方向にあるが、そう大きな変化はみられない。グラフで変動の大きなものは、沼とか滞水性の試料で、これらはその時の環境的条件によって大きく左右されるものである。

松代群発地震地域に発生した異常湧水の塩素イオン  
濃度の変化と分布について — 鈴木・高橋

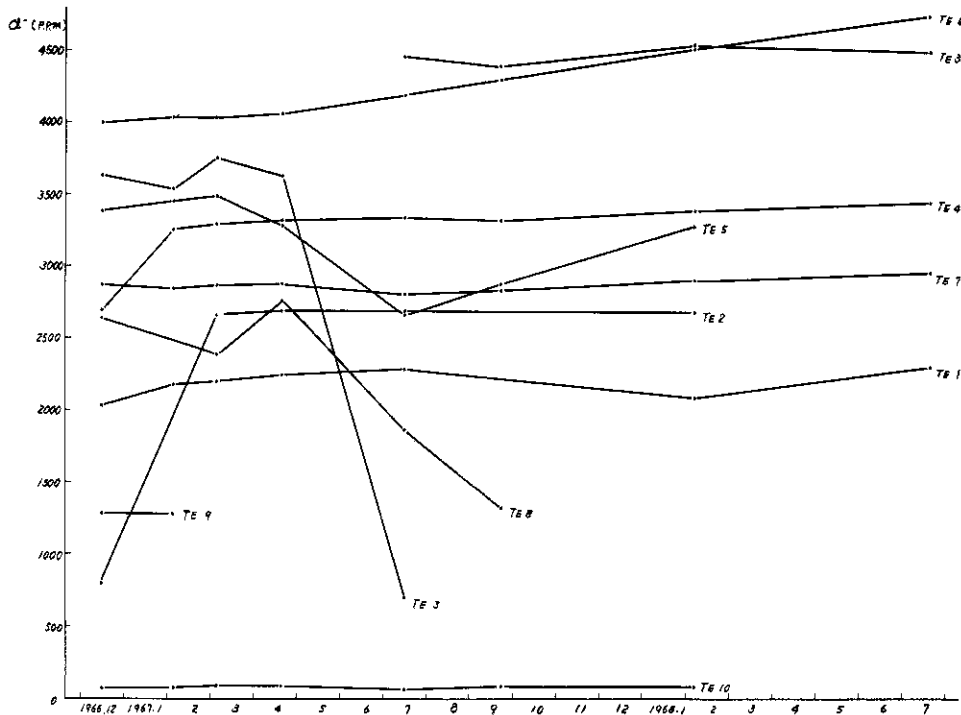


図-5-1 東寺尾地区の  $\text{Cl}^-$  濃度変化  
 $\text{Cl}^-$  variation of Higashiterao area

#### 4.1.2 加賀井, 長礼地区 (図-5-2)

東寺尾地区と当地区の間にある扇状地状の地形の部分には湧水はまったくみられない。湧水は主として加賀井部落の南半分と、長礼部落にかけてほぼ連続状に発生し、山麓部のみでなく、平野部や加賀井部落の前の田の中にも発生している。加賀井部落南端付近では、地震の発生とともに地すべりが発達し、住宅が被害をこうむり、2軒は家を取りこわさねばならない所までに至った。<sup>11)</sup> このほか第3活動期には、長礼部落の背後の山地に地すべり性地割れが発生した。湧水は山麓付近では平野より数m位高い所でも生じたが、最盛期(1966年9月)には平野部より数10mの高所でも1時的に生じたという。

この地区のものは、500 ppm以下の低濃度、800~1100 ppmの中濃度、2000~3000 ppmの高濃度湧水の3つに大別することができる。低濃度のものは、山地の斜面のすぐ下から湧出しているものに多く、中濃度はそれからやや平地側に湧出している傾向がある。

高濃度のものは  $\text{K}_2$  を除くと温泉のためのボーリング井と地すべり防止の水抜ボーリング孔 ( $\text{B}_2$ : 深さ19m  $\text{B}_3$ : 28.6m) であり、 $\text{K}_2$  はそのすぐ側には温泉の湧湯が湧出していることから、地下の浅所にすでに地表水等の混入を余りうけてない高濃度の温泉水が存在しているものと思われる。

濃度は全体にやや上昇の傾向にあり、 $\text{K}_2$  は特に著しい。また、低・中濃度湧水は測定当初には比較的濃度が狭い範囲に入っていたものが、その後測定値がだんだん分散する傾向にある。それに対し、高濃度のものは収れんする傾向を示している。特に最後の測定では収れんが著しい。また、長野県厚川治山事務所の調査<sup>11)</sup> によると、当地区には数本の軟弱帯が山地から平野にかけて分布することが推定されており、それによると  $\text{K}_2$ ,  $\text{B}_2$ ,  $\text{K}_3$  などはその上に存在していることになる。

#### 4.1.3 田中・池田の宮地区 (図-5-2)

天王山の半島状に突出した両側の地区を田中・池田の宮(玉依比売神社)地区と呼ぶこととする。湧水は半島状山地の両側に分布する。西側の

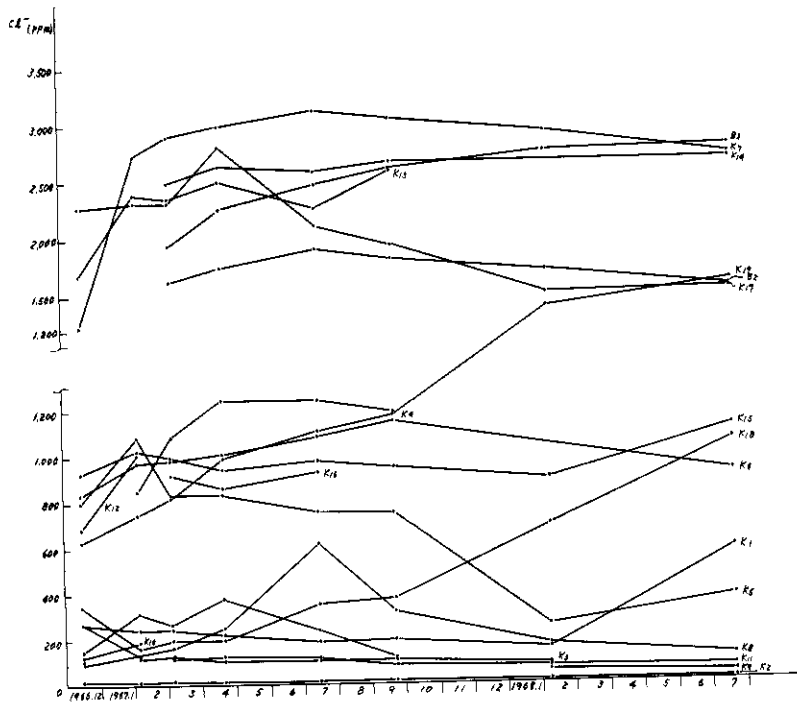


図-5-2 加賀井, 長礼, 田中, 池田の宮地区の $\text{Cl}^-$ 濃度変化  
 $\text{Cl}^-$  variation of Kagai, Nagare, Tanaka and Ikedanomiya area

田中地区は加賀井, 長礼地区の延長で, 元来低湿地帯であった所であり, 東側は池田の宮あたりから北側は扇状地に属する。地割れ群は, 池田の宮境内をNWの方向に通り, NAKAMURA<sup>3)</sup>の調査によると,  $K_{17}$ 付近で地表面が所々で延び, 測定されN-S方向の地面の延びは約30 cmあったという。これら地割れ群上に湧出したと思われる湧水のうち,  $K_{17}$ と $K_{18}$ は $\text{TE3}$ とともに松代地区では1つの源泉としては最大の規模の湧出を今なお続けている。

水質的にはこの地区は天王山を境として, 山の西側で大きな相違がみられる。西側の湧水は, 2000 p.p.m以上の温泉性高濃度湧水が特徴的で, 温度も高く( $K_{13}$ ,  $K_{14}$ ), 湧水としては最高の温度(33.0℃)が観測されている。それに対して東側の湧水( $K_{18}$ )は, 温度は28~29℃と一般に高温ではあるが,  $\text{Cl}^-$ 含有量は低く, 200~400 p.p.m程度であり, 沈澱も西側は赤~黒褐色のコロイド状の多量の沈澱物であるのに対して, 東側は黄~白色の羽毛状の少量の沈澱物である。

そしてこの両者の間に $\text{Cl}^-$ が1,000 p.p.m程度の, 高温の, 両者の中間的な性質を有する湧水が湧出している。 $(K_{13}, K_{14})$ 沈澱も両者の中間的な性質である。

これらのことにより, この両方の湧水は成因的に異なった原因をもつ湧水だと思われる。すなわち, 田中地区のものは, NW-S E系統の塩素イオンや $\text{CO}_2$ ガスの多い温泉性のものであるのに対し, 池田の宮地区は, 太陽通信の系統の弱アルカリ性の温泉がちょうど切り込んだような形で湧出したものと思われる。<sup>12)</sup> $\text{Cl}^-$ 濃度が増加していることから両者の混合も考えられるが,  $\text{Cl}^-$ 濃度だけでは明らかでない。

$\text{Cl}^-$ 濃度は $K_{17}$ を除き両地区ともやや増加の傾向を示している。

#### 4.1.4 竹原, 中川, 菅間, 岩沢, 滝本 地区 (図-5-3)

この地区は, 奇妙山方面からの土石で形成された扇状地である。湧水は, 天王山付近, 竹原付近, 菅間付近にみられる。この地区には水路が多い。

松代群発地震地域に発生した異常湧水の塩素イオン  
濃度の変化と分布について — 鈴木・高橋

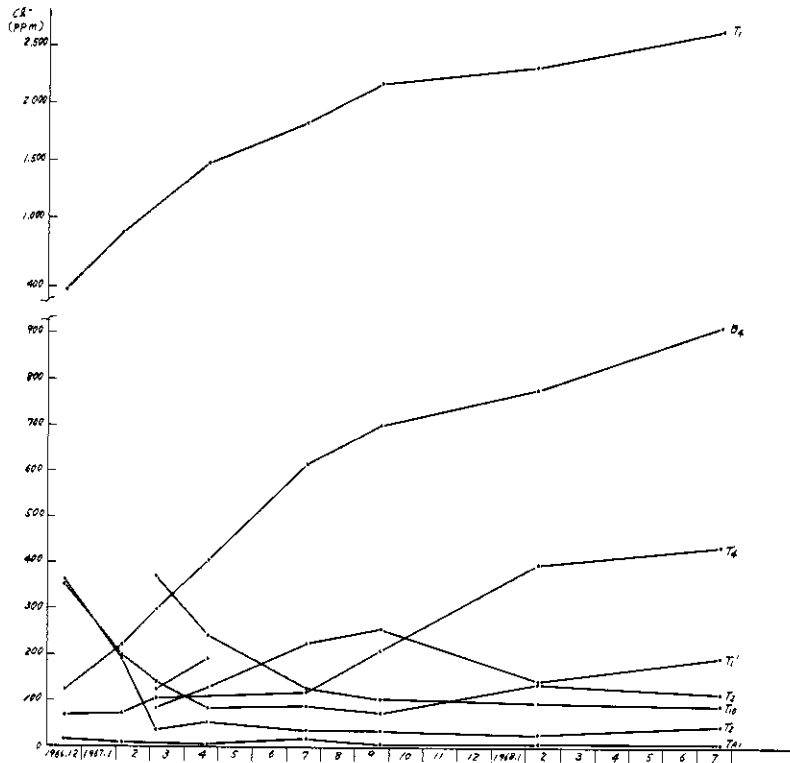


図-5-3 竹原, 中川, 般若寺, 岩沢, 菅間, 滝本地区の $Cl^-$ 濃度変化  
 $Cl^-$  variation of Takehara, Nakagawa, Hannayaji, Iwasawa,  
Sugama and Takimoto area.

地形と湧水利水法の特色から、この地区の分析は湧水よりむしろ井戸水、泉水等の分析値が多い。全体に200ppm以下の低濃度で、沈澱は $T_1$ 、 $T_1'$ 、 $T_1''$ 、 $B_4$ を除いて見られない。一部を除くと大きな濃度の変化は認められず、むしろ $Cl^-$ 濃度は当初よりも減少の傾向にあるといえる。 $T_2$ 、 $T_3$ ははじめのうちの濃度の減少が著しい。この井戸を利用している住民によると、異常湧水の出はじめ頃から味がかわって利用できなくなったが、その後もとにもどったということで41年秋に $Cl^-$ 濃度が高まったもので、その後、深部地下水の水圧の低下とともに浅所を流れる通常の地下水によってかわられたものと考えられる。

$B_4$ (深度44m)は一樣な増加を示しており、地下浅所に高濃度地下水の存在することが予想される。 $T_1$ の増加は非常に急激で、これはむしろ田中地区の高濃度湧水との関連を思わせる。 $T_1'$ 、 $T_1''$

は $T_1$ と同じ地域にありながら、その $Cl^-$ 濃度は $T_1$ と比べて非常に低い。扇状地頭部の湧水は、地すべり性地割れに沿って湧水活動のもっとも盛んであった66年9月～10月頃に湧出したが、その後上昇してきた深層地下水の圧力の低下とともに湧出がとまった。

当地区一帯は、 $K_1$ や $B_4$ の $Cl^-$ 濃度の上昇などからみても、地下の地割れ群を通っての高塩度の深層地下水の上昇をみているが、太陽通信の系統の弱アルカリ性の温度の上昇する場所であるため、高塩度のものの上昇がおさえられており、加えて岩沢、滝本、牧内方面からの通常の地下水が礫質の地層中を通り、地形上圧力を比較的高くもって流動するため、地表では高塩度のものが少いか、塩分の減少を早くみたのではないかと推察される。

なお、清滝の水は湧水の傾向が強く、 $Cl^-$ の上昇、混入をみたことはまったくない。

#### 4.1.5 瀬関, 牧内, 桐久保地区(図-5-4)

瀬関, 牧内地区は, 藤沢川のもたらした土石と背後の山地からの崩積土でできた沖積層の非常に厚い扇状地状傾斜地である。桐久保付近は, 藤沢川上流の小さな河岸段丘と背後の山からの崖すい状の崩積土から形成された所で, 今回の湧水にともなう地すべりの5つのうち4つが生じた所である。湧水は地割れの分布に沿って発生しており, 量的には瀬関南地区と牧内地区北半とを合わせると, その最盛期には大略  $20 \text{ t/min}$  程度で, 松代盆地の全湧出量の  $\frac{1}{2}$  以上がこのせまい所からでたのである。地すべりは, 西平山は山地の傾斜面に, 瀬関南地区は扇状地の頂部, 牧内は山地と崖すい

状緩傾斜地との境に, 桐久保は巾狭い河岸段丘と崖すい性傾斜地との境にそれぞれ発生し, 山地部には地すべり性, 地震断層系地割れの両者が多数生じている。

牧内地区の湧水は, 地すべり発生以後急激に  $\text{Cl}^-$  イオン濃度が増加したことが知られており, 筆者らの分析ではその増加傾向が一応ゆるやかになった時期から始まっているが, なお4月まではゆるやかに増加の傾向を示しており, 一部は7月まで増加傾向である。7月の分析では高濃度のもので分析値の収れんがみられ, 1,500 ppm 付近, 2,600 ppm 付近, 3,400 ppm 付近の3つのグループにまとめられる。低濃度のものはゆるやか

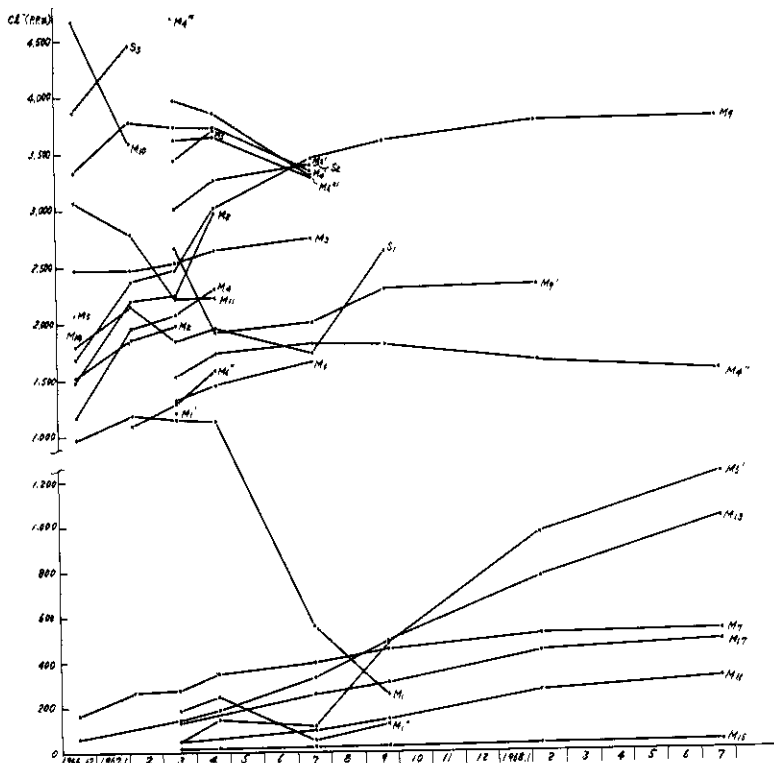


図-5-4 瀬関, 牧内, 桐久保地域の  $\text{Cl}^-$  濃度変化  
 $\text{Cl}^-$  variation of Sezeki, Makiuchi and Kirikubo area

ながら増加の傾向がみられる。

全体的にみると、この地区は500ppm以下のものと、1,000ppm以上のものに大別される。既存の湧水や、井戸水は低濃度で、新たな湧水は高濃度である。

高濃度湧水は瀬関、瀬関南、牧内、桐久保の比較的かぎられた地域に湧出しており、その間では低濃度のものが湧出している。他の地域でも同様であるが、山地のすぐ下から湧出しているものは高濃度のものが多く、背後に旧崩落地や、谷、扇状地などを持っていると低濃度湧水が湧出する傾向がみられる。1968年以後ではそれまで比較的低 $Cl^-$ であった従来からの湧水や流水でやや急激な $Cl^-$ の上昇がみられ、これも高 $Cl^-$ 湧水の地表近くへの滲透のためと思われる。

1967年に入ってから桐久保地区で湧出が停止し、その後瀬関でも夏ごろまでにしだいに湧出が止まり、牧内地区でも湧出量が減少している。さらに、復旧工事の進行に伴って暗渠工事が進んだため、1967年9月の分析ではそれ以前のものと連続的に対応のつくものが少くなっている。

湧水が停止する直前には、沈殿が赤褐色のコロイド状沈殿から黄褐色のカルサイト質の結晶になり、数cmの厚さに沈殿し、 $Cl^-$ 濃度も上昇したままか多少減少して停止する。67年9月の測定では瀬関南の湧水は暗渠工事の進行のため、ほとんどそれまでの採取点からの採取が不可能になり、比較のため排水路からの試料を測定してみたところ、2,900～3,400ppmの範囲に入っており、この地域のものは $Cl^-$ 濃度が横ばいしないし、やや低下の時期に入っているものと思われる。

地すべりとの関連において若干の補足を加えると、瀬関地区のものは地質断層性の地割れにそって湧出したもので、発生した'66年9月18日午前11時頃、筆者（高橋）の採取したガスと水の組成（都立大現地分析値）は下の通りで、ガスもはじめは地中のガスを追い出しながらか上昇してきたことがわかる。

| ガス(%)           |       | 水                 |
|-----------------|-------|-------------------|
| CO <sub>2</sub> | 30.81 | $Cl^-$ 1069 mg/ℓ  |
| O <sub>2</sub>  | 2.90  | アルカリ度 13.05m 当量/ℓ |
|                 |       | PH 6.4            |
|                 |       | RPH 8.1           |

西平山地すべりの上端(M<sub>1</sub>')と末端(M<sub>1</sub>)の湧水は、筆者らの分析が行なわれた時には、すでに

1,000ppm程度あり、末端のものは量が激減するに及んで濃度が急速に下った。なお、乙女沢の水は地すべり箇所より上流では通常の水で、その下流では $Cl^-$ が急にふえていることが知られている。なおこの地すべりの斜め上方にある昔の地すべり<sup>13)</sup> 地内に生じている湧水と牧内部落北側にみられる土石流状地形の上端にある池の水は終始普通の水である。しかし瀬関南と牧内の地すべり地内の水質は、地すべり前、特に後者は直前は全く普通の水であったが、その後 $Cl^-$ が急にふえていった<sup>12)</sup>とで知られている。瀬関南の地下の伏流地下水や高塩度深層地下水の分布については、武居らが別に報告している。また、この湧水は同じ高塩度でも加賀井温泉とは水質的にまったくことなつたCaCl<sub>2</sub>型のわが国では珍らしい水であることが北野、小阪らによって指摘されている。<sup>14)</sup> 桐久保の地すべりも高塩度の湧水をともなっている。M<sub>10</sub>点の下方あたりの田の中にも同様の水が湧出している。

桐久保の東方、立石沢に地すべりがあるが、野口や筆者らの調査では通常の地下水である。ただし、ひとつ南側の沢の牧内水道水源地付近には、500ppm程度の温泉性の湧水がみられる。

また、'67年4月に牧内部落の背後の山の斜面の中腹で多量の水をふき、小さな地すべり——斜面の表土の崩落——があったが、一時的なものであったため、採水は筆者らも他の機関でもおこなうことは出来なかったことは残念である。なお、その場所には地割れ群に属すると思われる小さな地割れの存在が前から知られ、警戒されていた所である。ほぼ同じ時期に桐久保の東方の山地でも同様の傾斜面の表層の滑落が生じたが、湧水の有無は確認できていない（高橋、相原）。

#### 4.1.6 皆神山麓、屋地地区（図-5-5）

皆神山の北西麓桑畑から大日池、屋地の公営住宅、さらにその西廻川に至る間の広い範囲で、松代盆地中、湧出量において最大である瀬関南地区に匹敵する位の湧水をみた。湧水点は点々として連なり、ほぼ連続的に湧水した。

この地区では、 $Cl^-$ はほとんどが80ppm以下におさまっており、濃度の変化もほとんどない。しかしわずかながら増加の傾向を示している。

例外はM<sub>18</sub>とM<sub>110</sub>で、M<sub>18</sub>は御神水と呼ばれ、昔から湧水している所で、農業と生活の用水として利用されてきた泉であるが、第3活動期に入り

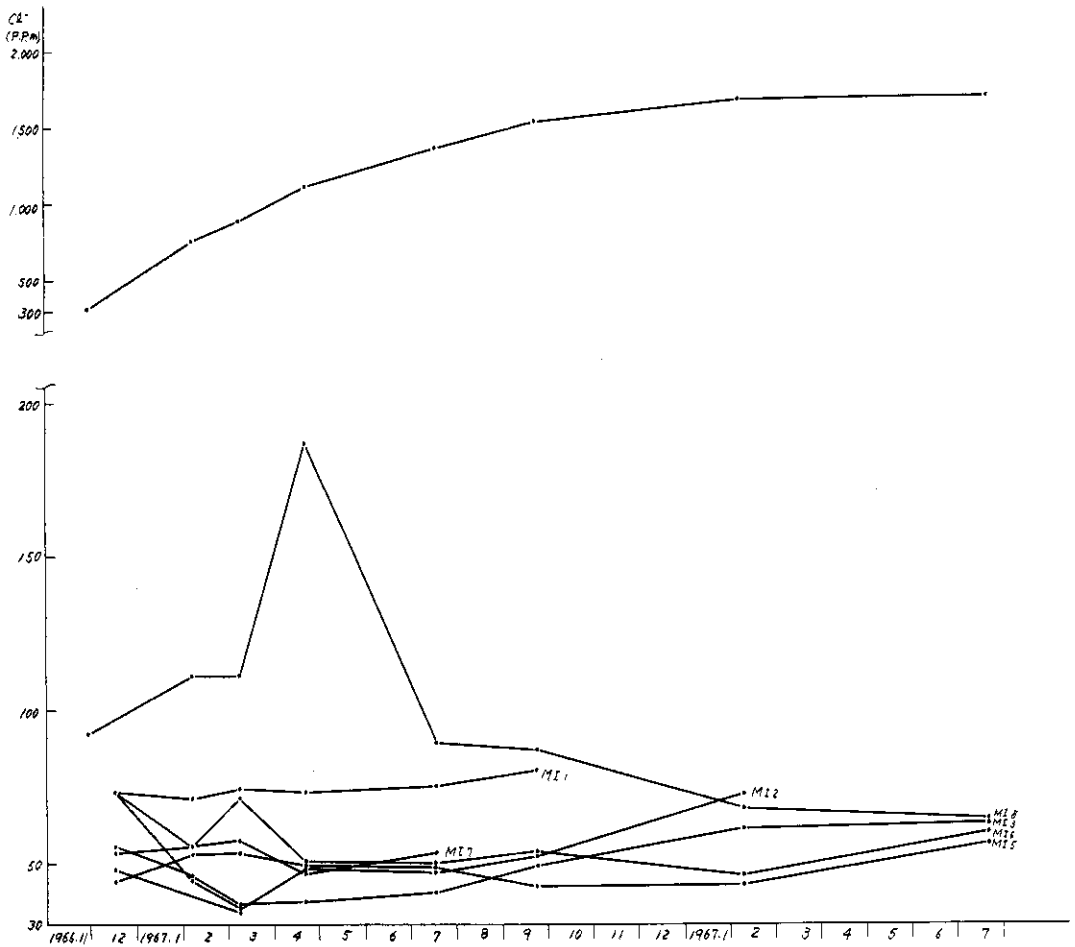


図-5-5 皆神山山麓地域の  $Cl^-$  濃度変化  
 $Cl^-$  variation of Mt. Minakami area.

湧出量が3倍程度にしましたものであるが、'67年4月に急激に  $Cl^-$  濃度が増加し、その後もともどっている。

MI<sub>10</sub> は山麓に掘られたボーリング孔より出ているものといわれ、測定開始以来直線的に濃度が増加しており、沈殿も他地域の温泉性湧水のような、赤褐色コロイド沈殿で、この現象は皆神山麓の他の湧水とは違った成因すなわち、高塩度の深部地下水の混入に起因するものではないかと思われる。このことについてはこのすぐそばで行なった観測井における温度測定に関連して別に報告する。

#### 4.2 温泉及びボーリング孔(図-3)

松代には、現在松代荘に4本、一陽館(加賀井温泉)に3本の高塩分で  $CO_2$  ガスを多量にともなう温泉井(何れもボーリング)があり、このほか弱アルカリ性の温泉が市内と太陽通信にある。前者の型の温泉はこのほか、過去にはゴミ焼場付近と牧内にあったと伝えられている。地震活動と温泉の関係については、一陽館のものにつき詳しい観察がなされている。<sup>6,5,1,2,12)</sup> その変動は活動期ごとに特色を示しているが、第3活動期において湧出量は急激な増加を示し、新井(春日功のA湯)はついに吐出しきらず、井戸の破壊をみるに至り、一方温度は最低値を記録した。 $Cl^-$  濃度は湧出量

の増加とともに急増したが、湧出量がピークをこして減少しはじめてもなお増加の道をたどっている。(K<sub>20</sub>, K<sub>21</sub>) 松代荘の温泉も同様に Cl<sup>-</sup> 濃度の増加をもたらしているが (K<sub>23</sub>, T<sub>B0</sub>, B<sub>1</sub>), 増加傾向は '67年秋にはややぶつてきたようである。なお、B<sub>1</sub> の値が低下しているのは井戸の故障によるものであり、K<sub>20</sub>, K<sub>21</sub> の変化にみだれが生じたのは、一番新しい井戸 (K<sub>22</sub> 春日功の C 湯) を採掘したことによる動揺である。Cl<sup>-</sup> 濃度含有量は、何れも >4,000 p.p.m と地震前の数倍 (表-2) に達しているが、北野によると従来の温泉の濃度がそのまま濃くなったというのではなく、O<sub>a</sub> O<sub>b</sub> 系統の温泉の附加によって生じたものという。すでにみてきたことであるが、地すべり対策ではられたボーリング孔 (B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>) や昔のボーリング孔からの湧水といわれているもの (M<sub>110</sub>) では、Cl<sup>-</sup> 濃度の増加率の著しい例が多い。その中には、付近の湧水はかれたり、Cl<sup>-</sup> 濃度は低くても、そのような傾向を示しているものがある (B<sub>4</sub>, M<sub>110</sub>)。このような現象は、地表下それほど深くない所には、圧力をもった高 Cl<sup>-</sup> の水がかなり分布し、しだいに他の起源の水に拡散していることを示しているものと考えられる。T<sub>1</sub> のように Cl<sup>-</sup> 濃度の増加の傾向の著しいもの (T<sub>1</sub>, K<sub>7</sub>, M<sub>6</sub>) は、湧出通路が、ボーリング孔と、場合によっては似た状況にあるのかも知れない。

#### 4.3 水比抵抗

'67年4月の測定の際に、採水と同時に東亜電波製 OM-3 M 型水比抵抗計を用いて水比抵抗の測定を行なった。

Cl<sup>-</sup> 濃度の高いものは水比抵抗が低く、両対数グラフに Cl<sup>-</sup> 濃度と水比抵抗値をプロットすると、多少のばらつきはあるがほぼ直線上にのる。(図-6)

この図をみると、Cl<sup>-</sup> 濃度 500 p.p.m, 水比抵抗 500 Ω cm 付近を境として2つのグループに分けられることが注目される。

#### 4.4 沈澱物とガス (図-7)

沈澱物は赤褐色、黄褐色、黒色、黄白色等で形態もコロイド状、皮殻状、羽毛状等である。Cl<sup>-</sup> 濃度の高いものは赤褐色コロイド状沈澱物が多い。よどみの部分では沈澱が起らず、かくはんされると沈澱物が生ずる傾向がある。

また、湧水が末期に近づくと、赤褐コロイド状沈澱物から黄褐のカルサイト質沈澱物に変化する

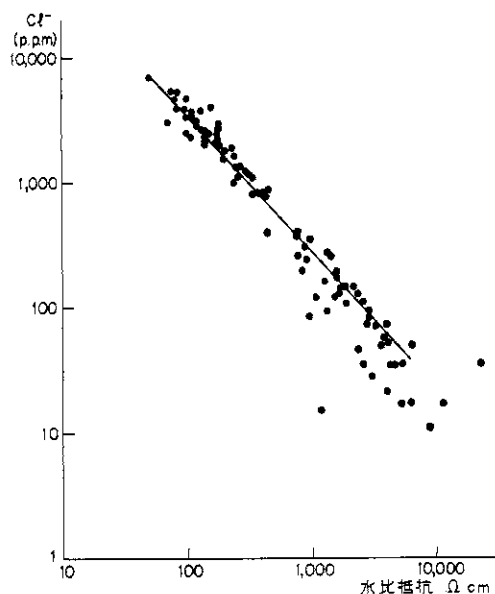


図-6 Cl<sup>-</sup> 濃度と水比抵抗の関係  
Relation between Cl<sup>-</sup> concentration  
and water specific resistivity.

ことが多い。

Cl<sup>-</sup> 濃度の高いものは、ほとんど多量の沈澱物をもっているが、瀬関、牧内地区のもので、Cl<sup>-</sup> 濃度が高くても沈澱物をほとんどもたない湧水もある。

Cl<sup>-</sup> 濃度の低いものはほとんど沈澱をもっていないが、T<sub>1</sub>, T<sub>1</sub>' の2つは多量の赤褐色の沈澱物をもっている。

K<sub>18</sub> は黄白～白色の羽毛状～コロイド状沈澱で他と違っている。

加賀井温泉の系統には CO<sub>2</sub> ガスが多量に含まれており、本邦随一の磯部温泉について多いと思われる。すでに述べた塩分濃度の高い系統の湧水には、温泉と同様に量に多少はあるけれど、ほぼ CO<sub>2</sub> ガスを含み、T<sub>B3</sub>, K<sub>7</sub>, S<sub>2</sub> 等ではその量はかなり著しい。

なお、皆神系統のものはガスをともなわないか、ともなっても N<sub>2</sub> ガスを少量ともない、当地以外では H<sub>2</sub> S も少量ともなっている<sup>12)</sup>

#### 5. 地下構造の探査

湧出量のもっとも多い地域は、瀬関南 M<sub>2</sub> ~ M<sub>6</sub> (及びダッシュつき) 付近、M<sub>8</sub> ~ M<sub>9</sub> の牧内地すべり地区、M<sub>11</sub> ~ M<sub>17</sub> の西方にかけての屋地付

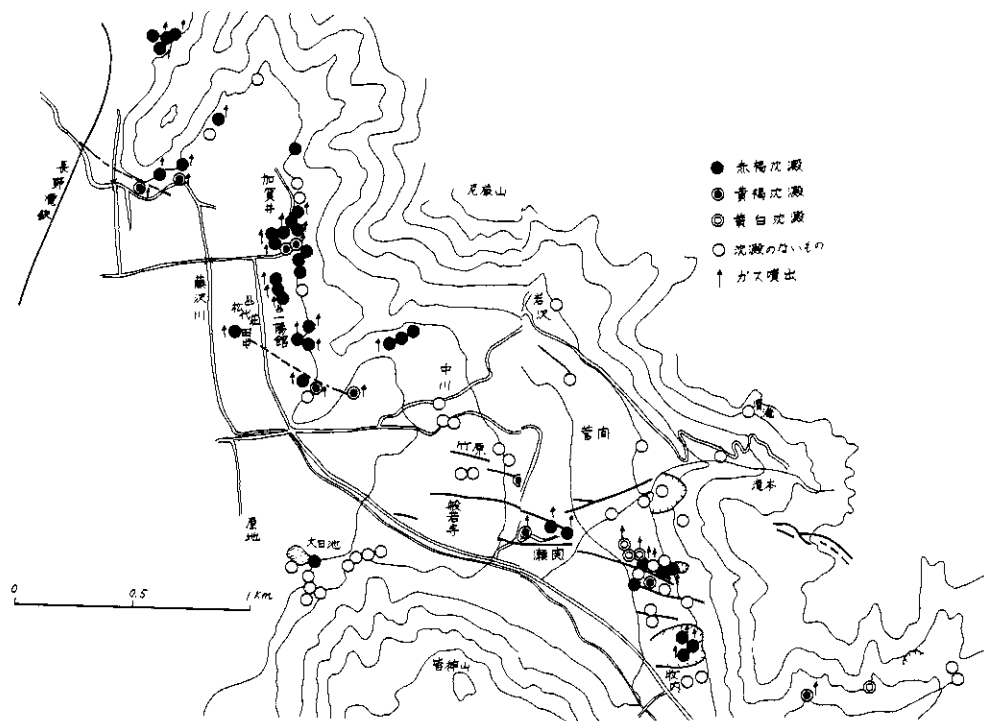


図 - 7 沈殿およびガスの分布

Distribution of precipitation and gas.

近で、源泉1つあたりで最大級の湧出を示すのは  $T_3'$ ,  $K_{10}$ ,  $K_{17}$ , 中級程度の湧出をみるもの  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $K_{18}$ , 湧出点(源泉)の数が著しく多いもの、またはほぼ連続的に分布しているか、かつてした所は瀬関兩地区、牧内地すべり地、桐久保地すべり地、皆神山麓のほかは  $T_{E4} \sim T_{E9}$ ,  $K_3 \sim K_{11}$ ,  $K_{13} \sim K_{14}$ ,  $K_{15} \sim K_{16}$ ,  $K_{18}$  付近, などとなる。このような特色をもつ所は、何れも深部地下水が強い上昇を示したか、示している所と思われる。

次に、温泉やボーリングを除き、 $Cl^-$  濃度の濃い所として  $>1,000$  ppm をみると、 $T_{E1} \sim T_{E3}$ ,  $T_{E4} \sim T_{E9}$ ,  $K_4 \sim K_9$ ,  $K_{10}$ ,  $K_{13} \sim K_{14}$ ,  $K_{15} \sim K_{17}$ ,  $T_1$ ,  $S_1 \sim S_3$ ,  $M_1$ ,  $M_2 \sim M_5$ ,  $M_8 \sim M_9$ ,  $M_{10}$ ,  $M_{11}$  となる。

濃度が高いということが、地下深部の高濃度の液体の上昇通路として、その付近が通していることを反映しているものとすれば、その付近の基盤には弱線があることと考えられる。なお、増加率として、第4回/第1回の比をとってみると、その比が  $>1.3$  のものは

$T_1$ ,  $T_1'$ ,  $T_{11}$ ,  $M_4$ ,  $M_7$ ,  $M_8$ ,  $M_9$ ,  $M_{13}$ ,  $M_{110}$  などで、上記以外の地でのボーリングでは  $B_4$ ,  $M_{110}$  の上昇傾度が著しい。逆に、同じ期間に減少率の著しいもの ( $>3.0\%$ ) は、高濃度帯の外側に見られる。すなわち、 $K_{11}$ ,  $K_{18}$ ,  $T_9$ ,  $T_A$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{13}$ ,  $M_{16}$  などで、一般に水路や表流水がごく地下浅部を通っている水を集めた井戸の  $Cl^-$  濃度も低下している。また、一般に高濃度帯の周辺部にはかれたものも多い。濃度の増加傾向の大きいものは、深部地下水の上昇の圧力が強いことを反映するものであるとすれば、また減少傾向の強いものは、その逆であるとすれば、これも地下の弱線の所在を暗示する資料と考えられる。

次にガスは、高塩分のもは必ず伴われているし、量の多少はつかみにくいのであるが、湧出量の活発な所は多い傾向がある。

水温の分布をみると(図-8)、高い所は  $T_{E3}$ ,  $K_7$ ,  $K_{15} \sim K_{17}$ ,  $S_3$  にみられ、高い帯状をなすと思われる所が、 $T_{E7} \sim K_7$ ,  $K_{18} \sim M_{11}$ ,  $M_{11} \sim T_{11}$ ,  $\sim S_2 \sim M_2 \sim M_6'$ ,  $M_9$  あたりにみられ、低温の帯

松代群発地震地域に発生した異常湧水の塩素イオン  
濃度の変化と分布について — 鈴木・高橋

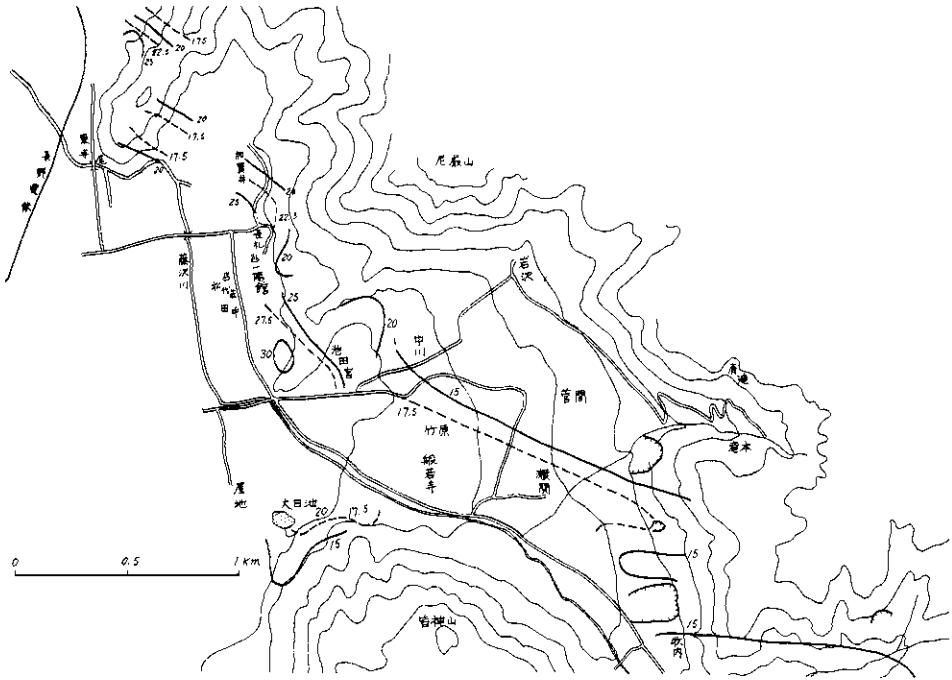


図 - 8 水温の分布 (1967.9). (単位は℃)  
Distribution of water temperature (1967.9).

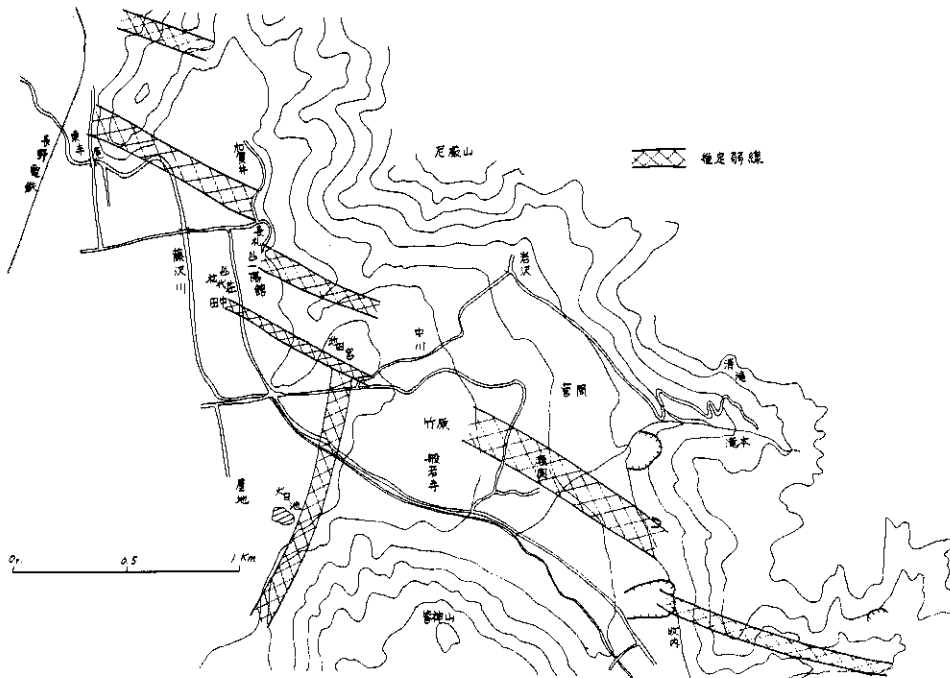


図 - 9 推定弱線帯  
Assumed weak line.

が、 $T_{E10} \sim K_1$ , 付近,  $K_{12}$ ,  $T_8 \sim T_2$ ,  $M_5 \sim M_{15}$ ,  $M_{12} \sim M_{13}$ ,  $M_{10} \sim M_{11}$  にみられる。これらの分布も全体として高濃度の所は高く、谷などから伏流れが入りこんでいるかと思われる所に低くでている。

以上の資料から  $T_{E3}$  付近,  $T_{E6} \sim K_7$ ,  $K_{20} \sim T_{11}$ ,  $K_{19} \sim K_{18}$ ,  $T_4 \sim B_4$ ,  $S_1 \sim S_3 \sim M_4$ ,  $M_3 \sim M_6$  付近に基盤中の弱線の存在が推定され、これらは、今回の地震活動によってひろく方向に活動したと推定される(図-9)。

今までの調査によると皆神山一可候峠間は、第3活動期には110cm位基盤がのびたとされ、中村らの調査によると  $K_{17}$  付近で30cmのび、加賀井温泉の水道の折線箇所も東条農協北方と、加賀井温泉付近に集中している<sup>5,1)</sup>。これに長野電鉄河東線の線路のまがりに加え、牧内からNW方向に地震断層が生じた一般に信じられている。この地震断層と上に述べた深層の塩分の濃い地下水の上昇をもたらしたと推定される弱線群とは、油田の宮付近を通るものと、それ以南のものではよくあっているが、北西半分はあっていない。(110cm $\sim$ 30m)が他の所でのびていると考えるのは、表層近くの堆積層が軟弱な沼沢性のものであることから、正しくはないがある程度地割れが、それ以北にも分布している可能性がないと断じる根拠はない。筆者は、皆神山一可候峠間の地面(基盤)の伸びが、どのように行なわれたかを調べるため、両者の区間に大湧谷で行なったと同様の精密測量<sup>5)</sup>をくり返すことによって明らかにしたいと考えたが、経費的に許されなかったことはかえすがえすも残念なことであったと考えている。しかし、上述のように深部の地下水の上昇をもたらしたとする開く傾向の弱線の活動が、加賀井長礼地区から東寺尾についても推定されることから、地面の伸びはこの区間にも及んだことと考える。そして、その線の延長は、全く独立に水田らによって行なわれた  $CO_2$  ガスによる地下の弱線の探査の結果ともよく接続することから、ほぼまちがいないものと考えられる。地震断層の活動がその西半において稲妻型になった理由はあきらかでないが、小野の電気探査の結果には、電気的不連続線が稲妻型に折れ曲っている付近にも推定されている。なお、折れ曲っている所にNE-SW方向の弱線が存在していても、この方向には圧縮性の力が働いているので、この方向に湧泉の分布がみられ

なくても不思議ではない。

## 6. ま と め

松代群発地震によって発生した湧泉の群のうち、NW-SW方向に分布しているものは  $Cl^-$  濃度が高い。これに対し、皆神山北麓付近から西方にかけてのものは、弱アルカリ性のものである。NE-SW系統のものでは分布の中心部付近のものは  $Cl^-$  濃度も温度も高く、かつ湧出量が減少の傾向に移ってもゆるい増加の傾向を示す。湧水の直前には  $Cl^-$  濃度に減少のみられるものもある。これらの湧水は、当盆地地下深部より、地震活動とこれに伴う地盤変動の活発化に伴い、急激に地上に上昇し、湧出したもので、その通路となった基盤中の弱線は、天王山付近より西では稲妻型に分岐し、知られている地震断層の帯より北側にズレている。その延長は、地中  $CO_2$  ガスの濃度分布から推定される地下の弱線とよく接合する。

当地にある加賀井系統の温泉も、湧水活動と平行した活動を示しているが、第3活動期後地すべり対策のために掘られたボーリングや、皆神山付近の昔ボーリングしたため湧水しているといわれているものなどは、何れも  $Cl^-$  濃度の顕著な増加の傾向を示し、当地区基盤中に広く、高塩度の地下水が充満しているものと思われる。

これらの水は、北野らによると  $Ca-Cl_2$  型の水で、日本では珍らしいものとされている。

この水の発生原因については、いまだに明らかになっていない。野口らの研究<sup>12)</sup>によると、ハロゲン元素間の比からみて、化石海水ではなく、火成源性の温泉であるとみられている。ただし、その発生とその後の状況すなわち、はじめに少数箇所から発生し、ある時期に急激に多数箇所から多量に湧出し<sup>2)</sup>、湧出水が  $Ca-Cl_2$  型であり、水温もさほど高くなく、湧出後は  $Cl^-$ 、水温ともに漸増するという型態は、炭田地帯における第3紀層の下盤の中生層からの化石海水の湧出<sup>16,17,18)</sup>に外観上よく似ている。湧出した全量が大概  $10 \times 10^4 t$  である点でもよく似ている。この湧出水の存在箇所だけでなく、湧出の機構と第3活動期そのものの機構とはわけでは考えられないことであるが、今の所、これを解く情報に欠けているのが実情である。なお、有馬の鳴動の際も多量の悪水( $Cl^-$ にとんだ)に悩まされたことが知られている。また、須坂から坂井村に至る間で、湧水及び温泉が活発化したので、これらをあわせて検討するべきであろう。

参 考 文 献

- 1) 東京管区気象台, 長野地方気象台(1966):  
地震調査報告 — 松代群発地震(第2報) —  
(1966年1月21日 — 6月30日), 昭和 41年度  
異常現象調査報告, 5, 50
- 2) 同上(1967): 地震調査報告 — 松代群発地  
震(第3報) — (1966年7月1日 — 1967年3  
月1日)昭和42年度異常現象調査報告, 1, 71.
- 3) K.Nakamura and Y. Tsuneishi (1966):  
Ground cracks at Matsushiro proba-  
bly of underlying strike-slip fault  
on a preliminary report, Bull.  
Earthq. Res. Inst., 44 1371-1384.
- 4) 地質調査所技術部化学課(1961): 化学課資  
料501(2), 工業用水分析法, 14.
- 5) 野口喜三雄(1967): 松代地震と温泉, 化  
学と工業, 20, 1, 113-116.
- 6) 春日功(1967): 松代地震による加賀井温泉  
の変化, 地学雑誌, Vol. 76, No. 2 16~26
- 7) 瀬谷清(1967): 松代群発地震地域における  
重力調査概報, 防災科学技術総合研究速報, 5,  
13-22.
- 8) 小野吉彦(1967): 松代地域の電気探査(1),  
防災科学技術研究速報, 5, 23-27.
- 9) 高橋博・高橋末雄・鈴木宏芳(1967): 試  
錐による松代群発地震地域の地下構造調査  
防災科学技術研究速報, 5, 57-69
- 10) 高橋博・河田茂磨・藤貫正(1965): 野外調  
査におけるサンプリングについて — 品位分布  
について(1), 石膏と石灰, 76, 26-39.
- 11) 業務報告(1967)(治山事業調査試験報告 —  
3), 長野県犀川治山事務所, 9-147.
- 12) 野口喜三雄・上野精一・西井戸敏夫(1967):  
松代地震と地下水(松代地震と地すべりに関す  
るシンポジウム研究発表要旨), 地すべり, 4,  
47.
- 13) 高橋博(1967): 松代地震第3活動期と地す  
べり(松代地震と地すべりに関するシンポジウ  
ム研究発表要旨), 地すべり, 4, 46.
- 14) 奥田節夫ほか(1967): 松代地すべり地域に  
おける地下水調査報告(松代地震と地すべりに  
関するシンポジウム研究発表要旨), 地すべり, 4,  
46-47.
- 15) 岩崎一雄・佐藤優・勝月一泰(1966): 大湧谷にお  
ける地表変動量の精密測定について, 防災科学  
技術総合研究報告, No. 9 17~44.
- 16) 佐藤進(1957): 太平洋炭鉱における切羽  
出水に関する研究(第1報), 日本鉱業会誌,  
73, 277-283.
- 17) 佐藤進(1959): 太平洋炭鉱における坑内  
水探査, 日本鉱業会誌, 75, 793-795.
- 18) 三上喜康(1959): 庶路炭鉱における坑内水  
について, 日本鉱業会誌, 75, 796-798.
- 19) 本島公司ほか(1962): 北海道庶路地域の炭  
田ガスについて, 地質調査所研究報告, No.  
193.