

松之山地すべり地の地下水観測について

山口 真一・高田 雄次・竹内 篤雄

ON THE OBSERVATION OF UNDERGROUND WATER IN THE MATSUNOYAMA LANDSLIDE AREA

By Shinichi YAMAGUCHI, Yūji TAKADA, Atsuo TAKEUCHI

Synopsis

We have investigated conditions of underground water streaming in the Matsunoyama Landslide area by tracer method, but we do not get the information on systematic underground water vein. Then, as one of the methods for this problem, we carry out the underground water survey by the horizontal measurements of underground temperature distribution. As the result of it, information on systematic underground water vein is gotten.

In view of this fact, we consider that the method is useful for underground water vein survey.

§ 序 論

松之山地すべりは、新潟県東頸城郡の東南部に位置する松之山町の中心部一帯に発生した大地すべりに対して名付けられたものである。(Fig. 1) 当町の地すべりは、古来より発生し、年月をおいて繰返し滑動してきたものと推定され、地すべりに因んで名付けられた部落名、地名、家名が多い。現在激しく滑動している地域は松之山町の中心をなす浦田口部落で、昭和37年4月に徴候を見せ始め、積雪前より滑動が活発となり、町の中心の商店街の家屋はずり動かされ、傾動し、不等沈下して、軒並は刃の折れた櫛のごとき様相を呈するに至った。

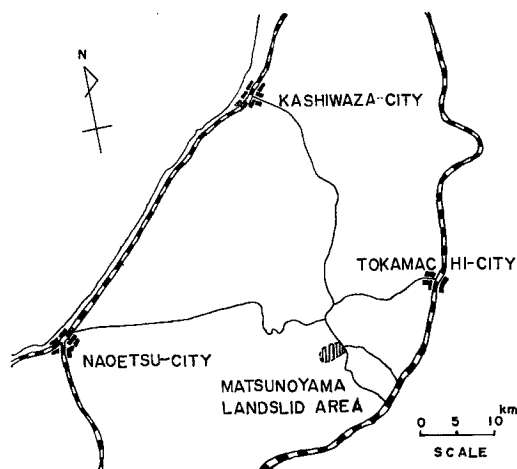


Fig. 1. Location of the Matsunoyama Landslide area.

被害総面積は 848.6 ha, 被害家屋は317戸, 学校等公共建物は19棟, その他98棟, 道路被害は延 20 km 等である。

地すべり発生後直ちに, 新潟県砂防課を主体とした県庁地すべり調査班が中心となり, 建設省土木研究所および京都大学防災研究所が本地すべりの調査に参加して, 多方面に渉る調査を行ない, 地すべり防止対策工事の基礎資料を得てきた。筆者等は, このうち電気探査および地下水調査に参加した。地下水調査に当っては, 昭和39年4月3日から17日に渉り食塩および螢光染料をトレーサーとして地下水追跡を行なうとともに, 7月27日から31日に渉っては, 地すべり地では初めての試みである 水平地温分布による地下水流脈の探査を行なったので, その概要を述べる。

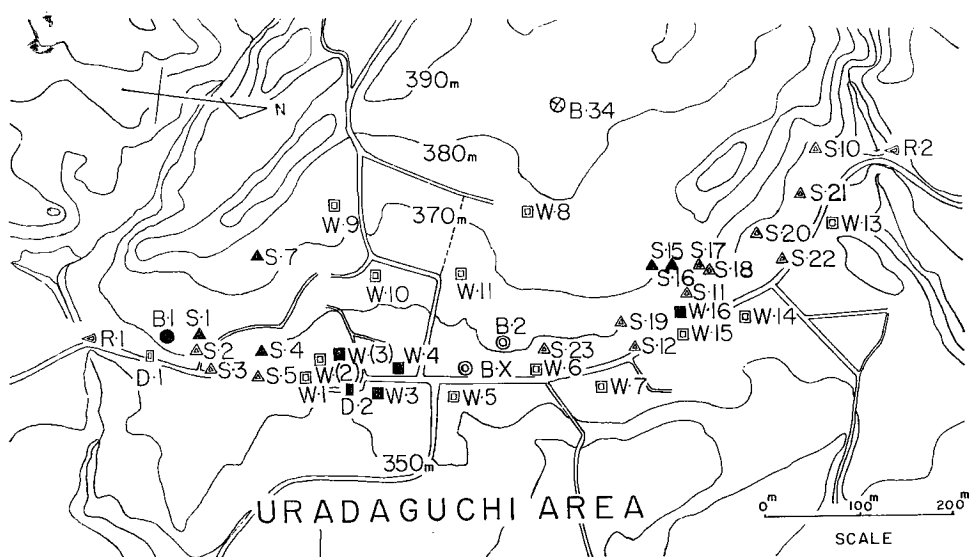
§ 1. 食塩および螢光染料投入による地下水追跡について

1.1 方法ならびに探査

本地すべり地域で現在動きの活発な浦田口部落に存在している地下水流脈の動静を推定することに主眼を置いて調査を行なった。

本調査地内で地下水を採水できる個所は, 井戸17ヶ所, 湧水18ヶ所, ボーリング孔9ヶ所, 池1ヶ所, 川2ヶ所, 溝2ヶ所の計49ヶ所である。(Fig. 2)

これらの採水点ならびに先に行なわれた電気探査による地下構造調査結果および本調査地区を踏査して得られた知識を基にして, 本調査の目的を達成するのに最も適した薬品投入孔としてボーリング B-34 を選んだ。



River: ◁ Well: □ Spring: △ Boring hole: ○ Ditch: ▭
 Detected point: ◻ Non-detected point: ◼
 Throwing point: ⊙

Fig. 2. Location of the observation points in the Uradaguchi area at the first & the second throwing and the results.

本調査を行なうに先立ち各採水点の蛍光々度および電気伝導度の **back ground** を明らかにしておくために, 薬品投入二日前より各採水点および投入孔の採水を行ない, これらの測定を行なった。

第1回投入は, 4月5日9時30分に, 蛍光染料 1 kg, 食塩 15 kg を同時に B-34 に投入した。投入後, 昼間は1時間々隔, 夜間は2時間々隔に全採水点で採水をし, 直ちに蛍光々度および電気伝導度を測定した。

薬品投入後24時間経てから薬品投入孔 B-34 において 50 cm 間隔に水温と電気伝導度を測定した所, 投入前に測定した値とほぼ同じ値を得た。投入直後の測定では電気伝導度計が **scale-out** してしまうほど高い値を示していたのと比較すると, B-34 に投入した食塩は全て溶けて流失していると判断した。蛍光染料についても同様であった。薬品投入後2日目からは2時間おき, 3日目からは3時間おきに全採水点の採水を行なった。測定結果をグラフにして見ると, 全採水点の内, R-1, 2; D-1; S-1, 2, 3, 5, 10~12, 17~23; W-1, (2), 5~11, 13~15; B-X, 2 の29ヶ所に薬品投入後30~45時間後に一つの **peak** があることがわかった。

(Fig. 3) この **peak** は電気伝導度では認められたが, 蛍光々度では投入後72時間現在で **peak** は認められなかった。(Fig. 4) 電気伝導度に認められた **peak** が投入食塩の影響であることを確かめるためにもう一度同じ調査を行なった。

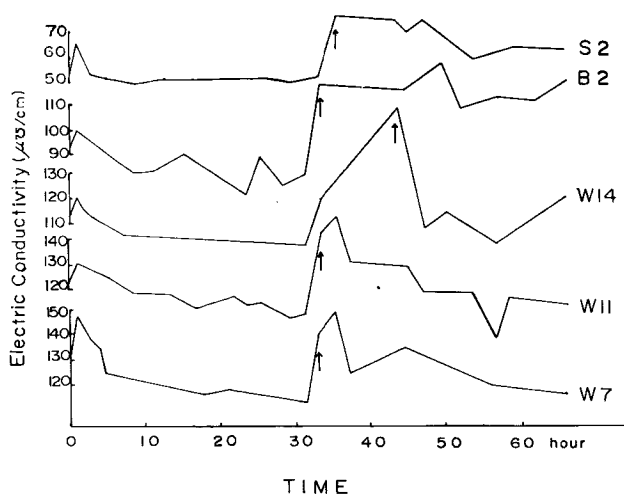


Fig. 3. The electric conductivity measured at the first throwing.

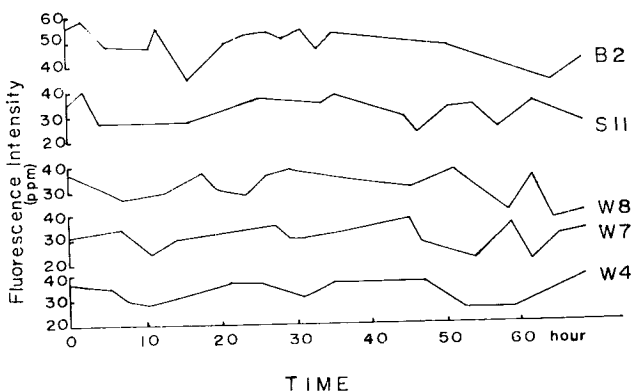


Fig. 4. The fluorescence intensity measured at the first throwing.

第 2 回投入は、4 月 8 日午後 2 時に前回と同様 B-34 に食塩のみを 30 kg 投入して、前回と同様な観測を行なった。その結果やはり、投入後 25~45 時間後に前回食塩の検出された採水点において peak が認められた。(Fig. 5)

次に第 1 回、第 2 回の投入孔であった B-34 を流れている地下水がどこから流れてきているかを知るために、Fig. 6 に示した投入孔 B-II に第 3 回投入として、4 月 11 日午後 6 時 30 分に螢光染料を 1.525 kg、4 月 12 日午前 7 時 30 分に食塩 30 kg を投入し、浦田口部落西方にあるボーリング測線 B-31~36 に主眼を置きさらに浦田口部落の南半分の採水点でそれらの測定を行なった。その結果、螢光染料はどの採水点においても投入後 138 時間現在検出されず、食塩のみ B-31~33; R-1; B-1; S-1~5; W-1, (2), (3), 9, 10; D-2 の各採水点で検出された。(Fig. 7, 8) 検出時間は、食塩投入後速いもので 30~50 時間、遅いもので 80~100 時間であった。

第 1 回投入の電気伝導度の観測において、投入後 1 時間経って大きな peak が多くの採水点で認められたので、(Fig. 3) この peak が投入食塩の影響により生じたものかどうかを明らかにするために、第 2 回投入直後より 15 分間隔に、R-2; W-5~7, 11, 14; S-10~12 の各採水点において電気伝導度を測定した。その結果は Fig. 9 に示すように、第 1 回目に観測されたような peak は全く認められなかったので、第 1 回投入 1 時間後の peak は投入食塩の影響ではないと断定した。

1.2 結 果

螢光染料および食塩投入による地下水追跡の結果、投入孔 B-34 を流れている地下水は浦田口部落に扇状に分散して流入しており、第 3 回投入孔 B-II を流れている地下水は B-31~33 を通って浦田口部落南半分に流入していると考えられる。B-II を流れている地下水は B-34 では検出されなかったことから B-34 を流れている地下水とは系統が異なる水であり、浦田口部落には B-II より流入する水と B-34 より流入する水との二系統の地下水が存在していると思われる。

投入孔と検出孔との間を直線的に流れていると仮定して、地下水流速を算出した結果、Table 1 に示すように 10^{-1} cm/sec の order であった。

Table 1. Velocity of underground water at the Uradaguchi area.

Observation point	Distance from B-34 (meter)	Arrival needed time (hour) (1)	Velocity $\times 10^{-1}$ (cm/sec)	Arrival needed time (hour) (2)	Velocity $\times 10^{-1}$ (cm/sec)
D-1	545	43	3.5	52	3.0
B-2	280	32	2.4	24	3.4
B-X	330	24	4.2	43	2.1
S-10	255	24	2.8	47	1.3
S-11	250	40	1.8	40	1.8
S-12	260	34	2.1	22	3.4
S-18	225	33	1.9	49	1.3
W-1	435	36	3.4	49	2.5
W-5	350	33	3.0	24	4.1
W-6	300	33	2.6	24	3.5
W-7	325	34	2.7	25	3.6
W-8	120	32	1.0	24	1.4
W-9	280	35	2.2	45	1.7
W-11	275	35	1.9	24	2.7
W-13	290	34	2.5	31	2.6
W-14	300	33	2.2	35	2.4

(1) at the first throwing

(2) at the second throwing

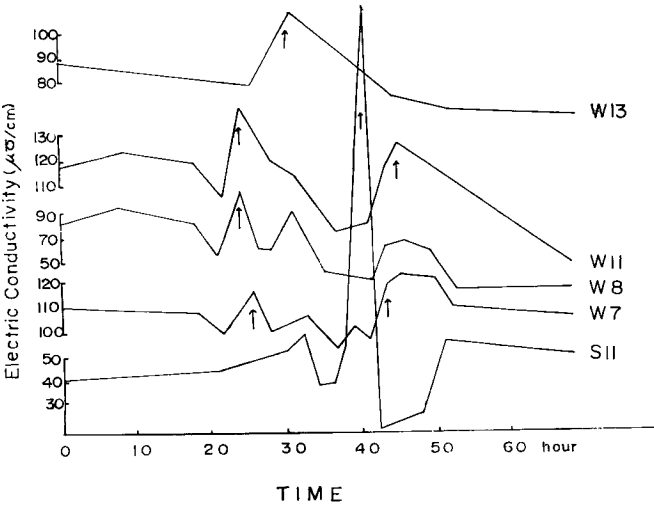
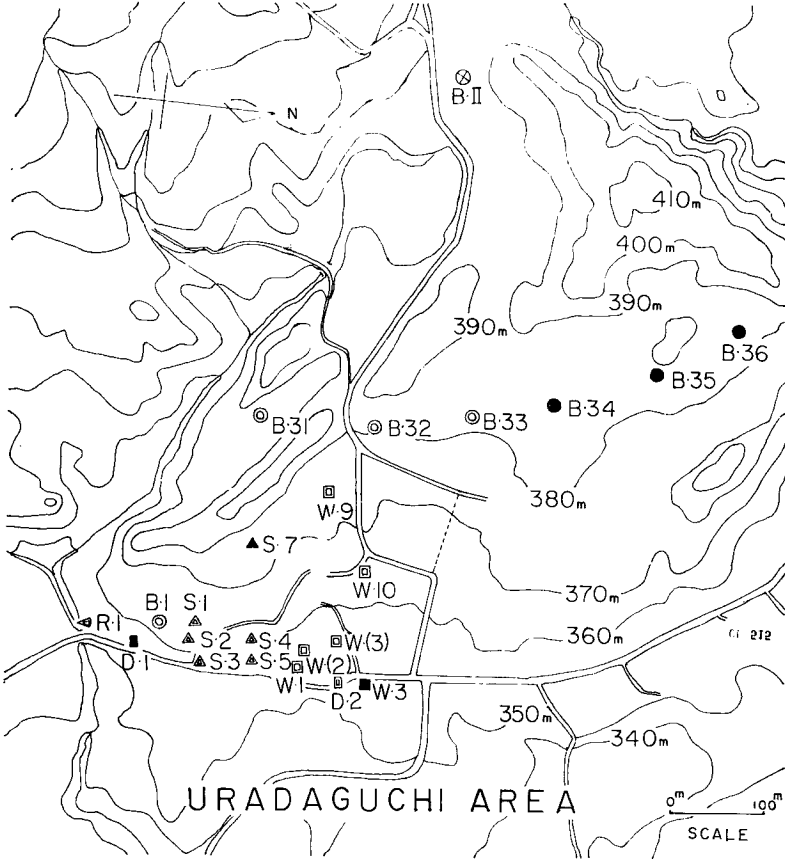


Fig. 5. The electric conductivity measured at the second throwing.



River: $\triangleleft$ Well: $\square$ Spring: $\triangle$ Boring hole: $\odot$ Ditch: $\square$
Detected point: $\oplus$ Non detected point: $\blacksquare$
Throwing point: $\otimes$

Fig. 6. Location of the observation points in the Uradaguchi area at the third throwing, and the results,

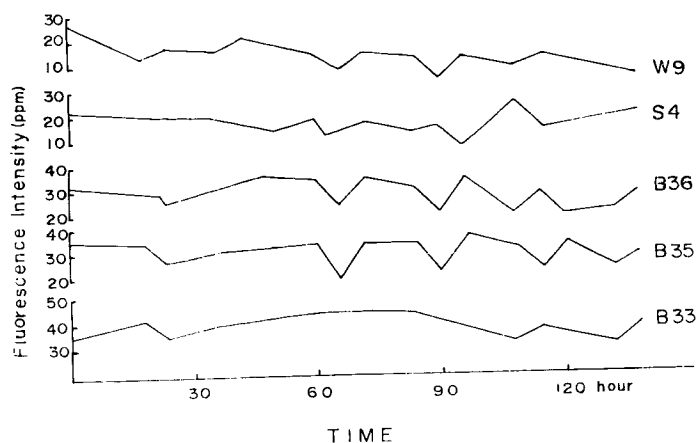


Fig. 7. The fluorescent sodium measured at the third throwing.

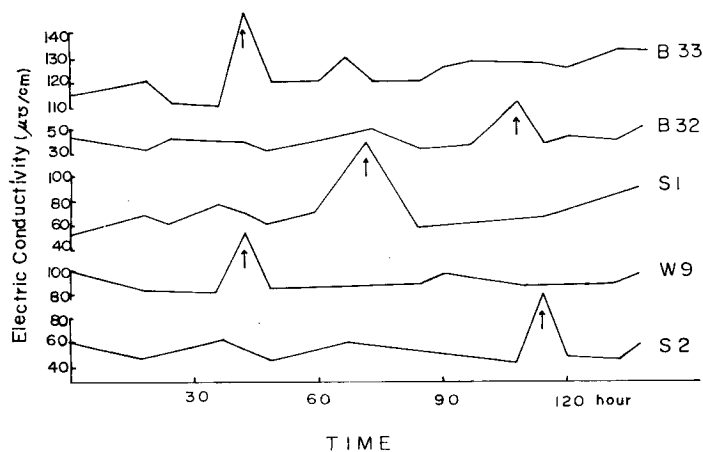


Fig. 8. The electric conductivity measured at the third throwing.

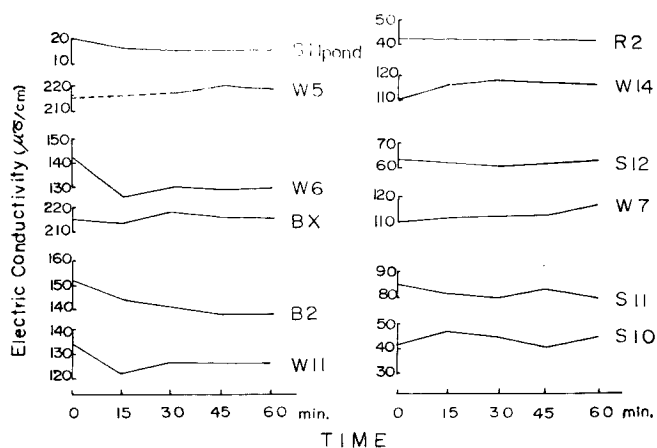


Fig. 9. The electric conductivity measured at fifteen minute intervals at the second throwing.

§ 2. 水平地温分布探査による地下水流脈推定について

2.1 地温探査について

急激に滑動した地すべりでは地下水がすべり面上より水脈状になって噴出しているのを見るが、これより判断すると地下水は水脈状になって存在していると考えられる。この水脈の存在場所はトレーサー使用による方法では推定できないので、地下水流脈の存在場所の推定方法の一つとして水平地温分布探査法を用いその有効性を考えて見た。

日中太陽より熱エネルギーを受けた土は一樣に熱せられ地温の上昇を起す。

ある一定の温度を保ち得る地下水流脈が基岩の上を流れているとすれば、その部分は水平地温分布において何等かの変化を示す。夏の場合を例にとると、地下水流の水温は地表面近傍の地温より低いので、地下水流は水脈の周りの粘土や岩から熱エネルギーを奪って行く、だから地下水流脈の周りには他の部分に比べて地温が低くなる。したがって、水平地温分布探査を行ない、地下水流脈の影響による地温低下部の脈を捉えることにより地下水流路が推定できる。

2.2 地温に影響を与える要素

地表における地温の日変化はかなり大きい較差がある。この地表面の地温日変化が地下何 m 位まで及んでいるかを知ることは、地温調査を行なうに当たって地表面の地温変化の影響を除くために大切である。

等方均質な媒質（固体）の温度については、

$$\frac{k}{c\sigma} \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \frac{k}{c\sigma} \cdot \nabla^2 = \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{.....(1)}$$

の基本式が成立する。 k : 熱伝導率, c : 比熱, σ : 密度, T : 温度, t : 時間。

いま簡単に垂直方向の温度変化のみがあるとして、地表 ($z=0$) の温度変化が $T_{v0} \sin \omega t$ で与えられるとした場合、(1) 式より時間 t における深度 z の温度変化 T_v は次式で与えられる。

$$\frac{k}{c\sigma} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{.....(2)}$$

$$T_v = T_{v0} \exp \left(-\frac{z}{\sqrt{\frac{k}{c\sigma}}} \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2}} \right) \cdot \sin \left(\omega t - \frac{z}{\sqrt{\frac{k}{c\sigma}}} \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2}} \right) \quad \text{.....(3)}$$

ここで $p=2\pi/\omega$ は周期である。 $k/c\sigma=m$ は熱拡散率と呼ばれる。この値が大きければ、温度変化は深部まで伝わる。

この(3)式を用いて、地表の温度変化の地下深部に与える影響を算出して見る。

地表面の地温日変化が 20°C 、周期は一日とすると、 $T_{v0}=20^\circ\text{C}$ 、 $\omega=2\pi/86400$ であり、これに対して深度 z の温度変化は、

$$T_v = T_{v0} \exp \left(-\frac{z}{\sqrt{\frac{k}{c\sigma}}} \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2}} \right) \quad \text{.....(4)}$$

で表わされる。

(4) 式を用いて地すべり地に関係の深い地質について地温日変化を算出した結果を **Fig. 10** に示す。

Fig. 10 によると、地下 1 m における地温日変化は 0.22°C 以下である。地温分布調査を行なう昼間の地温変化量は 0.1°C しかない。

Schmidt によれば¹⁾、地況（田畑、草木等の植生状態）の影響は **Fig. 11** に示すように、夏の晴天の地表面の地温日変化が大きい時期に測定した結果、裸地と草地との地温の垂直分布の相違はせいぜい地下 30 cm までである。また耕地と未耕地とを比較すると深さ 50 cm までは両者の相違が見られるが、それ以深では全くその相違が見られない。

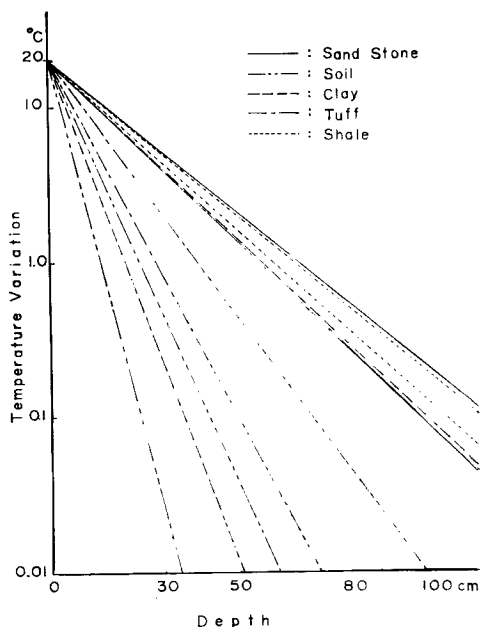


Fig. 10. Diurnal variation of underground temperature. ($T_0=20^\circ\text{C}$, $Z=0\text{ cm}$)

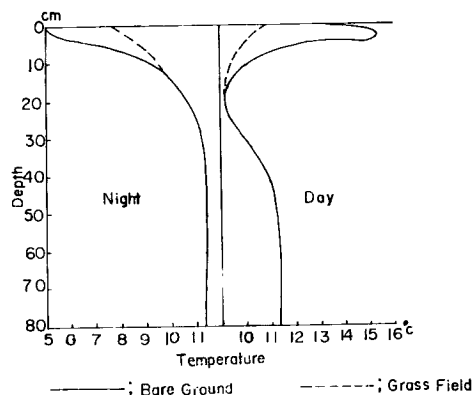


Fig. 11. The difference of vertical underground temperature distribution owing to existence or non-existence of plants. (by W. Schmidt)

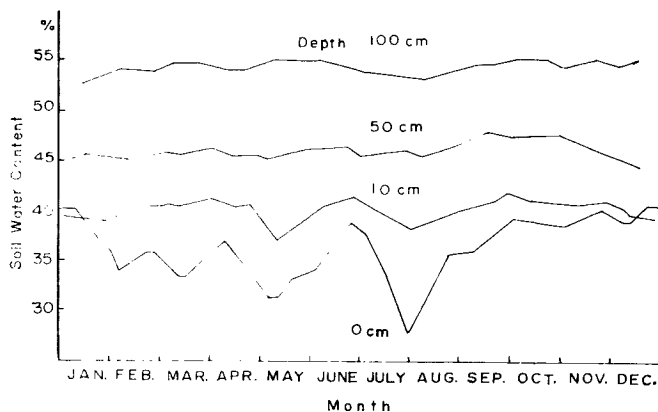


Fig. 12. Annual variation of soil water content. (by Kusakabe)

土壌水分含水率の変化による地温への影響は、日下部によると²⁾、Fig. 12 に示すごとく地下 1 m では土壌含水率は53~55%で一年中ほぼ一定しているのでこれの変化は大雨による場合を除けば地温に影響はないと考えられる。

§ 3. 松之山地すべり地に適用した例

3.1 方法および探査

本地すべり地は広大な面積を有するので今回の調査は、螢光染料および食塩の投入による地下水追跡との

地温測定方法は、測線に沿って各測点ごとに径 25 mm、深さ 50 cm の穴を開け、そこに 1/10°C 目盛の棒状温度計を挿入し異物が入らぬように小石で蓋をした。挿入して10分経ってから各測点の地温を読み取り **Table 2** に従って記録した。

Measuring span No.	Measuring point No.	Underground temperature	Air temperature	Ground surface condition	Measured time

得られた資料を調査地区の地図の測線上にグラフで表わし、各地況に応じてその平均値より低い値を示す測点を mark した。各測線ごとの mark された測点群中の谷と谷とを地形を考慮に入れながら結び合わせて行くとある一つの流脈が得られる。このようにして地下水流脈の経路を推定したものが **Fig. 13** である。これによると、浦田口部落には 5 本の地下水流脈が存在しており、しかもこれらの水脈はおのおの激動地区に存在していることが推定された。

この地すべりの一つの主な原因であると思われる地下水流脈の存在を知るために、昭和39年7月13日～16日；9月29日～10月2日に涉って水平地温分布探索を行った。本地すべり地末端部に暗渠排水路の出口があり、そこから水温 13°C の水が 2 l/sec 流出しているので、この水がどこからきているのかを知ることには主眼を置いた。

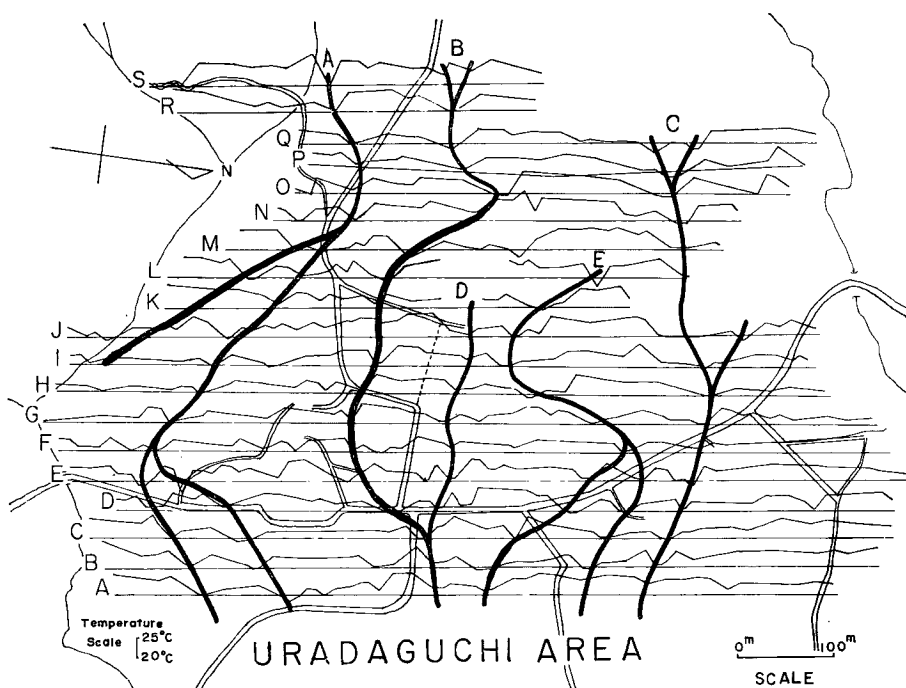


Fig. 13. Presumed diagram of underground water veins in the Uradaguchi area by horizontal survey of underground temperature distribution.

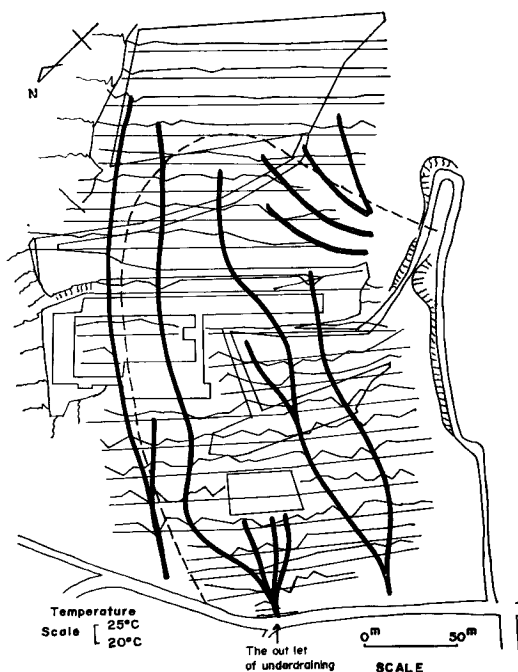


Fig. 14. Presumed diagram of underground water veins in the Gotenyama Landslide area by horizontal survey of underground temperature distribution.

調査の結果得られた資料を解析し地下水流路を推定したものが **Fig. 14** である。これによると、地すべり地内には 3 本の地下水流脈と短い数本の地下水流脈とが存在していることが推定され、前者は 3 本とも末端部に平行にある下水路に流出しており、後者は現在崩壊中の登校校坂に集中していると推定される。筆者等の注目している暗渠排水口に流れでている地下水は、前者 3 本のうちの 1 本で、校舎下および体育館下を通る地下水流脈と体育館下方にある水源池より漏洩していると思われる水とであると推定された。電気探査による基岩推定深度は 5~10 m であったので、本地すべりの活動に悪影響を及ぼしている地下水流脈は地下 5~10 m にあると思われる。

§ 5. 結 論

松之山地すべり地の地下水の動静をトレーサー使用によって調査した結果、浦田口部落西方より二系統の地下水が本地区全域に扇状に流入しており、これらの系統の水は部落に入るとともに複雑に混り合っていることがわかった。

これらの地下水系統がどのような地下水流脈より成っているかを水平地温分布探査により調査した結果、一つの系統は **Fig. 13** に示す A, B の水脈より成り、他の系統は破碎帯上に源をもつと思われる D, E の水脈より成り、さらに C というトレーサー使用では投入観測を行なわなかった B-36 方面上より流れてくる水脈があるものと推定された。しかしながら、地温探査の結果では、トレーサー使用により解明された部落全体に広がっている地下水の流れを説明することは困難である。これは 1 つの水脈から帯状に分散して流れている場合は地温分布に変化が表われないことに大きな理由があると思われる、地温探査によって推定された数ケの水脈は流量の多い水脈であると考えることにより一応矛盾なく説明される。

地温探査により地下水水流脈の存在する場所を推定することはできたが、まだ実際に確証を得ていない。今後、ボーリングによる揚水試験などによって、存在を確かめたい。

地温探査方法はまだ可能性の段階であり、種々な実験によって基礎的な資料を得ると同時に、地下水流脈の存在深度を測定する方法の開発および、現在の測点間隔 (10m) の適否の検討等これらの問題を解決して行くつもりである。

謝 辞

今回の地下水追跡調査に当っては、新潟県砂防課の方々特に湊元光春博士に一方ならぬお世話になるとともに、安塚土木出張所松之山詰所の方々にも大変お世話になり、また本調査は夜分に涉ったため浦田口部落の人々に地下水採水等において御迷惑をおかけした。

水平地温分布調査においては、松之山中学校の関谷、村沢両先生をはじめ、地理歴史クラブ、科学クラブの部員の方々に夏の暑い中をお手伝いして頂き大変助かった。

御殿山地すべり地における水平地温分布調査に当っては、兵庫県砂防課の内田辰丸技師および浜坂土木出張所村岡詰所の方々にお世話になった。これら諸氏に対し、心から感謝の意を表する次第であります。

トレーサー使用による地下水追跡については、終始適切な御助言を頂いた京都大学防煙研究所の奥田節夫教授に謝意を表します。

また調査全般に涉り何かとお世話になりました防衛大学校の中村三郎講師に深謝致す次第であります。

最後に資料処理および図面整理等終始手を煩わせた玉川幸子孫に改めて感謝の意を表します。

文 献

- 1) 気象学ハンドブック編集委員会編: 気象学ハンドブック 1959 技報堂 pp. 884~885.
- 2) 同 pp. 885.
- 3) 物理探鉱技術協会: 物理探鉱 Vol. 11, No. 4, 19, pp. 319~323.