

四国の地すべりの地下水について

末峯 章 (防災研究所 斜面災害研究センター)

四国には地すべり地が数多く存在している。そして地すべり活動は地震時や降雨時に多く発生している。また人工地すべりもかなり発生している。我々は主に再活動型地すべりについて、調査活動を行ってきた。これらの地すべりは台風や梅雨時に発生することが多かった。そしてその移動速度は数 cm/day から数十 cm/day 位が多かった。また全国的に見ても大きな地すべりが多い。地すべり地の水収支について調査を行ったが、かなりいろいろなデータを取らなければ、解明することは難しいことが分かった。また地すべり地での湧水や対策工事の地下水排除工で、多量の地下水が存在していることが多かった。そこで我々は尾根の向こうから地下水が流入してきていることがあるのか、または地下深くから地下水が上昇してきていることがあるのか、ということ进行明らかにしようとした。地下水の流動状況を解明するために、1 m 深地温探査を行った。これは温泉を探査する方法を、地すべり地の地下水の移動状況を解明する為投入した方法であった。この探査方法を四国における大きな地すべり地に適用した。探査は尾根の部分を含む調査地域で行った。その結果尾根の部分を超えてきている地下水がある可能性が得られた。また地下深いところから地下水が上昇している可能性が高いということも判明した。次に、もしそれがあるとして、その地下水は降雨が降ってすぐに流出しているかどうか、という疑問が起こった。そのことを解明する一歩とするために、地下水の年代測定を行った。普通は ^{14}C やヘリウムで行うが、これらの方法は時間分解能が粗いので、我々は SF_6 を利用した。その結果、四国の結晶片岩地すべり地では、数年前の地下水が流れてきていることが判明した。また地すべり地を流れている地下水は、少なくとも2種類存在しているということが、地下水の水質分析結果から判明した。もしこの結果が正しかったら、対策工事の対する考え方をもう一度じっくり考える必要があると思っている。これらは以下に示している参考文献を中心として報告した。

参考文献

末峯 章他 (2008) : 結晶片岩地すべり地における地下水流動の観測例、第 47 回日本地すべり学会講演予稿集、pp.155-158.

末峯 章他 (2009) : 結晶片岩地すべり地における地下水流動の観測例Ⅱ、第 48 回日本地すべり学会講演予稿集、pp.30-31.

末峯 章他 (2012) : 結晶片岩地すべり地の地下水年代測定、第 51 回日本地すべり学会講演予稿集、pp.60-61.

次頁以降はこれら 3 つの参考文献。

結晶片岩地すべり地における尾根からの地下水流動の観測例

An observation example of the groundwater flow from the ridge at the crystalline schist landslide

末峯章 (京都大学)*, 日浦啓全 (元高知大学)

王功輝 (京都大学), 能野一美 (基礎建設コンサルタント)

Akira SUEMINE (Kyoto Univ.), HIURA (Former Kouchi Univ.)

Gonghui Wang (Kyoto Univ.), Kazuyoshi YOKINO (Kiso Kensetsu Consultant)

キーワード: 結晶片岩, 地すべり, 地下水流動, 地温探査

Keywords: Crystalline schist, Landslide, Groundwater flow, Geothermal-exploration

1. はじめに

今までは地すべりに影響を与える地下水は尾根筋までの地下水を考えることが多かった。我々は、前記の現象に影響を与える地下水は地すべり地の斜面外から来る地下水があるのではないかと考えて、徳島県三好市東祖谷山の釣井地すべり地で、地下水調査を行った。行った調査は1m深地温探査と湧水点やボーリング地点での水質分析や水温、Ph等であるが、この報告では主に1m深地温探査について報告する。

この地すべり地では、地すべり地の下方を流れている藤谷川以外に北側に深い沢が存在していて、この沢からこの部落の人が飲料水を引いてきて利用している。この沢から地下水が流入してきているかどうかを調べるために調査を行った。

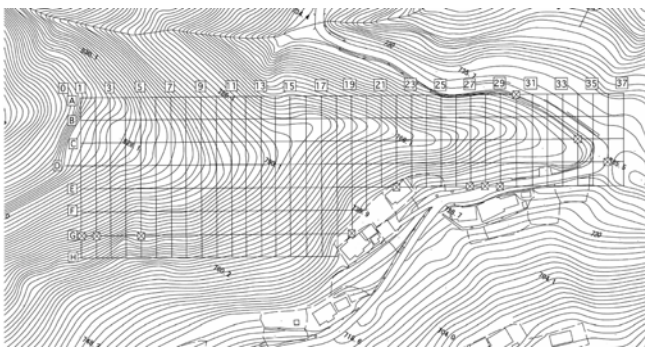


図-1 試験地の観測点

2. 1m深地温探査

探査の範囲は図1に示すように10m×15mの測点

網を設定し、平成20年1月28日～31日にかけて測量を実施した。計測した測点の総数は232点である。測定結果の一部を表1に示す。

表-1 測定結果

測点 No.	測温体 NO.	測定地温 (°C)	測温体補正值 (°C)	経日変化補正值 (°C)	地況	地況補正值 (°C)	孔内水の有無
A-1	D6	6.00	5.98	6.10	F'	6.64	X
A-2	D4	5.98	5.88	6.00	F'	6.54	X
A-3	D13	6.09	6.09	6.21	F'	6.75	X
A-4	D11	6.80	6.79	6.91	F'	7.45	X
A-5	D15	6.08	6.20	6.32	F'	6.86	X
A-6	D14	5.15	4.98	5.10	F	4.89	X
A-7	D10	4.90	5.00	5.12	F	4.91	X
A-8	D12	4.00	3.83	3.95	F	3.74	X

3. 測定値の解析

現場で得られた測定値には、測温体間の誤差、経日変化、微地形、地質、および地表面の状況など種々の因子が関与している。そこで、これらの因子について補正を行った。得られた測温体補正值を表1に示すとともに実測値の補正結果を表1に示す。

地温測定に際し、微地形の影響は顕著に測定値に反映されることが知られている。そこで、予定した測定地点が微地形急変点付近に存在する場合は、その影響を受けないと思われるところに移設し、測定を行った。また、急傾斜が連続的に続く斜面においては、斜面に直行する方向に鉄棒を打ち込んだ。

3-1 地況補正

地表面の植生等の状況(地況)の相違が1m深地

温に影響を与えることが、これまでの数多くの事例によって明らかにされている。そこで、竹内(1973)の分類をもとに、探査範囲内の地況を以下の通りに分類した。

F : 林地(スギ+ヒノキ) ; F' : 雑木(広葉樹、灌木等) ; F'' : 竹 ; E : 畑・草地 ; A : 裸地

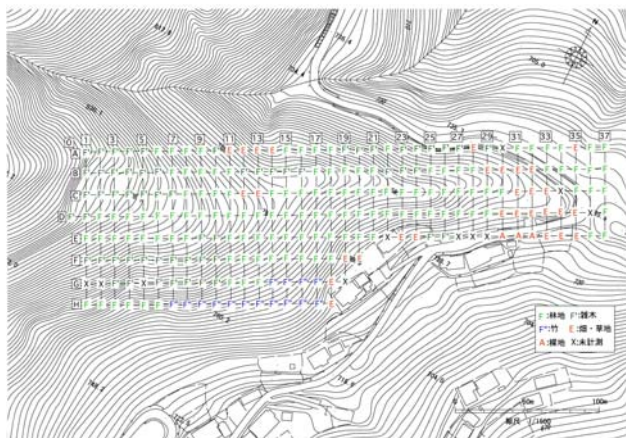


図-2 地況分布図

探査範囲における地況分布を図2に示す。この図より、大部分のところは林地(スギ+ヒノキ)、斜面下部に竹等が分布している。このような地況分布状況が1m深地温に対して影響を及ぼす可能性があると思われたので、各地況間の影響の強さについて検討を行った。その結果を表2に示す。

表-2 地況別の地温とその補正係数

地況	個数	占有率(%)	最高値(°C)	最低値(°C)	温度差(°C)	標準偏差	平均値(°C)	補正係数
A	3	1.3	8.93	6.39	2.54	1.30	7.49	-0.94
E	30	12.9	8.74	2.38	6.36	1.42	6.68	-0.13
F	125	53.9	9.49	2.11	7.38	1.47	6.76	-0.21
F'	59	25.4	9.71	2.05	7.66	1.51	6.02	0.54
F''	15	6.5	7.59	4.57	3.02	0.86	6.47	0.09
計	232	100					6.55	

表2より地況による平均地温の差は1.47°Cであった。この値は1m深地温分布図を描いて地下水脈を推定する際に無視できない値である。そこで、全平均地温と各地況における平均地温の差を取り、この差の符号を逆にしたものを補正係数とした。

本調査では1点をのぞいて、各測点では孔内水の存在が認められなかった。したがって孔内水補正を

行う必要性はなかった。3測点において1mの深さまで孔を穿つことができなかった。これらの測点と周辺の測点との1m深地温を比較したところ、測定のためあけた孔の浅深による著しい地温の違いが認められなかった。したがって、探査結果の整理では深度の違いによる影響を無視することにした。

3. 流動地下水の推定

3-1 1m深地温分布と地下水流の推定

本調査では、1m深地温の平均温度が6.55°C、最高温度がC-3測点の10.25°C、最低温度がD-5測点の1.90°Cであった。その結果を見ると地温の高温部がランダムに分布していないことが分かった。この時期には、地下を流れていると推定される水脈の上での地温は、相対的に高いことが予想される。したがって1m深地温が高い地域を連続していると判断して描いた地図が図3である。この図から解るように2008年2月の時の1m深地温は、5つのグループに分かれている。

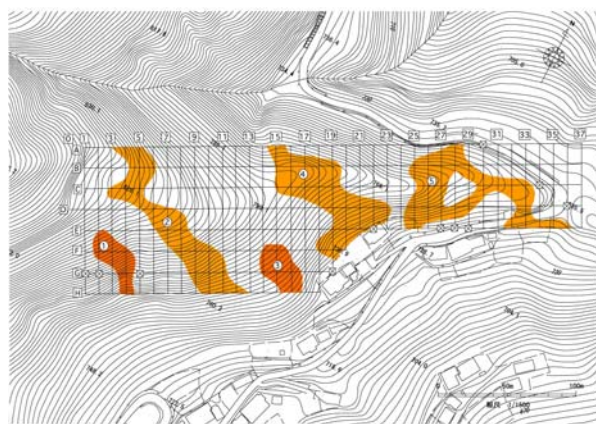


図-3 推定された地下水流動経路

図3のうち斜面の途中で高温部になって、そこから斜面の下部に高温部がある所と、尾根筋を越えた所からから高温部が続いている所の2種類がある。まず①と示している地下水の流れは、斜面の中間に高温部が出現しているから、ここにこの地すべり地の標高より高い所から地下水は流れてきているか、少し地下深い所から地下水が上昇してきていると解釈している。なおこの流れ(①)と解釈している下

の斜面は、写真1に示すように竹林がある。竹は湿ったところに繁茂しやすいので、植生もこの推定を支持していると解釈している。②としている地下水の流れは、尾根の向こうから高温部が連続しているから、この地下水は、尾根の向こうから地下水が釣井地すべり地に流入していると解釈した。またG-9とG-10の間に写真2に示すように地下水の湧水点がある。したがってこの地下水が流れているのをこの調査で検出したと判断している。③と示している地下水の流れは、①と同じような状態であるので、ここにおける地下水の流れは①と同じであると解釈している。④と示している地下水の流れは、B-15とB-16は写真3で示すように以前は田圃であったところから高温部が続いている。たぶんこれは田圃に水を引いていた水路が有って、この水が浸透し、この地下水は地すべり地に流れてきているのではないかと推察している。⑤で示している地下水の流れと解釈している中で、東側の流れについては次のように解釈している。D-29の附近に写真4で示すように、この部落の北の沢から引いてきた水を一時的にためる装置が尾根付近にある。この装置に入りきれない沢の水があふれていた。たぶんこのあふれた水が3方向（北西、南西、東）に浸水しているのを、この調査でとらえていると解釈している。⑤で示している地下水の流れのうち西側の流れについては不明である。なおD-15附近に写真5で示すように大きな水をためる柵（約5m X 5m）を設置していて、ここに貯めた水を各家庭に供給している。この水の量は明らかに湧水点で見られた量より多いと思われた。またA-3やB-4附近にも飲料水のための沢から引いたパイプが設置されていて、その中を水が流れているのを調査中に確認している。また各家庭ではこれらかの水を流し放しにしている。これらの水が釣井地すべり地に流入している。また今回の調査地域の東のはずれ附近に高温部がある。この地域には、写真6で示すように最近放棄された田圃があり、A-37ではピックに地下水の付着が観測されている。たぶん地下水脈が流れていると推定しているが、測線の端なので、今回は地

下水脈と判定することは控えておく。

6-3 地下水水質分析結果

この地すべり地の内外で、湧水点やボーリング地点で採水して地下水分析を行った。ボーリング地点では地すべり面が解っている地点では地すべり面付近と。その上下で採水を行った。なお採水はその深さまで採水器を降ろして、弁を開いて採水する方法を採った。従って予定している深さにある地下水を採水するので、採水器の中にはほかの深さにある地下水は混合しないことになる。これらの採水地点における分析結果の一部を図4に示す。この図から解るように釣井地すべりでは少なくとも2種類の地下水が流入していることが推察される。この地下水がどこからきているかを調査することが、地すべりの発生機構を解明する上で重要である。どこからきていることが解明できれば、対策工事を施工する上でも非常に有用な情報となる。この調査は今後行う予定である。

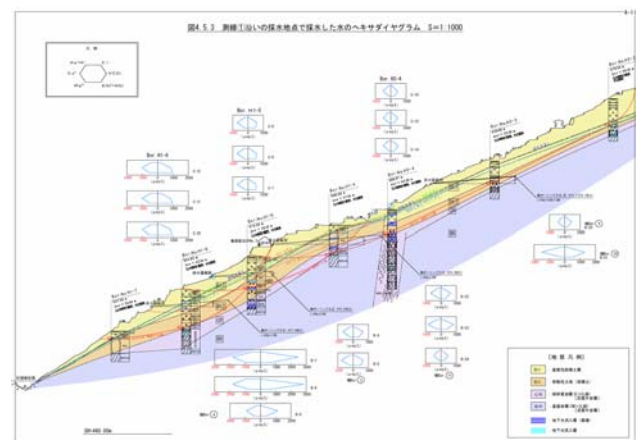


図4 採水時点で採水した水のヘキサダイアグラム

6. まとめ

(1) 尾根付近を越えてきていると解釈される地下水脈は2つほど推定された。これは斜面下方に湧水点があり、斜面の尾根付近に放棄された田圃があるのでたぶん正しいと判断している。

(2) 斜面の中段に斜面のずっと上方からか、少し地下深いところからきているらしい地下水脈があるらしいことが、調査結果から推定された。これが地

すべりにどのような影響をしているかは不明である。少なくとも良い影響があるとは判断していない。

(3) 釣井地すべり地では、尾根を越えた沢から多量の水を飲料水として引いてきている。普段の生活ではこの水は垂れ流しになっているので、地すべりに対しては流末処理をすることが望ましい。

(4) 水質分析から少なくとも 2 種類の地下水が流動していることが推定される。

参考文献

末峯 章，島 通保，小西利史：結晶片岩地すべり地における地温探査と地下水検層の一調査例，地すべり，Vol. 21，No. 2，pp. 22-30，1984.

竹内篤雄：地すべり地における地温測定調査について(4)，地すべり，Vol. 9，No. 3，pp. 18-22，1973.

竹内篤雄，島 通保：宮神地すべり地における 1 m 深地温調査結果に基づく排水工事とその効果について，地すべり，Vol. 15，No. 1，pp. 17-22，1978.

竹内篤雄：温度測定による流動地下水調査法，古今書院，p. 480，1996.



写真-3 田圃跡地



写真-4 貯水タンクからの漏水状況



写真-1 竹林の状況



写真-5 貯水樹



写真-2 湧水点

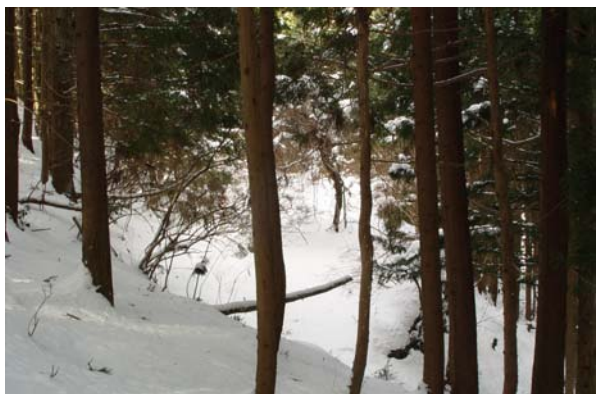


写真-6 田圃跡地

結晶片岩地すべり地における尾根からの地下水流動の観測例Ⅱ

Second observation example of the groundwater flow from the ridge at the crystalline schist landslide

末峯 章(京都大学)*, 目浦啓全(元高知大学)

王 功輝(京都大学), 能野一美(四電技術コンサルタント)

Akira SUEMINE (Kyoto Univ.), HIURA (Former Kochi Univ.)

Gonghui Wang (Kyoto Univ.), Kazuyoshi YOKINO (Yonden Consultant)

キーワード: 結晶片岩、地すべり、地下水流動、地温探査

Keywords: Crystalline schist Landslide, Groundwater flow Geothermal-exploration

1. はじめに

平成19年度釣井地すべり地で調査を行った区域より少し上流で調査を行った。これは昨年度尾根を越えてきている地下水が推定されたが、その区域より上流の地下水の状況を把握するために行った。

1m深地温探査は流動地下水脈を平面的に推定するので、地下水の供給源の深度を議論する場合にはこの探査結果のみでは不十分である。本調査では湧水および釣井地すべりのボーリング孔内水の水温と電気伝導度の計測を併用して、地下水がどこから来ている可能性が高いかを推定しようとしている。

2 探査範囲と探査結果

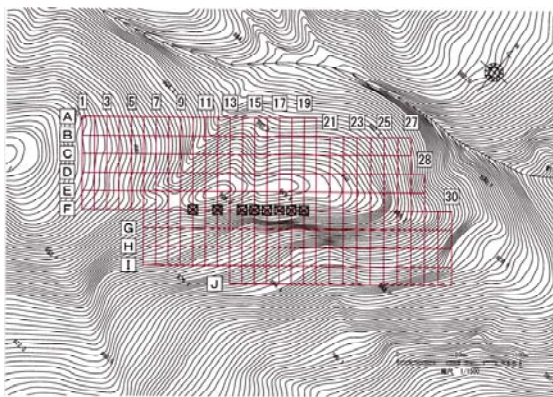


図1 測定点の位置

探査の範囲は図1に示すように10m×15mの測点網を設定し、平成20年9月9日～11日にかけて測量を実施した。この図において一部で測点網が設置されていない。この理由は岩盤が急崖で有るためや表層部が非常に薄いため1m深地温探査の作業が困難であったためである。なお一部の地点において

は、崖で観測不可能であるので、少し地点を変更して観測を行った。また各種の補正を行った。図2に観測結果を示している。この図から解るように2008年9月の時の1m深地温は、3つのグループに分かれている。

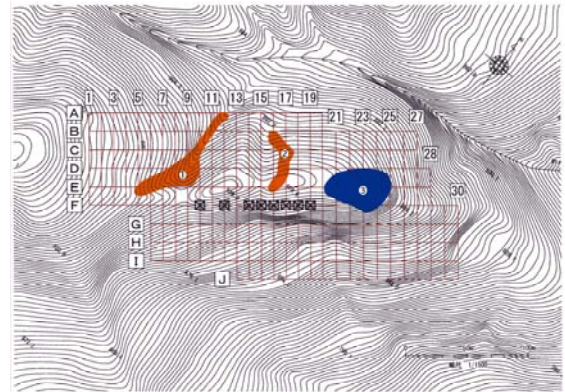


図2 観測結果

図2のうち北側斜面の小さな沢の部分で低温部が観測され、沢伝いに北側に続いている部分と(1)、斜面の尾根部分に低温部がみられ、そこから北側の水が流れている沢の方向に続く部分(2)がある。それと尾根の部分の有る程度の面積を持った低温部(3)がある。まず(1)と示している地下水の流れは、斜面の小さな沢の源頭部付近に有ることから、ここにこの地すべり地の標高のより高い所から地下水は流れてきているか、少し地下深い所から地下水が上昇してきていると解釈している。そして沢沿いに地下水が流れていると解釈している。(2)としている地下水の流れは、尾根の所付近に低温部が観測された。もっと高い所か地下深いところから地下水が来てい

ると解釈している。昨年度と今年度の調査結果から分かるようにこの③の低温部の崖の下付近に地下水が流れていると解釈される流れが見て取れる。この図には示していないが、今年度と昨年度の調査した間に湧水点が存在している。この低温部として示される部分の地下水が一度地下に潜って地表面の出てきていると思っている。

なお釣井谷の上流部（部落の飲料水を取水している所）では流水が流れているが、釣り井から今井の部落に行く道路下では、ほとんど水が流れていない。この沢の水がり井の部落に浸透している可能性が考えられる。この可能性を、水質やPhや電気伝導度等を使用して、証明する必要があると考えている。

図3に水質調査結果の一部を示している。この図と昨年の結果と比べると水質が少し変化しているみたいである。

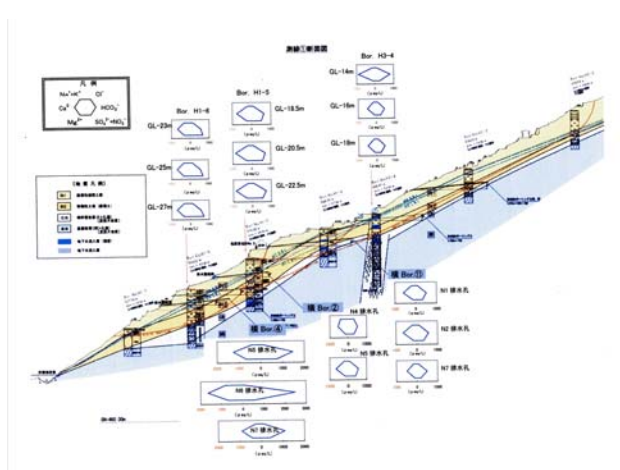


図3 水質観測結果

3. まとめ

(1) 平成19年度に引き続き、平成20年度も地すべり地内および周辺で採水を実施し、溶存成分濃度の分析を行った。これらの水が一年を通して同じ水質を示しながら地すべりの挙動に影響を与えるのか、季節変化があるのか、あるいは地すべり活動により水の型が変化するのか、という問題意識の元に

再度、採水・分析を行った。4月～6月に降水量が多かったために、サンプル中の溶存成分は希釈されており、全般的には前年度よりは濃度が少なかった。逆に、地すべり地最下部の測線沿いの斜面下部の横ボーリング孔で水の型がCa-SO₄型からCa-HCO₃型に変わったり、地すべり地中央部の測線沿いのBor. G-1では水の型がCa-HCO₃型からCa-SO₄型に変わったりする例が見られた。これらは、斜面下部のGブロックおよびHブロック内に存在する溶存成分濃度の濃い水の変化であり、降雨量の変化に呼応して地中で水みちが変化した可能性が示唆される。水の起源については水質分析結果から確定的な結論を提示することは出来ないが、熊谷川左小支溪1の水が、特徴的な水の型を示す横ボーリングの左端の、熊谷川の上流方向を向いている排水孔や、湧水点にもよく似ている水が採水されていることから、地形的に見て地すべり上流部の溪流からの地すべり地への流入の可能性もあり、一方、地温探査の結果とも相まって、地すべり地の一番奥のブロックの上部斜面への地すべり北部の溪流からの流入の可能性も捨てきれない。今後は、地すべり地への流入水の起源について明確にするために、周辺の溪流での採水点を増やして採水・分析して可能性の検討を行うことが必要である。

(2) 尾根付近に地下水が流れてきていて、沢地形の所を釣井谷の方に流れている地下水が2つ存在していることが推定された。

(3) 尾根付近に斜面のずっと上方からか、少し地下深いところからきているらしい地下水脈があるらしいことが、調査結果から推定された。この地下水は浸透して釣井部落の方に浸透しているらしい。これはこの地下水が来ているところから下方に湧水点が存在しているのと、昨年度の調査結果の地下水脈にこの地下水が浸透していると思っている。

結晶片岩地すべり地の地下水年代測定例

Examples of the Groundwater Period at Crystalline Schist Landslides

末峯 章* (京都大学) 日浦 啓全 (元高知大学) 浅井和由 (地球科学研究所)

柳楽 祐平 (元京都大学大学院) 王 功輝 (京都大学)

Akira SUEMINE (KYOTO Univ.) Hiromasa HIURA (Former Kochi Univ.) Kazuyoshi ASAI (Geo Science Lab.)

Yuhei NAGIRA (Former KYOTO Univ.) Gonghui WANG (KYOTO Univ.),

キーワード：地下水年代 結晶片岩地すべり、地下水流動 分水界

Keywords : Groundwater Period, Crystalline Schist Landslide, Groundwater Flow, Watershed

1. はじめに

地すべり地の地下水、特に結晶片岩地すべり地の地下水については不明なことが多い。これは構造が複雑なことで、地すべり地が一般に広いことが大きく寄与している。

国内の地すべり地における地下水の起源についての研究は、地下水の年代分析や水質分析などによって行われている。例えば鈴木ら (2002) は福島県滝坂地すべり地において採水した試料の酸素同位体、トリチウム分析を用いて地すべり地の地下水の起源を推定している。また古谷ら (2005) は新潟県東頸城地域の地すべり地において見られる高濃度 Na-Cl 型地下水の起源について水質分析および酸素同位体比の測定によって推定を行っている。

ここでは放射性同位元素でなく、溶存ガスのトレーサーとして、化学的に安定している CFCs (フロン類) や SF₆ (六フッ化硫黄)、希ガス (ヘリウムなど) を用いる。これらは近年の工業化による生産量の増加に伴い、過去数十年で大気中の濃度が増加しているため、特に滞留時間 50 年未満の若い地下水の年代推定に適している。

2. 観測地

観測地としては、徳島県の伊良原地すべり地と釣井地すべり地で行った。伊良原地すべり地では 2010 年 8 月 8 日に排水ボーリング No.3 から、伊良原地すべり地の尾根を越えたところに存在している須貝瀬では 2011 年 8 月 22 日に排水ボーリング No.9 から CFCs・SF₆ を分析するために、それぞれ 2 サンプルずつ採水した。また釣井地すべり地では 2011 年 7 月 28 日に No.23・No.15・No.22 から、2011 年 7 月 29 日に No.16・No.25 からそれぞれ 2 サンプルずつ採水した (図 1 参照)。また試料採水時に水温を計測した。降雨の影響を見るために 2012 年 3 月 14 日に同じ地点で採水した。

大気サンプルは伊良原では 2011 年 8 月 20 日および 8 月 23 日の計 2 回、伊良原の同一地点 (標高 457m 地点) で採取した。釣井では 2012 年 3 月 14 日に 2 地点で採取した。

分析の結果、現在の徳島県での大気における SF₆ 濃度は、北米大気 of SF₆ 濃度の 1.2 倍であった。この補正值を使用して年代測定を行った。

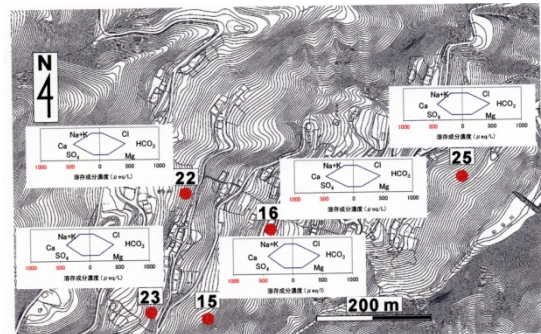


図 1 釣井での採水地点

図 1 には釣井の排水ボーリングの位置を示している。年代測定用の採水と同時に地下水分析用の採水も行ったので、図にも示しているが、排水ボーリングからの排水では水質の大きな違いは見られていない。なおここでは示していないが、調査ボーリング地点での地下水の分析結果からは、少なくとも 2 種類の地下水が存在していることが明らかになっている。また地下水温の観測からは、排水ボーリングの No.25 の地点では地表面の温度の影響を一番受けた地下水であることが判明している。

3. 観測結果

ここではフロン類と六フッ化硫黄の 2 種類のガスの分析を行ったが、フロン類は環境破壊が指摘されてから、工業的に使用が制限されたため分解能が最近では低くなった (図 2 参照)。それに対して六フッ化硫黄は一貫して使用が増加しているため、分析結果の精度が高いというバックグラウンドがある (図 3 参照)。したがって地下水の年代決定には、六フッ化硫黄のほうが信

頼性が高い。また地下水の流れとしては、ピストン流モデルと指数関数モデルがある。今回は指数関数モデルを採用した。地すべり地の降雨がピストン流モデルに沿って流れるというのは、少し違っていると解釈した。

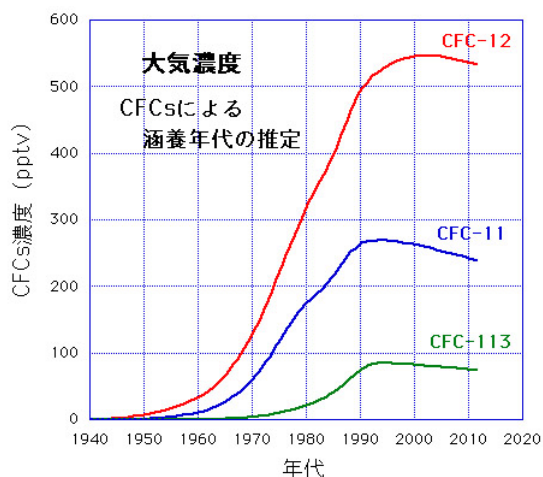


図2 フロン濃度

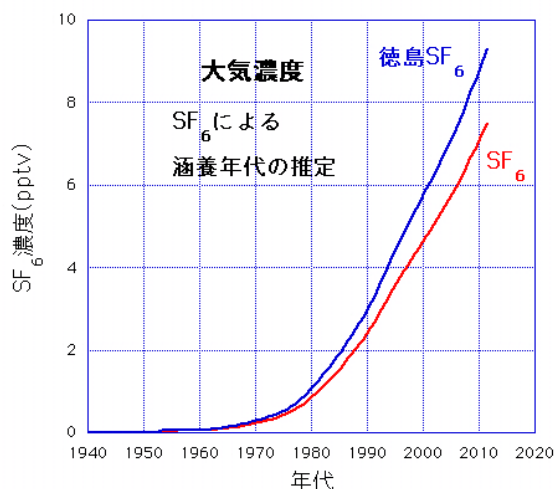


図3 六フッ化硫黄濃度

地域	試料名	採水日	涵養条件 (温度)	SF ₆ 年代分析結果	
				大気換算値 pptv	指数関数モデル 平均滞留時間(年)
釣井	排水ボーリング 23 N6	2011/7/27	12.9	7.09	6
釣井	排水ボーリング 15 N2	2011/7/27	13.5	7.96	3
釣井	排水ボーリング 22 N7	2011/7/27	12.1	7.29	5
釣井	排水ボーリング 16 N7	2011/7/27	13.7	8.11	2
釣井	排水ボーリング 25 N4	2011/7/27	15.7	8.26	2
須貝瀬	排水ボーリングNo.9	2011/8/24	13.6	7.43	5
伊良原	排水ボーリングNo.3	2010/8/8	14.0	6.26	9

表1 地下水年代測定結果

表1に採水した地下水の年代測定結果を示している。

この解析条件としては採水した地下水の温度が、涵養時の温度であると仮定している。したがって涵養時の温度と違う場合には誤差が生じることになる。1度違った時誤差解析を行ったところ約1年以下という結果が得られた。特に釣井の排水ボーリング25 No.4は地下水の温度の年変化が大きいということが解っている。したがってこの地点で流出している地下水の年代には大きな誤差が含まれている。

表から明かのように、釣井では六フッ化硫黄では地下水年代では2年から5年前の地下水が流出していることが解った。伊良原と須貝瀬の地下水は9年と7年前の地下水が流出していることが解った。また地すべり地において流出している地下水は、空間による違いがあることが判明した。

また涵養条件を徳島県阿波池田の年平均気温と斜面の高度から推定した温度とすると、釣井では5年から8年前の地下水が流出していることが解った。

2011年の採水時は、約10前に3日間で310mmの降雨があった。降雨の影響があるかどうかを判定するために2012年3月14日に採水を行った。このときは、採水時の前の10日間で約50mmの降雨があった。涵養条件を採水時の地下水として、指数関数モデルを仮定すると、釣井では2年から5年前の地下水であることが判明した。確定的には言えないが、降雨の過多による変動はあまりないような結果となっている。しかし涵養条件を池田の平均気温と斜面の標高から推定する方法では、釣井の地下水の年代は1ヶ所では判定不能であり、他は3年から8年という結果となった。

したがってこれから地下水の涵養条件をどのようにしたら、本当の地下水の年代が決定できるかこれからの課題は大きい。しかし地すべり地を流れている地下水は、かなり前に斜面に降った降雨が流出していることは、かなりの確度で真実らしい。このことが本当なら地すべり対策工事について、もう一度原点に立ち返って検討する必要があるのではという結論が導かれる。

参考文献

鈴木将之・佐藤修(2002): 同位体からみた福島県滝坂地すべり地における地下水の起源. 地すべり vol.39, No.3, pp.319-325.
古谷元・渡部直樹・小松原岳史・佐藤修・丸井英明(2005); 新潟県東頸城地域の地すべり土塊内における高濃度 Na-Cl 形地下水の分布とその起源, 応用地質, vol.45, No.6. pp.281-290.