

# 松代温泉地域のラドンと断層について

## —オープン・バイアル法とCNトラック法の適用性について—

飲島南海夫\*, 堀内 公子\*\*, 村上悠紀雄\*\*\*

\*信州大学教育学部, 長野市西長野 6 \*\*東京都立大学理学部, 東京都世田谷区深沢 2

\*\*\*北里大学衛生学部, 相模原市北里 1

(昭和54年10月25日受付, 昭和56年4月10日再受理)

## Study on the Correlation of Radon and Cracks in Matsushiro Springs Area — on the applicability of Radon determination by open-vial and CN tracks methods

Namio IJIMA\*, Kimiko HORIUCHI\*\*, Yukio MURAKAMI\*\*\*

\* Faculty of Education, Shinshu University, 6 Nishinagano, Nagano City.

\*\* Department of Chemistry, Tokyo Metropolitan University, 1 Fukazawa, Setagaya,  
Tokyo.

\*\*\* School of Hygienic Sciences, Kitasato University, Kitazato Sagamihara City.

### Abstract

The applicability of the open-vial method and the CN tracks method to detect radon emitted from the cracks or fissure was examined on the Matsushiro springs area. The reason why to select this area as the testing field is that this area was instrumentally and geochemically surveyed since the Matsushiro swarm earthquakes of August 1965. These informations are considered to be helpful in interpreting the results obtained.

The open-vial method, newly devised, can determine radon in soil air, which dissolves into liquid scintillator toluene solution and afterwards measure by the integral counting with a liquid scintillation counter.

The CN tracks method can record  $\alpha$  ray tracks of radon on thin cellulose nitrate film which can be rendered to visible for counting after NaOH solution treatment.

The results obtained by these two methods show the same inclination to rise and fall acrossing the cracks or fissures and can indicate definitely the location of cracks or fissures. The open-vial method is more sensitive and is enough for short exposure time in soil air, but not easy handling in the field for the not-chemically trained person. The CN track method is easy handling but needs longer exposure time, say 90 hours, to detect slight difference in radon content.

### 1. 緒 言

水中ラドンの定量法としてトルエンで抽出したラドンの液体シンチレーションカウンタによる測定法を開発して<sup>1)</sup>, 温泉中のラドンの定量に適用してきた<sup>2)</sup>(堀内, 村上). 今回はその変法として仮称“オープン・バイアル法”を考案して, 土中のラドンの定量を試みている<sup>3)</sup>. また硝酸セルローズフィルムを用いたラドン-222 (以下単にラドン) による $\alpha$ トラックを定量に用いる方法を(以下CNトラック法)検討し(村上, 他), CNトラック法で土中ラドンを定量してきた<sup>4)</sup>.

従来から断層にはラドンが多いことはよく知られており、また温泉は断層や割れ目にもよって湧出することも経験的な事実である。従って温泉探査の場合に断層や割れ目を探すことが行なわれるが、基盤岩が崖錐性堆積物や、沖積層・洪積層などに被覆されていて不明な場合が多い。

このため自然電位の測定、大地比抵抗法その他など大がかりな方法が実施されている。実際の運用には経験上(飯島)種々の問題があり、まだ測定結果から割れ目の決定に正確さを期し難い場合がある。

従ってこれら二方法の断層、割れ目の発見に対するフィールドでの適用性を調べるため本研究を行なった。

対象とする調査地区として長野市松代町を選んだ。理由は1965年8月3日以来群発地震が続き、第1活動期(65年11月)、第2活動期(66年4月)、第3活動期(66年8月)を経て平静に戻った。長期にわたる群発地震のため多くの研究がなされ、地表隆起、地震断層の発生日点<sup>5)</sup>や地質学的研究<sup>6)</sup>泉質の変化<sup>7)</sup>や異常水の湧出の地球化学的研究<sup>8)</sup>が詳細におこなわれている。

群発地震は皆神山円頂丘火山を中心とし、特に牧内、瀬関、天王山南部地域に多数地割れが生じた。これらを総括して松代地震断層と呼ばれ、これに伴う割れ目帯と共に詳細なる報告があり<sup>9)</sup>、また当時現地に調査に行き(飯島)割れ目、異常水の湧出を観察している。

従って実験結果の解釈にあたってはその科学的な意味づけが適確におこなえようと考えたからである。

## II. 実験方法

### (1). 実験孔

既知の割れ目帯を切る方向に10m間隔でP、H測線を、また地勢状況よりみて5m間隔にA、C測線を選んだ。各測点にはハンドオーガー(φ10cm)で深さ30cmの穴を掘り、オープンバイアル、CNフィルムをおき、紙製皿(径20cm)をのせた上からビニールシート(50cm平方)で被ってまわりに軽く砂をかけ飛散を防ぎ、オープン・バイアル、CNフィルムを一定時間土中大気中に露出せしめた。

A測線以外の各測線の距離の基準として適当な測点を0とし、南北両方向にP0、PS1、PS2……、PN1、……の記号を附した。216ヶ所測定点をとった。

中村、恒石両氏の好意により、原図<sup>9)</sup>(1万分の1縮尺)より3,000分の1の地形図を作り、ここに割れ目帯を転記した。松代温泉地域を次頁に示した。割れ目帯の名称は原図に従った。この図に従い瀬関地区と天王山地区を試験区とした。

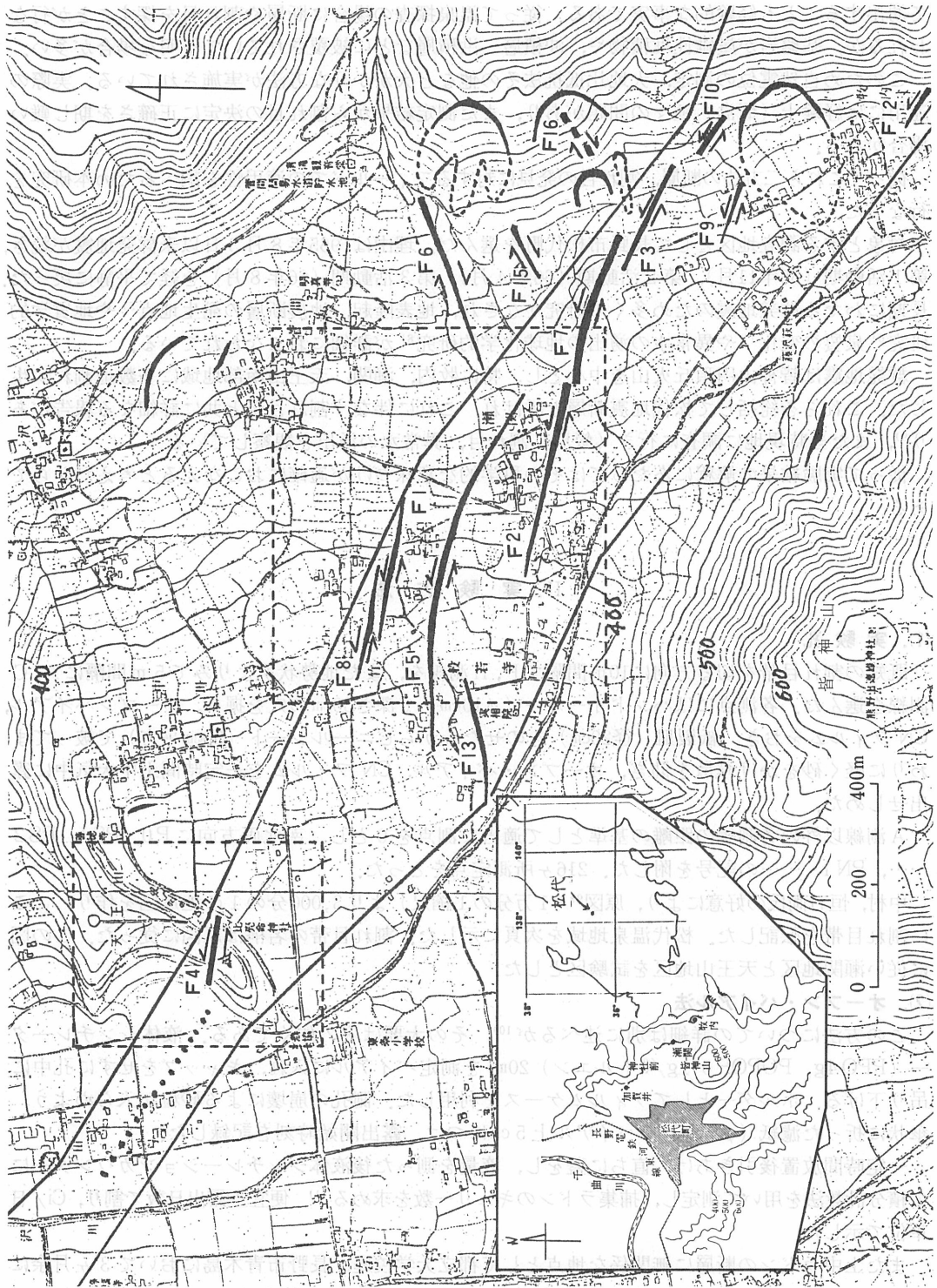
### (2). オープン・バイアル法

この方法についての詳細は別に述べるが<sup>10)</sup>、その大要は次の如くである。液体シンチレーター(PPO 4g, POPOP 0.1g/lトルエン) 20mlを測定バイアルに入れ、キャップをせずに孔中に吊り下げる。ホルダーとしてフィルムケースを利用した。側孔の崩壊による砂粒が入らぬよう、傘状に折った濾紙(φ9cm)をバイアル上5cmにつけ、露出開始時刻を記録した。

一定時間放置後引きあげ、直ちに蓋をし、液量を測った後液体シンチレーションカウンターにて積分計数法を用いて測定し、捕集ラドンのキュリー数を求める<sup>11)</sup>。便宜上露出日数で割り、Ci/日単位で示した。

また土中ラドンの断層に無関係な地点として都立大学校庭、長野市青木島において3ヶ月余にわたって測定した。平均値は $3 \times 10^{-12}$  Ci/日であり、これ以上の値をラドンの異常値とした。

### (3). CNトラック法



第1図 松代温泉地域の断層によって形成された割れ目帯（中村、恒石原図）と調査地区（……）

硝酸セルローズフィルムはコダック社製 LR115 (100 $\mu$ m 透明なポリエステル基板上に 13 $\mu$ m の赤色硝酸セルローズ膜を附した type II) を使用した。1.5 $\times$ 1.5cm<sup>2</sup> 角に切り、割箸の上端に切込みを入れて挟んだ。

土壤大気中で露出するとラドン (及びその崩壊生成物による  $\alpha$  粒子) によりトラックを生ずる。これを肉眼で見易くするために 60 $^{\circ}$ C ( $\pm$ 0.1 $^{\circ}$ C) で 10% NaOH 溶液につけ 160 分間放置する (エッチング) とトラックは拡大し、投影すると肉眼であるいは印画紙に現像して、トラック数を数えることが出来る。トラック数は  $\alpha$  粒子の数に比例して生ずることは、別に基礎実験により確認している<sup>12)</sup>。

本実験ではエッチングの後、フィルム面の 80% をマイクロフィシユリーダー・プリンターにかけて 27 倍の倍率で印画紙にとり、生じた黒点を数え、単位面積、1 時間あたりのトラック数として表示した (ピット数/hr $\cdot$ cm<sup>2</sup>)。

バックグランド強度としては(2)に述べた地点において 3~5 月にわたり同様の実験を行なった結果、5 トラック/cm<sup>2</sup> $\cdot$ hr であった。これ以上高い場合をラドンの異常値とみた。

#### (4). 実験日時

瀬閑地区における P 測線は 1977 年 12 月 10 日午前 10 時以降、H 測線は 12 月 10 日午後 2 時以降と、一部は 11 日午前 10 時頃にオープンバイアルと CN フィルムを設置した。回収は 12 月 15 日午前中におこなった。この間降雨はなかった。

A 測線は 1978 年 5 月 5 日午前 10 時より設置をして、5 月 7 日午後 5 時頃に回収した。この間降雨なし。

C 測線、7 月 26 日午後 2 時以降と 27 日午前中に設置し、7 月 29 日午前中に回収。いずれも露出時間中の降雨なし。

実験孔の位置を定め、掘孔、設置を行なうが平均 20 分の設置時間であった。このように各測点でズレていくので実験地点により多少の露出時間の差異があった。

第 1 表 露出時間の最低と最高

実験期間		77.12.10—15日	77.12.10—15日	78.5.5—7日	78.7.26—27日
露出時間	最高	97.5hr	94.0hr	52.1hr	69.3hr
	最低	93.4hr	74.2hr	46.3hr	48.2hr

### III. 調査地域の地質と松代地震断層

調査地区の山地は第三紀中新統の緑色火山岩層と泥岩層およびこれらに貫入したひん岩類と、これらを基盤とする第四紀噴出の奇妙火山岩類が分布している。

低地帯は、扇状地層と沖積層からなり、この真中に皆神山円頂丘火山が位置する。この実験地域は中央隆起帯と呼ぶ地質区に属し、中新世以降の火成活動の中心舞台でもある<sup>13)</sup>。

調査地区の中心の瀬閑では扇状地の小石の多い畑が主で (第 4 図)、天王山南部 (第 5 図) では熱水変質した“ひん岩”泥岩帯とこれらの岩層からなる山地と畑である。

本稿で用いている術語は中村恒石<sup>6)</sup>の論文によっている。即ち地割れ (ground crack) という術語は総稱として用い、地割れの最小構成単位は割れ目 (crack) と呼ぶ。地割れは伸張破壊によって形成されたと考えられ、長さ数 m 程度以下の破壊面である。割れ目は雁行配列することによ

り、割れ目帯 (fissure zone) を構成する。割れ目帯は割れ目の配列様式により水平運動のセンスが区別される。

左ずれ割れ目帯はそれ自身再び雁行配列することによって、地割れ地帯 (fissured zone) を形成する。

松代地震断層の長さは 3 km の地割れ地帯の他に、その両延長部において、断層運動を示唆する地変の起った地域を含めると約 5 km となる。断層の走向は N55° W、傾斜は 90° である。断層の深さは 5 km に達しているという (第 1 図)。

震源は皆神山の周辺に特に分布しており、比較的浅く 0.3~8.8 km といわれている<sup>7)</sup>。皆神山の北側および東側山麓の瀬関牧内等には 1966 年 5 月頃から地表面の隆起と共に無数の地割れを生じ日時の経過と共に生長し、9 月頃より天王山附近で莫大な異常水を加賀井、池田の宮社内及び北側山麓から湧出した<sup>7), 8)</sup>。

前述の測線の設定は以上の知見に基づいている。

#### IV. 実験の結果と考察

CN トラック法ではピット/hr·cm<sup>2</sup> で表示した。この値は孔中ラドン濃度に比例した値である。本法自身として絶対値の時間積分値を示すものである<sup>4)</sup>。点がオープン・バイアル法とは異なっており、また記録として保存出来る。しかしここでは相互の濃度が比較出来ればよいので相対値として扱っていく。

オープンバイアル法では実験室で測定したカウント数より 10<sup>-12</sup> Ci 単位で求め、これを露出時間で割り、10<sup>-12</sup> Ci/日単位で表示した。土中より拡散放出されたラドンの穴の中の空気中濃度を示す絶対値ではない。これとはある関係にある値であるが絶対値については別に発表する予定である<sup>10)</sup>。相互の濃度変化がわかればよいので Ci 単位を用いているが絶対値ではない。

瀬関の西側に選んだ P 測線についての両方法の測定結果を第 2 図に示した。両方法の値は互いに一致した増減を示しているが、PN26 測点ではオープンバイアルの方が低く、また逆に PS15 では高い結果を得た (第 2 図)。

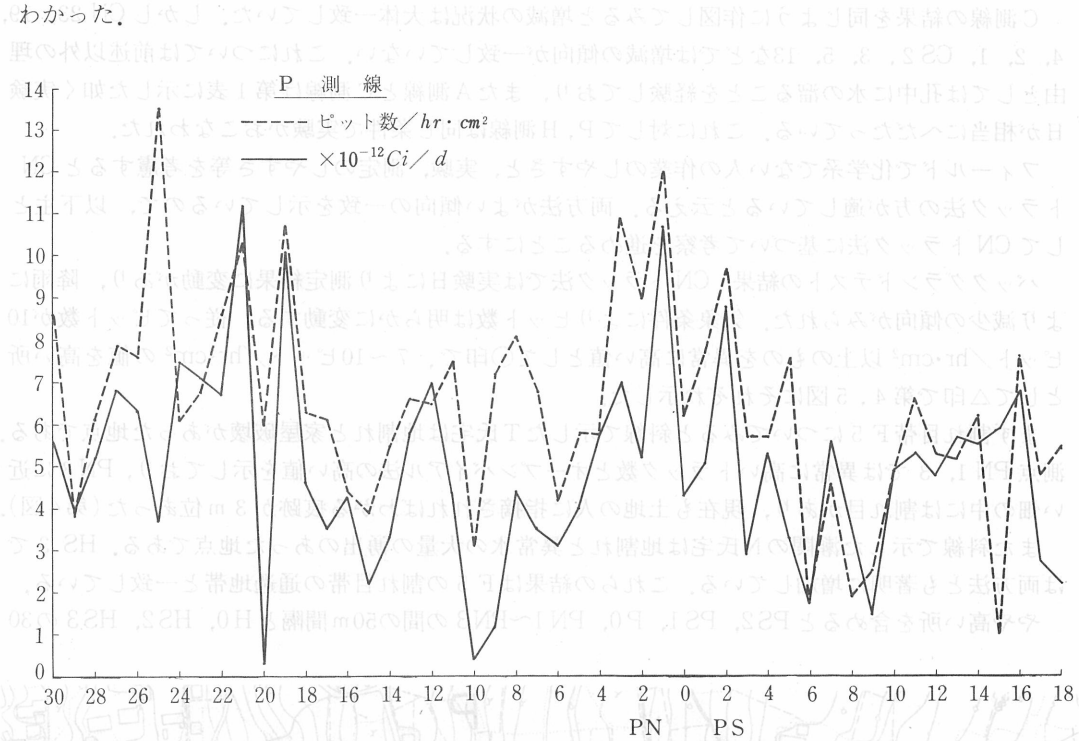
同じく瀬関の東側に設けた H 測線の各測点の両方法の結果の増減は同じ傾向を示している。しかし H0, HS2, HN20 では傾向が逆になっている (第 3 図)。

この不一致については次のように考えられる。露出時間中にオープン・バイアル中に少量の土砂 (含有機物) あるいは土中に住む虫が入っていた場合であり、あきらかにこれらに起因するクエンチングのため低い値を示すので、CN トラック法が高い値になる。

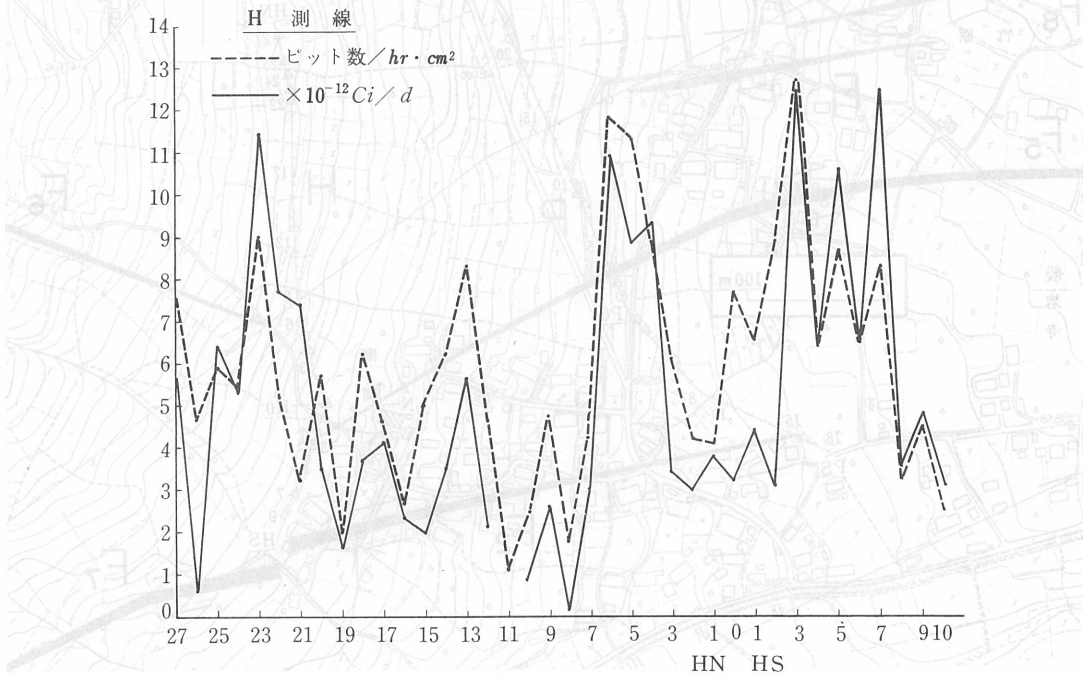
逆にオープン・バイアル法で高いのに CN トラック法の結果が、低い傾向を示している場合があった。フィルム面に露出中に特に多くの結露を生じていた結果である。α 粒子のエネルギーがピットとなるための臨界エネルギーは 3 MeV 前後であるから<sup>4)</sup>、水滴のため十分なトラックが出来ないことが起る。

同一測線上にあっても空気中の湿度に差があり、実験する時期によっても結露状況に差異を生ずる。これら二つの点はそれぞれの測定方法の本性に起因している欠点である。

AC 測線は池田の宮社のある天王山南山麓に設けた。A 測線でも両方法の増減の傾向はよく一致しているが、A23, 30, 42, などにおいては増減の傾向がオープン・バイアル法で高く、しかも異常に高い値を示していた。これは前述のクエンチング以外の理由によるものであると考へ、同一の実験孔に新しいバイアルを用いて 1978 年 7 月 26 日から実験をおこなった。その結果データは省略するが増減の傾向は両方法で全く一致しており、前述の高い値は放射能汚染であることが



第2図 瀬関地区測線Pにおけるオープン・バイアル法とCNトラック法の結果



第3図 瀬関地区測線Hにおけるオープン・バイアル法とCNトラック法の結果

C測線の結果を同じように作図してみると増減の状況は大体一致していた。しかしCN 23, 19, 4, 2, 1, CS 2, 3, 5, 13などでは増減の傾向が一致していない。これについては前述以外の理由としては孔中に水の溜ることを経験しており、またA測線とC測線は第1表に示した如く実験日が相当にへだたっている。これに対してP, H測線は同じ条件で実験がおこなわれた。

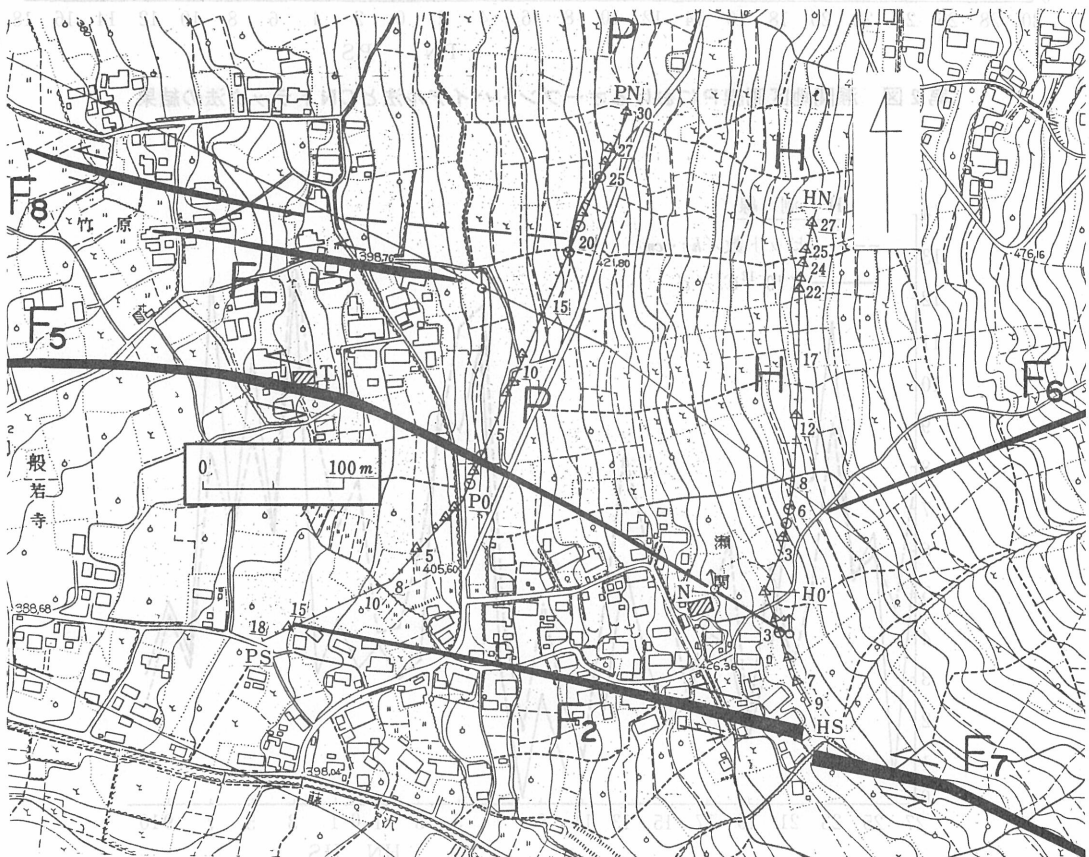
フィールドで化学系でない人の作業のしやすさと、実験、測定のしやすさ等を考慮するとCNトラック法の方が適していると云える。両方法がよい傾向の一致を示しているので、以下主としてCNトラック法に基づいて考察を進めることにする。

バックグランドテストの結果、CNトラック法では実験日により測定結果に変動があり、降雨により減少の傾向がみられた。気象条件によりピット数は明らかに変動する。従ってピット数が10ピット/hr・cm<sup>2</sup>以上のものを異常に高い値として○印で、7~10ピット/hr・cm<sup>2</sup>の値を高い所として△印で第4, 5図にそれぞれ示した。

まず割れ目帯F5についてみると斜線で示したT氏宅は地割れと家屋破壊があった地点である。測点PN 1, 3では異常に高いトラック数とオープンバイアル法の高い値を示しており、PN3に近い畑の中には割れ目があり、現在も土地の人に指摘されればわかる痕跡が3m位あった(第4図)。

また斜線で示した瀬関のN氏宅は地割れと異常水の大量の湧出のあった地点である。HS 3では両方法とも著明に増加している。これらの結果はF5の割れ目帯の通過地帯と一致している。

やや高い所を含めるとPS2, PS1, P0, PN1~PN3の間の50m間隔とH0, HS2, HS3の30



果露の表 第4図 瀬関地区における測線H, Pの結果と割れ目帯の位置

m間隔とを連ねた範囲はF5の割れ目帯とみることが出来る。

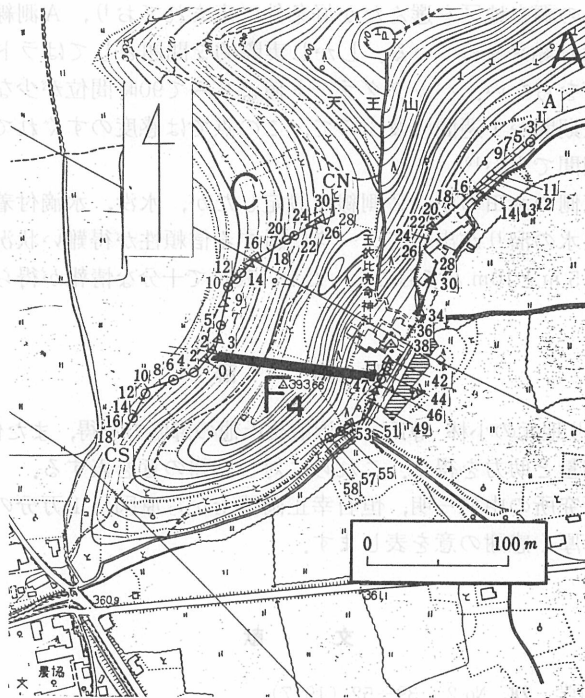
HN6を極大としてHN4, HN5とHN7により両方法ともよいピークを示している。F6割れ目帯が原図では切れているが、この地点はその延長部と考えられる。またこれとPN8をピークとするPN7, PN9を、更にPN11を中心とする高い測点を結んだ区域はF5に平行な割れ目帯によるものとみることが出来る。

次にP測線にはPN21を中心とする一つのピークがみられる。これはF8割れ目帯の延長部にあたり、これは更に東方にのぼしたHN23をピークとする部分につながると考えることが出来る。

P測線のはずれPS16を中心としたピークがみられる。これはF2割れ目帯の通過点とみることが出来る。HS測線はこれを判然とさせるため、さらに測定点を求めようとしたが地形上それが不可能であり省略せざるをえなかった。

次に天王山地区における測線A, Cについて両方法は同じような増減を示す関係図が得られたが、2, 3図と同じなので省略し結果のみを第5図に示した。前述の如く神社附近に異常水の噴出があり、また測線Cの北西部200mに加賀井温泉がある。○, △は前述と同じである。神社境内の測点A43, 45は神社の東側の湿地と池にも異常水、温泉が湧出した地点である。CN10~CN14には調査当時も多量の低温の温泉が湧出していた。測点A42から48の35m間隔と測点CN5, CN3, CN2, C0, CS3, CS6の55m間隔をつらねた地帯がF4の割れ目帯と一致している。また測点A53, A54, A55, A57を含む地帯と測点CS11, CS15を含む地帯はF4に平行な割れ目帯を示しているものと考えられる。

このほかに6~7未満のトラック数/hr・cm<sup>2</sup>の値を含めて考えると、測点CN10, CN12, CN13,



第5図 天王山地区の測線A, Cの結果と割れ目の位置



CN15, CN16 の異常に高い帯は測点 A34, A39, A40 を含む帯につながり, CN21, CN22, CN25, CN26 の高い帯は A22, A25, A26, A27, A29, A30 の帯とつらねてみると, F4 にほぼ平行な割れ目3本が示されていると考えることが出来よう. しかしこれらの測点については実験期日が異なっている点に問題がある. ラドンの土中からの放出が気象条件に左右されるだけに注意しなくてはならない. なおA4は異常出水でリングの木が枯死した地点である.

## V. 要 約

沖積層崖錐などに被覆された基盤岩の割れ目, 割れ目帯, 断層を探查する目的でオープン・バイアル法とCNトラック法を同時に実施した.

その結果オープン・バイアル法は感度が非常によく, 長い露出時間を必要とするCNフィルム法に引きかえ短時間でよく, 十分な情報を与えてくれる. グラフは $10^{-12}$  Ci/日で示しているためいつも低い指示のような印象を図で与えられるが, 原理的には実験値としては高いのである. 気体として行動するラドンは一つの $\alpha$ トラックを生ずるだけであるが, 液体シンチレーターに溶けこんだラドンは放射平衡に達した後に測定するので,  $3\alpha + 2\beta$ の崩壊生成物を測定するので一個のラドン原子は5倍になって計数されるからである. ましかりラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) が半減期3.825日なので回収後すみやかに測定する方が計数値が高く精度がよい. これに対しCNトラック法は一旦生じた $\alpha$ トラックは消失しないから, 回収後処理迄の時間をあまり問題にする必要がない点がフィールド用に都合がよい. いずれの方法にせよ携行簡便であり, 回収後機器による測定あるいは化学操作及びトラック数の計測という作業を考慮しても, 実施のための経費が少なく, しかも正確に割れ目, 割れ目帯を指示出来る点ですぐれている.

尚, 前述の理由でこの調査地区を選んだが好条件に恵まれており, A測線, C測線では露出時間が40~50時間でもよい結果を得ている. しかし実際的な問題としてはラドンの放出量をもっと少ないと考えなければならない. バックグランド値よりみて90時間位が少なくとも欲しい露出時間である. しかし調査期間が1週間に及ぶので, この点では感度のすぐれているオープン・バイアル法の方が半分の期間でよい<sup>10)</sup>.

本実験でA測線の東側の水田の中にZ測線を設定したが, 水没, 水滴付着などが多く失敗した. また若干の実験孔では水の溜りが出来てデータに対する信頼性が得難い状況もあった.

また測点間隔として5mと10mとでおこなったが, 10mで十分な情報が得られることがわかった.

## VI. 謝 辞

本実験の実施にあたり地元の小林 尊氏, 宮沢敏雄氏他の御協力を得, また信州大学教育学部岩鉦研究室の学生諸君の測量と助力を得た. これらに対し感謝の意を表す.

また東京大学地震研究所の中村一明, 恒石幸正両博士から原図(1万分の1)の引用の便を与えられた御厚意に対し厚く感謝の意を表します.

## 文 献

- 1) 堀内, 村上, 温泉科学, **28**, No.2, 39-52 (1977)
- 2) 堀内, 村上, 温泉科学, **27**, No.1, 23-28 (1976)

- 3) 堀内, 村上, 第21回放射化学討論会, 2 B-14, (1977) (辰口)
- 4) 中原, 工藤, 秋葉, 村上, Nucl. Inst. Methods. **171**, 171-179 (1980)
- 5) 東京大学地震研報, 44号, 307-445, 1213-1395, 1623-1792 (1966); 竹内, 地質学誌, **72**, 263-276 (1967), 春日, 地学誌, **76**, 76-86 (1967)
- 6) 松田, 東大地震研報, 45号, 537-550 (1967)
- 7) 野口, 上野, 西井戸, 温泉科学, **20**, 67-93 (1969)
- 8) 野口, 上野, 相川, 国友, 温泉科学, **21**, 134-144 (1970)
- 9) 中村, 恒石, 東大地震研報, 45号, 417-471 (1967), 48号, 29-51 (1970)
- 10) 堀内, 村上, Chem. Letters 発表予定.
- 11) 堀内, 温泉工学会誌, **13**, No. 2, 95-103 (1978)
- 12) 工藤, 秋葉, 中原, 村上, KURRI-TR-190, 26-29 (1979), 京都大学原子炉実験所.
- 13) 飯島, 信州大学教育学部紀要, No.12, 86-138 (1962)

この論文は、松代温泉地域の温泉中に含まれるラドン濃度の測定結果に基づいて、温泉の発生源と断層の関係について調査したものである。調査の結果、温泉中のラドン濃度は、断層の存在と密接な関係にあることが明らかとなった。また、温泉中のラドン濃度は、地質学的な特徴と一致していることが確認された。

松代温泉地域の温泉

松代温泉地域の温泉は、主に松代盆地に分布している。この地域の温泉は、地質学的に特徴的な断層帯に沿って湧出していることが知られている。本研究では、この断層帯の位置と温泉の発生源との関係を明らかにすることを目的とした。調査の結果、断層帯の存在は、温泉中のラドン濃度の増加と強く相関していることがわかった。これは、断層帯を通じて地下水が深部から湧き上がり、地殻深部のラドンを含む温泉が地表に湧き出すことを示している。また、温泉中のラドン濃度は、地質学的な特徴と一致していることが確認された。

①  
②

①……②

①  
②