

宮神地すべり地について(I)

—地温測定調査法の有効性に関する研究—

竹内 篤雄・島 通保

ON THE USEFULNESS OF UNDERGROUND TEMPERATURE SURVEY SURVEY AT THE MIYAGAMI LANDSLIDE AREA

By *Atsuo TAKEUCHI* and *Michiyasu SHIMA*

Synopsis

In order to estimate channels of stream of ground water, underground temperature survey in 1 meter depth was conducted in the Miyagami landslide area. The diagrams of the distribution of temperature were compared with the results of electrical resistivity survey and other investigations. The lower temperature parts obtained from such a comparison might show the existing position of the channels of vein stream. For purpose of proof of the above point, some draining bore holes were made toward the parts from a water-collecting well conducted in higher temperature part. When the bore holes reached lowre temperature parts, a large quantity of water gushed out into the well.

This fact might show the usefulness of underground temperature survey in and around landslide areas.

§1 序

現象論的に地すべり発生・活動状況を検討すると、しばしば流動性ある地下水流脈の挙動の異常現象にその端を発しているのを認めることができる。従って、地すべり現象の解明ならびにその防止対策を考えるに当ってはこの地下水流脈に関する諸種の情報を得ることが重要性を帯びてくる。竹内¹⁾(1972)が述べているように現行の地下水調査法特に薬品投入による地下水追跡法では地下水流脈に関する正確な情報を得ることは難しい面が存在する。現行の調査法を効果的に運用するためには地すべり地内外における地下水流脈の存在位置を予じめ何等かの方法で推定し、その後それを確認する意味も含めて現行の調査法を行なうのが得策である。そこでこの流脈の存在場所を推定する一つの方法として地温測定調査法を取上げ、その地すべり地内外における調査法としての適応性の是非についての調査研究が彼によってなされつつある。それによるとこの調査法を実施することにより地すべり地内外に存在する地下水流脈に関する有益な情報が抽出できる可能性のあることが明らかにされつつある^{2)~7)}。

今回は、同調査法を兵庫県宮神地すべり地で実施し、当地すべり地における地下水流脈の流動経路を探ぐると共に、他の地下水調査の結果と対比して地温測定調査法の実用性・有効性について検討を加えた。

§2 地形・地質について

宮神地すべり地は兵庫県美方郡村岡町大字高津字宮神に位置する比較的小規模な地すべり地である。活動の歴史は古く、古来より100年~60年周期で活動を繰返しているようである。今回の活動は1972年7月13日に急激に始まり、地すべり上部に主滑落崖を有し、末端部は泥流化している。

2-1 地形について

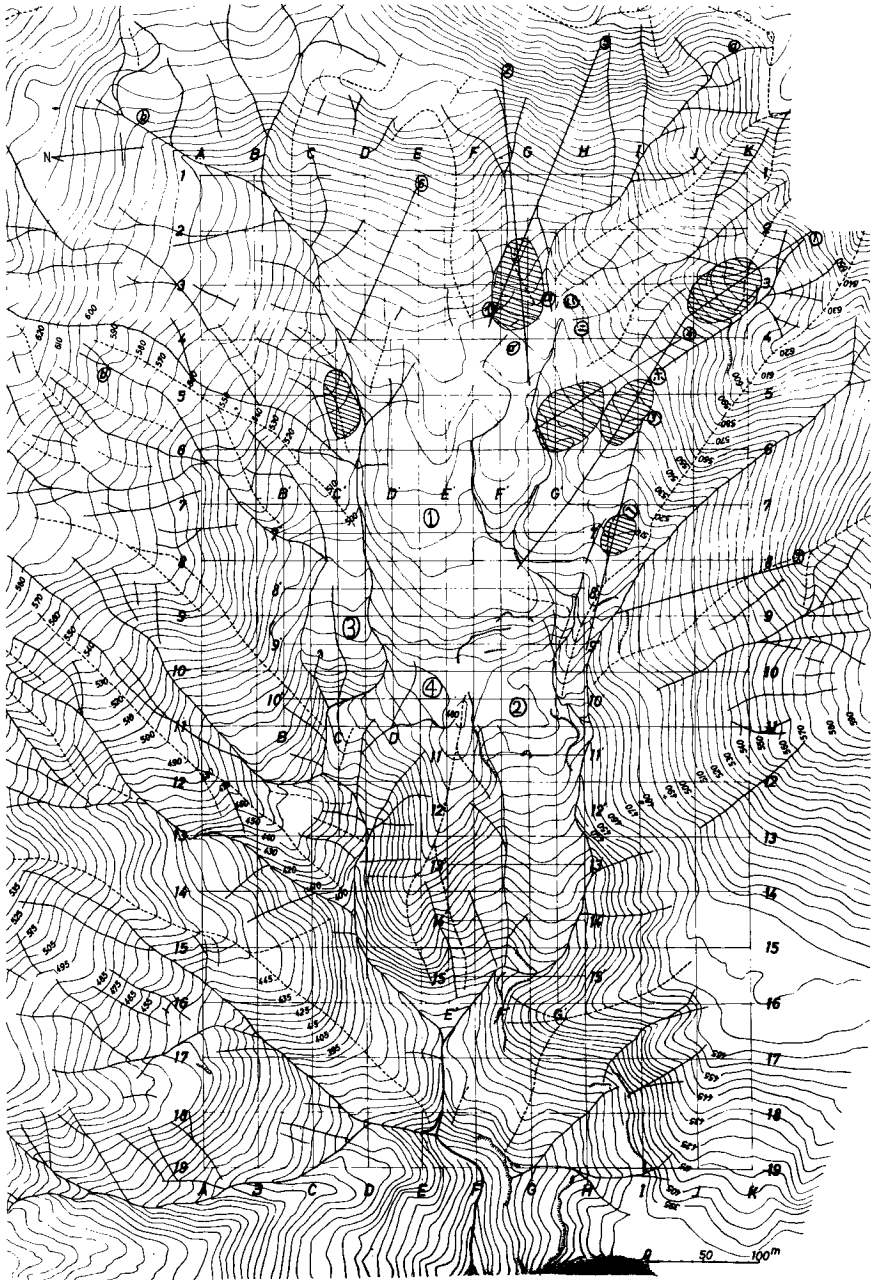


Fig. 1 Topographical map of the Miyagami landslide area.

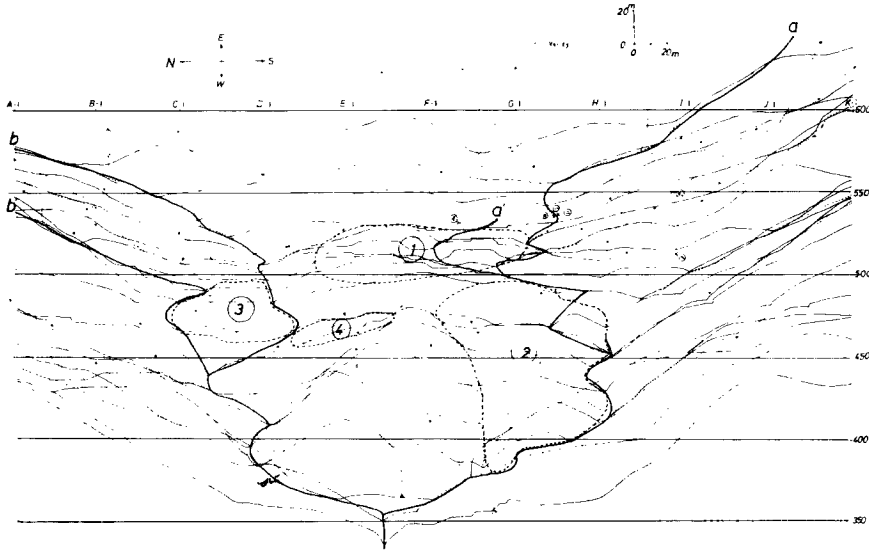


Fig. 2 Perspective cross-sectional view.

宮神地すべり地周辺の地形を概観すると三方を700m前後の山に囲まれており、一方は矢田川に向けて直線状の谷を形成している。700～535mまではかなり険しい斜面が形成されており基岩の露頭が散見されるが谷状地形をした所は碎屑物がかかなり堆積している。535～500mまでは緩斜面となっており、ここに田畑・民家が存在し生活の場となっている。490～470mにも小規模な緩斜面が形成されているが、これらの斜面から下流は再び急傾斜となり390m付近で滝となっている。緩斜面上は基盤は殆んど認められず、それより下流では基盤の露頭が認められる。

Fig. 1, 2 に示すように当地すべり地は大きく分けて4つのブロックから構成されている。①ブロックは535～500mの緩斜面で生活の場となっている。このブロックの西端付近の民家を横断するような形で今回の地すべり活動によって生じた引張り小亀裂が南北方向に走っており地すべり現象の表われた東限のブロックである。②ブロックは500～470mの主滑落崖を含んだ主地すべり活動域で、末端部は宮谷川左支400m付近で泥流状によって谷に流出している。③ブロックは②ブロックの北側に在り490～470mの緩斜面で主として水田に利用されている。現在は末端部で崩壊が認められる程度である。②ブロックとは不動地と云われる481.6mの小丘地塊とb川によって分離されている。④ブロックは②ブロックとb川の間が存在し、不動丘の北斜面480～430mに緩斜面を形成し、棚状の水田になっている。これら4ブロックにおいて①と②・④は一連のもので、不動地塊によって②と④に二分されて地すべり活動を行なっているような形となっている。③はb川により前三者と分離されており、独立した地すべり地形を示している。外見的には③、④は湿潤地帯で、①、②は比較的水の少ない地帯のようである。現在活動しているのは②と④の両ブロックである。

次に水系について検討する。矢田川右支宮谷川は352mで二手に分かれる。右支々川をb川、左支々川をa川と名付ける。b川は390m、430mでさらに分岐して北山腹斜面に向かうが、ここでは調査地域と関係ないのでそれらについては触れず、442mで分岐しているものうち右支谷をb'川、左支谷をb川と名付ける。b川は③ブロックの下部で不自然に曲流しており、b'川は490mで極端に曲流している。後者は人工的な理由によると考えられるが、いづれにしても③ブロックの存在により両谷共その流路を不自然に変化させられている。一方a川は390m付近で10m位の滝を形成しており、ここでは岩盤が見られる。滝の上は流動化した地すべり土塊におおわれて岩盤は見られない。452mで分岐しているが一方は非地すべり地を流下してくるも

のであるのでここでは触れず、500mで分岐しているもののうち右支谷をa'川、左支谷をa川とする。この両谷もb、b'川と同様にかかなり不自然に屈曲しており、土石流残積物・崖錐堆積物により旧谷を大きく埋没され流路が変化させられたことを示している。特にa、a'川の合流後は②ブロックによる旧谷床の埋没によりa川は南側斜面に押し上げられてかなり複雑に曲流している。旧谷床は透水性の高い残・堆積物により構成されている。以上述べた各谷の不自然な屈曲性流路は非地すべり地の自然流下谷の流路と対比すると一層明確に認識される。

山腹斜面に形成されている起伏面のうち凹面地形は降水を集中させ谷川の源となるもので通常は下流谷川の次数の高い谷へ継続してゆくべきものである。Fig. 1, 2に示すように非地すべり地域のは大部分次数の高い支流へ統一されてゆき、次数の低い支流でそれが消失する現象はあまり見られない。しかし地すべり地域より東部南東山腹斜面ではかなり小谷の消滅現象が認められる。その顕著なものが図中の④～⑦である。これら途中で消滅する小谷は主として①ブロックの東-南東斜面に分布し、③ブロックの東-北方斜面には殆んど見られないのも興味ある現象である。a川とb川を比べるととき脊後の集水面積はそう違いないがa川流域の谷の小さいことも注意を引く点である。これらの点については地質的岩質的相違、地層の風化・破碎度の相違がその因となっていることが推定される。消滅谷の下流方向には一般に凸形地形が形成されており、あたかも上部土塊が崩落して残積したかのような地形となっている。この地形断面図の例をFig. 3に示す。Fig. 1に7本の線を引いたが、これらのうち①～⑤が異常斜面、⑥・⑦が正常斜面である。前者の断面図には明らかに残積物を載せていると思われる凸形断面が谷の途中に存在する。Fig. 1, 3に斜線を施したものがこのような場所である。多くの場合凸形地形の末端部に湧水を見ることができる。

2-2 地質について

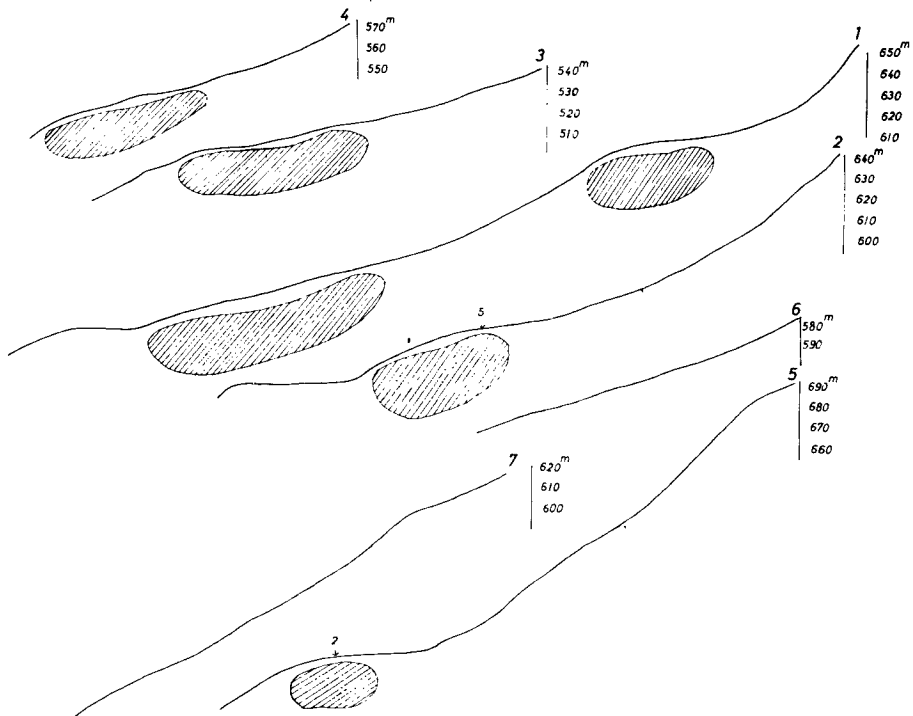


Fig. 3 Cross-sectional view of slopes.

1-5...anomalous slopes, 6, 7...normal slopes, parts of oblique lines show detrital deposits.

調査地域周辺は第三紀層北但層群の豊岡累層に属し、礫岩を主とする部分、砂岩・頁岩等からなる部分、安山岩質の溶岩・凝灰岩などからなる部分及び流紋岩質の溶岩・凝灰岩からなる部分であり、後二者の火山性の岩層の方が前二者より広い地域に分布している⁹⁾。宮神は礫岩・泥岩などの互層から成る部分と安山岩質の溶岩・凝灰岩・凝灰角礫岩からなる部分とが重合する地域に位置し、全般的に深部まで風化・破砕作用が進んでいる。従ってこの地すべり地は生来地質的弱部に生成されたと推定される。

a川の南側には安山岩が分布するが、多くは玉葱状構造の風化を行っており各構造間には褐色の風化土壌が挟在する。各構造の大きさは20~100cmである。a川の源流①ブロックの東-南東斜面は砂岩・泥岩・細粒礫岩の互層から成っているが、これらは非常に風化作用が進んでおり指で容易に剝離できる状態である。これらの剝離崩落物が斜面下部をおおうと共に谷床に多量に堆積しており、現在なお山腹が急速に風化剝脱されて侵蝕が進んでいることを示している。この谷床堆積物が①・②ブロックへ土石流等の形で流下し緩斜面に堆積するものと推定される。地すべり土塊及びその周辺に分布する砂岩・泥岩は多分に凝灰質である。泥岩はその中に薄い層理状に多量の広葉樹を主とする植物化石を含んでいる。崖錐堆積物は主として地すべり主ブロックに分布し、風化砂岩、礫岩、泥岩で構成されている。

当調査地区内に掘られた17本の試錐柱状図を基にして地下構造について検討する。Fig. 4 に各ブロックの代表的な試錐柱状図を示す。それによると③、④ブロックは一般に崖錐堆積物は分布せず、風化土層も薄く14~10mであるが、②ブロックでは粘土混り礫砂が11~22mとかなりの厚さを持って分布している。その下に凝灰質の砂岩・泥岩が存在する。①ブロックは Bor. 17 を除くと風化土層は比較的発達しておらず、その上

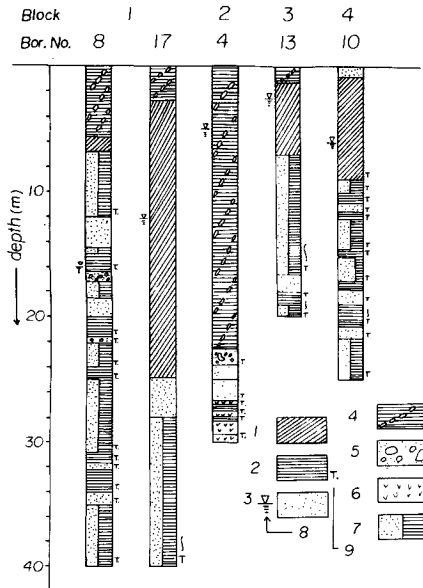


Fig. 4 Geologic clumns by boring.
 1. weathering layer,
 2. mud-stone, 3. sandstone,
 4. clayey soil with gravels,
 5. conglomerate, 6. tuff,
 7. altnation of sandstone and muds-
 tone,
 8. water level in a bore hole,
 9. tuffaceous layer.

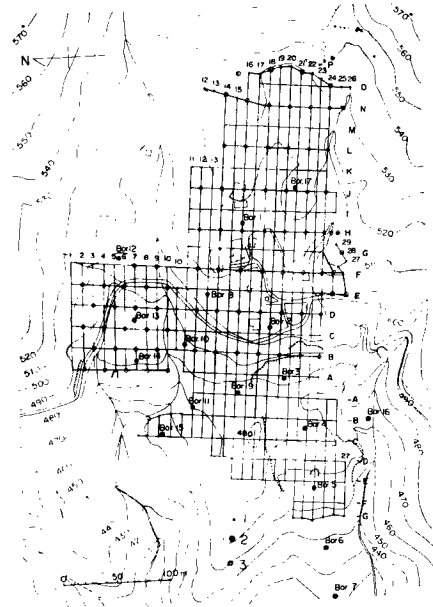


Fig. 5 Location of measuring points.
 1. underground temperature survey,
 2. electrical resistivity survey,
 3. boring points.

に分布する崖錐堆積物もで 2~6m で厚くない。Bor. 17 は非常に深く風化が進んでおり、25m まで風化層となっているが実際にはそれ以深にも基岩と言うには貧弱な地層が存在する。これらの崖錐堆積物、風化土層の下部には砂岩・泥岩・礫岩の互層が存在し、一般的に南部のものほど凝灰質の度合が高くなっている。

当調査地区の模式的な地下構造は、崖錐堆積物一風化土層又は風化岩層一準基岩一基岩であり、北部ブロックでは崖錐堆積物があまり見られない。

§3 電気探査による調査結果

概略の地下構造を推定すると共に地下水の分布状況を推定する目的で最大電極間隔 30m で 3 極法による電気探査を実施した。測点は Fig. 5 に示すように設け総数は 97 点である。遠方電極は調査地域の北方 400m の地点に埋設した。使用器械は横河電機製作所製の大地比抵抗測定器 TYPE-3244 である。地下構造推定図を地質構造と対比するために Bor. 17, 10 において電気検層を行なった。

3-1 地下構造推定結果

得られた測定値を $\rho-a$ 曲線に表わし、標準曲線を用いて解析し地下構造を推定したものが Fig. 6 である。ここには③ブロックと①、②ブロックの主要断面図を示す。当調査地域は概むね三層構造を示し、第一層は北部③ブロックと南部①、②ブロックでは比抵抗値が異なり前者は 6~3.3kΩ-cm、後者は 10~50kΩ-cm の値を示す。第二層は両者共 3~9kΩ-cm の低い値を示す。③ブロックは東半分の測点で第一層が消失すると共に第二層と第三層の間に 1.6~5.1kΩ-cm の値を示す層が入って来る。第三層は 10~90kΩ-cm の比抵抗値を示す。④ブロックでは東部から西部に向けて第三層目は傾斜しており、F-7 測点で地表下 6m に第三層目が存在するのに対し A-6 では地表下 25m と深くなっている。一方①、②ブロックはほぼ地表面起伏に相似して第三層目が存在する。

Bor. 17, 10 で行なった電気検層結果と地質とを対比したところ次の結果を得た。

- 崖錐堆積物層.....10~30kΩ-cm
- 風化土層・岩層..... 3~ 9kΩ-cm
- 準基岩層・基岩層.....10~90kΩ-cm

これによれば③ブロックと①、②ブロックの第一層の比抵抗値の違いはその構成地質の違いに起因している

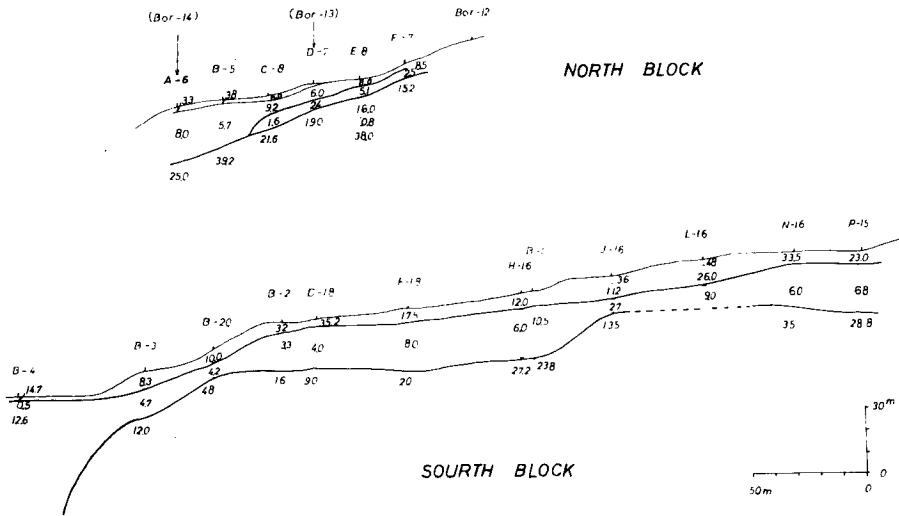


Fig. 6 Cross-sectional view of estimated structure by electrical resistivity survey. (unit of numbers = kΩ-cm)

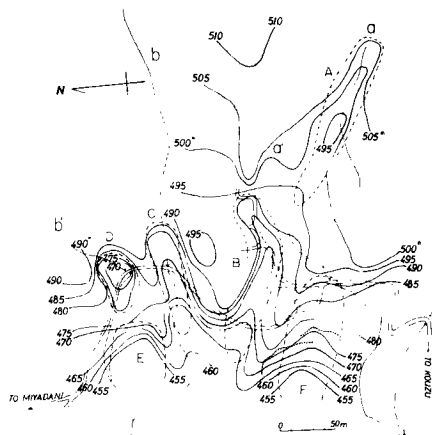


Fig. 7 Contour lines of surface of non-weathering layer.

ことが判る。つまり③ブロックは風化土層で構成されているために低い値を示し，①，②ブロックは崖堆積物で構成されているために高い値を示したのである。準基岩，基岩の比抵抗値を基にして全測定の基岩及び準基岩層までの深度を求めて図化したものが Fig. 7 である。この基岩等高線図を見ると A～F の谷状地形が認められる。これらのうち C，F は表面地形と基盤地形とがほぼ一致しているが，他は表面地形と一致しないので，そこには埋没谷地形が存在するものと推定される。a-a' の合流地点から不動丘に向かって基盤の峰状地形が認められるが，これが地すべり活動区を分離する因を成しているものと推測される。地すべり活動及び崩壊現象が基盤谷地形にはほぼ一致して起きている点は注目したい。

3-2 見掛け比抵抗値の分布状況

当調査地域の地下水の賦存状態を概括的に把握するために各深度における見掛け比抵抗値分布図を作製した。見掛け比抵抗値は $1 \sim 75 k\Omega\text{-cm}$ の値を示すが，その多くは $1 \sim 30 k\Omega\text{-cm}$ の範囲に存在する。ここでは地下構造推定結果及び電気検層結果に基づいて $10 k\Omega\text{-cm}$ 以下の値の分布する地域を低見掛け比抵抗帯と名付けた。その分布状況を Fig. 8 に示す。これによると当調査地域では a 川上流から a' 川上流を通り a' 川に沿って巾 40m 位の低見掛け比抵抗帯が地すべり主ブロックに向って存在するが，これは深度 $10 \sim 22\text{m}$ までで，それ以深では②ブロック東部は高見掛け比抵抗帯に変わり，②ブロック滑落崖付近には北部から低見掛け比抵抗帯が侵入している。深度 14m 以深になると①ブロック北東部に存在する低見掛け比抵抗帯が

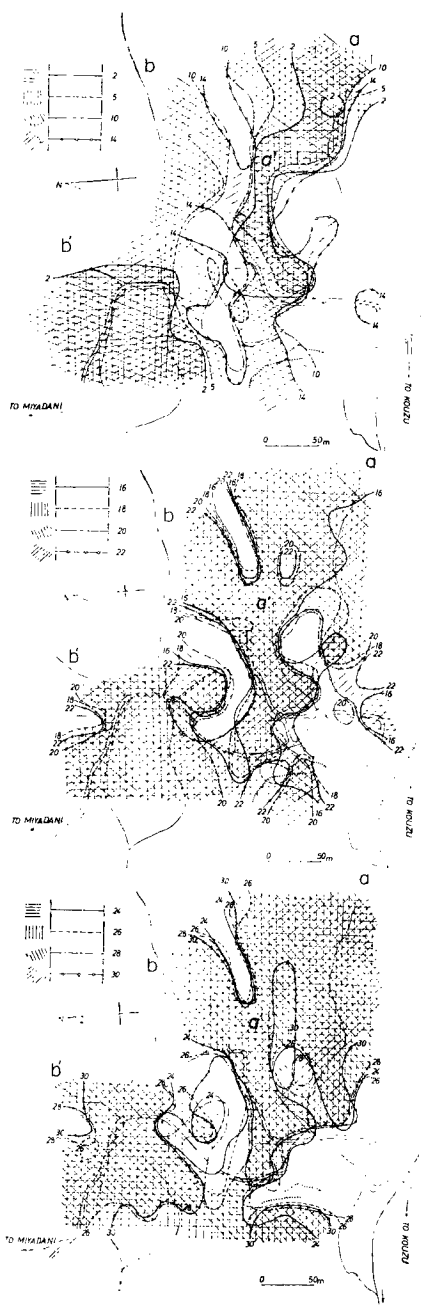


Fig. 8 Distribution of lower apparent resistivity values at each depth.

a'川に沿うものと合流して②ブロック東部で分流し、一方は地すべり主ブロックへ他方は④ブロックへ向うようになる(深度18~28m)。北部③ブロックは全般に低見掛け比抵抗帯が存在するが深度18m以深で北部に、28m以深で西部に各々高見掛け比抵抗帯が表われている。Fig. 7と8を対比すると、基盤変部に低見掛け比抵抗帯が、峰部に高見掛け比抵抗帯がほぼ一致して分布しており、埋没谷地形の存在する所は風化が深部まで進行していることを示している。そして各低見掛け比抵抗帯の末端部で地すべりや崩壊が発生している。

§4 地温測定調査結果

当調査地区における地下水流脈の流動経路についての情報を得るために地下1m地温測定による地温分布調査を1973年9月1~4日に実施した。さらに同調査法の有効性・実用性を検討するために他地下水調査結果と対比した。調査地区に南北10m、東西20m間隔の網目を組み、その交点に測点を設けた。総数371点である(Fig. 5)。測定方法は太さ25mmの鉄棒で1mの孔をうち、そこに地温測定用に改良した精度0.1°Cの精密型サーミスター温度計を挿入した。10分後にその値を読み取りその測点の1m深地温とした。

4-1 微地形・地況と地温

1m深で地温を測定した場合、その値には地温の日変化は殆んど関与しないが、斜面傾斜方向、微地形、地況(測点を中心に半径2~3m以内の地表面の状況)の因子により規制されている恐れがある。この場合は各々適切な補正を行なう必要があるのでこれらの点について検討した。

4-1-1 微地形と地温

微地形と地温の関係は一般に谷部は低温に、尾根部は高温に測定されると言われると共に斜面の傾斜方向によっても地温はかなり影響を受けることが示されている^{9),10)}。斜面傾斜方向に関しては当調査地区はほぼ西に面しており著しくその方向の異なるものはないので、これによる地温の変化についての検討は省略する。

各測点で得られた地温とその測点の標高を用いて両者の関係を調べる前に、全測定値の中に測定条件の善悪により統計上好ましくない値が含まれているか否かを客観的に検定した。その後で両者の相関係数を求めたところ、斜面横断測線23本、縦断測線26本計49測線中6測線にのみ95%信頼度を持って有意性が認められた。この程度では標高・微地形が地温に有意ある影響を与えているとは言い難い。ちなみに全測定値と標高との相関々係を求めたところ両者は全く無関係であることが示された。斜面傾斜方向・微地形、標高差等の地温に与える影響についてはいくつかの地すべり地で検討したが^{5),3)}、いずれの場合も有意ある関係は見いだせなかったので一応地すべり地のようにほぼ同一方向に面する斜面で標高差100~200m前後、比高差10m内外の微地形の変化は地下1m地温に殆んど問題となる影響を及ぼさないと云えるようである。

4-1-2 地況と地温

Table-1に全測定値を各地況別に統計処理をした結果を示す。各地況によりかなり平均地温が異なっており、地況の地温に与える影響の大きさが浮き彫りにされた。田畦(C')は全平均地温より高目に、林(F)、湿地(C'')は低目に測定され、草地(E)、畑(D)はほぼ全平均地温に近い値を示す。各地況の分布図と地温分布図(全平均値からの偏差の分布状況を示すもの)とを対比すると田畦

Table 1 Statistics of underground temperature.

	Tmin	Tmax	R	Tave	N
A.....bald land	18.10	21.79	3.69	19.85	16
B.....road or path	18.22	23.71	5.49	20.45	27
C'....rice field	17.50	24.85	7.25	21.53	101
C''...wet land	12.90	21.37	8.47	19.17	16
D.... farm	16.96	24.00	7.04	20.37	65
E.....grassland	15.93	23.62	7.69	20.04	123
F.....grove or forest	14.93	22.56	7.63	17.87	23
total	12.90	24.85	11.95	20.34	371

Tmin ...minimum underground temperature (°C)

Tmax ...maximum underground temperature (°C)

R.....range of underground temperature (°C)

Tave ...average underground temperature (°C)

N.....number of measuring points

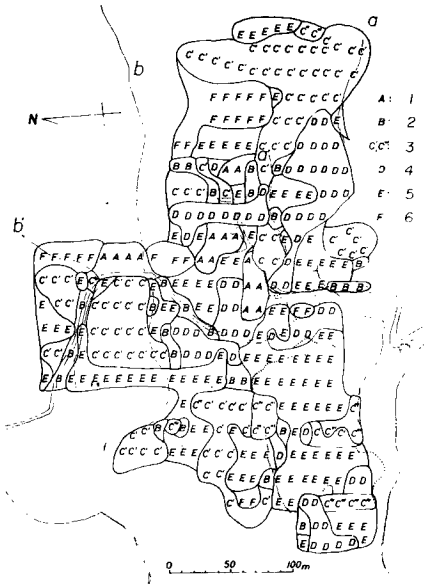


Fig. 9 Distribution of ground surface condition.

1. bald land,
2. road or path,
3. rice field and wet land,
4. farm,
5. grassland,
6. grove or forest.

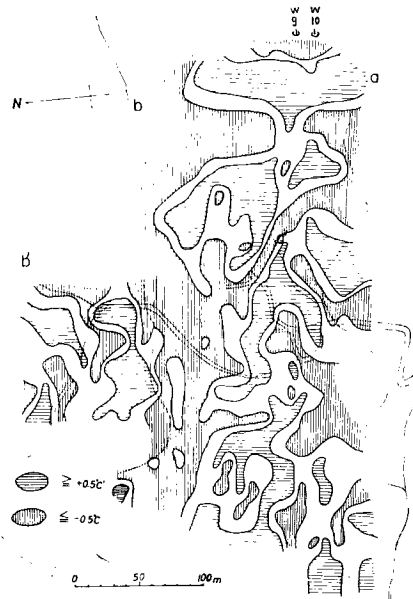


Fig. 10 Distribution of underground temperature before correction.

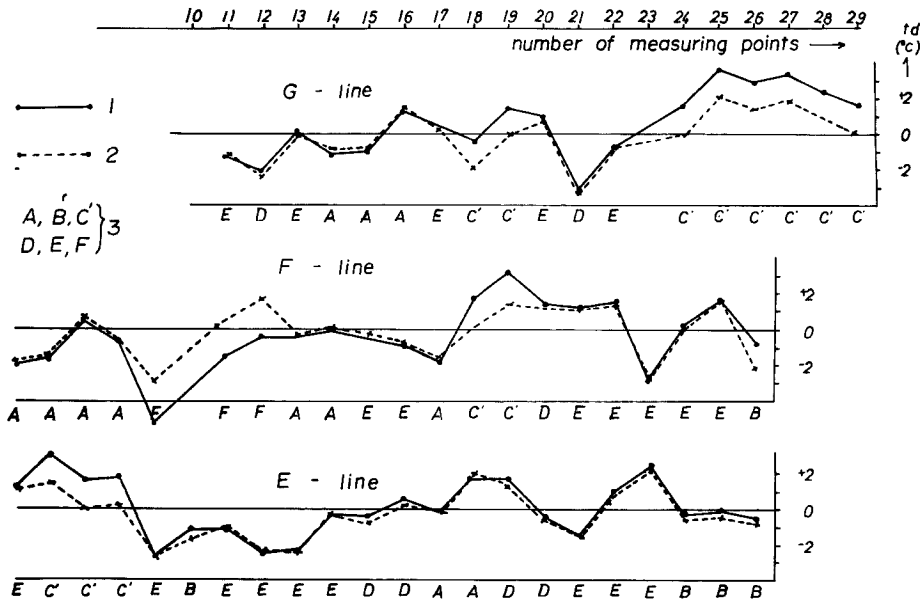


Fig. 11 Diagram of comparison between corrected values and noncorrected values.

1. before correction,
2. after correction,
3. ground surface condition at each measuring point.

に高温帯 ($t_d \geq +0.5^\circ\text{C}$: t_d は全平均値からの各測定値の偏差を表わす) が分布し、林・湿地に低温帯 ($t_d \leq -0.5^\circ\text{C}$) が分布しているのが認められる。(Fig. 9, 10) つまり地温分布状況は地況にその一部を規制されていると考えられるので、得られた測定値を竹内⁴⁾が提案した方法を用いて補正し、全平均値からの偏差 (t_d) で表わした。上記の処置を行なった値を未処置の値と対比したものの一例を Fig. 11 に示す。

4-2 地温分布状況

全測線において Fig. 11 のようなグラフを作製した所、地況補正後の地温偏差は高温の測点で $+4^\circ\text{C}$ 、低温の測点で -6°C にも達するものがあった。そこで測定精度を考慮し、 t_d が $+0.5^\circ\text{C}$ 以上を高温帯、 -0.5°C 以下を低温帯と名付けることにした。この高・低温帯を各測線から抽出し平面図に描いたものが Fig. 12 である。Fig. 10 と対比すると大局的には大差はないが、地況に複雑な変化のある所はかなり地況補正による影響が認められる。Fig. 12 を見ると南部 a 川沿いと中央部 b 川沿いに大きな低温部が存在し、①・②ブロック中央と④ブロックの中央部に東西方向に高温部が存在する。局部的には a 川上流から民家付近を通り④ブロックへ向かうもの、湧水点 W-9, 10 から西下して民家付近に向かうもの、a 川から②ブロックへ侵入するもの、b 川から③、④ブロックへ侵入するもの、さらに b' 川から③ブロックへ向かうもの等低温部が舌状に各ブロックへ延びているのが認められる。これらの高・低温部が如何なる情報を把らえているかを推測するために地下水湧出点 W-9, 10 の上方に長さ 48m、測点間隔 3m で地下 1m 地温を測定した。その結果によると地下水流脈の影響を受けていない場所の地温は 17.03°C で地下水温は 10.6°C (W-9), 9.6°C (W-10) であるので、この地下水流脈の流動による影響が地下 1m 地温に表われるとするならば、地下水流脈付近は周囲より地温が低下しているはずである。そこで Fig. 13 を見ると湧水点上流付近で明らかに地温の低下が認められる。この低温部は他の因子による影響は除いてあるため地下水流脈の影響によって生じた可能性が強いと考えられる。

4-3 地温分布と他調査結果との対比

地温低温部が地下水流脈の流動経路に影響されて形成された可能性が強いので、電気探査結果、地表水・地下水の電気伝導度・pH・水温の分布状況等の資料を加えてこの点について検討を加えた。

見掛け比抵抗値分布図と地温分布図を対比すると概略的には低見掛け比抵抗帯の中に低温部が存在している。特に南東斜面からの低見掛け比抵抗帯とはよく一致している。低見掛け比抵抗帯の中には高温部も存在するが、これは前者は地中含水比の相対的に高い地域を示すものでありその中には流動する地下水と不動の水とが混在している。これに対して地温は流動している地下水の影響を受けて低温部を形成していると考えられる。従って不動地下水の分布する場所は相対的に周辺の地温に同化されて流動性の地下水の存在する場所より高温とな

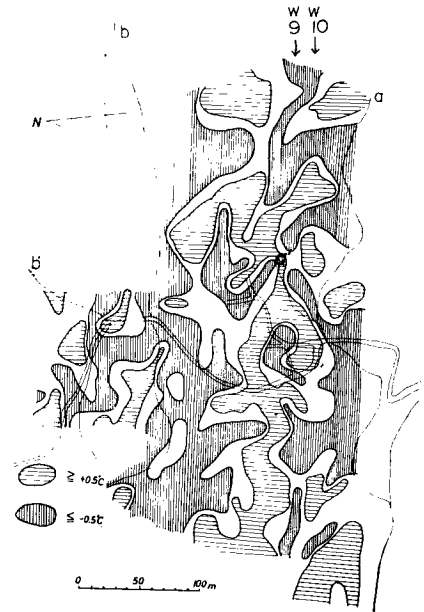


Fig. 12 Distribution of underground temperature after correction.

を推測するために地下水湧出点 W-9, 10 から西下して民家付近に向かうもの、a 川から②ブロックへ侵入するもの、b 川から③、④ブロックへ侵入するもの、さらに b' 川から③ブロックへ向かうもの等低温部が舌状に各ブロックへ延びているのが認められる。これらの高・低温部が如何なる情報を把らえているかを推測するために地下水湧出点 W-9, 10 の上方に長さ 48m、測点間隔 3m で地下 1m 地温を測定した。その結果によると地下水流脈の影響を受けていない場所の地温は 17.03°C で地下水温は 10.6°C (W-9), 9.6°C (W-10) であるので、この地下水流脈の流動による影響が地下 1m 地温に表われるとするならば、地下水流脈付近は周囲より地温が低下しているはずである。そこで Fig. 13 を見ると湧水点上流付近で明らかに地温の低下が認められる。この低温部は他の因子による影響は除いてあるため地下水流脈の影響によって生じた可能性が強いと考えられる。

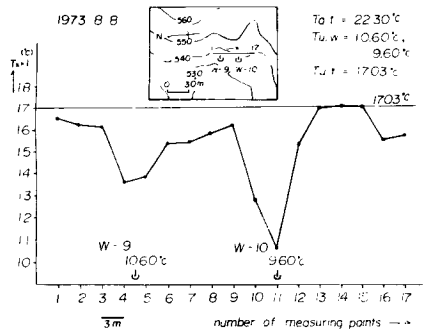


Fig. 13 Diagram of relation between spring points and underground temperature at 1 meter depth.

って表現される傾向がある。そのため地下水が他の場所より多く存在することを示す低見掛け比抵抗帯の中に地下水の動・不動によって低・高温部両者が分布していても矛盾はしない。つまり低温部には流動性の地下水流脈が存在している可能性が強いことになる。

次に地表水・地下水湧水点・試錐孔などを利用して行なった電気伝導度・pH・水温の分布状態と地温分布状況とを対比してみる。前者は観測点が少ないためにはっきりしたことは言えないが、**Fig. 14** に示すように次のことが判る。いずれの測定事項も多少の相違はあるが、b 川 + a' 川上流、②ブロック + a 川中流、a, a' 川から南東—北西方向に沿い④ブロックに達するものと③ブロックの4つの水塊に分離できるようである。この水塊分析結果は動・不動両地下水を含んだものであるが、これと地温分布図とを対比すると各水塊の存在場所と低温部の存在場所とがよく一致しているのが認められる。特に a, a' 川から民家付近を通り④ブロックへ達する埋没谷沿いの水塊の形成はそこに地下水流脈が存在する可能性を強めた。

以上により地温測定調査によって得られた低温部は地下水流脈の影響によって生じたことが推定される。この観点から Fig. 12 を再見すると、当地域内で流動性地下水の存在する可能性のある場所は、a・b 川に沿う部分、b' 川に沿う部分、a' 川 (W-9, 10 を源泉とする) 上流及び a 川上流から①ブロックを南東—北西方向に横断し④ブロックへ向かう部分である。②ブロック南東部に向かって a 川から低温部が侵入しているのは a 川の水が透水性の高い崖堆積物の中に流入し、地すべり土塊に悪影響を与えているかのごとき形となっている。この点は②ブロック東部林道脇 (主滑落崖の東方約 30m) に掘られた集水井 (深度 27m) に地下水が殆んど湧出しなかった点を考慮すると当地すべり活動の原因解明の一つの手掛りとなる。南東—北西に存在する低温部は④ブロックの地すべり土塊上部に達し同土塊中に分散すると共に b 川からも低温部が侵入しておりこの地域が常に湿潤状態にあることの妥当性が見いださせる。③ブロックにも b, b' 川から低温部が侵入しているがこのブロックの東部も湿潤地帯となっている。いずれの地すべり・崩壊地域にも各川より低温部が侵入する形となっていることは各川より土塊中へ水が浸透していることを暗示しており、これが地すべり活動を促進していることを肯定するものであろう。

§5 総 括

当調査地区は構造地形的な弱線部に位置し古来より幾度か土塊変動を経験している。そのため旧地形は侵蝕・埋没により変形させられこれが風化土層の薄厚、崖堆積物・土石流残積物の層厚の薄厚等の地質的な異常現象として表われ、又地区内の谷川の流路の不自然な曲流性、0次・1次谷の消滅現象、緩斜面の形等に地形的な異常現象として表われていると推定される。このような地域で上述の諸調査を実施した結果をまとめると

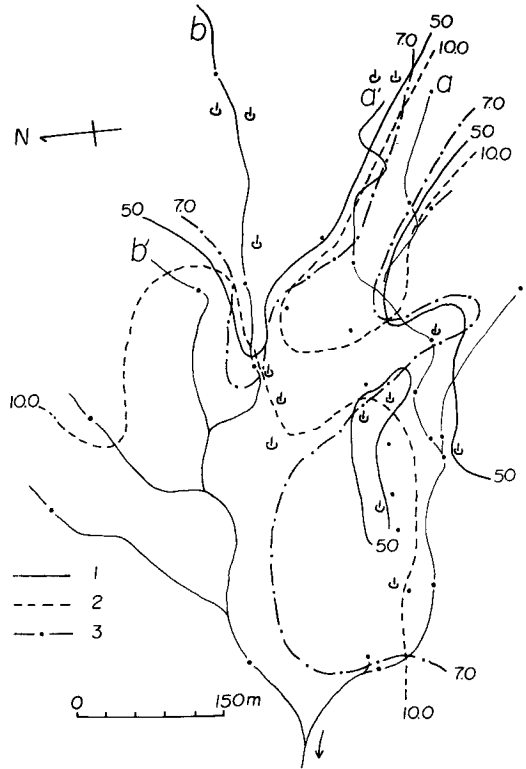


Fig. 14 Distribution of electrical conductivity, pH and temperature of ground water.

1. electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$),
2. temperature of ground water ($^{\circ}\text{C}$),
3. pH.

次のごとくなる。

当地区の緩斜面はあるいは薄くあるいは厚く崖錐堆積物で被われており、碎屑物の供給源である山腹に存在する1次・0次谷は高次数の谷へ連続せず消滅してしまうものがある。消滅谷の下流側には多くの場合碎屑物が堆積しており、その末端には湧水点が存在する。緩斜面の脇を流下する川はいずれも不自然に曲流しており、谷川の水は緩斜面を形成する堆積物・風化層内へ浸透が容易な形となっている。地質的には火成岩と水成岩の重合部に当り地層がかなり破碎されている。このため水成岩は深部まで風化が進んでいる。新鮮な岩盤の露頭はあまり存在せず、山腹斜面特に南東方向は碎屑物が谷床に厚く堆積している。試錐柱状図によると①・③・④ブロックは一般に崖錐堆積物は薄いか又は無いが、②ブロックはこれが厚く20mにも達する。この堆積物は透水性が高いが、風化層は難透水性を示し、この層の流動水は主として亀裂内に存在する。

電気探査による基盤等高線図 (Fig. 7) をみると A~F の谷地形が認められるがこのうち C~F は表面地形と一致しているが、他は埋没谷地形として存在することが推定された。見掛け比抵抗値分布図によると各谷地形共かなり深部まで風化が進行しており 低見掛け比抵抗帯の末端部で地すべり・崩壊現象が起こっている。

地温測定調査結果によると本調査実施時期には流動性のある地下水は地下1m地温を低下させる方向に影響を与えていたので、得られた低温部を抽出すると電気探査で見いだされた低見掛け比抵抗分布域内に存在していることが示された。これを地表水・地下水の水塊分析結果と対比するとさらに流動性ある地下水の存在場所についての裏付けが得られた。

以上の事柄から当調査地区の地すべり活動に悪影響を与えている流動性ある地下水の経路は次のごとく推定される。(Fig. 15) 東部山腹斜面に降った雨が流下して、a. b. b' 川に沿って流下し、各ブロックの風化層・崖錐堆積物層の中へ浸透するものと、a'. a 川上流から①ブロックを南東一北西方向に存在する埋没谷に沿って流下するものがあり、これらの水が各活動土塊に悪影響を与えているものと推定される。特に②ブロックの地すべり主土塊へは東方からの地下水の供給は基盤等高線図に見られる峰地形に阻まれて少なく、a 川及び④ブロックから水が主として供給されている。この点は②ブロック滑落崖の東方(基盤が峰地形であると共に高温部)に掘られた27m深度の集水井に地下水が殆んど排出されない事及び落差30mに近い滑落崖に湧水点が見られない事から明確にされた。

最近得た情報によると集水井から東方に向けて横孔排水試錐を行なったところ、それまでは地下水の排水は殆んど見られなかったが、掘進長40mに達した所で多量の排水を見たという。1974年3月現在5本の横孔排水試錐(掘進長各50m)が施工されそれからの排水量は推定1000l/min.に達するという。なお掘進長40mは丁度高温部から低温部へ移行する地点である。この事実は地温測定調査法の有効性を裏付けると共にその実用化が期待できることを示したものと考える。

最後に小論を書くに当り図面作製に力を貸して頂いた倉内洋子氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 竹内篤雄：地すべり地における地下水調査法について—新しい地下水調査法の必要性と試み—, 京都大学防災研究所年報, 第14号 A, 昭46.4, pp. 533-542.

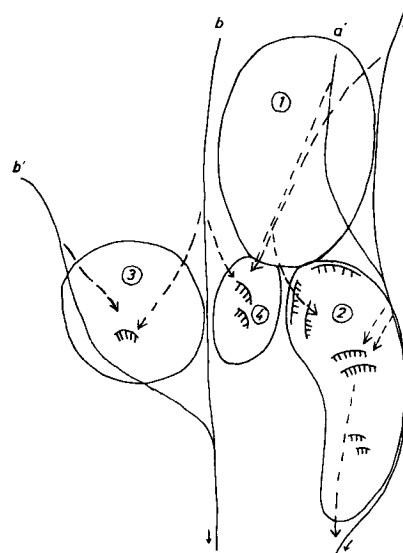


Fig. 15 conceptual diagram of channels of underground water.

- 2) 竹内篤雄：地すべり地における地温測定調査について(2)―御殿山・亀ノ瀬両地すべり地―，地すべり，Vol. 8, No. 4, 昭47.4, pp. 30-38.
- 3) 竹内篤雄：地すべり地における地温測定調査について(3)―御殿山・亀ノ瀬両地すべり地―，地すべり，Vol. 9, No. 1, 昭47.7, pp. 32-38.
- 4) 竹内篤雄：地すべり地における地温測定調査について(4)―地温に關与する因子について―，地すべり，Vol. 9, No. 3, 昭48.1, pp. 13-22.
- 5) 竹内篤雄：地すべり地における地温測定調査について(5)―地温に關与する因子について―，地すべり，Vol. 9, No. 4, 昭48.5, pp. 9-16.
- 6) 竹内篤雄：地すべり地における地温測定調査について(6)―地すべり地における地温測定調査に關する理論的考察及びその適応限界―，地すべり，Vol. 10, No. 1, 昭48.8, pp. 17-34.
- 7) 竹内篤雄：地すべり地における地温測定調査について(7)―その適応時期及び地下水流脈の年変化について―，地すべり，投稿中.
- 8) 兵庫県地質図作製委員会：兵庫県地質図説明書，昭37.3.
- 9) 上原勝樹：傾斜地開発利用に關する物理気象的研究，香川大学農学部紀要，第7号，昭36.3, pp. 1-113.
- 10) 平田徳太郎：南北両傾斜面に於ける比較観測成績，森林治水気象彙報，第13号，昭6, pp. 209-240.