

α トラック法による活断層モニタリングとその観測条件の検討

加藤 完* 高橋 誠* 吉川清志*

KATOH, K., TAKAHASHI, M. and YOSHIKAWA, K. (1987) Measurement of radon concentration in soil gas by the α track method—Technical problems in its application to the monitoring of active faults. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 38 (9), p. 515-526.

Abstract: The α track method using cellulose nitrate film (Kodak LR 115 Type 2) was applied to monitoring annual variations in radon concentration of active faults. The track density is related to exposure time of film, depth of bore hole, depth of film position in the hole and soil temperature, aside from kind of soils and basement rocks. The best fit conditions for the monitoring work were found by both laboratory and *in situ* experiments. Seasonal variations in apparent track density, which are commonly observed at monitoring stations, are ascribed to annual variations of soil temperature. Fine-grained mineral particles like zircon were identified as the source of the radial track spots, occurrence of which is distinct from the distribution of normal α track. Fine-grained mineral particles could be accidentally adhered on the surface of film while replacing it particularly in windy seasons.

1. はじめに

環境地質部地震化学課では地震予知研究の一環として、1977年以来各地の活断層探査を、ラドンが放射する α 線に感度を有する硝酸セルローズフィルム(Kodak LR 115 Type II, 以下CNフィルムと云う)を使用して実施している。また1978年以降、第1図に示す各地の活断層周辺に設置した定点において、一週間毎にCNフィルムを交換するラドン濃度の連続観測から、ラドン濃度の変動を経年的に観測し、その周辺に起きた地震との対応から前兆現象を見出す地震予知の一手法としての検討を行ってきた(第1表)。

これら活断層モニタリングに併行して、その観測条件を検討するため、 α 線照射時間とトラック数との関係、観測孔の設置深度、CNフィルムのセット方法とCNフィルムを吊す深度に対するトラック密度(Tracks/cm²·day)の影響を見積る基礎的な実験を行ったのでその結果について報告する。

連続観測中の各地の観測孔では、トラック密度が夏期に高く冬期に低い年周変化が観測された。また主として

秋から冬と春の季節風の卓越時に、CNフィルム上に放射状トラックスポットが観察された。これらの現象を解明する実験も行ったので併せて報告する。

2. 測定原理

放射性核種から放射される α 線(第2表)はCNフィルムのような個体飛跡検出材に衝突すると、放射損傷をおこさせてCNフィルム上に粒子トラックを生じさせる。このトラックを化学試薬によってエッチングすると、トラックは一定速度で拡大し、可視光線の波長に匹敵する0.1 μ m以上の幅に達すると、光学顕微鏡によって容易に観察されるようになる。

エッチング過程は三段階に進むと考えられる。まず潜在トラック幅に相当するとみられる部分がすみやかに反応する。次にエッチング反応生成物と新鮮な化学試薬の入れ替わりに要する時間(潜伏時間、材質により異なる)を経たのち、ほぼ一定速度(V_T)で、潜在トラック周辺の損傷部分がエッチングされ拡大する。

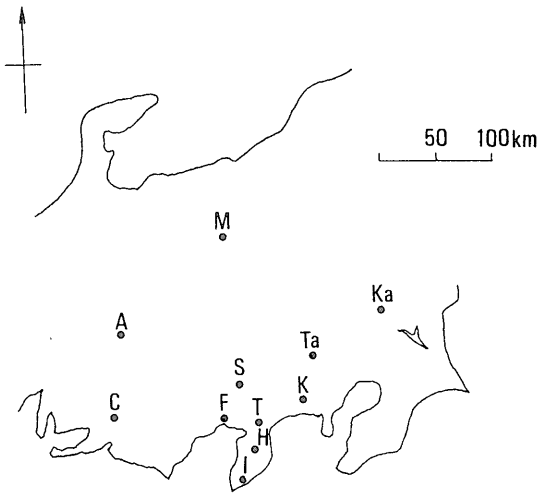
エッチングによってトラックが拡大(V_T)する際、検出材全体もその表面から、それぞれの材質によってきまった速度(V_G)でエッチングされる。このため、ある臨界角 $\theta_C(=\sin V_G/V_T)$ より低角度で入射した粒子

* 環境地質部

第1表 定期観測点概要
Table 1 Weekly observation sites

Mark	Name of fault	Location	Term of Observation	Number of holes	Annual variation of track density
A	Atera	Miyawaki, Fukuoka, Gifu	1980.2-	6	+
C	Median Tectonic Line	Arumi, Shinshiro, Aichi	1980.10-	5	+
F	Fujigawa	Lower Reach of Fuji River	1978.7-	7	+
H	Himenoyu	Himenoyu, Nakaizu, Shizuoka	1978.7-	4	+
I	Inatori-Omineyama	Inatori, Higashiizu, Shizuoka	1978.5-1984.3	7	+
K	Kozu-Matsuda	Sogodai, Ohi, Kanagawa	1980.2-	8	-
Ka	Karasuyama-Sugonuma	Inari, Sekijo, Ibaraki	1983.4-	5	-
M	Matsushiro	Tennoyama, Matsushiro, Nagano	1981.10-	5	+
S	Shibakawa	Torinami, Shibakawa, Shizuoka	1985.4-	7	?
T	Tanna	Hata, Kannami, Shizuoka	1980.2	5	+
Ta	Tachikawa	Hakonegasaki, Mizuho, Tokyo	1984.4-	5	+

+ : Existed, - : No existed, ? : Unknown.



第1図 CNフィルムを使用した土壌ラドン濃度定期観測点位置図

Fig.1 Location of the weekly observation sites of radon in soil gas using cellulose nitrate film.

のトラックは消滅して観察されず、検出効率はエッチングによって影響される(第2図)。

3. ウラン標準線源から放射されるα線とトラック数

3.1 実験方法

各製造年度別のCNフィルムのα線量による感度を見積るため、第3図に示すようなα線照射装置を用い、照射距離15mmで照射時間を変えて実験を行った。α

線源は日本アイソトープ協会のウラン標準線源で、その詳細は第3表に示した。

1981, 1982, 1983, 1984年度のCNフィルムの照射時間は10, 30, 60, 90分間, 1985, 1986年度のCNフィルムのそれは15, 45, 75分間とした。次に照射距離を10mm, 15mmおよび20mmにとり、1985年度のCNフィルムを使用して、照射時間を15, 45, 75分間に変えて実験を行った。

3.2 実験結果と考察

第4図の横軸に照射時間、縦軸に照射によって生ずる1cm²当りのトラック数を、CNフィルムの製造年度別に示した。その結果、照射時間M(min)が長くなるとともに、製造年度に関係なくトラック数T(1cm²当り)は次式に従って直線的に増加した。

$$T = 110 M$$

照射距離を変えて行った実験は、第5図に示すように、α線源に距離が近いほど照射時間の増加に対するトラック数の増加の割合が大きく、増加の様態は同じく直線的である。

3.3 まとめ

CNフィルムは製造年度による感度のばらつきがなく、α線源からの照射時間の増加と照射距離の近接、すなわちα線量の増加とともにトラック数は増加する。その実験式は一次関数であらわれ、係数は照射距離がα線源に近ければ近いほど大きい。

この実験によってCNフィルムのα線量に対する感度は一定であり、長期間の連続観測による相対ラドン濃度の変動測定が可能であることが明らかとなった。連続観測ではα線量が少ないため照射時間を7日間とした。

第2表 天然放射性元素の壊変系列 (木村, 1960)

Table 2. Radioactive decay series (after KIMURA, 1960)

92	U (ウラン I)	$^{238}\text{U}, \text{U}_I$ 4.51 × 10 ⁹ y		$^{234}\text{U}, \text{U}_{II}$ (ウラン II) 2.48 × 10 ⁵ y			
91	Pa	α 4.18 7.05 β 1.9 10 ⁻¹⁰ γ 0.03-0.10 6.7 h	$^{234}\text{Pa}, \text{UX}_1$ (プロトアクチウム) 1.18 m	β (93.85%) 2.31 T (10.15%) 4.707 T	α 4.763 4.707 T		
90	Th (ウラン X)	$^{234}\text{Th}, \text{UX}_1$ 24.1 d		$^{230}\text{Th}, \text{Io}$ (イオニウム) 8.0 × 10 ⁴ y			
89	Ac			α 4.685 4.619 (T)			
88	Ra			$^{226}\text{Ra}, \text{Ra}$ (ラジウム) 1622 y			
87	Fr			α 4.777 (T)			
86	Rn			$^{222}\text{Rn}, \text{Rn}$ (ラドン) 3.825 d			
85	At			α 5.484	^{218}At ~ 2s		
84	Po			$^{218}\text{Po}, \text{RaA}$ (ラジウム A) 3.05 m	β (0.02%) 6.53	$^{214}\text{Po}, \text{RaC'}$ (ラジウム C') 1.64 × 10 ⁻⁶ s	$^{210}\text{Po}, \text{RaF}$ (ラジウム F) 136.4 d
83	Bi			α 5.998 (99.98%) 19.7 m	$^{214}\text{Bi}, \text{RaC}$ (ラジウム C) 19.7 m	β (99.98%) 1.65 × 10 ⁻⁶ α 7.68 3.17 7.45 -2.42	$^{210}\text{Bi}, \text{RaE}$ (ラジウム E) 5.00 d
82	Pb			$^{214}\text{Pb}, \text{RaB}$ (ラジウム B) 26.8 m	β 59 65 7.353 -381	$^{210}\text{Pb}, \text{RaD}$ (ラジウム D) 22 y	$^{206}\text{Pb}, \text{RaG}$ (ラジウム G) (安定)
81	Tl			$^{210}\text{Tl}, \text{RaC}$ (ラジウム C) 1.32 m	β 1.8	$^{206}\text{Tl}, \text{RaE}$ (ラジウム E) 4.19 m	

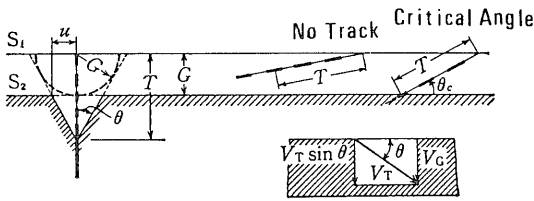
ウラン系列—(4n+2)系列—

90	Th (トリウム)	$^{232}\text{Th}, \text{Th}$ (トリウム) 1.4 × 10 ¹⁰ y		$^{228}\text{Th}, \text{RdTh}$ (ラジオトリウム) 1.90 y			
89	Ac	α 4.00 3.95 γ	$^{228}\text{Ac}, \text{MsTh2}$ (メソトリウム 2) 6.13 h	β 1.11, 45, 2.18 T	α 5.421 5.338 (T)		
88	Ra		$^{228}\text{Ra}, \text{MsTh1}$ (メソトリウム 1) 6.7 y		$^{224}\text{Ra}, \text{ThX}$ (トリウム X) 3.64 d		
87	Fr				α 5.681 (γ)		
86	Rn			$^{220}\text{Rn}, \text{Tn}$ (トロン) 54.5 s			
85	At			α 6.280	^{216}At 3 × 10 ⁻⁶ s		
84	Po			$^{216}\text{Po}, \text{ThA}$ (トリウム A) 0.158 s	β (0.013%) (T) α 7.79	$^{212}\text{Po}, \text{ThC'}$ (トリウム C') 3.0 × 10 ⁻⁷ s	
83	Bi			α 6.774 (~100%)	$^{212}\text{Bi}, \text{ThC}$ (トリウム C) 60.5 m	β (66.3%) 2.250 T α 8.776,	
82	Pb			$^{212}\text{Pb}, \text{ThB}$ (トリウム B) 10.6 h	β .355, .559 (93.7%) 7.226, 6.096	$^{208}\text{Pb}, \text{ThD}$ (トリウム D) (安定)	
81	Tl			$^{208}\text{Tl}, \text{ThC}$ (トリウム C) 3.1 m	β 1.73, 1.26, 1.5 2.61,		

トリウム系列—4n系列—

92	U (アクチノウラン)	$^{235}\text{U}, \text{AcU}$ (アクチノウラン) 7.13 × 10 ⁸ y		$^{231}\text{Pa}, \text{Pa}$ (プロトアクチウム) 3.43 × 10 ⁴ y			
91	Pa	α 4.40, 4.58 7.184, 0.94, 143		β 3.02, 0.04, .216 7.022 -230	α 5.001, 4.936, 5.016, 4.726 -383	$^{227}\text{Th}, \text{RdAc}$ (ラジオアクチウム) 18.17 d	
90	Th (ウラン Y)	$^{231}\text{Th}, \text{UY}$ 25.6 h			α 5.651 -6.030 1.030 -335		
89	Ac			$^{227}\text{Ac}, \text{Ac}$ (アクチニウム) 22.0 y	β (98.6%) 0.455 T		
88	Ra				(1.2%) α (4.94)	$^{223}\text{Ra}, \text{AcX}$ (アクチニウム X) 11.69 d	
87	Fr			$^{223}\text{Fr}, \text{AcK}$ (アクチニウム K) 21 m	β 1.15 7.049, .080 5.956 1.026 -44		
86	Rn			$^{219}\text{Rn}, \text{An}$ (アクチノン) 3.92 s	α (4 × 10 ⁻³ %)		
85	At			^{219}At 0.9 m	β (96)	^{215}At ~ 10 ⁻⁴ s	
84	Po			$^{215}\text{Po}, \text{AcA}$ (アクチニウム A) 1.83 × 10 ⁻³ s	α 6.824, 6.359, 6.434 1.067 -59	$^{211}\text{Po}, \text{AcC'}$ (アクチニウム C') 0.52 s	
83	Bi			^{215}Bi 8 m	β (5 × 10 ⁻⁶ %) α 6.27	$^{211}\text{Bi}, \text{AcC}$ (アクチニウム C) 2.16 m	
82	Pb			$^{211}\text{Pb}, \text{AcB}$ (アクチニウム B) 36.1 m	β 7.365	$^{207}\text{Pb}, \text{AcD}$ (アクチニウム D) (安定)	
81	Tl			$^{207}\text{Tl}, \text{AcC}$ (アクチニウム C) 4.79 m	β 1.39, .5 1.065 -83 1.353	β 1.44 (T)	

アクチニウム系列—(4n+3)系列—



第 2 図 エッチング速度と臨界角 (阪上, 1973)

Fig. 2 Track registration geometry (after SAKANOUE, 1973).

第 3 表 ウラン標準線源

Table 3 Radioactive characteristics of standard uranium specimen as alpha source.

Name	Standard uranium as source of alpha ray
Nuclide	Uranium and its disintegration materials
Radioactivity density	14.5 Bq/cm ²
Effective radioactivity area	4.9 cm ²
Total radioactivity	71.0 Bq

4. ウラン標準線源から放射される α 線の飛程

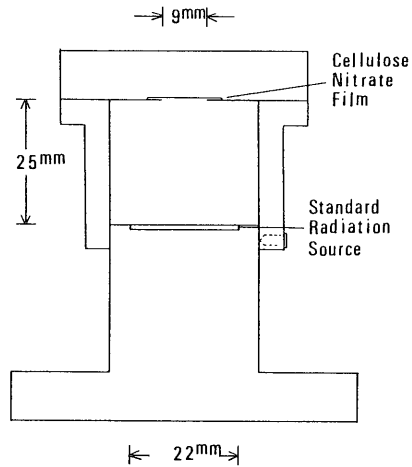
4.1 実験方法

照射距離を変えて、ウラン標準線源の放射性核種ウラン ²³⁸U (U I), ウラン ²³⁴U (U II) およびアクチノウラン ²³⁵U (AcU) から放射される三種類の α 線のエネルギーが、空気中の飛程によって CN フィルムに生ずるトラック数への影響を見積った。その実験方法は前節と同じで、照射時間を 90 分間と定め CN フィルムと α 線源との距離を 10, 15, 20, 25, 30, 35 mm と放射性核種の最大飛程に近い距離の 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33 mm と変えて実験を行った。

4.2 実験結果と考察

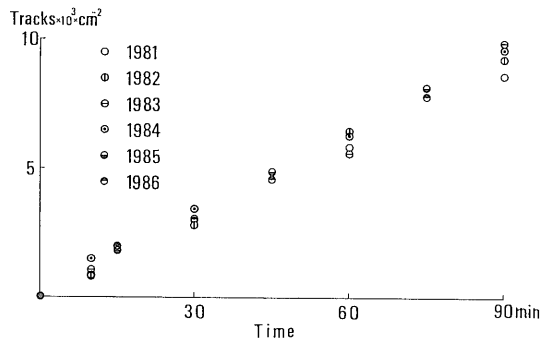
第 6 図の横軸に照射距離、縦軸に 90 分間の照射によって生ずる 1 cm² 当りのトラック数を示した。

ウラン標準線源の放射性核種はウラン ²³⁸U (U I), ウラン ²³⁴U (U II) とアクチノウラン ²³⁵U (AcU) からなり、放射される α 線のエネルギーは第 2 表より、それぞれ 4.18, 4.763 と 4.58 MeV で、空気中の最大飛程は第 7 図から約 2.7, 3.25 と 3.1 cm である。照射距離が α 線の最大飛程に近づくと、トラック数は急速に減少し、そしてトラックピットの直径は照射距離の短いもののそれに比べて小さくなる。このことは照射距離が α 線の最大飛程に近づくと α 線の CN フィルムに対する衝突のエネルギーが小さくなり、損傷が小さくなることを示唆している。そして照射距離がウラン ²³⁴U (U II) の



第 3 図 CN フィルム用 α 線照射装置模式断面図

Fig. 3 Schematic profile of alpha radiation installation for cellulose nitrate film.



第 4 図 CN フィルム製造年度別照射時間-トラック数図

Fig. 4 Radiation time-tracks/cm² curves for cellulose nitrate films of various production years.

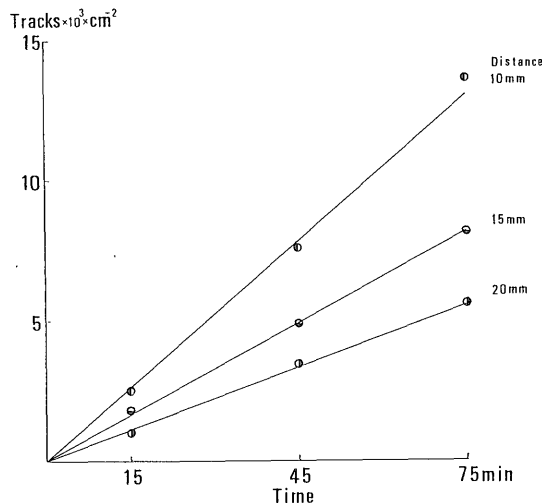
空気中の最大飛程 3.25 cm を超えると CN フィルム上にはトラックを生じない。

4.3 まとめ

ウラン標準線源の放射性核種が放射する α 線の空気中の最大飛程を、照射距離を変える実験により立証した。自然界における放射性核種の空気中の最大飛程は第 2 表と第 7 図より、トリウム C' (²¹²Po) の約 8.6 cm である。

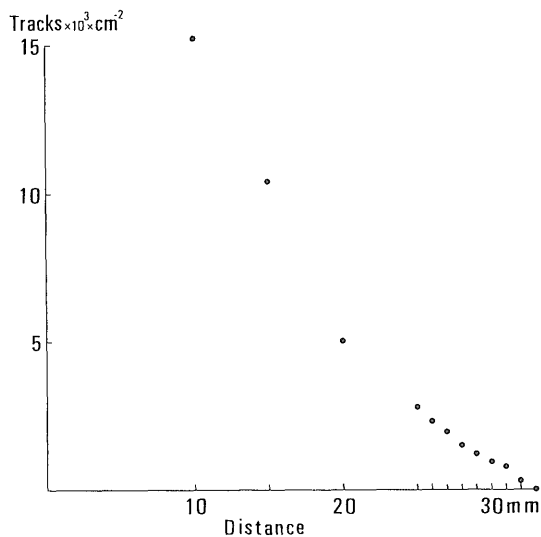
以上のことからラドン以外の放射性核種から放射される α 線の影響をなくすためには、塩ビ管中の CN フィルムを孔底から 8.6 cm 以上離せば良いことが明らかになった。

5. CN フィルムによる地中ラドン測定方法



第5図 照射時間-トラック数図 (照射距離 10, 15, 20 mm)

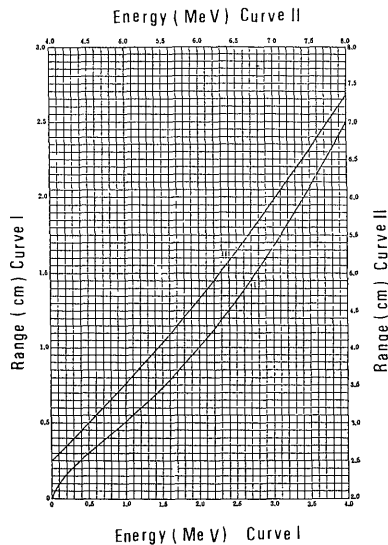
Fig. 5 Radiation time-tracks/cm² curves for cellulose nitrate film with changing the distance from the source of alpha particles.



第6図 照射距離-トラック数図 (照射時間 90 分)

Fig. 6 Radiation distance-tracks/cm² curve for cellulose nitrate film exposed for 90 minutes.

観測孔の設置深度、被覆土壌の種類、CN フィルムのセット方法および CN フィルムの吊す深度により、ラドンの上昇時間やラドンの分子量等が原因となって、トラック密度に影響を与えることが予想される。従来、観測孔が深くなればラドン量は多くなると経験的にいわれているが実験的に証明されていない。



第7図 α粒子の空気中における飛程とエネルギーとの関係 (木村, 1960)

Fig. 7 Relation of the range to the energy of alpha particles in the air (15°C, 760 mm Hg) (after KIMURA, 1960).

第4表 ウラン鉱のウランとトリウム含有量

Table 4 Uranium and thorium content of uranium ore.

Sample	Location	U Content	Th Content
Uranium ore	Ningyotoge, Kamisaibara, Okayama	2.1%	7.1ppm

Analyst: Yutaka KANAI

5.1 観測孔の設置深度による影響

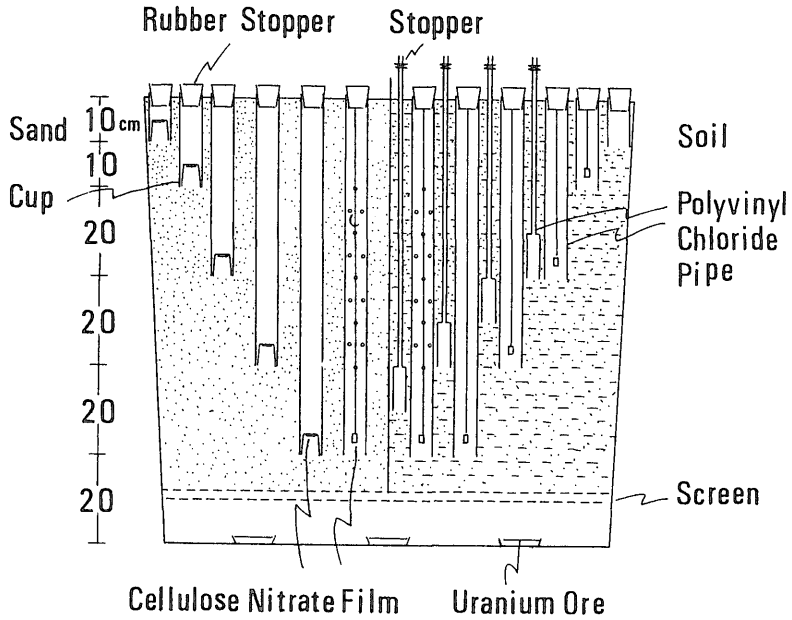
5.1.1 実験方法

直径 120 cm・深さ 100 cm の大型ポリ容器の底にラドン源として 20 メッシュ以下に粉碎したウラン鉱石 800 g (第4表) を置き、金網と布で境をし、その上部をたてに二分し、充填した土と砂の中に、それぞれ 80, 60, 40, 20, 10 cm の深度に塩ビ管を埋め込む。なお、80 cm の深度では孔明塩ビ管も埋めた (第8図)。

実験は塩ビ管中に CN フィルムを管底より 10 cm 上に吊す方法と、塩ビ管に CN フィルムをはったカップ (深さ 8.6 cm) を置く方法とを土と砂とについてそれぞれ三回ずつ行った。

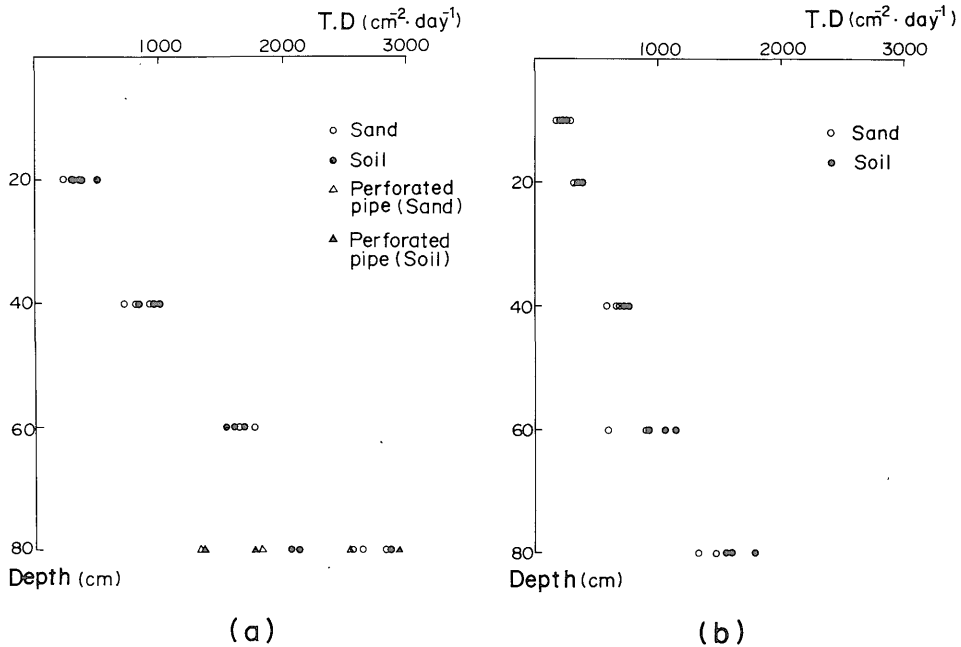
実験は実験設備の完成後、ラドン ²²²Rn の半減期 (3.825 日) の 4 倍時間以上放置し、93% 以上の放射平衡を保たせてから行った。

5.1.2 実験結果と考察



第 8 図 ラドン源としてウラン鉱石を使用した実験システム模式断面図

Fig. 8 Schematic profile of the experimental system using uranium ore as a source of radon.

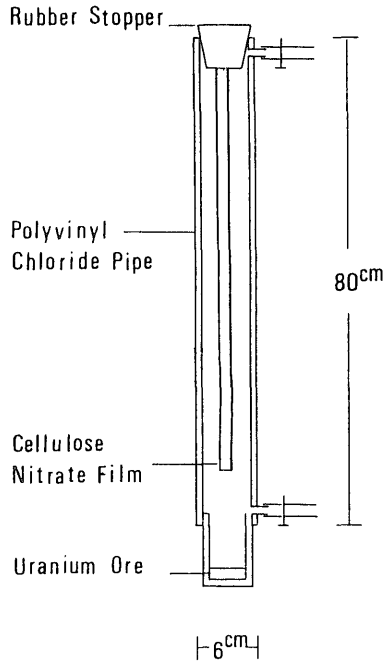


第 9 図 (a) CN フィルムを吊す方法の深度-トラック密度図

(b) CN フィルムをカップにはりつける方法の深度-トラック密度図

Fig. 9 (a) Depth-track density (tracks/cm² · day) curve for cellulose nitrate film hanging into the pipe with different filling materials.

(b) Depth-track density (tracks/cm² · day) curve for cellulose nitrate film placed on the bottom of a cup for different filling materials.



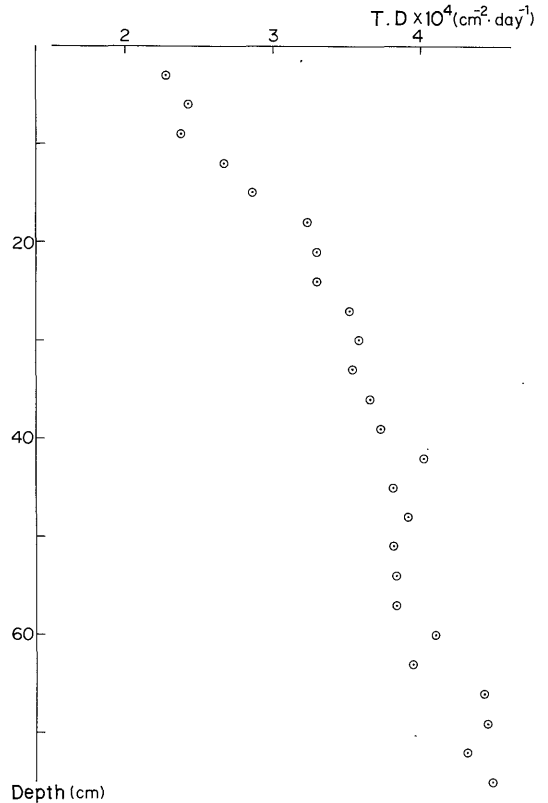
第10図 ラドン源としてウラン鉱を使用したCNフィルム吊下深度別実験用塩ビ管模式断面図

Fig. 10 Schematic profile of the experimental pipe used for laboratory experiments with uranium ore as a source of radon.

第9図にCNフィルムを吊す方法(第9図(a))とカップの底にはりつける方法(第9図(b))について、それぞれの土壌の種類によるトラック密度の観測深度による変化を示した。その結果、塩ビ管設置深度が深くなると、トラック密度はばらつきがあるが増加する。このことはポリ容器の底から上方に拡散する時間に起因する α 崩壊によるラドン量の減少と、表面付近でラドンが大気中へ拡散するためと考えた。塩ビ管中にCNフィルムを吊す方法のトラック密度は、カップの底にCNフィルムをはる方法のトラック密度より大きい。土と砂ではトラック密度に差はなかった。孔明塩ビ管を用いた場合のトラック密度にはばらつきが大きい。

5.1.3 まとめ

塩ビ管の設置深度は深ければ深いほど、トラック密度は増加する。しかしながら、実際の観測において深い孔を掘さくすると、地下水位の高い場所では湧水の影響を受ける例も多く、また掘さくによくの時間と費用を費やす等のため観測孔の設置深度は80cmと定めた。またトラック密度の再現性のチェックと連続観測のためCNフィルムの交換に便利な、塩ビ管にCNフィルムを吊す方法を採用することとした。



第11図 CNフィルム吊下深度-トラック密度図

Fig. 11 Depth-track density (tracks/cm²·day) curve for cellulose nitrate films placed at various depths in the experimental pipe.

5.2 CNフィルム吊下深度の影響 (室内実験)

5.2.1 実験方法

直径6cm長さ80cmの塩ビ管の底に、ラドン源として前述のウラン鉱石50gを入れたカップを結合する。上部より帯状のCNフィルムを深度75cmまで吊し、24時間ラドンが放射する α 線に曝露させる(第10図)。回収後エッチングを行い、CNフィルム上に生じたトラックをそれぞれの深度毎に計数し、トラック密度で表示した。

5.2.2 実験結果と考察

第11図の縦軸に深度をとり、横軸に深度3cmごとのトラック密度を示した。その結果、CNフィルムを吊す深度40cmまでは、深度の増加とともにトラック密度はほぼ直線的に増加し、40cm以深ではトラック密度の増加の割合は小さい。

5.3 CN フィルム吊下深度の影響(現場実験)

5.3.1 実験方法

現場実験は連続観測を行っている岐阜県福岡町宮脇の阿寺断層上に位置する観測孔 No. 8 と No. 10 で実施した。塩ビ管中に上部より帯状に深度 70 cm まで CN フィルムを吊し、一週間放置後回収しエッチングを行い、CN フィルム上のトラック密度を 3 cm ごとに 69 cm まで計数して表示した(第12図)。

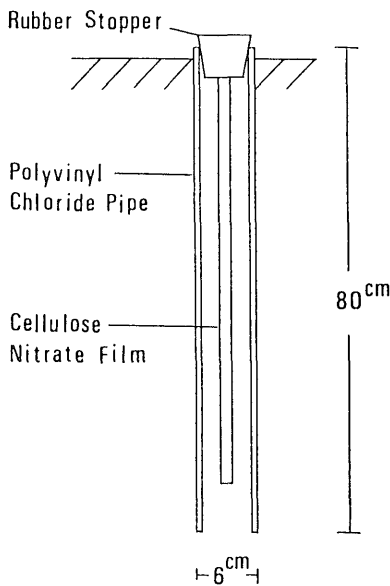
5.3.2 実験結果と考察

第13図で深度を縦軸にとり、トラック密度を観測孔別に横軸に示した。その結果、観測孔によりトラック密度値は異なるが、両者とも深度 40 cm までは深度の増加とともにほぼ直線的に増加し、40 cm 以深ではトラック密度の増加の割合はやや小さくなる。

5.3.3 まとめ

室内実験でも現場実験でも CN フィルムの吊下深度とトラック密度の関係をあらわすカーブは、ほぼ同じ形状を示した。すなわち CN フィルム吊下深度が 40 cm 迄は、深度の増加とともにトラック密度はほぼ直線的に増加し、40 cm 以深ではトラック密度の増加の割合が小さくなる。

これらの実験から、CN フィルムによるラドン測定においては、観測孔中の CN フィルムの吊下深度は 40 cm



第12図 観測用塩ビ管模式断面図

Fig. 12 Schematic profile of the observation pipe used for *in situ* experiments.

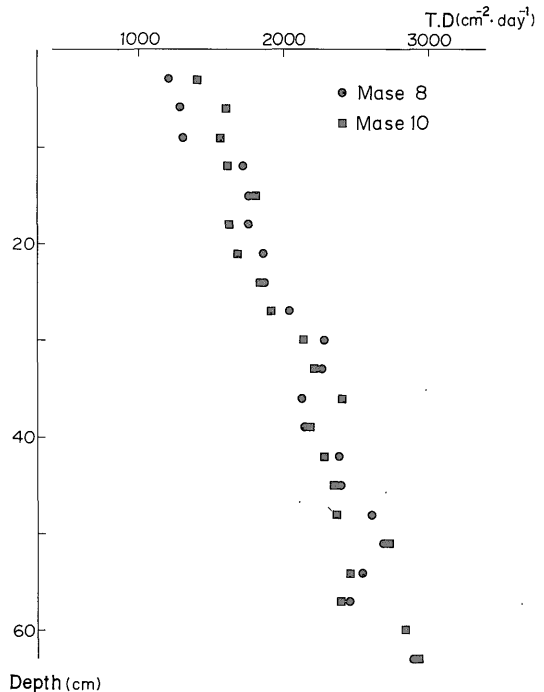
以深で一定にすることが、吊下深度によるトラック密度におよぼす影響を小さくするために必要である。現場実験の結果と併せて、高いトラック密度を得るため、CN フィルムの吊下深度は孔底から 10 cm 離れた 70 cm とした。

6. CN フィルムのラドンに対する温度特性

連続観測を実施している多くの観測点で、トラック密度が夏期に高く冬期に低い年周変化が観測された。地質調査所が連続観測を行っている場所(第1図)におけるトラック密度の年周変化の有無を第1表に示した。姜ほか(1985)も、CN フィルムを使用した地中ラドン濃度の経年観測により、トラック密度が夏期に高く冬期に低いという気温と密接な相関性をもつことを報告している。

6.1 観測結果

トラック密度の年周変化の例として、阿寺断層、松代断層および中央構造線上の一週間のトラック密度と五週間の移動平均を第14図に示した。トラック密度の単位が大きく異なるのは、観測孔を設置した場所の基盤まで



第13図 阿寺観測孔 No. 8 と No. 10 の CN フィルム吊下深度-トラック密度図

Fig. 13 Depth-track density (tracks/cm²·day) curves for cellulose nitrate film at the observation holes No. 8 and No. 10 on the Atera fault.

の深度と基盤岩の放射性鉍物含有量の差に起因する。この図から、トラック密度は冬期に低く、夏期に全体として高いがその中に小さな谷が認められる例がある。

6.2 実験

この年周変化の原因は、観測孔の地中温度変化によって、CN フィルムの感度が影響されるところにあると考えた。各観測孔の地中温度の経年観測は行っていないが、その代わりとして、気象庁の長野、岐阜および名古屋地方気象台の月別（観測開始以来の平均）の、深度 50 cm と 100 cm の地中温度を第 15 図に示した。この図と地震の前兆現象の影響がなかった 1980 年の阿寺断層のトラック密度の年周変化は良く類似している。深度 50 cm の地中温度は、3.3~28.7°C の範囲内にあり、深度 100 cm のそれは 5.3~26°C の範囲内にある。このことからこの温度範囲付近で、CN フィルムのラドンに対する温度特性を見積るための実験を行った。第 10 図に示すように、塩ビ管底にラドン源として前述のウラン鉍を入れ、塩ビ管中に CN フィルムを深度 70 cm に吊して実験し

た。一週間の曝露時間中のそれぞれの曝露温度下でラドンが放射する α 線の衝突によるトラック数を測定した。曝露温度の温度設定は、4°C は低温恒温室を利用したが、それ以外の温度は室内温度によった。

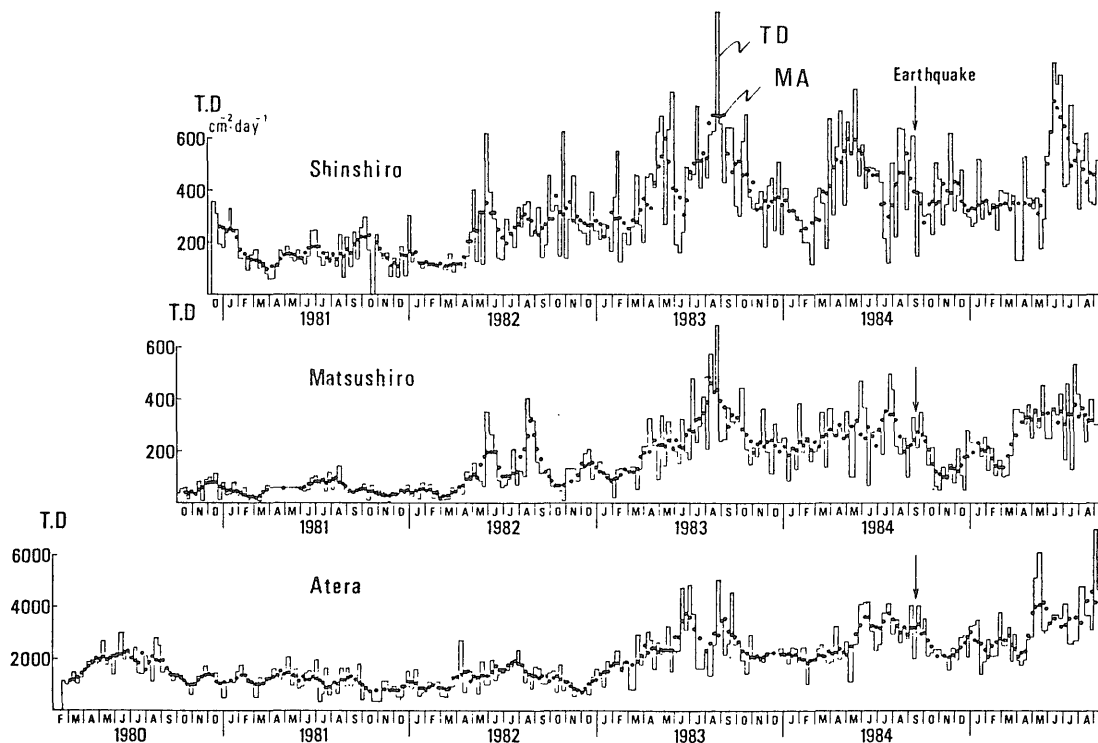
6.3 実験結果と考察

CN フィルムのラドンに対する温度特性実験結果は、第 16 図に示したように低温ではトラック密度の増加の割合は小さいが温度 15°C 以上になると増加の割合が大きくなる。

4°C と 25°C の曝露温度でのトラック密度は、阿寺断層の観測結果と同じく約 2 倍に増加している。

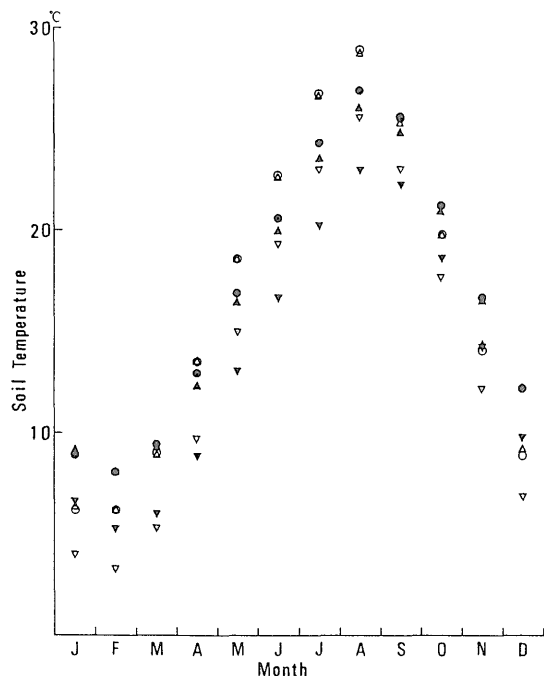
ラドンから放射される α 線は、第 17 図 a・b に示すように、トラックピットの形状から CN フィルムにあらゆる角度で衝突していることが明らかである。また曝露温度 25°C の CN フィルムのトラック密度およびトラックピットの大きさは、曝露温度 4°C のそれより大きい。

阪上 (1973) によると、CN フィルムは α 線を照射されると、荷電粒子通過経路に沿って生じたプラスチッ



第 14 図 新城, 松代, 阿寺断層観測点のトラック密度の平均値と 5 週間移動平均
TD: トラック密度 MA: 移動平均

Fig. 14 Temporal changes in track density (tracks/cm²·day) and five-week moving average at the Shinshiro, Matsushiro and Atera observation sites.
TD: Track density MA: Moving Average



第15図 地方気象台別地中温度

△▽:長野地方気象台(50と100cm深度)の地中温度
 ○●:岐阜地方気象台
 △▲:名古屋地方気象台

Fig. 15 Seasonal variations in soil temperature at Nagano, Gifu and Nagoya meteorological observatory.

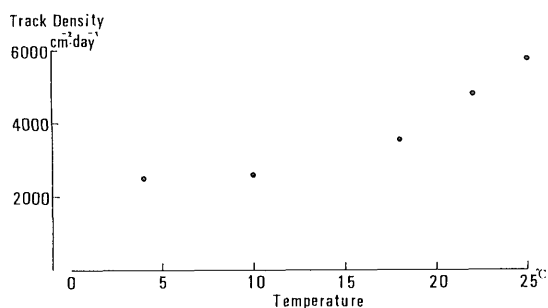
△▽: Soil temperature (depth 50 and 100 cm) at Nagano
 ○●: ditto Gifu
 △▲: ditto Nagoya

クの分解生成物(小分子片)が、酸素や水分などの二次反応により、酸化作用を受けて損傷が固定化され、またエッチング溶液に溶解しやすくなるとされている。

これらのことから、温度による酸化作用の促進が、CNフィルムに低角度あるいは低エネルギーで衝突した α 線の損傷を拡大し、トラックの検出効率を大きくさせるため、トラック密度が増加し、またトラックピットが大きくなると考えた。

6.4 まとめ

CNフィルムが地中温度の季節変化によって影響されることが明らかになった。曝露温度4°Cと25°Cの実験では、トラック密度はほぼ2倍になった。阿寺断層の観測結果でも、地震の前兆現象の影響がなかった1980年のトラック密度の経年変化が夏期が冬期に比べて約2倍高かったことと良く一致する。以上のようなラドンに対するCNフィルムの温度特性から、連続観測を実施中



第16図 温度特性実験(ウラン鉱)

Fig. 16 Temperature dependence of track density in cellulose nitrate film experimentally determined using uranium ore as a source of radon.

の観測孔において地中温度の測定を行い、観測値に対し温度補正を行う必要がある。

7. 放射状トラックスポット

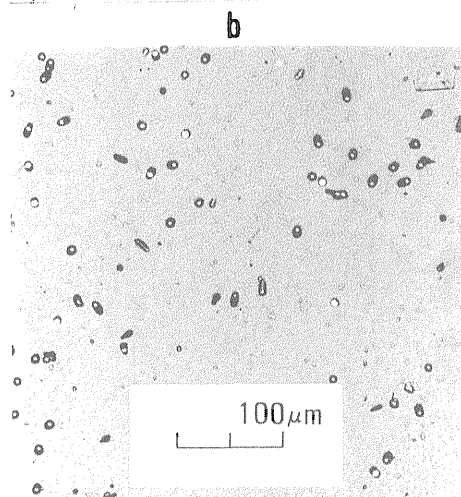
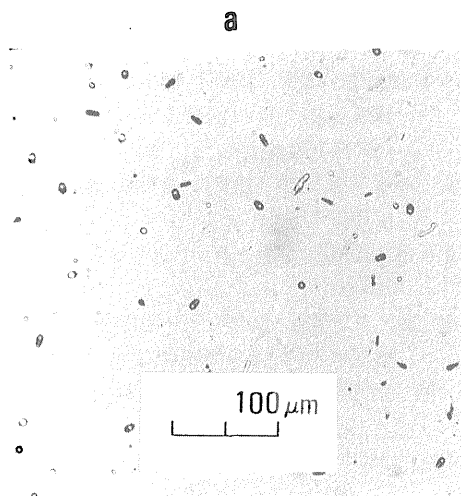
7.1 観測結果

連続観測を実施している各地の観測孔で、主として秋から冬と春の季節風の卓越時に、CNフィルム上に放射状トラックスポットが観察された。トラック分布の形状は、通常の場合は第17図a・bに示すようにアランダムであるが、放射状トラックスポットの場合は、第18図に示すような形状になる。これは阿寺断層上の観測孔No. 5から得られたもので放射状トラックスポットの直径は約100 μ mであり、一方トラックピットの直径は約7 μ mである。おたまじゃくし状を示すトラックピットは、その頭部から尾部にかけ角度をもって α 線が衝突したことを示している。また、白抜きのトラックピットは α 線が直角に衝突し硝酸セルローズを完全にエッチングしたことを示している。

7.2 ジルコンのオートラジオグラフィ実験

放射状トラックスポットの発生原因として、CNフィルム交換時に微細な放射性鉱物粒子の付着による汚染が考えられる。そこで、放射性鉱物のジルコン($ZrSiC_4$)をCNフィルムに置くオートラジオグラフィ実験を行い両者を比較した。

ジルコンは150-200メッシュ(105-74 μ m)に粉碎した領家帯の花崗岩質片麻岩から分離したものを使用した。ジルコンをCNフィルム上に24時間放置した後エッチングして、ジルコンが放射する α 線によって生じたトラック分布を第19図に示した。その分布形状は第18図とほとんど変わらず、また放射状トラックスポットの直径とトラックピットの直径はそれぞれ約100 μ mと約7



第17図 ラドン源としてウラン鉱を使用した曝露温度 4°C (a) と 25°C (b) のトラックスポット

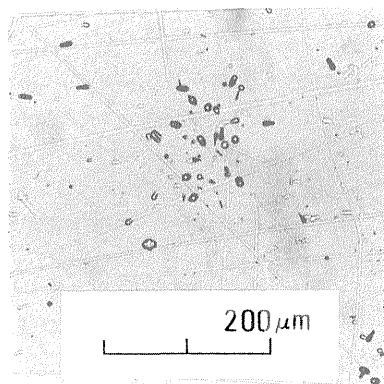
Fig. 17 Track pits observed after exposure to uranium ore as a source of radon for 7 days, at temperature 4°C (a) and 25°C (b).

μm とほとんど変わっていない。

7.3 まとめ

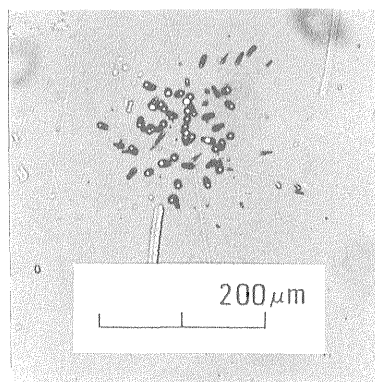
第18図と第19図から明らかなように、観測孔で得られた放射状トラックスポットの形状は、ジルコン結晶のオートラジオグラフィ実験のトラック分布の形状とほとんど変わらない。このことから放射状トラックスポットの発生原因は、CN フィルム交換時において、直径 0.1 mm 前後の微細な放射性鉱物粒子の付着による汚染であると断定した。

これらのことから連続観測では CN フィルム交換は十分注意して行う必要がある。なお連続観測におけるト



第18図 阿寺断層観測孔 No. 5 にあらわれた放射状トラックスポット

Fig. 18 Radial track spot detected in a film from the observation hole No. 5 on the Atera fault.



第19図 ジルコンのオートラジオグラフィ実験

Fig. 19 Radial track spot produced by radioautography test using a zircon crystal.

ラック密度では、この放射状トラックスポットは計数していない。

8. おわりに

CN フィルムによる地中ラドン測定方法に関する基本的な問題を実験によって解明することができた。また、地震予知のための地中ラドンの連続観測における年周変化と放射状トラックスポットの問題も、実験によって解明することができた。簡便・低経費の本方法で各地の活断層上において地中ラドン濃度を連続観測することにより、各断層周辺に起きる地震を予知する一手法として役だたせていきたい。

また、活断層以外に対象を広げ、ウラン探査・温泉探査・地回り調査などに本方法を適用させていきたい。

文 献

- 加藤 完(1983) 硝酸セルローズフィルムによる地震予知ラドン連続観測に現れた高密度トラックスポット. 放射線, vol. 10, p. 79-84.
- (1984) α トラック法によるラドン濃度測定上の問題点について. 地震学会講演予稿集, no. 2, p. 23.
- ・高橋 誠(1985) CN フィルム(Kodak LR 115 Type II)の温度および酸素濃度特性. 放射線, vol. 12, p. 113-122.
- ・———・吉川清志(1986) 長野県西部地震の前兆としての震央周辺による α トラック法によるラドン濃度異常. 地震, vol. 39, p. 47-55.
- 木村健二郎(1960) 放射線データブック. 地人書館, p. 70-135.
- 姜 栄浩・金 道聖(1985) 地中から湧出する Rn 濃度変化. 第22回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p. 162.
- 農林水産省・気象庁(1982) 農業気象資料第3号. p. 161-178.
- 阪上正信(1973) 粒子トラックとその応用. 南江堂, 198 p.
- 高橋 誠・吉川清志・加藤 完・池田喜代治(1984) 地下ガス観測上の問題点について. 地殻化学実験施設彙報, no. 3, p. 27-35.

(受付: 1987年4月6日; 受理: 1987年6月29日)