

9. 浅間火山における *in-situ* γ 線ラジオメトリー

明治大学工学部 佐藤 純
地震研究所 {佐藤 和郎
 荒牧 重雄

(昭和53年1月31日受理)

1. 緒言

従来より岩石の分析には、化学実験室における湿式分析が主流であるが、近年の放射線測定器類の発達により、U, Thなどの放射性元素はもとより、Kについても γ 線ラジオメトリーが有効であることが広く知られるに至った。例えば、金谷らは¹⁾、5"×5"φ NaI(Tl) 検出器を用いたシンチレーションスペクトロメータにより、0.5~1 kgの岩石標本を用い、数多くの花崗岩の試料のK, U, Thの含有量を求めている。また、含有される放射性核種の濃度が低い火山岩については、佐藤らは²⁾、十分な遮蔽をほどこしたGe(Li) γ 線スペクトロメータを用い、約100 gの岩石標本で、K, U, Thの含有量を測定することに成功している。しかしながら、このような非破壊のラジオメトリーを行う場合でも、測定室に岩石標本を持ち帰り、通常の γ 線スペクトロメータで測定することになるので、野外で調査を行いながら観測結果を検討することができないうえに、限られた地点で採取された標本についての情報しか得られない。

一方、広い地域を対象とした環境放射能の調査では、簡便な方法としては、市販のサーベーターを用いる線量率の測定が行われるが、これを野外で行うと、主として付近の岩石や、ある場合には、フォールアウトなどに由来すると考えられる放射能が観測される。この測定では、放射線のほぼ全エネルギー領域をまとめて測定するので、放射線のスペクトルは観測されず、特定の核種の分布等に関する情報は直接的には得られない。ウラン探鉱のような強放射能地点の探査への適用は、むしろ特別な場合といえる。

上に述べた二つの測定法を組合わせて、野外における測定で、Kなどの含有量が推定できる方式が確立されれば、露頭の調査等に有効であると考えられる。

最近、Ge(Li)を検出器とした高分解能 γ 線スペクトロメータを用いる野外調査が金沢大学理学部低レベル放射能実験施設のグループにより始められ、いくつかの観測結果が報告されているが³⁾、現在のところまだその適用可能な条件は限られている。

野外調査における簡便な γ 線ラジオメトリーの可能性を検討し、それから得られる情報の内容を知るために、NaI(Tl)を検出器としたシンチレーションスペクトロメータを使用して、浅間山およびその周辺の火山岩地帯において観測を行った。この検出器は、Ge(Li)検出器に比すれば分解能は著しく劣るが、検出効率が大きく、取り扱いが容易であるので、野外調査に際しては適用範囲が広い。今回の観測は、予備的なもので、測定室にお

ける Ge(Li) γ 線スペクトロメータにより対応する 岩石標本について得られている測定結果と野外における観測結果を比較することを第1の目的としている。さらに、サーベータあるいはそれに類する可搬の放射線測定器による簡便な野外調査により得られる観測結果を評価する基礎的データを得ることを第2の目的としている。実施期間は、1977年9月26日から9月28日までである。

2. 測定法と観測結果

測定系を観測車に搭載し目的の地点まで移動する。測定車は、トヨタのマイクロバス“Coaster”を改造したもので、AC100V電源が使用出来る仕様となっている(Figs. 7, 8)。前置増幅器を内蔵した5"×5"φ NaI(Tl) 検出器を30 m ケーブルにより測定車から引き出し、目的とする露頭へ密着させる方式をとった。検出器を保持するために木枠等を取り付け、露頭の立地条件によっては、現地で木材などにより適宜検出器を固定させた。検出器の露頭に接する部分は、プラスチック板で覆い、露頭面の鋭い突起部などから検出器を保護した。直射日光など外界から検出器が受ける温度の大きな変動を緩和するために白布や傘などで覆いをかけた。

5"×5"φ NaI(Tl) 検出器による火山岩試料のシンチレーションスペクトルの例を Fig. 1

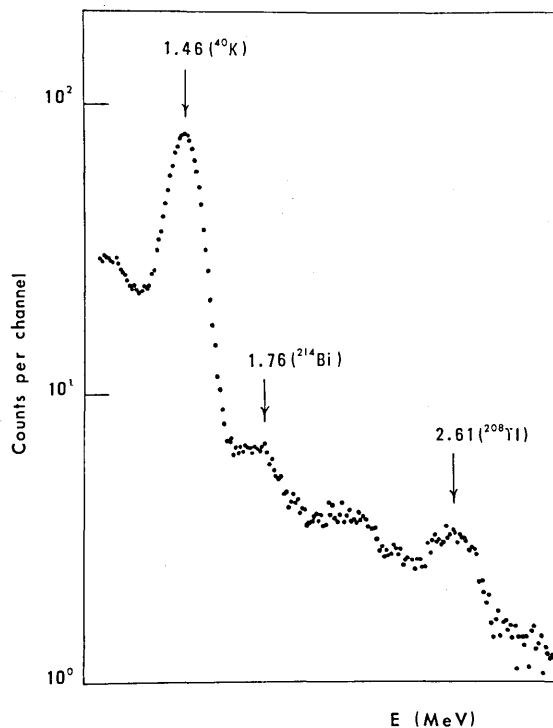


Fig. 1. A part of a gamma-ray spectrum of a volcanic rock observed by a 5"×5"φ NaI(Tl) scintillation spectrometer.

に示す. Fig. 1 には, 今回の測定に用いた γ 線の光電ピークの現われる領域を示してある. 測定は, シングルチャンネル波高分析器による測定とディスクリミネータを用いた全計数の測定の 2 系統で同時に行った. シングルチャンネルでの測定では, K に対しては ^{40}K の 1.46 MeV, U 系列の放射能に対しては ^{214}Bi の 1.76 MeV, Th 系列の放射能に対しては ^{208}Tl の 2.61 MeV の γ 線の光電ピークにウインドーを設定して測定した(それぞれを「K チャンネル」, 「U チャンネル」, 「Th チャンネル」と呼ぶ). 全計数の測定では, ディスクリミネータのレベル(ベースライン)を 0.1 MeV, 0.5 MeV, 1.0 MeV に設定した. この測定条件で各露頭において, K, U, Th の 3 チャンネル及び全計数の測定をそれぞれ 10 分間ずつ行った.

この測定法におけるバックグラウンドは宇宙線に由来するものと考えてよい. そこで, バックグラウンドの計数率は, 検出器周辺にある放射性核種の濃度が火山岩に比べて著しく小さいような環境で観測される計数率にほぼ等しいものと推定した. 今回の測定では, 軽井沢町ゆうすげ温泉の池(水深約 1 m)の上にかかっている鉄製の橋(水面上約 3 m)の上に検出器を設置し, 露頭で行ったのと同様の測定を行い, 得られた計数値をもって全測定を通じてのバックグラウンドとした(Fig. 9). この条件で得られたバックグラウンドの計数値を Table 1 に示す.

Table 1. Background counting rate used in the present measurement.*

Single channel measurement			
Channel	Energy (MeV)	Window (MeV)	Counts / 10 min.
K	1.46	1.35—1.60	2567
U	1.76	1.65—1.95	965
Th	2.61	2.45—2.75	319
Integral measurement			
Bias level (MeV)			Counts/10 min
0.1			100472
0.5			29531
1.0			15112

* measured on the steel bridge over the pond of Yusuge hot-springs, Karuizawa-machi.

シングルチャンネルにより各 γ 線の光電ピークを計数する場合, 高エネルギー側に他の γ 線があると, その γ 線に由来するコンプトン電子等の寄与による計数がつけ加えられる. A, B, C の 3 成分の γ 線がウインドー i で計数されるとき, 観測される計数値 $[I]_i$ は次式で与えられる.

$$[I]_i = a_i[A] + b_i[B] + c_i[C]$$

ここで, $[A]$, $[B]$, $[C]$ は, それぞれの成分 γ 線に対して設定されたウインドーでの正

味の計数値で、 a_i , b_i , c_i は、標準試料等を用いた測定により、実験的に求められたコンプトン電子等による寄与の割合を表わす係数である。

今回の測定の場合は、U 系列核種の含有量が小さく、K チャネルに寄与する割合は無視出来るとして、下のように実験式を与え、以後の解析に用いた。

$$[K]_K = [K] + 0.16 [Th]$$

$$[U]_U = [U] + 0.35 [Th]$$

$$[Th]_{Th} = [Th]$$

このような評価法による観測結果を Table 2 に示す。

露頭を無限平面と仮定できた場合には、無限厚の露頭の表面で観測される計数率 A (cps) は、露頭を構成する岩石の比放射能 a (dps/g), 岩石の見かけの密度 ρ (g/cm³) および岩石の見かけの線吸収係数 μ (cm⁻¹) により次式で与えられる。

$$A = \rho a \int_0^{\infty} \epsilon \cdot G(r, R) \cdot 2\pi r^2 \cdot e^{-\mu r} dr \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 r は、検出器と線源 (放射性核種) との距離である。 $G(r, R)$ は、 R を検出器の断面の半径としたとき、距離 r にある線源の検出器に対する幾何学的効率で次式で与えられる。

$$G(r, R) = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{r}{\sqrt{r^2 + R^2}} \right]$$

ϵ は、観測している γ 線が、検出器に入射したとき、それを検出する検出効率と、観測している核種がその γ 線を放出する分岐比との積である。この測定の場合は、同一 γ 線を計測して同一核種の濃度比を観測するので ϵ は定数として取扱うことが出来る。

ρ が相互にほぼ等しい溶岩露頭あるいは軽石露頭における観測値相互の比較を行う場合は、 μ の差異は小さいから (1) 式の積分部分は相互にほぼ等しくなると考えられるので、

$$A \propto \rho a \quad \therefore a \propto A$$

と近似することができる。

軽石の露頭は、溶岩の露頭に比べ見かけの密度 ρ が 1/2~1/3 で著しく小さい。さらに、雨水などに由来する間げき水の含量も大きく、「測定試料」としての条件は、溶岩露頭と著しく異なる。この二種の露頭で得られる観測値を直接比較することの出来る近似を行うのは困難であるので、経験的に係数を定めなければならない。

測定された前掛山ステージに属する噴出物の組成はほぼ一様であることが知られており、^{4,5)} 弘安年間及び天明年間の活動はこのステージに属する。天明の活動における噴出物は、ほぼ同一の組成であるうえに、降下軽石、火砕流、溶岩流と形態も多様である。軽石堆積物の露頭と溶岩の露頭とで得られる観測値を比較する係数を推定するには、この系はよい組合せの一つであると考えられる。天明降下軽石の露頭で得られた観測値を、他の天明の噴出物の露頭および追分火砕流の露頭で得られた観測値が示す傾向に適合するように (Fig. 2~4) 次に記す係数 J を仮りに定めた。

Table 2. Observed counting rates (counts/10 min.) for outcrops in Asama volcano.

Rock unit	Eruption	Locality	Bias level			Channel		
			0.1 Mev	0.5 MeV	1.0 MeV	K	U	Th
Kurofu lava flow (1) (2) (3)	prehistoric	a	58.3×10^3	24.3×10^3	12.2×10^3	4114 ± 98	nd	331 ± 22
	prehistoric	b	50.7	20.9	10.3	4465 ± 100	nd	354 ± 23
	prehistoric	c	50.9	21.6	11.9	5010 ± 103	nd	338 ± 22
Pumice flow-1 (PI)	11000 BP	d	170.7	81.0	25.6	7301 ± 115	205 ± 50	952 ± 28
Oiwake pyroclastic flow	1281 AD	e	173.3	56.6	26.7	7842 ± 118	311 ± 51	928 ± 28
Temmei pumice fall	1783 AD	f	138.5	43.9	21.4	5764 ± 108	332 ± 51	724 ± 26
Agatsuma pyroclastic flow	1783 AD	g	188.9	62.3	29.7	9235 ± 125	768 ± 56	1081 ± 36
Kambara pyroclastic flow	1783 AD	h	162.9	56.6	26.6	8216 ± 120	496 ± 53	944 ± 28
Ontoshidashi lava flow (1)	1783 AD	i	206.9	66.7	29.8	9658 ± 126	921 ± 57	742 ± 27
(2)	1783 AD	j	237.3	76.8	33.6	8841 ± 122	531 ± 54	1046 ± 29

nd; not detected

- a 黒斑, 牙グループ(?) , 溶岩流のち密な部分 (Fig. 10). 高峯有料道路, 高度 1,550 m.
- b 黒斑, 牙グループ(?) , 溶岩流の下部スコリア質の部分 (Fig. 11). a と同じ溶岩流で, a 地点より東へ約 10 m 離れた地点.
- c 黒斑, 牙グループ(?) , 溶岩流のち密な部分 (Fig. 12). 高峯有料道路, 高度 1,510 m のヘアピンカーブより西へ分岐する林道, 分岐点より西へ約 50 m.
- d 第1軽石流堆積物(非溶結). 小諸市四ツ谷, 国道 18 号線ぞい, 「やまへい」ドライブイン西端の崖.
- e 追分火砕流堆積物(非溶結). 国鉄信濃追分駅南西 1,000 m, 森泉郷
- f 入口, 車道ワキ切通し. 天明降下軽石堆積物 (非溶結). 軽井沢町長倉万山望. 駐車場北側崖.
- g 吾妻火砕流堆積物(中程度に溶結). 群馬県吾妻郡嬭恋村鬼押出園, レストラン「アゼリア」南側のロックガーデン.
- h 鎌原火砕流の本質岩塊 (20×10×3 m). 群馬県吾妻郡嬭恋村高羽辰沢上流細原.
- i 鬼押出溶岩流 (表面の塊状岩塊が集合している部分). 鬼押出し園岩窟ホール西方 100 m.
- j 同上. 鬼押出し園, 観音堂西方 200 m.

$$J = \frac{\text{溶岩の露頭で得られる計数値}}{\text{軽石の露頭で得られる計数値}}$$

ここで,

$$\begin{cases} J(\text{K}; 1.46 \text{ MeV}) = 1.6 \\ J(\text{U}; 1.76 \text{ MeV}) = J(\text{Th}; 2.61 \text{ MeV}) \\ = 2.0 \end{cases}$$

である.

この係数 J は, 追分火砕堆積物 (軽石) の露頭で得られた観測値に適用しても不合理な値を与えないことがわかった (Fig. 2~4).

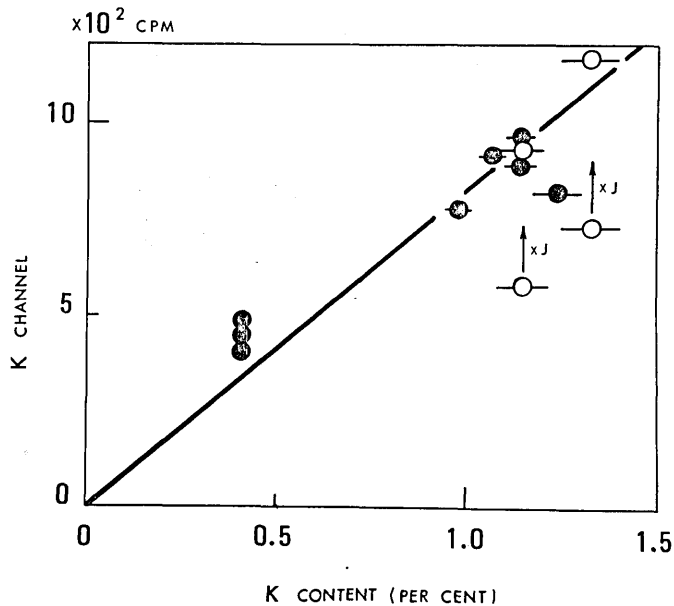


Fig. 2. A comparison of observed counting rates in K channel at outcrops with K contents (in %) of specimens from respective flow units. J: Correction factor for the degree of consolidation. Data for outcrops of low bulk density (open circles) are corrected by multiplying by the factor J (see text).

3. 考 察

(i) 一般に火山岩に含まれる放射性核種のうちでこの測定系により観測される放射能の強度が最も大きいのは ^{40}K である. 今回の観測で得られた K チャンネルの計数値と, 同じ噴出物層から採取された標本岩石ですでに佐藤ら²⁾により得られている K 含有量の値とを比較する (Fig. 2). Fig. 2 の横軸は, 岩石標本について得られた K の含有量(%), たて軸は観測された計数率 (10^2 counts/分) である. 観測値に多少のバラツキは見られる

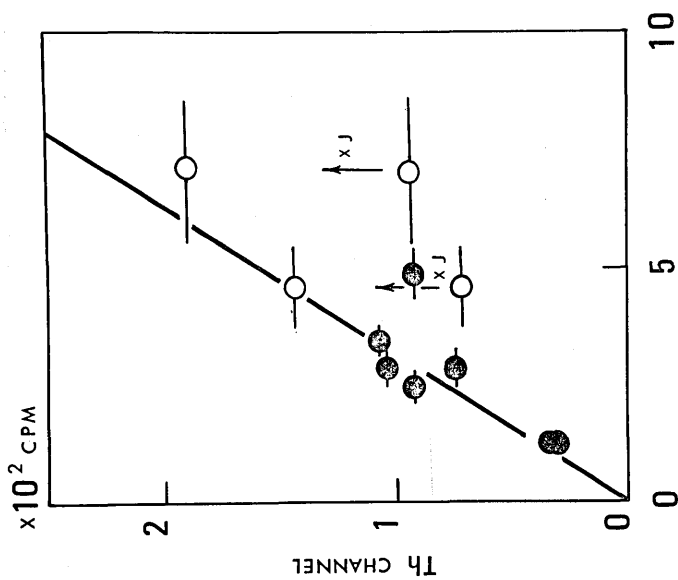


Fig. 3. A comparison of observed counting rates in Th channel at outcrops with the contents of Th series nuclides (in 10^{-13} Ci/g) of specimens from respective flow units. J: Correction factor for the degree of consolidation. Data for outcrops of low bulk density (open circles) are corrected by multiplying by the factor J (see text).

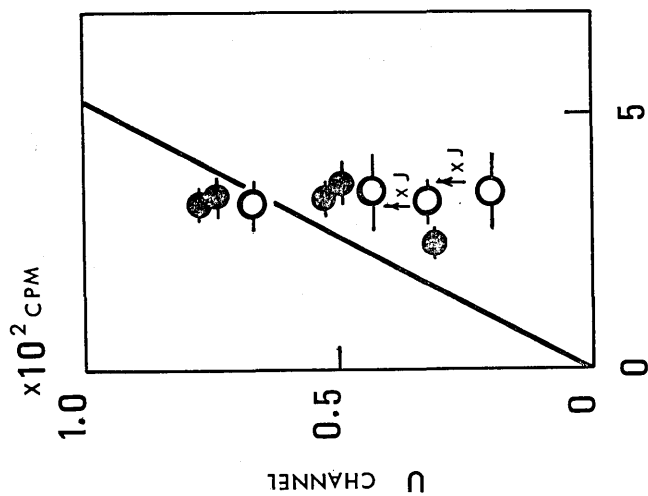


Fig. 4. A comparison of observed counting rates in U channel at outcrops with the contents of U series nuclides (in 10^{-13} Ci/g) of specimens from respective flow units. J: Correction factor for the degree of consolidation. Data for outcrops of low bulk density (open circles) are corrected by multiplying by the factor J (see text).

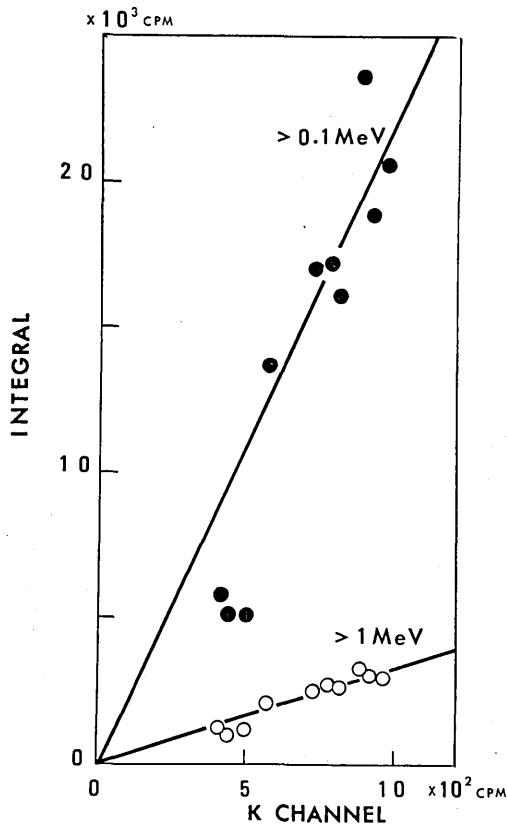


Fig. 5. Correlation between integral counting rates and counting rates in K channel.

が、総じて原点を通る直線上にのり、バラツキの程度は $\pm 10\%$ の範囲に入っている。今回観測を行った黒斑山溶岩流の露頭については、すでに測定室で測定された標本を採取した露頭に比べ、若干 K の含有量の大きい岩石から構成されていると考えられるので、観測値 3 点は、 $K=0.6\sim 0.7(\%)$ ⁴⁾ の位置に来るものと判断される。

この観測結果を見る限りでは、この方式により約 10% の誤差で一つの露頭を構成している岩石の K の含有量を推定することが可能であろうと考えられる。

(ii) Th 系列核種の含有量に関して K の場合と同様の比較を行う (Fig. 3)。Th 系列核種の放射能強度は ^{40}K にくらべて小さいが、K の場合と同様のよい直線性が得られる。これは観測している ^{208}Tl の γ 線のエネルギー (2.61 MeV) が、共存する他の核種からの γ 線のエネルギーよりも大きいので、共存核種の含有量に大きな差があっても、それらからの γ 線の影響をうける程度が小さいからである。

U 系列核種の場合を Fig. 4 に示すが、観測値のバラツキが大きく、K や Th 系列核種の場合に見られたようなよい直線性は見られない。 ^{214}Bi の 1.76 MeV の γ 線の強度が小さいうえに ^{40}K の大きなスペクトル線のすそにかかっている、K の含有量の差異によ

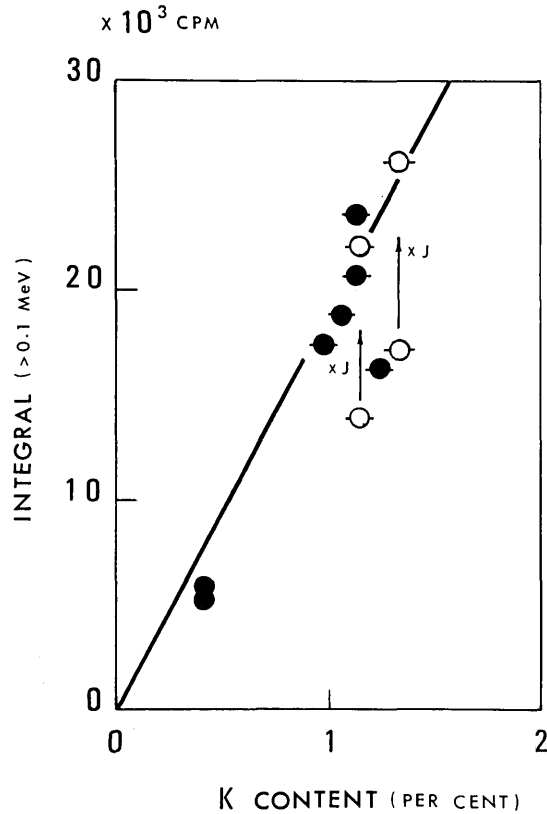


Fig. 6. Correlation between integral counting rates ($E > 0.1$ MeV) at outcrops and K content (in %) of specimens from respective flow units.

る影響を大きく受け、また ^{208}Tl の γ 線による影響も大きく、それらの補正に伴う不確かさが観測値に対して相対的に大きくなっているためと考えられる。

(iii) ディスクリミネータのレベルを 0.1 MeV, 1.0 MeV としたときの全計数率の値と K チャンネルの計数率との比較を Fig. 5 に示す。全計数率と K チャンネルの計数率の間には比較的良好な直線性が見られている。

一般に火山岩では、K に由来する放射能の強度が大きく、これは U 系列及び Th 系列の全核種からの放射能の強度と同程度である。また K の含有量の大きい火山岩では、U 系列及び Th 系列核種の含有量も大きく、一つの火山からの噴出物については、K の含有量に対する U 系列及び Th 系列核種の含有量の比は大きくは変化しない²⁾ ので、Fig. 5 に示される直線性が現われるものと考えられる。

Fig. 2 と Fig. 5 で得られた結果を総合するとディスクリミネータを低エネルギーの位置に設定して、露頭で観測される全計数率と K の含有量との相関々係を求めることが出来る。すでに述べた係数 J を軽石の露頭の観測値に適用すると Fig. 6 に示す良好な直線性

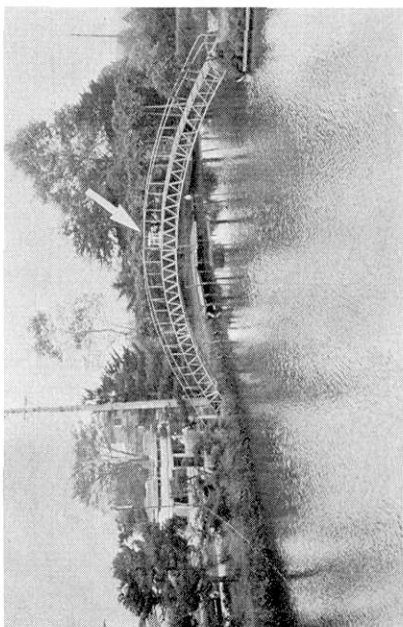


Fig. 9. Background measurement. The detector on the top of a steel bridge is shown by an arrow.

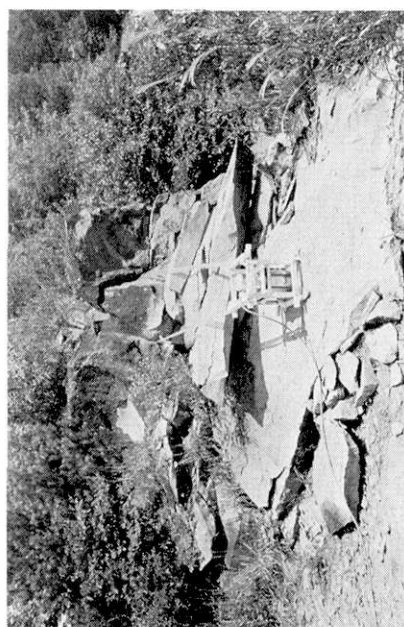


Fig. 10. Detector sitting on the lava flow of Kurofu (locality a in Table 2).

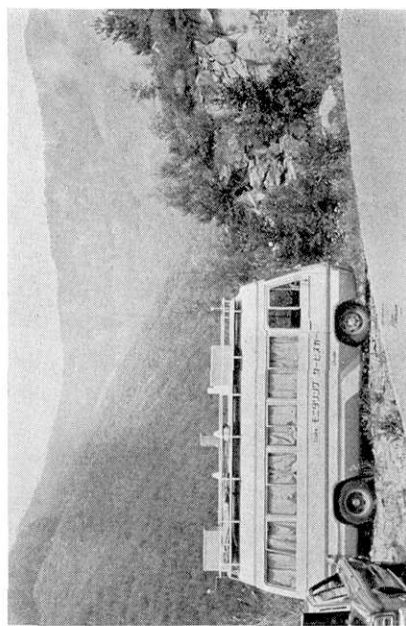


Fig. 7. Instrument van at locality a (Table 2, Kurofu lava flow).



Fig. 8. Single channel pulse height analyzers mounted in the van.



Fig. 13. Pumice flow deposit. Locality d.

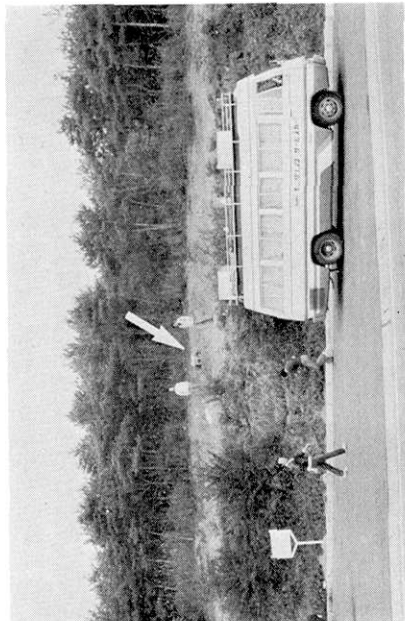


Fig. 14. Pumice fall deposit of the 1783 activity. Locality f (Manzambo). Detector shown by an arrow.



Fig. 11. Detector set at the clinkery basal part of the Kurofu lava flow. Locality b.



Fig. 12. Locality c. Kurofu lava flow.

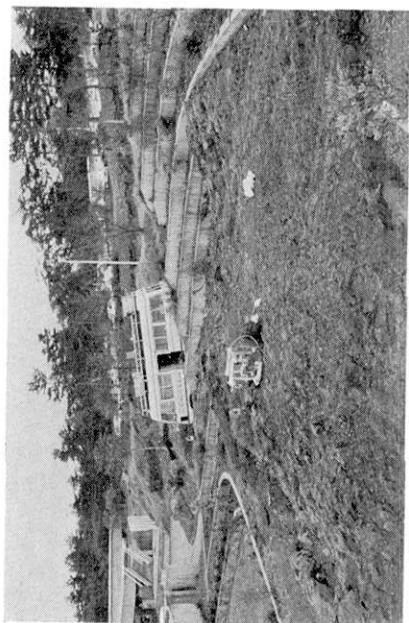


Fig. 15. Agatsuma pyroclastic flow deposit, 1783, weakly welded. Locality g, in front of the restaurant "Azeria".

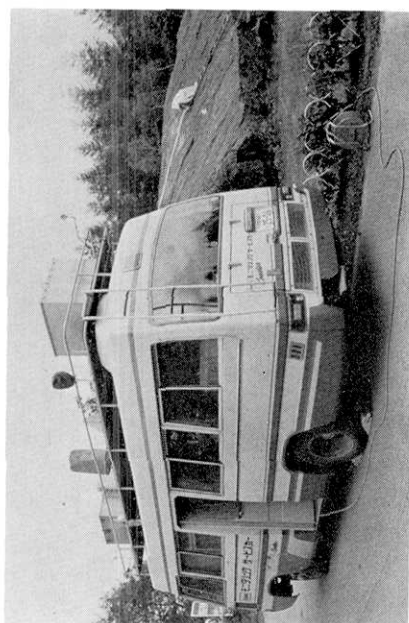


Fig. 16. Essential block of the Kambara pyroclastic flow of the 1783 activity. The detector covered by a white sheet as a shade.



Fig. 17. Onioshidashi lava flow at locality i.



Fig. 18. Onioshidashi lava flow at locality j. Detector in the center.

が得られる。この直線性の存在は、全計数率を観測するだけで、露頭の K 含有量を推定出来る可能性を示していると考えられる。すなわち一つの火山を調査する場合、野外調査に先立って少数の岩石標本を入手し、それらを実験室で精度よく測定することが出来れば、その測定結果と野外調査の際に得られる観測値との比較を行って、たとえそれが未調査の火山であっても、サーベーターあるいはそれに類する簡便な可搬の放射線測定器により K の分布を調査することが可能であろう。

謝 辞

5"×5" ϕ NaI(Tl) 検出器は、住鉱コンサルタントから拝借し、測定車を含む放射線測定のための電子機器一式は、アロカ (株) の御好意により利用させていただいた。アロカ (株) 志賀正史氏には、今回の測定全般にわたって御協力をいただいた。同氏をはじめ御関係の方々に記して謝意を表す次第である。研究費の一部は、1977 年度浅間山集中観測費によった。

文 献

- 1) KANAYA, Hiroshi and ISHIHARA, Shunso (1975): Uranium, thorium, and potassium contents of Japanese granitic rocks: a summary up to 1972. The Natural Radiation Environment II, vol. II (ed. by ADAMS, J. A. S., et al.), 517-533, U. S. Energy Research and Development Admin., U. S. A.
- 2) SATO, Jun and SATO, Kazuo (1977); Gamma-ray spectrometric characterization of volcanic magmas, *Geochem. J.* **11**, 261-266.
- 3) 阪上正信, 小村和久 (1977); 環境放射能とその線量率の *In-Situ* γ spectrometry による研究成果, KURRI-TR-155.
- 4) ARAMAKI, Shigeo (1963): Geology of Asama volcano, *J. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, sec. II, **19**, p. 229-443.
- 5) 荒牧重雄 (1968); 浅間火山の地質, 地団研専報, **14**, 45 p.

9. *An Application of in-situ Gamma-Ray Radiometry to the Asama Volcano.*

By Jun SATO,

Department of Industrial Chemistry, Faculty of Engineering, Meiji University,

Kazuo SATO and Shigeo ARAMAKI,
Earthquake Research Institute.

The applicability of *in-situ* gamma-ray radiometry was tested. The survey was made on several rock units of Asama volcano, using a 5"×5" ϕ NaI (TI) scintillation detector coupled with a single channel pulse height analyzer. Good correlation exists between the

observed counting rates for each outcrop and the contents of K, U- and Th-series nuclides in the corresponding specimens determined by the Ge(Li) gamma-ray spectrometry in the laboratory. The feasibility of *in-situ* radiometric estimation of K contents in the field is evaluated. A portable radiation survey instrument may also be useful for K distribution mapping in current field survey.