

山梨県増富温泉の自然電位法並びに

自然放射能探査による温泉流動経路の検出

関東学院大学工学部地球科学研究室

伊藤 芳朗, 柴田 東, 石井 栄一
田中 康裕, 武石 春生, 渡辺 忠美

(平成2年12月31日受理)

Detection of Passages of Mineral Water Using Self Potential Method and Radiometric Prospecting at Masutomi Spa, Yamanashi Prefecture

Yoshiro ITO, Azuma SHIBATA, Eiichi ISHII,

Yasuhiro TANAKA, Haruo TAKEISHI, Tadami WATANABE

Department of Earth Science, Faculty of Engineering, Kanto Gakuin University

Abstract

The SP survey was carried out at the Masutomi Spa area, for the purpose of detection of the flowing water passages. And the radiometric prospecting was used as a supplementary method in SP survey at same area that contained richly Rn and Ra. The SP survey was extremely successful for detection of the flowing waters, by reason that the self potential anomaly caused by streaming current appeared right just above the water artery.

The anomaly of gradient of self potential values on the water artery coincided not with the high intensity of γ -ray, but that of γ -ray located on both sides of the water artery. It is assumed that the reason of discrepancy of this phenomenon is due to cooled sinter of radioactive substance in the hot spring.

1. まえがき

1.1 増富温泉の概要

増富温泉は山梨県北巨摩郡須玉町(旧増富村)の北東部、標高1000mの山間部にあり、町の北東から南西に流れる塩川の上流、本谷川の沿岸にある(Fig.1)。増富温泉は武田信玄が金山開発の際発見されたという古い温泉であるが、1913年に強い放射能泉であることが発見されて以来有名となった。その後の研究により、増富鉱泉はRn含有量において、わが国第一位の記録を持ったことがある。

増富温泉はこれまでに、極めて多くの研究がなされているが¹⁾、温泉水の流動経路の研究に関

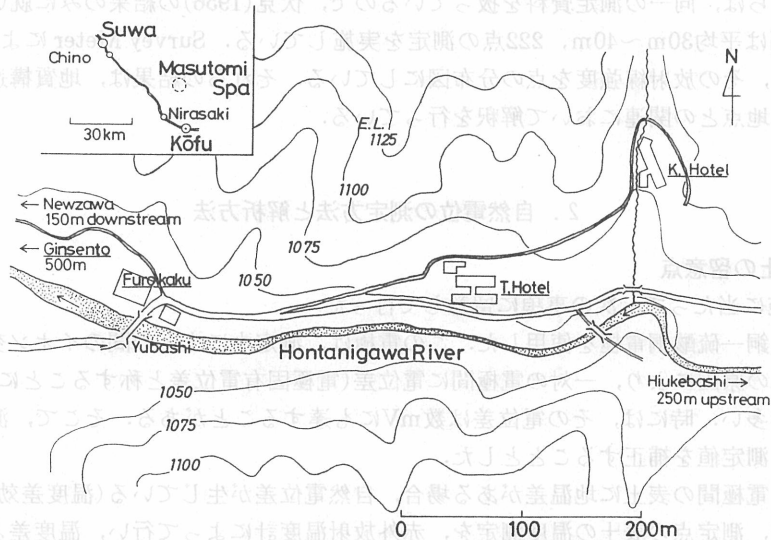


Fig.1 Topographic map of Masutomi Spa.

T. Hotel: Tuganero Hotel K. Hotel: Kinsento Hotel

するものは見当たらない様である。流動経路に直接に関係すると思われる自然電位法による探査、自然放射能探査に関する論文も多くはない¹⁾。

1.2 今回の増富温泉における自然電位測定(SP法)、自然放射能探査の目的

自然電位法は、鉱山の鉱脈の探査などに適用されてきた古い歴史がある。近年は伊藤ら(1984)²⁾、Ito et al (1989a)³⁾、Ito et al (1989b)⁴⁾を含めて、SP法による地下水、温泉水の水脈の検出が行われている。そこで、増富地区にもSP法を適用して、その温泉水、地下水の流動経路の検出のための探査を実施、SP法の有効性の確立を試みることにした。また同時に、自然放射能探査と同じ測定点で合せて行い、SP法による測定結果の解釈の補助とした。

1.3 これまでの増富温泉における自然電位法探査並びに自然放射能探査

自然電位法による探査は、伏見(1971)⁵⁾と山梨県温泉調査(1972)⁶⁾とがある。伏見(1971)は約630点の測定の結果から、自然電位と地質との関係をみている。また、一般に温泉湧出箇所およびその付近に負中心が現れたと記述している。しかし、自然電位の分布図、数値は示されていない。山梨県温泉調査(1972)では、自然電位法による探査を、上流の日受橋から、下流の湯橋の西方までの約1400mの間を、本谷川の兩岸において測点間隔20m、測点150点で実施し、自然電位分布図を示している。この分布図から、自然電位の変化を主として地質との関連に於いて解釈している。

両者とも、温泉水、地下水の流動経路の検出に就いての解析は試みてはいないものと言える。次に、増富温泉における自然放射能探査としては、島(1953)⁷⁾によってG-M計数管による湯橋付近から日受橋付近までの道路沿い、さらに金泉湯までの道路沿いに、約5m間隔に放射線強度の計測がなされた。その結果は点の分布図で示されていて、既存の湧泉に近づくと、計数が自然計数の約2倍から5倍近くになり、温泉直上では、計数が多すぎて計測が出来なかったと記している。

その後、伏見(1956)⁸⁾のほか3編⁹⁾¹⁰⁾⁵⁾のSurvey Meter (神戸工業製)による自然放射能探査

がある。それらは、同一の測定資料を扱っているので、伏見(1956)の結果のみに就いて見ていくと、測点間隔は平均30m~40m、222点の測定を実施している。Survey Meterによって β , r 線測定を行って、その放射線強度を点の分布図にしている。それらの結果は、地質構造による解釈と鉱泉の湧出地点との関連において解釈を行っている。

2. 自然電位の測定方法と解析方法

2.1 測定上の留意点

SP法の実施に当たって、次の事項に留意して行った。

- (1) 電極は、銅-硫酸銅電極を使用した。この電極は、測定中に土との間のイオン交換や、電極間温度差などの原因により、一対の電極間に電位差(電極固有電位差と称することにする)が生じてくることが多い。時には、その電位差は数mVにも達することがある。そこで、測定中に時々チェックし、測定値を補正することとした。
- (2) 接地する電極間の表土に地温差がある場合、自然電位差が生じている(温度差効果)ことが考えられるので、測定点の表土の温度測定を、赤外放射温度計によって行い、温度差と電位差との相関をみて、無視出来るか、補正を要するかを判断することとした。
- (3) 電極の接地抵抗は、数100 Ω から10K Ω 以上にも達するが、電圧計のインピーダンスが100M Ω 以上であるので、感度低下はきたさないと、特に留意はしなかった。
- (4) 降雨による表土の水たまりや、過剰水分の表土での測定は、硫酸銅電極が急激なイオンの拡散、交換を生じるので、水たまりなどは避ける様にした。逆に、土が乾燥していて、粉状にサラサラしている場合は、電位は安定せずに、大きなドリフトを生じる。その量は10分あたり10mVにもなることも珍しくないので、電極には、硫酸銅を浸したガーゼを巻いて測定することとした。

以上のようなSP法の諸問題¹⁾が存在するので、上述のような対策を考慮した測定を行った。

2.2 測定方法

- (1) 二地点間の電位差を測定するに当たって、一本の電極を固定し、他の電極を順次移動して測る伸張測定方式(L方式と略称)と、一対の電極を同時に移動させながら、測点間の電位差を測定して行く尺取虫測定方式(S方式と略称)がある。地域の等電位分布図の作成には、固定電極を設けるL方式が有利に見えるが、前述した電極の温度効果、土と電極とのイオン交換、作業の能率などからみて、S方式の方が有利と思われる。特に、測点間隔が1m、2mなどの場合には、L方式に比べて、S方式は、リード線の操作などによる作業時間が短縮されて、極めて有利である。それに、L方式の様に、基準地点に電極を固定した場合には、電極の硫酸銅溶液の土中への滲出に伴う電位変化が生じることがある。そこで、電極を長時間にわたり土中に固定して設置しておくことを避ける意味に於いても、土との接触時間の短いS方式の方が望ましいと考えて、測定はS方式を採用した。
- (2) 電極の設置には、表土を数cm剥ぎ取り、湿り気のある土を出し、接地を良くする様にした。
- (3) 測定装置は、電極を銅-硫酸銅電極(McMILLER製、密閉タイプ、直径3.5cm、長さ13cm)、電圧計は高インピーダンス(100M Ω 以上)のデジタル表示(DC 000.0mV)のプリント方式(HIOKI-3234)を使用した。
- (4) 増富温泉は、その温泉水、鉱泉水は岩盤の割れ目からの湧出、流動が主要なものと考えられているので、測点間隔は1mとした。
- (5) 測線は、地形の上で許される限り、斜面の走行に沿って、並行に2列あるいはそれ以上を設

定した。それは、SP変化の系統的な配列や大小関係の比較などから、温泉水脈、地下水脈の流動経路の判定に有利と考えられるからである。

(6) SP変化を生じている要因は、各種あるので、測線付近にみられる地形の凹凸、傾斜、土質、岩質、溪流、植生、人工的な工作物、特に鉄製フェンス、溝、土管、電柱、鉄柱、道路の舗装などを記述し、解析の参考とした。

2.3 解析方法

2.3.1 SP曲線

まず、測点間隔の1mのS方式により得られた測線上の測定値に、電極間固有電位差を補正した。次に、補正測定値から次の図を作成した。図の測線上に、(1)それらの値の累積値をプロットしたSP累積曲線、(2)補正測定値をそのまま測線上にプロットしたSP勾配曲線、(3)補正測定値に3項(3m)、5項(5m)、7項(7m)の移動平均を施した値をそれぞれ、図の測線上にプロットしたSP勾配曲線の計5図のグラフを作成した。得られた(2)と(3)の曲線は、SP測定値mVの電極間隔1mにおける微係数に当たる電位勾配mV/mと測定地点の距離mとの関係のグラフであり、いわば電位勾配曲線となっている。以後、この曲線をSP曲線と略称して、解析に使用することとした。

(1)のSP累積曲線からは、土地電位のトレンドを検討する。トレンドは、地形の傾斜を反映していることが多い。また、地質のおおよその区分がみられることもある。(2)と(3)のSP曲線からは、それらの曲線を比較検討して、地表面の微細な土質の差などによる不規則変動が平滑化され、かつ、凹凸部の変化までは平滑化されない程度のSP曲線を選択する。経験的には、1m間隔の測定の場合には3項か、5項の移動平均によるSP曲線が解析に適している。増富温泉地区では、岩盤の露頭と風化土が混在するので、SPの短周期の不規則変動が卓越するので、5項移動平均のSP曲線を採用することにした。

2.3.2 SP異常の成因

SP曲線に明らかな変化のみられる地点を異常値の存在地点(SP異常と称することにする)として検討を行った。SP曲線における異常値というのは、電位勾配曲線の凹部、凸部を指している。それらの成因として考えられるものには、次のものがある。

[1] 水の流動があると、流動電位が発生する。流動電位は、流れの圧力差(あるいは流速)に比例し、水質(水の誘電率に比例し、水の粘性係数と電導度に逆比例する)に関係する(Helmholtz-Smoluchowskiの流動電位の式)。地表水でも地下水でも上述と同様な発生機構によって電位が生じるものと考えられる²⁾³⁾。通常は、土地に負電位が発生する。電位勾配曲線では、その負電位は、凹部とそれに続く凸部の対をもつSP異常(凹凸型と称することにする)となって現れる。

[2] クラックにおいても負電位が発生している。クラックには水脈が無くても、それらが毛管現象にせよ、水圧差であれ、水分移動が有れば、流動電位が発生することは、知られている⁴⁾。また、地下空洞によっても、負電位が発生する¹²⁾。

[3] 土中に埋設されているパイプに水の流動があれば、大きな負電位が発生する¹³⁾。

[4] 地中の人工的埋設物、特に鉄柱などは、腐食電位に原因する大きな正電位が発生している。それは、電位勾配曲線に於いては、大きな凸部とそれに続く凹部の対をもつSP異常(凸凹型と称することにする)となって現れる¹³⁾。

2.3.3 地下水、温泉水の流動経路判定方法

本論文に於いて対象としている地下水(温泉水も含めて)は、流動する地下水脈のみであり、停滞している地下水は考慮していない。単に、地下水脈、水脈と略称して使用する場合も上述の意

味である。

水脈の判定には、前節の成因から予想されるSP曲線の変化部、SP異常の型によって行い、地形地物の視察の結果を参考にして次の様な判定を行う。

[1] 凹凸型の明瞭なSP異常は、その凹部から凸部にかけての位置に優勢な水脈が存在すると考えられる。水圧の小さい或いは幅の狭い水脈やクラックは、凹部のみ明瞭で凸部が不明瞭なSP異常(凹型と称することにする)となって現れることがある。それは、測定間隔が1mであり、移動平均の処理を施している為に、隣接する不規則変動にマスクされる為に、明瞭な凹凸型となって現れないことがあると考えられる。

[2] 並行な測線のSP曲線の凹部を調べてみた場合に、凹部の形に類似性がみられるときは、地下水脈が想定できる。特に、凹部が斜面を下がるに従って大きくなっている場合は、水脈が圧力を増加しながら流下していると考え、流動経路が確定できる。

[3] 並行な測線のSP曲線の凹部に連続性がみられない場合は、地下構造に堰き止め作用のある地質構造が考えられるので、地下水脈の曲流を検討してみる。また、小規模の凹部のSP異常が不連続の場合は、岩盤のクラックを検討してみることにする。

[4] 地表水の流下に伴うSP曲線の大きな凹部は、その水路の幅、流量、流速などを考慮してみると、その土地における地下水脈によるSP発生の様態の参考になる。但し、水路はその両岸からの水の浸透、流出があるので、SPの発生範囲は、見掛けの水路よりかなり大きいのが普通である。

[5] 埋設塩ビ製パイプ内の水の流動は、大きな凹凸型となって現れるが、その値は地下水脈に原因するものより格段に大きい、それは、流速が大きいこと、深度が浅いこと、パイプが不導体であることによる。

[6] 鉄柱、鉄管、鉄筋コンクリート製の柱や塀の付近では、SP曲線は大きな凸凹型を示し、測定中でも突然の大きな測定値の出現と視察によって判定できる。

3. 自然放射能の測定

3.1 測定方法

地表の γ 線量の測定により、鉱泉・温泉の水脈とクラックを検出し¹⁴⁾¹⁵⁾、SP測定の結果の解釈を補完する探査を行った、従って、SPの測定点と同一の測定点に於いて測定した。

測定には γ 線用シンチレーション・サーベイ・メータ(TCS-131, アロカ製, NaI 25.4 ϕ ×25.4mm, 50KeV以下カット, リチウム電池使用, 使用電圧750V±10V)を使用し, Range 30 μ R/h(時定数は8.0sec), Range 100 μ R/h(時定数4.5sec), Range 300 μ R/h(時定数2.5sec)の3段切替を適宜設定した。土地の γ 線の由来する核種は考慮せず、また、宇宙線、大気中の放射能物質の影響は無視して行った。

測定に当たっては、次の点を考慮して γ 線量の測定を行った。

(1) 一測点における測定は、線量率計(指示計)の直読による。研究室において、測定器のBackground(約9 μ R/h)の放射線による電氣的パルスの記録と、同時に指示計の指針のMax.とMin.の直読との比較検討を行った結果より、使用する時定数も考慮した上で、指示計の直読によってMax.とMin.を3組を取れば、相対誤差を15%以内に収めることが出来ることが判明した。そこで、作業時間が短縮することが出来る直読法を採用した。

(2) γ 線量の日変化、経日変化、地被、地形、地物による影響については、伊藤ら(1989)¹⁶⁾による実験的な検討から、増富温泉地区の短期間における γ 線探査に於いては、25%程度の相対誤

差まで許容するならば、地形、地物の影響以外は大きな影響を及ぼさないと考えて、測定を実施した。

(3) プローブ(外形寸法約4.1φ×26cm、先端より20mmの位置が検出器の中心)は、その指向性と感度分布を考慮して、地表面より5~10cmの深さに設置することにした。

(4) 測定間隔は1mを標準としたが、岩盤の割れ目付近に異常値が発見された場合には、10cm、20cmと許される限り短い間隔での測定も試みた。

(5) 測定は、定めた基準点に於いて測定前後に検定を行った。

3.2 γ 線強度異常の解析

測定点における平均値を測線上にプロットしたグラフを γ 線強度曲線とした。グラフは γ 線強度の変化の著しい地点では、 γ 線強度の座標軸を小縮尺と、大縮尺とで示し、SP異常の解釈との対比を容易にする様にした。大縮尺では、 γ 線強度を3項(3m)の移動平均値で表した。 γ 線強度曲線における異常値、あるいは異常というものは、その地点付近の平均的 γ 線量より際立って大きい値、あるいは強度曲線が急変している部分を指している。それらの異常は、放射能物質の含有量の多い地下水、空隙率の大きい地質、クラック、断層などの存在する地点、或いは岩質の境界などによるものと考えられる。

γ 線強度曲線における異常値、あるいは異常を示す地点は、SP異常地点と対比し、検討を行った。

4. 測定結果と考察

4.1 測定地区

Fig. 1に示した増富温泉の地形図のうち、Fig. 2の範囲を測定対象として、便宜上A, B, C, D, E地区に区分した。同一地区内の複数の測線には記号を付してある。また、測線上のSP異常の地点には、図に番号を付して解析、考察することとした。 γ 線強度曲線における異常地点にも番号を付してある。

自然電位(SP)測定と自然放射能(γ 線量)測定とは、同じ測線、測点において実施した。1988年9月2, 3日にA, B地区のSP, γ 線量測定を、1989年8月22, 23日にD, E地区のSPを、同年11月19, 20日にC地区のSPとC, D, E地区の γ 線量測定を行った。

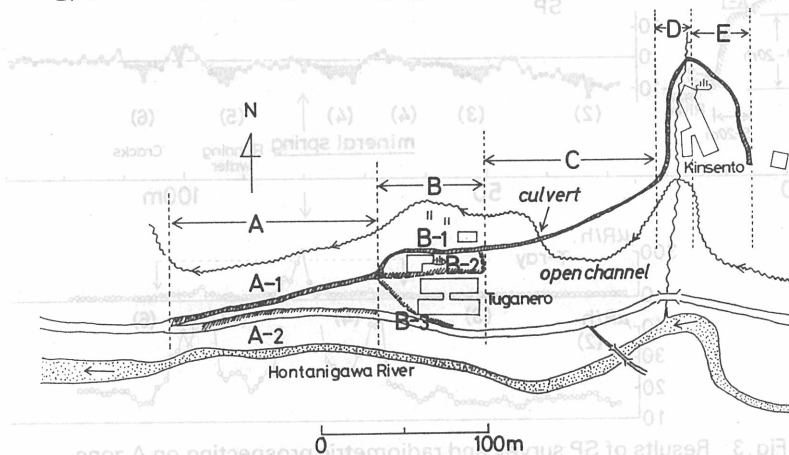


Fig. 2 Zones of SP survey and radiometric prospecting, A, B, C, D AND E.

4.2 A地区

測定結果をFig. 3に示した. この地区は, 金泉湯へ向かう坂道と津金楼の下を通る幹線道路を含み, 坂道の上の斜面の上方には, 5月~9月のみ通水する稲作用水路がある(Fig. 2参照). なお, A-1, A-2測線の位置, 高度関係はA-2の図の左上に示してある. A-1の測線(以下, 上部と略称)とA-2測線(以下, 下部と略称)は斜面上にあり, その間は10m~20mである.

4.2.1 SP異常

[1] 鉄柱 (1)

上部にのみ見られる凸凹型の大きなSP変化は, 鉄柱の土中における腐食電位による典型的な大きなSP異常である.

[2] 地下水 (2)

上部の(2)と下部の(2)とを比べてみると, SP異常の型が凹型から凹凸型へと変わること, 上部のSP異常の変化量よりも, 下部の変化量の方が大きい(それは下流の方が流速, 流量を増していることを意味する)ことから, 地下水の流下と判断される. なお, 上部の(2)の地点には滲出水が観察されることから, 地下水の流動が推定出来る.

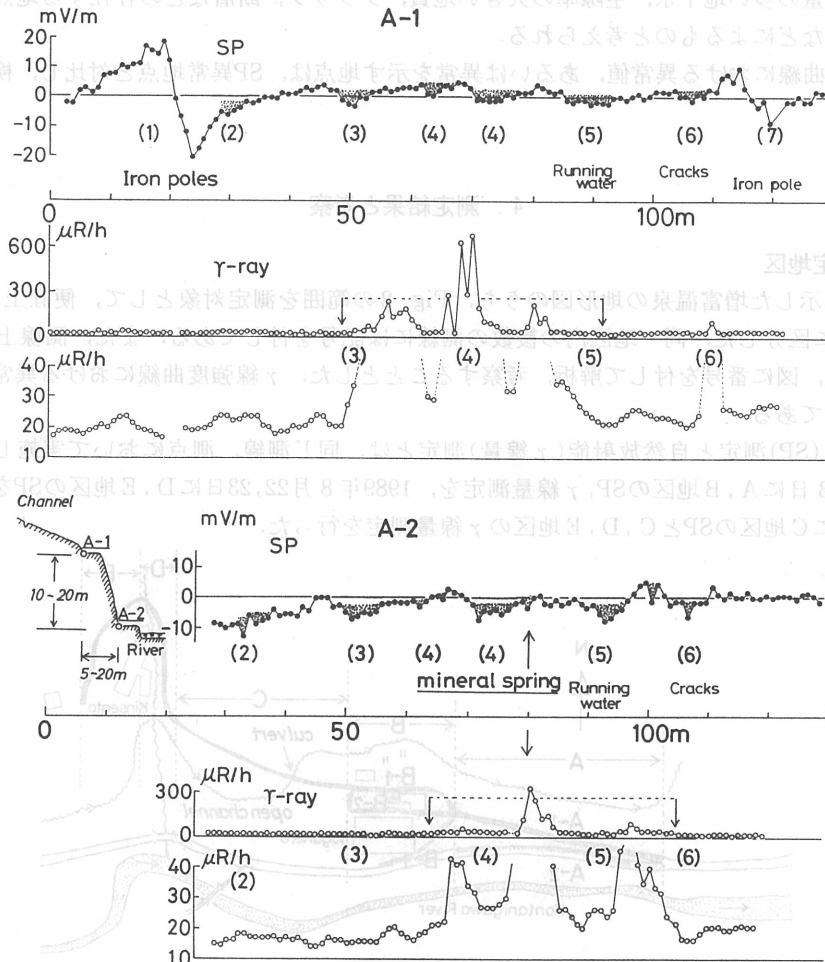


Fig.3 Results of SP survey and radiometric prospecting on A zone.

● Marks of dot show SP anomalies, and so forth.

[3] 地下水 (3)

上部の(3)と下部の(3)とは、そのSP異常の型が類似していること、下部SP異常の変化量の方が上部のそれより大きい点から、地下水の流下と判断される。なお、上部の(3)の地点には滲出水が観察される。

[4] 地下水、湧水 (4)

上部の2箇所(4)と下部の2箇所(4)との位置関係、SP異常の型の類似と、下部に於いて凹型から凹凸型への変化から、上部の地点からの地下水脈は、途中に於いて合流し、下部に於いて、一部分は5.4l/minの湧き水(飲料用鉱泉水、水温23.0℃、気温28.6℃、pH6.0、電導度8.1mS/cm。パイプにて集水)となり、残りは、A-2側線の下方面にある川へ流出するものと考えられる。下部の(4)の湧水にみられる鋭い凹型のSP異常は、クラックを流動する水脈に見られる型であり、裂か水といえる。

[5] 流下水 (5)

上部、下部の(5)地点では、溝を流れる表流水(水温23.4℃、pH7.9、電導度0.064mS/cm)が、斜面上を落下している。下部の(5)地点の方が、SP変化量が大きく表れている。(表流水も溪流も電位変化があることは見出されている³⁾。)

[6] 岩盤のクラック (6)

上部の(6)は乾いた地層であり、下部の(6)は硬い、乾いた岩盤に大小のクラックが見られる。SP変化の鋭い型から連続したクラックによるSP異常と判断した。

[7] 鉄柱 (7)

上部にのみ見られる(7)は、鉄柱の土中における腐食電位による凸凹型の大きなSP異常である。

4.2.2 SP異常と γ 線強度異常

〈1〉斜面の上部の(3)から(5)までの幅40mの区間は、測定区域における最高の γ 線強度地帯となっている。下部の(3)から(5)までの幅40mの区間も、Backgroundの数倍の γ 線強度の地帯となっている。

〈2〉下部の岩盤の露頭におけるクラック内での多数の点での測定では、 γ 線量が垂直のクラックよりも、水平のクラックにおける値の方が、格段に大きい様である。この事が、各方向のクラック群が存在するこの地帯における γ 線強度のグラフに、激しい変動が見られる原因であると思われる。

例えば、飲料用鉱泉水のパイプ(A-2図のmineral springの矢印)の傍らの垂直のクラックの中では150 μ R/hに対して、その横の50cm離れた乾いた水平なクラックの奥では770 μ R/hと、測定全地区での最高値を示した。

〈3〉上記の現象から、SP異常から推定される鉱泉水脈と γ 線強度の極大の地点とが一致しない様に見える。例えば、A-1図の二つの鉱泉水脈(4)と γ 線強度の(4)の極大値の位置関係にみられるように、鉱泉水脈の両端において、 γ 線強度の極大が存在していることから、それが、増富地区の放射能をもつ鉱泉水脈の様態の様に見える。

〈4〉こうした観点から、4.2.1のSP異常の[6]で、乾いた岩盤クラックのみ存在すると解釈した(6)地点を再検討してみると、A-1、A-2図の(6)に見られる、SP異常地点と γ 線強度の極大の地点の不一致から、表面に兆候が見られない地下水脈ではないかということも考えられる。

4.2.3 A地区の考察

〈1〉斜面の上部と下部の(4)~(5)の40m区間には、地下水、鉱泉水によるSP異常がみられると共に、高強度 γ 線地帯であり、岩盤のクラックが発達し、湧水、地下水、鉱泉水が豊富な地区であるといえる。特に、上部の(4)は枝別れした後に合流しているが、下部の(4)と湧出鉱泉水地点とを

結ぶ優勢な鉱泉水脈がある。

〔2〕西(図の左)には2本の水脈(2), (3)が存在する。自然湧出する程ではないと思われる。また、 γ 線強度からみて、放射能泉ではないと思われる。

〔3〕東寄り(図の右)には、発達したクラック群が、上下全体の岩盤を貫いている。

〔4〕この地区の水脈の供給水源については、Fig. 2に見られる灌漑水路の通水期間を考慮する必要がある。杉原(1967)の3年間の湧出量の観測から判明しているように、9月の時期におけるA地区のSP測定時には、この水路からの補給が関与していることは明らかである。水路からの漏水によるA地区への水の供給経路の確定には、今後、夏期の通水時と冬期の渇水時とを比較するためのSP測定が必要である。

4.3 B地区

測定結果をFig. 4に示した。このB地区は、津金楼源泉がある場所である(Fig. 2参照)。三つの測線について測定が行われた。B-1測線(上部と略称)は、津金楼源泉の上部の歩道である。B-2測線(中部と略称)は、津金楼源泉の庭であり、B-3測線(下部と略称)は、斜面を横切って幅広い幹線(Fig. 2参照)へ下りて行く小道である。B-1, B-2, B-3測線の位置、高度関係はB-3図の右に示してある。

4.3.1 SP異常

[1] クラック (8)

上部の(8)は岩盤の多数のクラックを示している。それらは岩盤の露頭に於いて観察できる。

[2] 温泉脈 (9), (10)

津金楼源泉は、図の上部の直下の崖の内部に掘られた、深くない横穴から湧出している。上部のSP曲線(9)の岩盤の割れ目から横穴へ供給されているものと思われる。そのSP変化の型は流量の多い凹凸型とクラックの凹型である。また、地表に滲出水の見える上部の(10)の一部も供給に関与していると思われる。

上部の(9)の温泉脈は、斜面の中部の(9)、下部の(9)へと続いていることから、本谷川の川床へ達していると考えられる。

[3] 水路 (11)

上部の斜面の奥から、水田用の灌漑水が流下し、上部(11)を通り斜面中部(11)から東へ流れ去っている表流水である。

[4] 地下水 (13)

上部と中部には見られず、下部の(13)のみにみられる大きなSP異常は、凹凸型で規模が大きいので、優勢な地下水脈であろう。A地区の東端の幹線通りに崖をなしている露出岩盤には、広範囲に水の滲出が観察できるが、地形的に判断して、(13)の地下水はその水に連なっているものと考えられる。

[5] 温泉脈 (14)

下部のみに見られる(14)のSP異常は判定できないが、下部の石垣に見られる滲出水の性状からみて、B地区の東側に隣接する地帯から流出してくる温泉水かとも思われる。

[6] 排水パイプ(P), (P₁), (P₂)

中部の(P)と下部の(P₁)は径15cmの塩ビ管の排水によって発生している流動電位である。特に、下部の(P₂)は、径25cmのコンクリート管中の大量の排水による、大きな流動電位である。

4.3.2 SP異常と γ 線強度異常

〔1〕上部(B-1図)の γ 線強度曲線は(9)を境として急変している。それは、地層の露頭から谷の

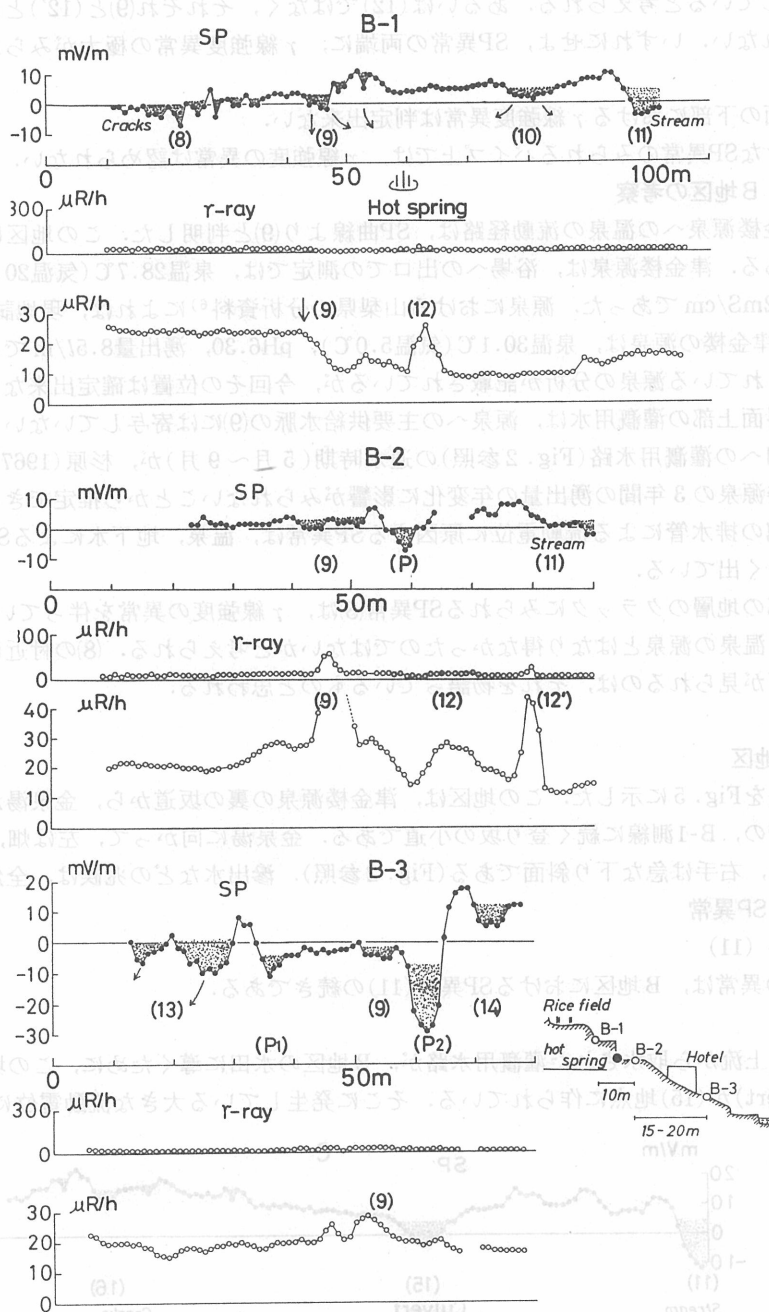


Fig. 4 Results of SP survey and radiometric prospecting on B zone.

細地の土壤の変化に対応している。(12)の γ 線強度の極大部の意味は、SP異常を伴っていないため不明である。若し、 γ 線強度曲線における(9)と(12)が一对をなしていると考えると、前述の4.2.2. <3>と同様に、温泉水脈(9)によるSP異常部の両端に γ 線強度異常(極大)が存在するという解釈が可能である。

<2> 上部の γ 線強度異常の(9)と(12)は、それぞれ、中部(B-2図)の γ 線強度異常の(9)と(12)と

に、連結していると考えられる。あるいは(12)ではなく、それぞれ(9)と(12')とに連なっているのかもしれない。いずれにせよ、SP異常の両端に、 γ 線強度異常の極大がみられるといえそうである。

〈3〉斜面の下部における γ 線強度異常は判定出来ない。

〈4〉大きなSP異常のみられるパイプ上では、 γ 線強度の異常は認められない。

4.3.3 B地区の考察

〈1〉津金楼源泉への温泉の流動経路は、SP曲線より(9)と判明した。この地区における主たる温泉脈である。津金楼源泉は、浴場への出口での測定では、泉温28.7℃(気温20.9℃)、pH6.6、電導度16.2mS/cmであった。源泉における山梨県の分析資料⁶⁾によれば、現地試験(1969年11月19日)で、津金楼の源泉は、泉温30.1℃(気温5.0℃)、pH6.30、湧出量8.5l/mである。なお、西源泉と記されている源泉の分析が記載されているが、今回その位置は確定出来なかった。

なお、斜面上部の灌漑用水は、源泉への主要供給水脈の(9)には寄与していないと考えられる。それは水田への灌漑用水路(Fig. 2参照)の通水時期(5月~9月)が、杉原(1967)¹⁷⁾の測定による、津金楼源泉の3年間の湧出量の年変化に影響がみられないことから推定できる。

〈2〉旅館の排水管による流動電位に原因するSP異常は、温泉、地下水によるSP異常よりも、かなり大きく出ている。

〈3〉上部の地層のクラックにみられるSP異常(8)は、 γ 線強度の異常を伴っていないことから、利用できる温泉の源泉とはなり得なかったのではないかと考えられる。(8)の付近には、朽ちた温泉集水井戸が見られるのは、それを物語っているものと思われる。

4.4 C地区

測定結果をFig. 5に示した。この地区は、津金楼源泉の裏の坂道から、金泉湯が見えるところの地点までの、B-1測線に続く登り坂の小道である。金泉湯に向かって、左は畑、それに続いて急峻な山地、右手は急な下り斜面である(Fig. 2参照)。滲出水などの兆候は、全然みられない。

4.4.1 SP異常

[1] 水路(11)

このSPの異常は、B地区におけるSP異常(11)の続きである。

[2]

本谷川の上流から取水された灌漑用水路が、B地区の水田に導くために、この坂道を横切って暗渠(Culvert)が(15)地点に作られている。そこに発生している大きな流動電位によるSP異常が

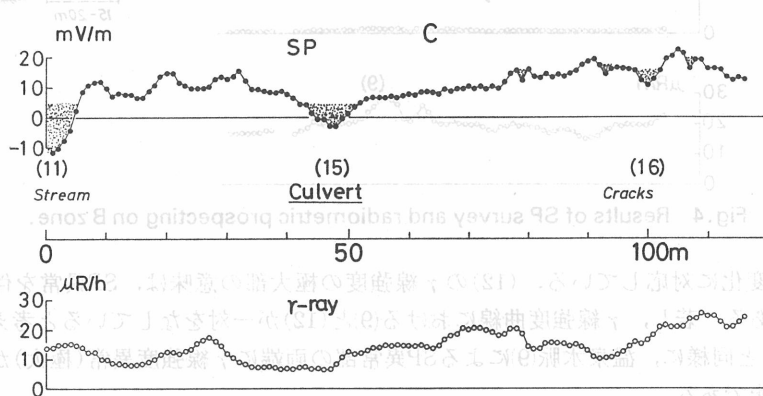


Fig.5 Results of SP survey and radiometric prospecting on C zone.

見られる。

[3] クラック群 (16)

この付近より風化した花崗岩の岩盤が露出する。クラック群も観察できる。 γ 線強度も、徐々に増大している。

4.4.2 C地区の考察

この地区には、地下水、温泉水の流動の兆候を示すSP異常は見られない。 γ 線強度にも、特徴は見られない。

4.5 D地区

測定結果をFig. 6に示した。D地区は、金泉湯の前のを流れる溪流までの、東向き斜面の下部の小道であって、D測線は、C測線と連続している(Fig. 2参照)。

[1] クラック (17)

C地区の東端と同じ花崗岩の岩塊に見られるクラックによるものである。

[2] 鉄柱 (18)

鉄柱による土中の腐食電位による凸凹型のSP異常である。

[3] 溪流 (19)

金泉湯源泉のある谷間に流れる、流量の少ない溪流によるSP異常である。 γ 線強度異常の極大値は、その右岸に現れている。

4.5.1 D地区の考察

γ 線強度は、(20)地点に於いて $20\mu\text{R}/\text{h}$ から $5\mu\text{R}/\text{h}$ に急に低下する。これは、この地点で花崗岩から堆積岩に移行していることを反映しているものと考えられる。しかし、この境界にはSP異常はみられないので、水脈の存在は期待できないと考えられる。

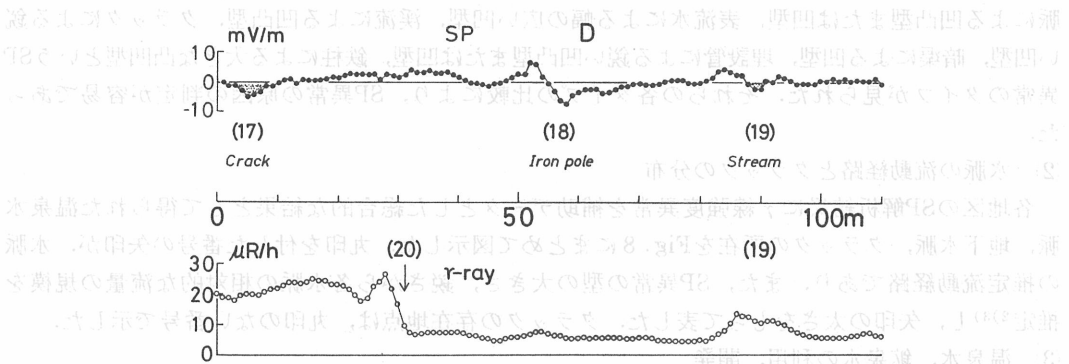


Fig. 6 Results of SP survey and radiometric prospecting on D zone.

4.6 E地区

測定結果をFig. 7に示した。E地区は、金泉湯源泉を取り巻く行止まりの小道である。金泉湯源泉と測線、溪流の位置関係は図中に示してある。

[1] 温泉脈(21)

明瞭な凹凸型のSP異常が(21)にのみ見られる。ここが金泉湯の源泉への水脈である。SP曲線の型から幅数mの裂か泉と推定できる。この源泉の流動経路の境界にあたる、 γ 線強度曲線の(22)は、中レベル放射能地帯から低レベル放射能地帯へ移行する地点にあたる。

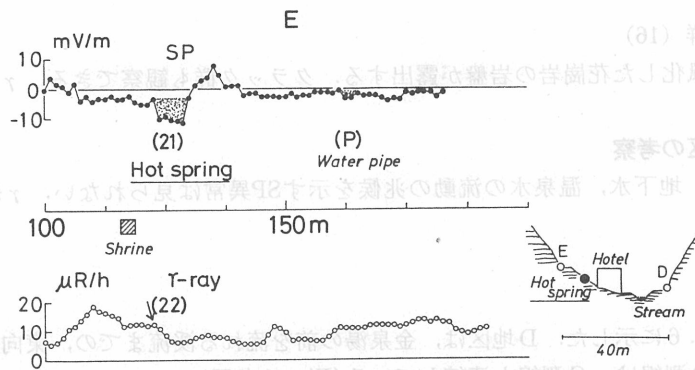


Fig.7 Results of SP survey and radiometric prospecting on E zone.

[2] 水道管(P)

山奥から引かれている旅館への簡易水道のパイプによるSP異常である。

4.6.1 E地区の考察

歴史的に古い源泉である金泉湯の温泉流動経路は、SP曲線に明瞭に現れている。なお、金泉湯の湧出量、泉質は、山梨県の分析資料⁶⁾によれば、現地試験(1969年11月19日)では、泉温31.0℃、pH6.20、湧出量23.7l/mである。

4.7 全地区のSP異常と温泉水脈、地下水脈の流動経路

(1) SP曲線の異常の型

この地区には、SP異常の殆どのタイプが存在することが判明した。即ち、温泉水脈、地下水脈による凹凸型または凹型、表流水による幅の広い凹型、溪流による凹凸型、クラックによる鋭い凹型、暗渠による凹型、埋設管による鋭い凹凸型または凹型、鉄柱による大きな凹凸型というSP異常のタイプが見られた。それらの各タイプの比較により、SP異常の原因の判定が容易であった。

(2) 水脈の流動経路とクラックの分布

各地区のSP解析結果にγ線強度異常を補助データとした総合的な結果として得られた温泉水脈、地下水脈、クラックの所在をFig. 8にまとめて図示した。丸印を付した番号の矢印が、水脈の推定流動経路であり、また、SP異常の型の大きさ、鋭さから各水脈の相対的な流量の規模を推定²⁾³⁾し、矢印の太さをもって表した。クラックの存在地点は、丸印のない番号で示した。

(3) 温泉水、鉱泉水の利用、開発

この地区を開発利用という観点でまとめてみると、次の様に考えることができる。

- 〈1〉⑨、⑩の津金楼温泉源泉、⑫の金泉湯温泉源泉の3本の温泉脈が、現在利用されている。
- ④は、有力な鉱泉であるが、冷泉のためあっても、利用されていない。
- 〈2〉⑬地点の岩盤地帯は、鉱泉脈の存在の可能性を有する地点である。
- 〈3〉8地点の深部は、鉱泉脈の可能性があると思われる。8と⑬とが連続した鉱泉水脈かどうかは、断定できるデータは得られていない。6はクラック群である。
- 〈4〉⑭は滲出水の性状から、温泉水脈と思われるが、確定出来ない。
- 〈5〉②、③は地下水脈である。

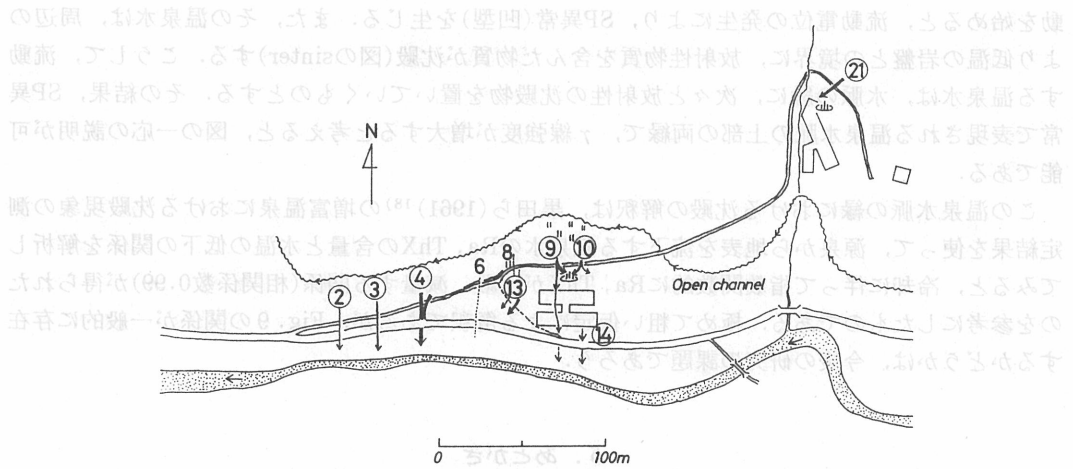


Fig.8 The map shows several passages of the flowing water that were decided by means of self potential method and radiometric prospecting.
The circumscribed circle of number: artery of hot spring or mineral water
No mark: crack

5. 今後の問題

5.1 SP法の問題点

- (1) SP法は、作業が簡単であり、広域の温泉脈、地下水脈の探査も容易である。特に、岩盤地帯では裂か水が期待出来るので、SP異常が顕著に出現するので有効と思われる。しかし、温泉水脈か地下水脈かの判別、クラックにおける水の流動の有無、その量の評価には、今後、多くの実験(室内及び野外における)が必要である。
- (2) 水脈の深度の決定の方法は、確立されていない。今のところ、付近の水路、溪流、湧出地下水のSP異常の型、大きさの比較から、潜在する地下水の規模、深度を推定する便宜的な方法に頼っている。
- (3) SP法は、流動電位を発生しながら流動している水脈の検出には、極めて有効であることが判明したが、全く停滞している地下水、宙水などの検出は出来ない。これらの検出には、SP測定法のベクトル法とスペクトル法の適用³⁾を考える必要があるものと思う。

なお、今後のSP法による地下水検出法の進展のためには、他の探査法も併用することにより、より合理的な解釈、精度の高い解析に進むことが必要であろう。

5.2 増富温泉におけるSP異常と γ 線異常との関係

SP測定に合わせて実施した γ 線量の測定は有益な情報をもたらした。

なお、A、B地区の測定結果に見られた、SP異常の両端に γ 線強度異常が現れるという位置関係について、これまでに考察された現象を模式的に表現してみるとFig. 9となる。

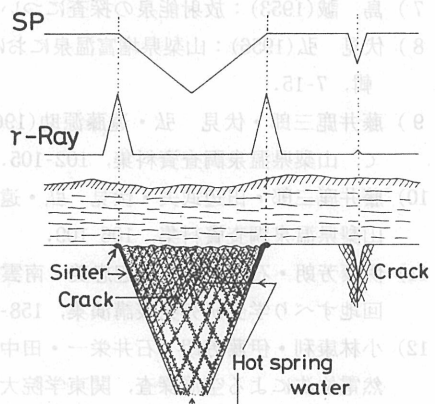


Fig.9 Model of the relationship between SP anomaly and the natural radioactive intensity in the hot spring water.

温泉水は、破碎帯(クラック)を上昇してきて、水平流

動を始めると、流動電位の発生により、SP異常(凹型)を生じる。また、その温泉水は、周辺より低温の岩盤との境界に、放射性物質を含んだ物質が沈殿(図のsinter)する。こうして、流動する温泉水は、水脈の縁に、次々と放射性的沈殿物を置いていくものとする。その結果、SP異常で表現される温泉水脈の上部の両縁で、 γ 線強度が増大すると考えると、図の一応の説明が可能である。

この温泉水脈の縁における沈殿の解釈は、黒田ら(1961)¹⁸⁾の増富温泉における沈殿現象の測定結果を使って、源泉から地表を流下する鉱泉水のRa, ThXの含量と水温の低下の関係を解析してみると、冷却に伴って指数関数的にRa, ThXが沈殿・減量する関係(相関係数0.99)が得られたのを参考にしたものである。極めて粗い仮定による解釈であるが、Fig. 9の関係が一般的に存在するかどうかは、今後の研究の課題であろう。

6. あとがき

測定に当たって、計測の機器、測定作業に協力を頂いた(武藤理科)武藤竹男氏に感謝する。また、測定にご好意を頂いた、金泉湯源泉、津金楼源泉の旅館に御礼を述べる。

参考文献

- 1) 杉原 健(1972)：山梨県内の放射能泉について，温泉科学，Vol.23, 84-93.
- 2) 伊藤芳朗・斎藤輝夫・市川 浩・南雲政博・川口英雄・竹内篤雄(1984)：地下水流速の新しい測定方法の試み—流動電位法—，日本地下水学会会誌，Vol.26, 77-96.
- 3) Ito Yoshiro, Shibata A., Nagumo M., Kumagai S., Asaka K., Yamabe Y., Igarashi T., Takeuchi A. (1989a)：Ground Electric Current and Landslide, Proc. The Japan-China Symposium on Landslides and Debris Flows, 1989., 35-38.
- 4) Ito, Y. Shibata, A., Tanaka, Y., Nagumo, M. and Kumagai, S. (1989b)：Detection of fault using self potential method. Proc. Sino-Japan Conference on Seismol. Res., 164-168.
- 5) 伏見 弘(1971)：温泉の開発について(その2)，温泉工学誌，Vol.8, 16-33.
- 6) 山梨県(1972)：北巨摩郡須玉町増富温泉における温泉地質調査報告，山梨県温泉調査資料集，75-106.
- 7) 島 誠(1953)：放射能泉の探査について，温泉科学，Vol.5, 53-54.
- 8) 伏見 弘(1956)：山梨県増富温泉における地化学探査と試錐井の諸調査について，早大理工研報 No.4 輯，7-15.
- 9) 藤井鹿三郎・伏見 弘・遠藤源助(1961)：増富温泉に於けるSurvey Meterによる放射能探査について，山梨県温泉調査資料集，102-105.
- 10) 藤井鹿三郎・田辺武夫・伏見 弘・遠藤源助・秋山悌四郎(1961)：山梨県増富温泉の地化学的調査，山梨県温泉調査資料集，106-109.
- 11) 伊藤芳朗・石井栄一・渡辺忠美・南雲政博・柴田 東(1990)：SP測定上(自然電位法)の諸問題，第29回地すべり学会研究発表講演集，158-161.
- 12) 小林康利・伊藤芳朗・石井栄一・田中康裕・南雲政博・柴田 東・五十嵐敏幸・山辺康晴(1989)：自然電位法による空洞探査，関東学院大工工学会講演論文集，87-88.
- 13) 柴田 東・伊藤芳朗・南雲政博(1988)：自然電位法による地下埋設物の検出(I)，関東学院大工研報，Vol.32, 127-134.
- 14) HATUDA, Z. (1954)：Radioactive Method for Geological Exploration, Mem. Col. Sci. Univ. Kyoto,

