

26. 浅間山周辺における地下水のラドン濃度および 土中空気のラドンの放射能強度の分布 — 1977 年の測定 —

地震研究所 佐藤和郎
明治大学工学部 佐藤純
地震研究所 {高橋春男
細谷與七

(昭和 53 年 4 月 28 日受理)

1. 緒 言

浅間火山とその周辺地域の地下水の同位体地球化学的研究としては、すでに湧水中のラドン濃度の測定(野口, 1939), 重水濃度の測定(柴田他, 1936)がある。我々は今回 1977 年浅間山集中火山観測の一環として、同火山周辺に湧出する地下水及び温泉水中のラドン濃度の測定を行い、これと並行して同地域の土中空気に含まれるラドン濃度の観測を行った。

地下水中のラドン濃度は液体シンチレーションスペクトロメトリーにより、また土中空気中のラドンの放射能はニトロセルロース膜上に記録された α トラックの密度を計数する方法により測定した。ニトロセルロース- α トラック法は近年開発され、現在もなお利用面が広げられつつある実験技術の一つである。観測は予察的なものであり、その目的は三つに分けられる。第一は浅間火山周辺のラドン濃度の平均的なレベルを知ることであり、第二は、数ヶ月の比較的短期間中に現われるかも知れない濃度変動の大きさを知ることである。第三の目的は地下水および土中空気に含まれるラドン濃度の間に何らかの相関があるかどうかを調べることである。

2. 観測地点・方法・結果

ラドン濃度測定の対象とした湧水及び温泉水は、Fig. 1 に示す 8 地点の 10 泉源から採取した。これらの地下水について原則として約 2 ヶ月の間隔で 3 回観測を行った。

土中空気中のラドンの放射能の測定は、Fig. 1 にあわせて示した 7 地点で行った。ラドン濃度を観測している地下水の湧出点の近傍で土中空気のラドンを観測したのはこのうち 4 地点である。

(i) 地下水中的ラドン濃度の測定。試料水 300 ml を湧出点で採取し、これとトルエン 25 ml をふりまぜラドンをトルエン層に抽出する。トルエンには、あらかじめ 1 l につき PPO 4 g と dimethyl POPOP 0.1 g を溶解してシンチレータとした。抽出は二回行

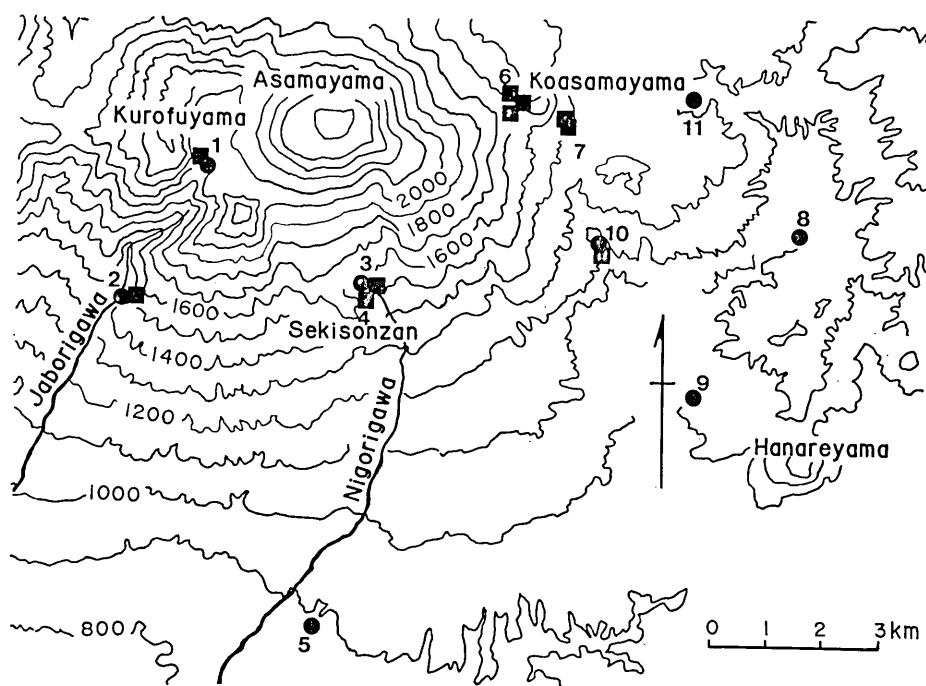


Fig. 1. Locations of the springs surveyed (circles). Observation points for soil-air radon are indicated by squares.

1. Jigokudani; 2. Ashinotaira; 3. Source of Nigorigawa; 4. Chinoike;
5. Nishikaruizawa Hot spring; 6. Koasamayama (W. foot); 7. the Asama Volcano Observatory;
8. Kose Hot Spring; 9. Hoshino Hot Spring;
10. Sengataki bore-hole; 11. Shiraito Falls.

う。抽出率を r とすると、最初の抽出でトルエン層に移行するラドンの量 A_1 は、試料水中のラドン濃度を C とすれば

$$A_1 = rC$$

であり、二度目の抽出で抽出されるラドンの量 A_2 は、抽出率に変化がないとすると

$$A_2 = r(1-r)C$$

である。従って、これから

$$r = 1 - A_2/A_1$$

が得られ、当該試料についての抽出率を求めることができる。今回の測定では多くの場合抽出率は約 80% であった。

トルエン層は 25 ml のガラスバイアルにとり密封し、ラドンの娘核種がラドンと放射平衡に達した後、液体シンチレーションスペクトロメータで全放射能を積分計数法により測

定する。娘核種が平衡に達すると全放射能強度はラドン単独の場合の5倍になること、および抽出時からの経過時間を考慮して試料中のラドン濃度を算出する。測定結果を Table 1 に示す。放射能測定の精度は10%程度である。

Table 1. Radon concentration in underground and hot-spring waters around Asama Volcano.

Locality	Radon concentration (10^{-10}Ci/l)				
	1975 Apr. 26	Jul. 31-Aug. 3	1977 Oct. 16-18	Nov. 27	Dec. 22-25
Jigokudani					
Spring 1		0.45	0.38		
Spring 2		0.57			
Ashinotaira		0.17	0.11		0.19
Source of Nigorigawa					
Main spring		0.09	0.10	0.09	0.08
Nishikaruizawa					
Hot spring			0.18		0.25
Kose Hot Spring					
Spring 1		0.43	0.32		0.57
Spring 2		0.48	0.42		0.38
Hoshino Hot Spring		0.26	0.18		0.25
Spring from Sengataki bore-hole		0.04	0.04		0.07
Shiraito Falls	0.18				

(ii) 土中空気中のラドンの放射能の測定。

ニトロセルロースの被膜をもつポリエスチルのフィルムに約4Mev以下の α 線が打ち込まれると、被膜は局所的に微小な損傷をうける。これをアルカリ溶液で処理すると顕微鏡で観察可能な程度の大きさのトラックが形成される。今回の観測ではFig. 2に模式的に示すように、プラスチック製のコップを利用し、これにフィルムを装着したものを観測地点の約30cmの深さの土中に埋込み、一定期間放置した。コップ内の空気は土中空気と置換され、フィルムは土中空気に曝されることになる。周囲の土壤から放射される α 線はコップの壁により遮られる。コップの開口部が接する土壤面からの α 線がコップ内の空気層により阻止され、フィルム面に達しない

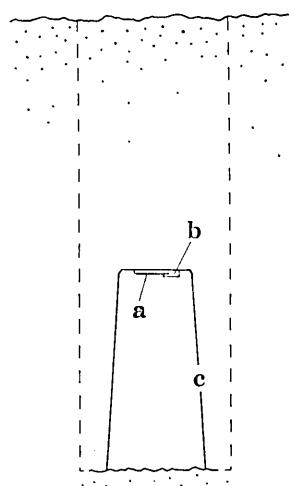


Fig. 2. Measurement of α -radioactivity of soil-air radon. a. nitrocellulose film; b. plastic clip; c. plastic cup.

ようにコップの大きさは選定されている。コップ内の空気中に均一に混入しているラドンの α 線は一定の厚みの空気により減速され、フィルム面ではその一定のフラクションが被膜上に記録を残すことになるので、トラックの密度は土中空気中のラドン濃度と比例関係にあると考えてよい。

埋設したフィルムは適当な期間放置した後に回収してアルカリ溶液によるエッティングを行い、生成したトラックを顕微鏡下で計数し密度を求める。使用したフィルム(Kodak LR 115, Type II; ニトロセルロース層厚: 13μ)のエッティングに際しては、原則としてそのバッチ毎に最適条件を決める必要がある。今回はすべて一定量の α 線源で照射したフィルムをモニターとして用い、これと共に10% NaOH 溶液中に温度 $60 \pm 1^\circ$ で90分間静置(無攪拌)する方法をとった。

Table 2. Alpha radioactivity measurement of soil-air radon with nitrocellulose (Kodak LR-115 Type II) films.

Location	Period of exposure	Track density* (cm $^{-2} \cdot d^{-1}$)	
Ground of Asama Volcano Observatory**			
Site 1	May 11-May 21	9.0 ± 1.6	
	May 21-Jul. 15	9.7 ± 0.9	
Site 2	Jul. 15-Dec. 20	3.7 ± 0.3	
	May 21-Jul. 15	4.5 ± 0.5	
W. Foot of Koasamayama	Jul. 15-Dec. 20	1.8 ± 0.2	
	Site 1	May 21-Jul. 15	7.4 ± 0.7
		Jul. 15-Aug. 1	29.8 ± 2.0
	Site 2	May 21-Jul. 15	21.7 ± 1.3
		Jul. 15-Aug. 1	73.0 ± 2.8
	Site 3	Aug. 1-Dec. 20	17.0 ± 0.8
		May 21-Jul. 15	5.9 ± 0.7
		Jul. 15-Aug. 1	30.1 ± 2.0
		Aug. 1-Dec. 20	2.7 ± 0.2
		Jul. 15-Aug. 3	63.8 ± 3.1
Sengataki, near bore-hole spring	Aug. 3-Oct. 17	123.7 ± 5.8	
	Oct. 17-Nov. 27	26.1 ± 0.9	
	Jul. 15-Aug. 3	7.6 ± 0.9	
Source of Nigorigawa, near main spring	Jul. 14-Aug. 2	24.2 ± 1.6	
	Aug. 2-Oct. 16	60.1 ± 2.9	
Chinoike, near N. border of pond	Aug. 2-Oct. 16	64.3 ± 3.9	
	Jul. 15-Aug. 3	7.6 ± 0.9	
Ashinotaira, near spring	Jul. 14-Aug. 2	24.2 ± 1.6	
	Aug. 2-Oct. 16	60.1 ± 2.9	
Jigokudani	Aug. 2-Oct. 16	64.3 ± 3.9	

* Corrected against the track density of monitor films. Errors cited are estimated from counting statistics.

** Observations with cups placed in pre-installed earthen pipes.

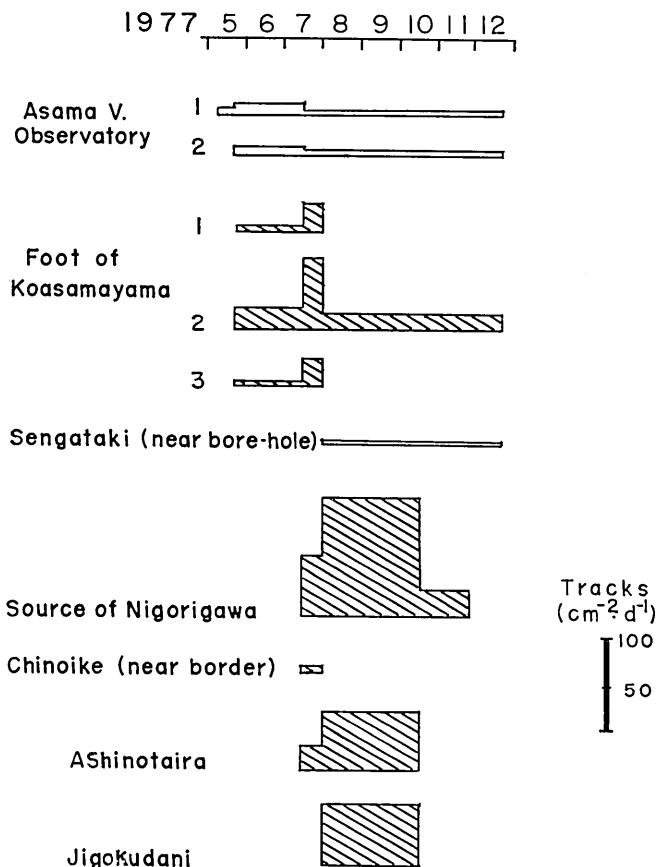


Fig. 3. Alpha radioactivity of soil-air radon around the Asama Volcano measured with α -track (nitrocellulose) films. The results for the ground of the Asama Volcano Observatory were obtained using pre-installed pipes (see text).

ニトロセルロースフィルム法によるラドンの放射能の測定からラドン濃度の絶対値を求ることにはやゝ困難はあるが、相対的な比較やラドン濃度の変動の観測には適している。また埋設時から回収時までの期間についての積算値が得られる点に特徴があり、液体シンチレーションスペクトロメトリーによる地下水中のラドン濃度の観測と相補的な方法である。測定結果を Table 2 および Fig. 3 に示す。これらのうち、浅間火山観測所敷地内の 2 地点で得た値は、すでに埋設してある土管を試験的に利用したものであり、千ヶ滝ボーリング孔跡における結果はフィルム埋設に適さない極めて湿潤な条件下で得たものであって、 α 線検出効率は他の地点に比べてやゝ低いものと判断される。

3. 考 察

地下水中的ラドン濃度は $0.6 \times 10^{-10} \text{ Ci/l}$ 以下であり、この濃度は通常の地下水中的ラドン濃度としては低濃度の部類に属する。浅間火山噴出物のラジウム濃度は一般に低く

(SATO and SATO, 1977), これを反映しているものと一応は考えられるが, 後述するよう両者の濃度分布には相関は見られない。一方, 観測期間中におけるラドン濃度の変動は小さく, この測定からは有意の変化とはいゝ難い。

全般的な傾向として, 浅間山東方の小瀬温泉, 星野温泉のラドン濃度は浅間山に近接している濁川源泉, 芦ノ平, 千ヶ滝ボーリング孔湧水や西軽井沢温泉に比べてやゝ高い値を示している。噴気を伴っている地帯である地獄谷の湧水のラドン濃度は高く, 小瀬温泉と同程度である。

フィルムによる土中空気のラドン放射能の測定結果は, 観測回数も少なく, 観測期間も不揃いであるためもあって, 本質的なばらつきの大きさは定められないが, 全体として見た場合やゝ系統的なトラック密度の差があるように見える。即ち, 土中空気のラドン放射能強度は, 浅間山の南西側が東側に比べて高いという傾向が認められる。また 1977 年 7 月～10 月の期間の平均的なトラック密度はその前後の期間に比べてやゝ大きい。地獄谷における観測では湧水中のラドン濃度の分布に見られたような特に高い値は得られていない。濁川源泉では湧水中的ラドン濃度は浅間山周辺でも低い部類に属するが, その付近の土中空気のラドンの放射能は観測されたどの地点よりも高い値を示している。

地下水中のラドン濃度の分布と土中空気のラドンの放射能強度の分布との間には明確な相関は見られないが, 両者共 それぞれ 浅間山における地下水源の高度分布 (MINAKAMI, 1987) とある種の相関を示すように思われる。地下水の水源高度は西から東に向って低くなる傾向があるが, 今回測定した地下水のうち温泉水を別にするとラドン濃度は最も西寄りの地獄谷湧水で高く, これより東寄りの濁川源泉や千ヶ滝ボーリング孔湧水さらには最も東側の白糸ノ滝ではかなり低くなっている。また土中空気のラドンの放射能は濁川源泉, 地獄谷, 芦ノ平など, 地下帶水層に近いと思われる地点では高く, 千ヶ滝や小浅間山周辺のように, 浅間火山前掛山期の噴出物が厚く堆積する地域の地表に位置し, 帯水層に遠いと思われる地点では低い値となっている。

浅間山とその周辺における γ 線の放射能強度分布 (佐藤他, 1978) と比較すると, γ 線強度が各時代の噴出物中の放射性核種の分布 (SATO and SATO, 1977) を反映して, 全体として西側で低く東側で高くなっているのに対し, 地下水及び土中空気のラドンにはそのような傾向は見られない。例えばラドンの直接の親核種であるラジウム濃度では, 西寄りの黒斑山の溶岩の値はこれより東のより新しい噴出物の平均的な値の $1/3$ またはそれ以下であるのに, 黒斑山火口縁を横切る谷である地獄谷の土中空気ラドン放射能は, これより東の濁川源泉や小浅間山麓の土中空気と大差のない値を示している。

以上の観察事実から, 地下水及び土中空気のラドン濃度は, 観測地点ないしはその周囲の岩石に含まれる親核種の濃度よりもむしろこれらの岩石の変朽の程度や透水性といった要因に支配されている可能性が考えられる。岩石中に生成したラドンが離れた地点例えば別の噴出物の分布する地域に移動することもあり得ないことではないが, ラドンの半減期 (約 3.8 日) などから見て, これが効果的に行われるためにはおそらく地下水による輸送が必要であろう。浅間山を中心とした地下水の水収支の研究が今後の課題と思われる。

謝辞 浅間火山観測所の行田紀也, 小山悦郎の両氏には種々御助力をいたゞいた。厚く

感謝の意を表する。ラドンの放射能の測定は東京大学 アイソトープ 総合センターで行った。

文 献

- MINAKAMI, T. (1987) The Sengataki thermal spring and underground mineral water at the foot of Volcano Asama. *Bull. Earthq. Res. Inst.* **15**, 134-141.
 野口喜三雄 (1939) 本邦火山の地球化学的研究(其十七) 浅間火山付近湧出水のラドン含量測定(第一報). 日本化学会誌 **60**, 7-17.
 SATO, J. and SATO, K. (1977) Gamma-ray spectrometric characterization of volcanic magmas. *Geochem. J.* **11**, 261-266.
 佐藤和郎・荒牧重雄・佐藤純 (1978) 浅間火山におけるγ線の放射能強度分布. 地震研究所彙報 **53**, 295-304.
 柴田雄次・野口喜三雄・金子 修 (1936) 本邦火山の地球化学的研究(其九) 浅間火山付近湧出水の重水濃度測定(第一報) 日本化学会誌 **58**, 1013-1024.

26. Distribution of Underground-Water and Soil-Air Radon Concentrations around the Asama Volcano.

—Observations in 1977—

By Kazuo SATO,¹⁾ Jun SATO,²⁾ Haruo TAKAHASHI¹⁾
 and Yoshichi HOSOYA¹⁾

Radon concentration in underground and hot-spring waters around Mt. Asama is of the order of 10^{-11}Ci/l , varying up to $6 \times 10^{-11}\text{Ci/l}$. The spatial distribution of soil-air radon obtained with the α -track film (nitrocellulose) technique is also uneven but shows a pattern somewhat different from that of the underground-water radon. Both the underground-water and soil-air radon concentrations appear to show no positive correlation with the distribution of radioactivity in volcanic rocks occurring in the field.

1) Earthquake Research Institute.

2) Faculty of Engineering, Meiji University.