

第19回中国核爆発実験による強放射能粒子の Ge(Li) γ 線スペクトロメトリーによる分析

帯 刀 正*

(昭和52年10月31日受理)

Analyis of Hot Particles from the Nineteenth Chinese Nuclear Test Explosion by Ge(Li) Gamma-Ray Spectrometry

Tadashi TATEWAKI

The measurements of the gamma ray spectra from the hot particles (highly radioactive fallout particles) due to the nineteenth Chinese nuclear test explosion on September 26, 1976 were made with a Ge (Li) detector having high resolution. Many nuclides were identified in the gamma ray spectra without any chemical processing. The nuclides of fission products such as ^{95}Zr , $^{95\text{m}}\text{Nb}$, ^{95}Nb , ^{97}Zr , $^{97\text{m}}\text{Nb}$, ^{97}Nb , ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{103}Ru , ^{131}I , ^{132}Te , ^{132}I , ^{133}Xe , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{143}Ce , ^{144}Ce and ^{147}Nd were identified. In addition to them, ^{237}U and ^{239}Np as the induced radionuclides produced from ^{238}U were also identified. Among the other induced ones, ^{54}Mn and ^{58}Co were also identified. The characteristic decay curves of gamma-activities of various radionuclides were obtained by measuring the intensities of the photopeaks in the gamma spectra of the hot particles.

1. ま え が き

核爆発によって生成された放射性降下物については、多くの研究者により多方面から研究されて来た。例えば強放射能粒子(巨大粒子ともいう)の Fractionation 効果の研究から強放射能粒子の生成機構¹⁾²⁾や生成までの時間の推定³⁾⁴⁾とか、あるいは放射性降下物中に含まれる特定放射性核種の全地球的循環⁵⁾や大気圏内における放射性降下物の運動⁶⁾などの研究がなされている。また核爆発による放射性降下物からは爆発に使用した核物質に関する情報が得られるが、一方放射性降下物中の放射性核種による環境汚染が人類を含めて生物に与える影響は極めて大きい。1976年9月26日に行われた中国核爆発実験による放射性降下物によって、我が国の自然環境に広く放射能汚染をもたらしたが、他方我が国の原子力および放射線利用研究機関等にも思はぬハプニングをひきおこした。著者は先に

* 応用物理学教室 教授

1967年12月24日の第7回中国核爆発実験による強放射能粒子の γ 線スペクトルとFractionation Effect について⁷⁾報告したが、今回も長野地方に降下した前記中国核爆発実験による強放射能粒子に含まれる放射性核種を多数、Ge(Li) γ 線スペクトロメトリーによって分析したので、その定性的結果を報告する。

2. 試 料

1976年9月29日13時から17時にわたり、当工学部共通講座建物屋上をGMサーベイメータを使って走査し、58個所の強放射能点を検出した。検出した強放射能点に前回⁷⁾と同じくセロテープの細片を張り付け、強放射能粒子をセロテープの細片に付着させて採取し、GMサーベイメータをたよりに強放射能粒子が存在しているセロテープの細片をできる限り小さく細分して、これをステンレス製試料皿の中央に固定した。また10月3日著者の自宅(工学部北東8km)の屋上で強放射能粒子の試料51個を採取した。これより先長野地方には9月28日8時から18時までに4.5mmの降雨があり、この雨水から9月30日現在で1 l 当り5390 pCiの β 放射能が検出された。従って長野地方に降ったこの降水量中に含まれる全 β 放射能を算定すると1 km² 当り9月30日現在で24260 μ Ciとなる。また9月29日共通講座建物屋上で電気集じん器で集めた大気中のチリからは1 m³ 当り36 pCiの β 放射能が検出されたが、9月30日に集めた大気中のチリからは放射性降下物による β 放射能はほとんど認められなかった。従って今回の核爆発による放射能を含んだ大気の流れは9月30日には長野地方上空を去ったものと推定される。

次に採取した強放射能粒子の試料についてTable 1に示す。試料群Aと試料群Bの採取場所はそれぞれ工学部共通講座建物屋上と著者の自宅屋上(工学部北東8kmの地点)である。いま上記強放射能粒子に関する測定データから長野地方に降った強放射能粒子による全 β 放射能を1 km² 当りについて算定すると、9月29日現在では試料群Aより2760 μ Ci、

Table 1. Collected hot particles.

Group of H.P.	Date of collection	Number of collected H.P.	Average Number of H.P. per 10m ²	Gross β activity (μ Ci)	Average gross β activity of single H.P. (pCi)
A	Sept. 29, '76	58	1.3	1.23 (Sept. 29, '76)	21200 (Sept. 29, '76)
B	Oct. 3, '76	51	3.8	0.22 (Oct. 6, '76)	4314 (Oct. 6, '76)

H.P. : Hot Particle

Table 2. Samples for γ -ray spectrometry.

Sample	Number of contained H.P.	Gross β activity (pCi)
No. 1	18	495000 (Sept. 29, '76)
No. 2	20	96800 (Oct. 6, '76)

10月6日現在では試料群Bより 1640 μCi の推定値を得る. 採取した強放射能粒子の試料群A, Bのうちで比較的 β 放射能の強い試料をいくつか選び, それぞれ1個の試料皿にまとめて, γ 線スペクトロメトリー用試料とした. これを Table 2 に示す.

3. 測定装置

測定装置は ORTEC 社製のガンマⅢ形コンピュータ処理方式の γ 線スペクトロメータである. そのうち γ 線検出器は ORTEC の同軸形の Ge (Li) 検出器 8001—1020 V I P 形で, 効率は10%であり, 分解能は ^{60}Co の 1332 keV の FWHM で 2 keV である. リニヤアンプは ORTEC スペクトロスコピーアンプファイヤ 472 形を使用した. またバイアス電源は ORTEC 459 形でバイアス電圧 4000 V を検出器に加えた. 多重波高分析器は ORTEC C6240 形で, その分解能は 8192 ch, AD変換速度は 100 MHz であり, メモリーは 4096 ch である. また組み込まれたコンピュータは 16 k のメモリを持ち, 言語は ORTEC 社語の会話形である.

4. 測定

測定は 1976年 9月 30日, 10月 3日, 10月 4日, 10月 14日, 10月 15日, 10月 29日

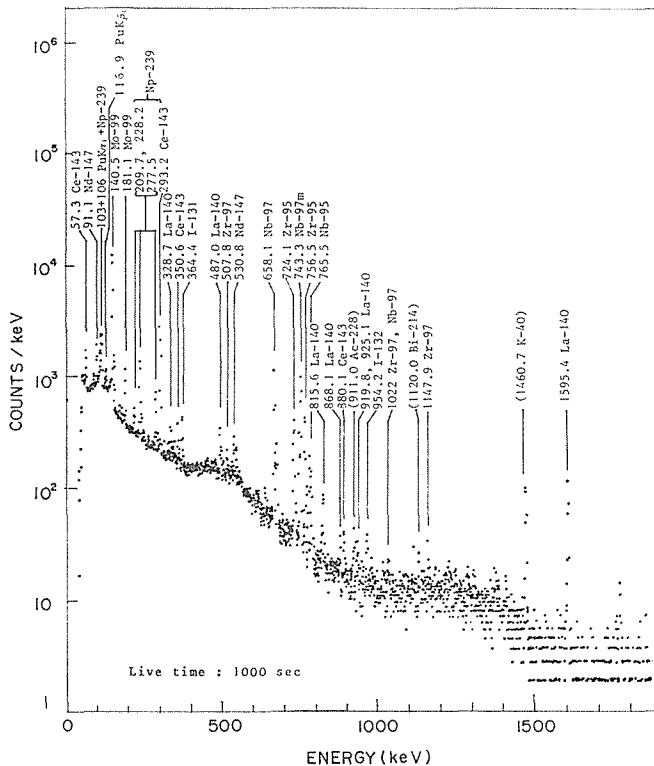


Fig.1. γ -ray spectrum of hot particles sample No.1 measured on Sept. 30, 1976, 4 days after the 19th Chinese nuclear test explosion on Sept. 26, 1976. [57 keV~1765 keV]

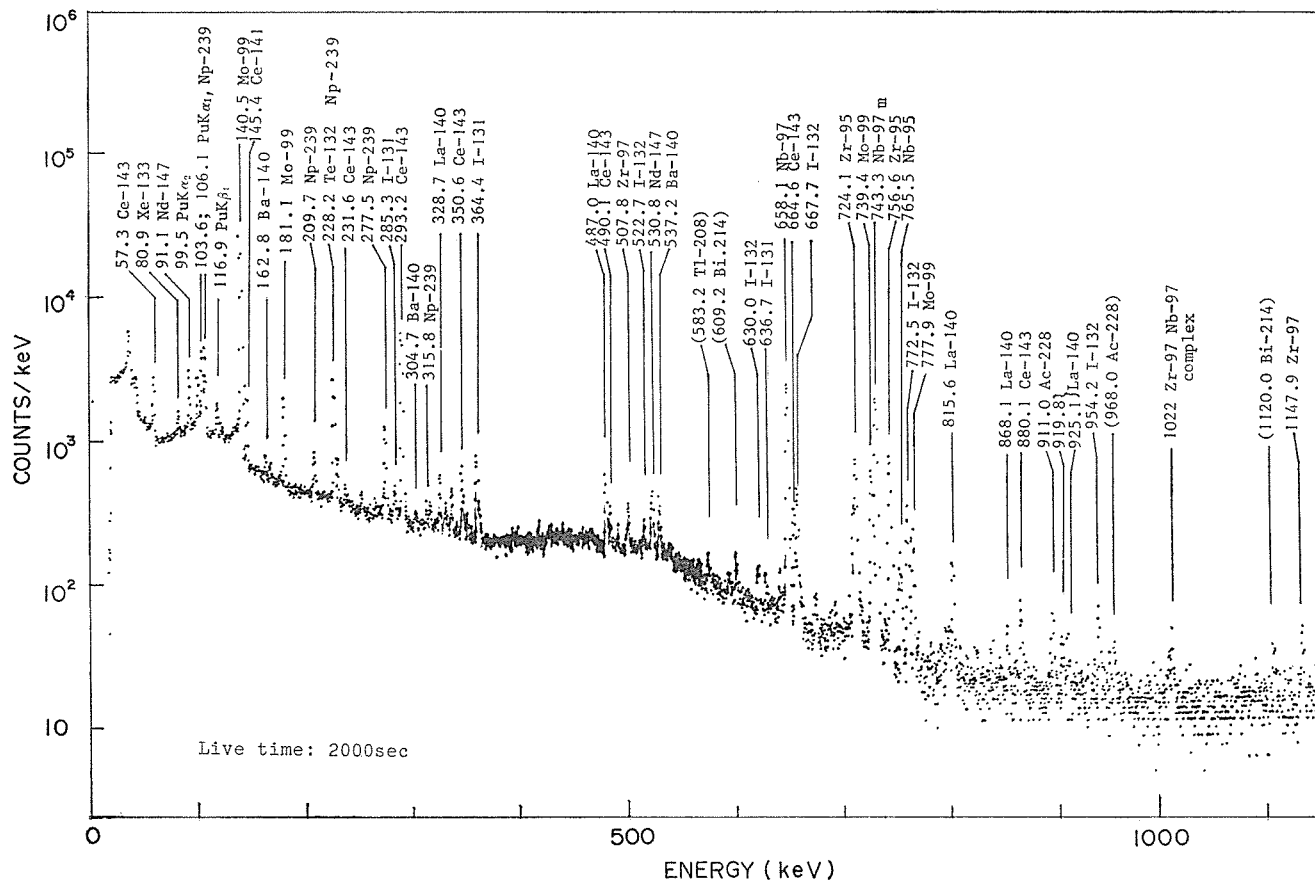


Fig.2. γ -ray spectrum of hot particles sample No.1 measured on Sept. 30,1976, 4 days after the 19th Chinese nuclear test explosion on Sept. 26, 1976. [57keV~1150keV]

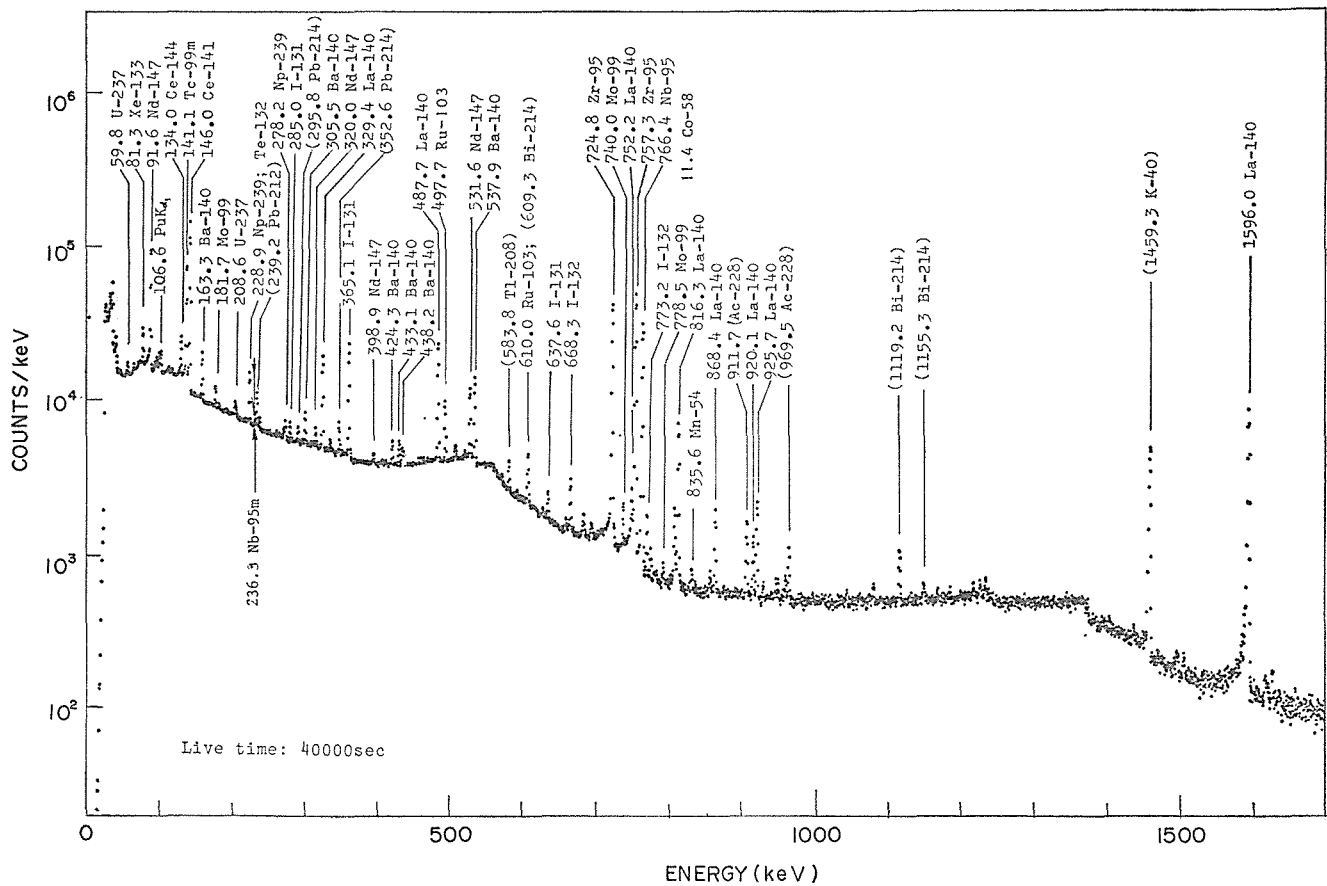


Fig.3. γ -ray spectrum of hot particles sample No.2 measured on Oct. 15, 1976, 19 days after the 19th Chinese nuclear test explosion on Sept. 26, 1976.

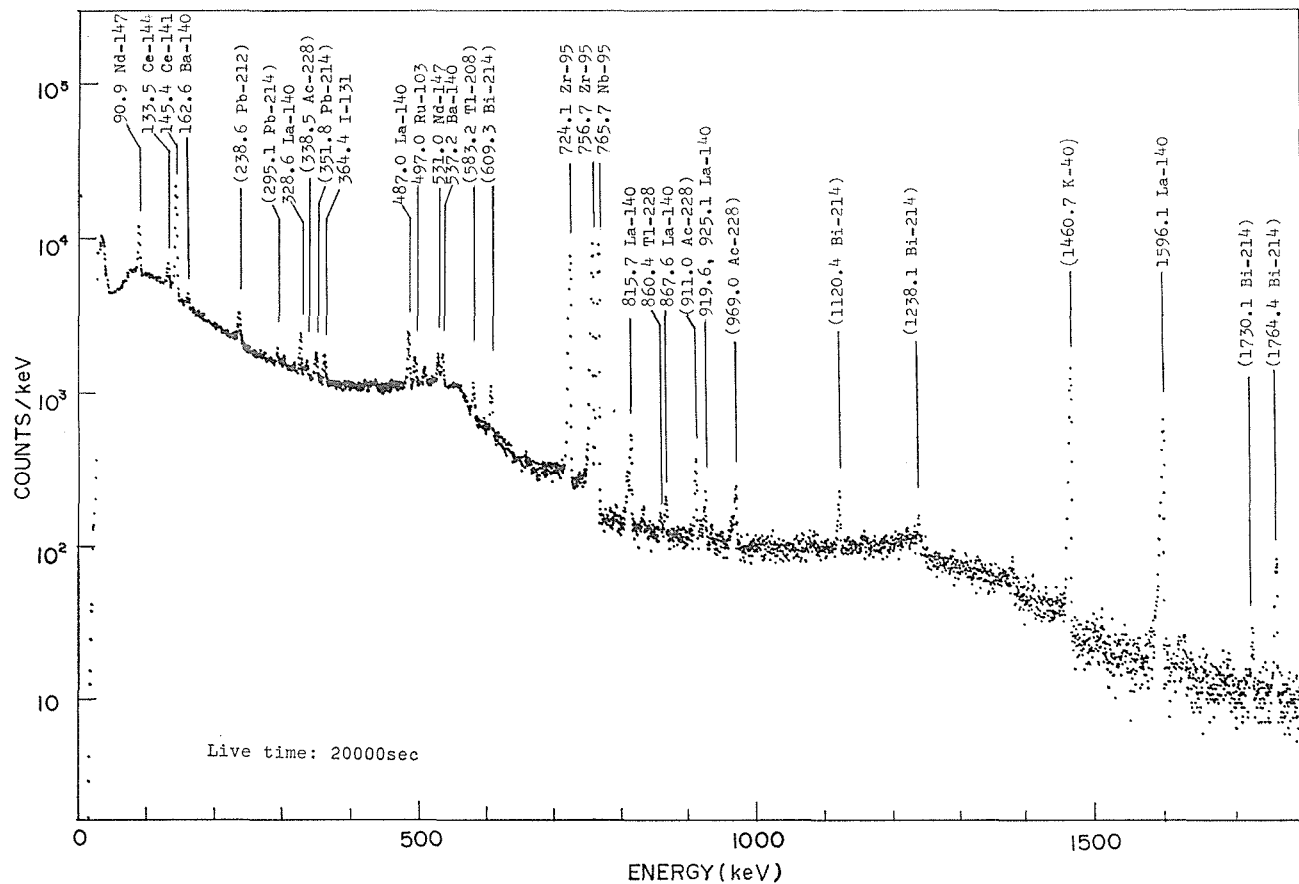


Fig. 4. γ -ray spectrum of hot particles sample No.1 measured on Oct. 29, 1976, 33 days after the 19th Chinese nuclear test explosion on Sept. 26, 1976.

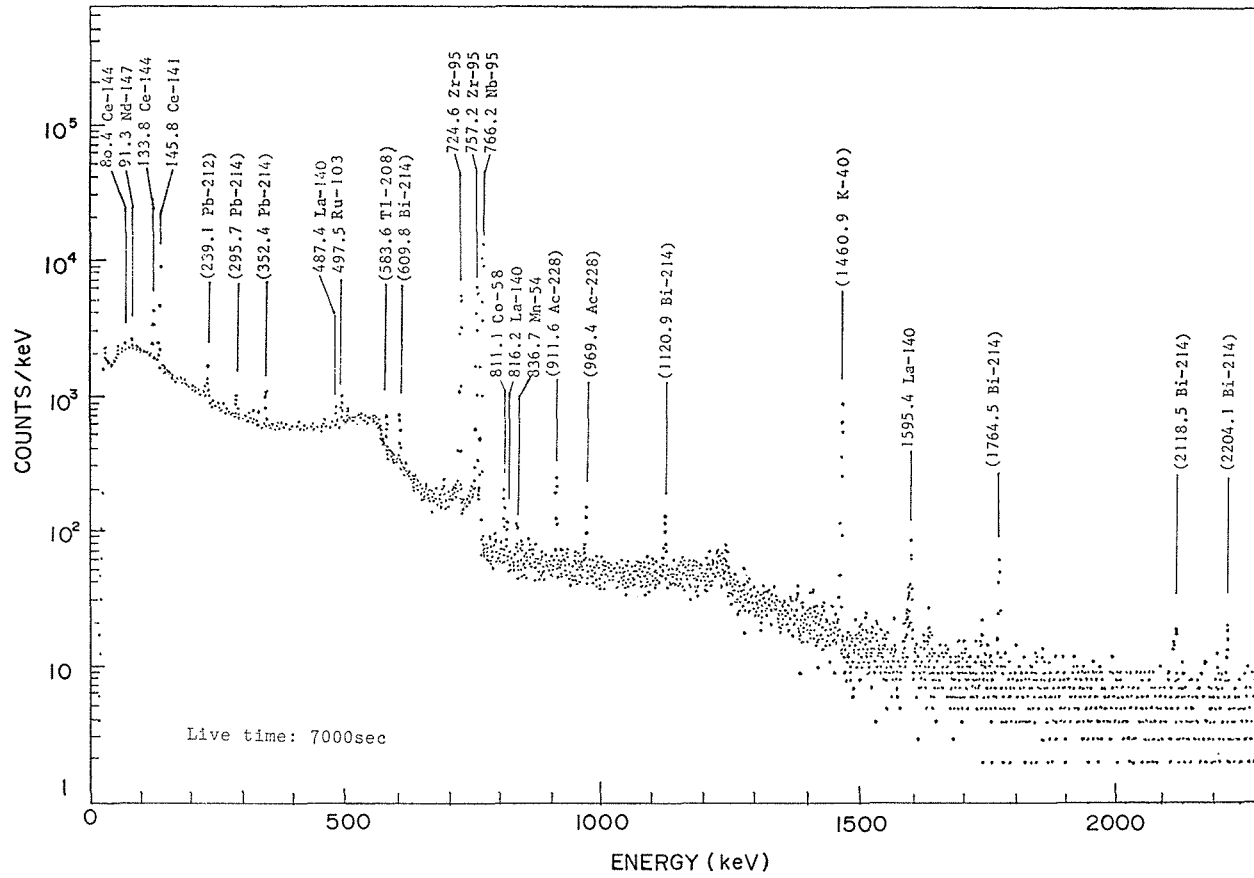


Fig.5. γ -ray spectrum of hot particles sample No.1 measured on Dec. 15, 1976, 80 days after the 19th Chinese nuclear test explosion on Sept. 26, 1976.

10月30日および12月15日都合8回第2精工舎のアプリケーションラボラトリーで行い、データはコンピュータで解析した。

4.1. γ 線スペクトル

Fig. 1は試料No.1について1976年9月30日(爆発後4日)に57 keVから1765 keVまでのエネルギー範囲をLive time 1000 secかけて測定した γ 線スペクトルである。Fig. 1の示す γ 線スペクトルから分るように強放射能粒子の試料から放出する γ 線は1150 keVまでのエネルギーのものが大部分で、これ以上のエネルギーを持つ γ 線の数は比較的少い。そこで得得を大にしLive timeを2000 secに増して57 keVから1150 keVまでのエネルギー範囲をより精細に測定して得られた γ 線スペクトルがFig. 2である。Fig. 3は試料No.2について10月15日(爆発後19日)にLive time 40000 secをかけて測定した γ 線スペクトルで、エネルギー範囲は1700 keVまでである。Fig. 4, Fig. 5は試料No.1についてLive timeをそれぞれ20000 sec, 7000 secかけて測定した γ 線スペクトルで、測定日はそれぞれ10月29日(爆発後33日)と12月15日(爆発後80日)であり、エネルギー範囲は前者は1700 keVまで、後者は2300 keVまでである。

4.2. 核種分析

γ 線エネルギー校正用の標準線源としては、 ^{57}Co (122.1 keV, 136.4 keV), ^{133}Ba (81.0 keV, 276.4 keV, 303.1 keV, 356.3 keV, 384.1 keV), ^{137}Cs (661.6 keV), ^{60}Co (1173.2 keV, 1332.5 keV)を使用した。エネルギー校正曲線は上記標準線源を用いて最小2乗法により光電ピークのチャンネル数の2次曲線にあてはめを行って定め、しかる後試料の光

Table 3. Assigned nuclides from the γ -ray spectra of sample No.1 measured on Sept. 30, '76.

γ -ray energy (keV)	Assigned Nuclide	γ -ray energy (keV)	Assigned Nuclide	γ -ray energy (keV)	Assigned Nuclide
57.3	^{143}Ce	304.7	^{140}Ba	667.7	^{132}I
80.9	^{133}Xe	315.8	^{239}Np	724.1	^{95}Zr
99.1	^{147}Nd	319.1	$^{105}\text{Rh}, ^{147}\text{Nd}$	739.4	^{99}Mo
99.5	$\text{PuK}\alpha_2$	328.7	^{140}La	743.3	$^{97\text{m}}\text{Nb}$
103.6	$\text{PuK}\alpha_1$	350.6	^{143}Ce	756.6	^{95}Zr
106.1	^{239}Np	355.4	^{97}Zr	765.5	^{95}Nb
116.9	$\text{PuK}\beta_1$	364.4	^{131}I	772.5	^{132}I
120.7	$\text{PuK}\beta_2$	487.0	^{140}La	777.9	^{99}Mo
140.5	$^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$	490.1	^{143}Ce	811.4	^{58}Co
145.4	^{141}Ce	497.1	^{103}Ru	815.6	^{140}La
162.8	^{140}Ba	507.8	^{97}Zr	868.1	^{140}La
181.1	^{99}Mo	522.7	^{132}I	880.1	^{143}Ce
209.7	^{239}Np	530.8	^{147}Nd	919.8	^{140}La
228.2	$^{132}\text{Te}, ^{239}\text{Np}$	537.2	^{140}Ba	925.1	^{140}La
231.6	^{143}Ce	630.0	^{132}I	954.2	^{132}I
277.5	^{239}Np	636.7	^{131}I	1022.0	^{97}Zr ^{97}Nb complex
285.3	^{131}I	658.1	^{97}Nb	1147.9	^{97}Zr
293.2	^{143}Ce	664.6	^{143}Ce	1595.4	^{140}La

Table 4. Assigned nuclides from the γ -ray spectra of sample No.2 measured on Oct. 15, '76.

γ -ray energy (keV)	Assigned Nuclide	γ -ray energy (keV)	Assigned Nuclide	γ -ray energy (keV)	Assigned Nuclide
59.8	²³⁷ U	276.0	¹⁴⁷ Nd	637.6	¹³¹ I
81.3	¹³³ Xe	278.2	²³⁹ Np	662.3	¹³⁷ Cs
91.6	¹⁴⁷ Nd	285.0	¹³¹ I	668.3	¹³² I
97.6	NpK α_2	305.5	¹⁴⁰ Ba	697.0	¹⁴⁴ Pr
100.0	PuK α_2	320.0	¹⁴⁷ Nd	724.8	⁹⁵ Zr
101.5	NpK α_1	329.4	¹⁴⁰ La	740.0	⁹⁹ Mo
104.2	PuK α_1	365.1	¹³¹ I	752.2	¹⁴⁰ La
106.6	²³⁹ Np	398.9	¹⁴⁷ Nd	757.3	⁹⁵ Zr
117.5	PuK β_1 , NpK β_2	424.3	¹⁴⁰ Ba	766.4	⁹⁵ Nb
121.6	PuK β_2	433.1	¹⁴⁰ Ba	773.2	¹³² I
134.0	¹⁴⁴ Ce	438.2	¹⁴⁰ Ba	778.5	⁹⁹ Mo
141.1	⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc	440.5	¹⁴⁷ Nd	811.4	⁵⁸ Co
146.0	¹⁴¹ Ce	487.7	¹⁴⁰ La	816.3	¹⁴⁰ La
163.3	¹⁴⁰ Ba	497.7	¹⁰³ Ru	835.6	⁵⁴ Mn
181.7	⁹⁹ Mo	523.5	¹³² I	868.4	¹⁴⁰ La
208.6	²³⁷ U	531.6	¹⁴⁷ Nd	920.1	¹⁴⁰ La
228.9	¹³² Te, ²³⁹ Np	537.9	¹⁴⁰ Ba	925.7	¹⁴⁰ La
236.3	^{95m} Nb	610.0	¹⁰³ Ru	1596.0	¹⁴⁰ La
267.2	²³⁷ U	630.6	¹³² I		

電ピークのエネルギー値を算定した。なおコンピュータにより光電ピークの高さ、面積、強度、面積の相対標準偏差および半値巾を求めた。これらのデータを基に別記文献^{8)~15)}を参照して光電ピークのエネルギー値に対して核種の同定を行った。そのうち試料 No. 1 は 1976 年 9 月 30 日に、試料 No. 2 は 1976 年 10 月 15 日に測定したものについて、同定された人工放射性核種とその γ 線エネルギー値をそれぞれ Table 3 と Table 4 に示す。

Table 3, Table 4 から強放射能粒子に含まれる核分裂生成核種としては、試料 No. 1 と試料 No. 2 に ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ⁹⁷Zr, ⁹⁷Nb, ^{97m}Nb, ⁹⁹Mo-^{99m}Tc, ¹⁰³Ru, ¹³¹I, ¹³²Te, ¹³²I, ¹³³Xe, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁰La, ¹⁴¹Ce, ¹⁴³Ce, ¹⁴⁴Ce, ¹⁴⁷Nd が含まれていることが分る。この外 ⁵⁸Co が両試料から検出された。なお試料 No. 2 には ⁵⁴Mn と ^{95m}Nb が見出された。

強放射能粒子中に含まれる誘導放射性核種として ²³⁹Np は試料 No. 1 と試料 No. 2 の両方から検出され、²³⁹Np の特性 X 線の PuK α_1 (103.6 keV), PuK α_2 (99.5 keV), PuK β_1 (117.1 keV), PuK β_2 (120.6 keV) および 106 keV, 228 keV, 278 keV, 316 keV の光電ピークが両試料の γ 線スペクトルに見られる。その外の誘導放射性核種として ²³⁷U については試料 No. 1 には含まれていないが試料 No. 2 には含まれており、これが著しい相違点である。すなわち試料 No. 2 の γ 線スペクトルには ²³⁷U の特性 X 線の NpK α_1 (101.5 keV), NpK α_2 (97.6 keV) および ²³⁷U の γ 線光電ピークとして 59.8 keV, 208.6 keV および 277.2 keV が見出されるが、試料 No. 1 にはそれらが全然見出されない。

Table 5 は 10 月 29 日に測定した試料 No. 1 と 10 月 30 日に測定した試料 No. 2 の γ

Table 5. Assigned nuclides from the γ -ray spectra of sample No.1 and No.2 measured on Oct.29 and 30, '76, respectively.

γ -ray energy (keV)		Assigned Nuclide	Sample	
No. 1	No. 2		No. 1 (Oct. 29, '76)	No. 2 (Oct. 30, '76)
90.9	90.9	^{147}Nd	+	+
133.5	133.5	^{144}Ce	+	+
140.7	140.7	$^{99}\text{Mo}-^{99m}\text{Tc}$	+	+
145.4	145.4	^{141}Ce	+	+
162.6	162.7	^{140}La	+	+
—	235.6	^{95m}Nb	—	+
319.2	—	^{147}Nd	+	—
328.6	328.7	^{140}La	+	+
364.4	364.5	^{131}I	+	+
487.0	487.1	^{140}La	+	+
497.0	497.1	^{103}Ru	+	+
531.0	531.0	^{147}Nd	+	+
537.2	537.2	^{140}La	+	+
—	696.1	^{144}Pr	—	+
724.1	724.2	^{95}Zr	+	+
752.0	—	^{140}La	+	—
756.7	756.7	^{95}Zr	+	+
765.7	765.8	^{95}Nb	+	+
810.8	810.9	^{58}Co	+	+
815.7	815.8	^{140}La	+	+
867.6	867.9	^{140}La	+	+
919.6	—	^{140}La	+	—
925.1	925.1	^{140}La	+	+
1596.1	1596.2	^{140}La	+	+

線スペクトルから同定した核種とその γ 線エネルギー値を表示したものである。誘導放射性核種 ^{237}U と ^{239}Np の光電ピークはこれら試料の γ 線スペクトルから消え、残った核種は ^{58}Co , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{95m}Nb , $^{99}\text{Mo}-^{99m}\text{Tc}$, ^{103}Ru , ^{131}I , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{144}Pr , ^{147}Nd である。

Table 6 は12月15日に測定した試料 No. 1 と試料 No. 2 の γ 線スペクトルから同定した核種とその γ 線エネルギー値を示すもので、両試料に共通的に含まれている核種は、 ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{147}Nd であり、試料 No. 2 にのみ見出される核種は ^{95m}Nb , ^{137}Cs および ^{144}Pr である。

次に試料 No. 1 と試料 No. 2 に含まれる放射性核種の光電ピークの時間的減衰をそれぞれ Table 7 と Table 8 に示す。

4. 3. 減衰特性

試料 No. 1 と試料 No. 2 に含まれる主なる核種について、そのうちの 2, 3 の光電ビ

Table 6. Assigned nuclides from the γ -ray spectra of sample No.1 and No.2 measured on Dec. 15, '76.

γ -ray energy (keV)		Assigned Nuclide	Sample	
No. 1	No. 2		No. 1	No. 2
80.4	80.6	^{144}Ce	+	+
91.3	91.4	^{147}Nd	+	+
133.8	134.0	^{144}Ce	+	+
145.8	145.9	^{141}Ce	+	+
—	236.2	$^{95\text{m}}\text{Nb}$	—	+
—	329.2	^{140}La	—	+
487.4	487.6	^{140}La	+	+
497.5	497.6	^{103}Ru	+	+
—	531.3	^{147}Nd	—	+
—	537.9	^{140}Ba	—	+
—	662.2	^{137}Cs	—	+
—	696.9	^{144}Pr	—	+
724.6	724.7	^{95}Zr	+	+
757.2	757.2	^{95}Zr	+	+
766.2	766.3	^{95}Nb	+	+
811.1	811.2	^{58}Co	+	+
816.2	816.2	^{140}La	+	+
835.7	835.5	^{54}Mn	+	+
—	925.6	^{140}La	—	+
1595.4	1596.4	^{140}La	+	+

ークの計数率の時間的な減衰特性を Fig. 6 から Fig. 9 に示す. このうち Fig. 6 は試料 No. 1 について 33 時から 77.7 時までの半減期を有する核種の減衰特性曲線を示し, Fig. 7 は同試料について半減期が 8.0 日から 284 日までの核種の減衰特性曲線を示している. また Fig. 8 は試料 No. 2 について半減期が 2.35 日から 6.75 日までの核種の減衰特性曲線を示し, Fig. 9 は同試料について半減期が 11 日から 284 日までの核種の減衰特性曲線を示すものである.

5. ま と め

1976年9月26日に行われた第19回中国核爆発実験による強放射能粒子中に含有する多くの放射性核種を, Ge(Li) スペクトロメトリーにより何等化学的操作をほどこすことなく同定することができた. すなわち核分裂生成核種としては, ^{95}Zr , $^{95\text{m}}\text{Nb}$, ^{95}Nb , ^{97}Zr , $^{97\text{m}}\text{Nb}$, ^{97}Nb , ^{99}Mo , ^{103}Ru , ^{131}I , ^{132}Te , ^{132}I , ^{133}Xe , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{143}Ce , ^{144}Ce , および ^{147}Nd を同定することができた. 誘導放射性核種としては ^{58}Co と ^{239}Np が両方の試料から同定することができたが, ^{54}Mn と ^{237}U は一方の試料からしか同定することはできなかった.

終りに試料の測定に際し, 多大の便宜とご協力を頂いた第二精工舎科学機器部技術課の

佐藤康彦氏に対し深い感謝の意を表したい。

Table 7. Observed γ -ray energies of photopeaks of assigned nuclides for sample No.1 on various dates of measuring.

Nuclide	Half life	γ -ray energy (keV)	Date of Measuring				
			9.30,'76 (4d)	10.4,'76 (8d)	10.12,'76 (16d)	10.29,'76 (33d)	12.15,'76 (80d)
⁹⁵ Zr	65.5d	724.1 ; 756.5	++	++	++	++	++
⁹⁵ Nb	35.1d	765.5	+	+	+	+	+
⁹⁷ Zr	17.0h	507.8 ; 1147.9	++	--	--	--	--
⁹⁷ Nb	73.6m	658.1	+	+	-	-	-
^{97m} Nb	54sec	743.3	+	+	-	-	-
⁹⁹ Mo	66.69h	140.5 ; 181.1 ; 740.1 ; 777.9	+++ +	+++ +	+++ +	+-- -	---- -
¹⁰³ Ru	38.0d	497.0	-	+	+	+	+
¹³¹ I	8.04d	285.3 ; 364.4 ; 636.7	+++	+++	+++	-+-	----
¹³² Te	78h	228.2	+	+	+	-	-
¹³² I	2.29h	522.7 ; 630.0 ; 667.7 772.5 ; 954.2	+++ ++	+++ ++	--+ --	---- --	---- --
¹³³ Xe	5.20d	80.9	+	+	+	-	-
¹⁴⁰ Ba	12.79d	162.8 ; 304.7 ; 537.2	+++	+++	+++	+--	----
¹⁴⁰ La	40.22h	328.7 ; 487.0 ; 752.0 ; 815.6 ; 868.1 ; 919.8 ; 925.1 ; 1595.1	+++ +++ +++ ++	+++ +++ +++ ++	+++ +++ +++ ++	+++ +++ +++ ++	-+- +- +- --
¹⁴¹ Ce	32.45d	145.6	+	+	+	+	+
¹⁴³ Ce	33.0h	57.3 ; 231.6 ; 293.2 ; 350.6 ; 490.1 ; 664.6 ; 880.1	+++ +++ +	+--+ +++ -	---- ---- -	---- ---- -	---- ---- -
¹⁴⁴ Ce	284.2d	80.4 ; 133.8	--	-+	-+	-+	++
¹⁴⁷ Nd	10.98d	91.1 ; 320.1 ; 530.8	+++	+++	+++	+++	+--
²³⁷ U	6.75d	59.8 ; °97.6 ; °101.5 ; °114.4 ; 208.6 ; 267.2	---- ----	---- ----	---- ----	---- ----	---- ----
²³⁹ Np	2.35d	*99.5 ; *103.6 ; 106.1 ; *116.9 ; 228.2 ; 277.5 315.8	+++ +++ +	+++ +++ -	+++ --+ -	---- ---- -	---- ---- -

° Characteristic X-rays of Np K_{α_2} , K_{α_1} and K_{β_1} respectively

* Characteristic X-rays of Pu K_{α_2} , K_{α_1} and K_{β_1} respectively

Table 8. Observed γ -ray energies of photopeaks of assigned nuclides for sample No.2 on various dates of measuring.

Nuclide	Half life	γ -ray energy (keV)	Date of Measuring			
			10. 12. '76 (16d)	10. 15. '76 (19d)	10. 30. '76 (34d)	12. 15. '76 (80d)
^{95m}Nb	3. 75d	235. 6	-	+	+	+
^{95}Zr	65. 5d	724. 4 ; 756. 9	++	++	++	++
^{95}Nb	35. 1d	766. 0	-	+	+	+
^{97}Zr	17. 0h	507. 8 ; 1147. 9	--	--	--	--
^{97}Nb	73. 6m	658. 1	-	-	-	-
^{97m}Nb	54sec	743. 3	-	-	-	-
^{99}Mo	66. 69h	140. 7 ; 181. 3 ; 740. 0 ; 779. 6	+++ +	+++ +	+-- -	---- -
^{108}Ru	38. 9d	497. 3	+	+	+	+
^{131}I	8. 04d	285. 0 ; 364. 7 ; 637. 6	+++	+++	-+-	+
^{132}Te	78h	228. 5	+	+	-	-
^{132}I	2. 29h	522. 7 ; 630. 3 ; 668. 0 772. 8 ;	+++ +	+++ +	---- -	---- -
^{133}Xe	5. 29d	80. 9	+	+	+	+
^{140}Ba	12. 79d	162. 9 ; 305. 1 ; 537. 6	+++	+++	+++	+--+
^{140}La	40. 22h	329. 0 ; 487. 3 ; 752. 2 816. 0 ; 868. 1 ; 919. 8 925. 3 ; 1596. 6	+++ +++ ++	+++ +++ ++	++- ++- ++	+--+ +--+ ++
^{141}Ce	32. 45d	145. 6	+	+	+	+
^{143}Ce	33. 0h	57. 3 ; 231. 6 ; 293. 1 350. 6 ; 490. 1 ; 664. 6 721. 6 ; 880. 1	---- ---- --	---- ---- --	---- ---- --	---- ---- --
^{144}Ce	284. 2d	80. 2 ; 133. 6	-+	-+	-+	++
^{144}Pr	17. 3min	696. 4	+	+	+	+
^{147}Nd	10. 98d	91. 2 ; 320. 0 ; 531. 3	+++	+++	+--+	+--+
^{237}U	6. 75d	59. 8 ; °97. 6 ; °101. 5 °114. 4 ; 208. 6 ; 267. 2	++- ++-	+++ +++	---- ----	---- ----
^{239}Np	2. 35d	*99. 7 ; *104. 1 ; 106. 3 *117. 5 ; 228. 5 ; 277. 6	+++ +++	+++ +++	---- ----	---- ----

o Characteristic X-rays of Np K_{α_2} , K_{α_1} and K_{β_1} respectively

* Characteristic X-rays of Pu K_{α_2} , K_{α_1} and K_{β_1} respectively

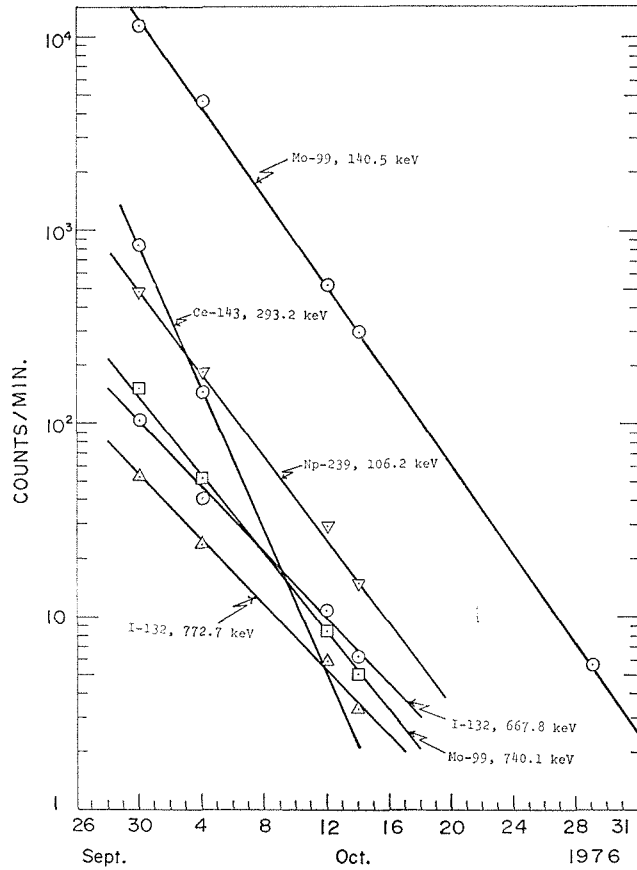


Fig. 6

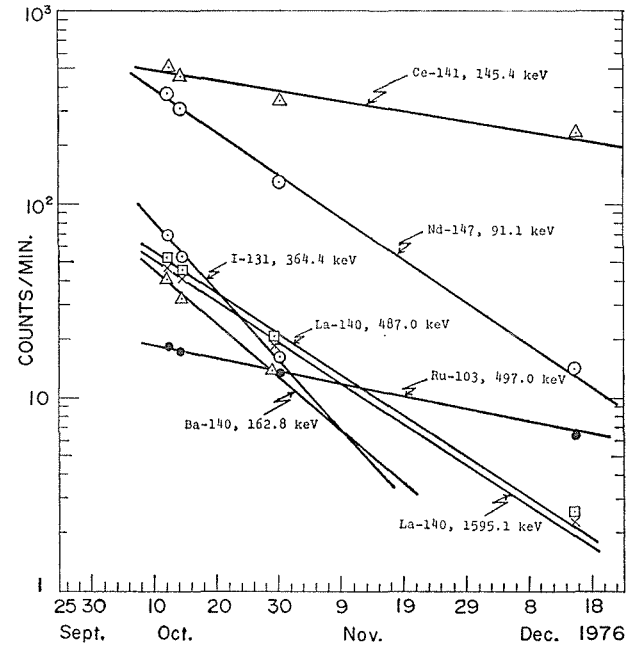


Fig. 7

Fig. 6. Characteristic decay curves of observed nuclides in hot particles sample No. 1 having half lives from 33.0 hours to 77.7 hours.

Fig. 7. Characteristic decay curves of observed nuclides in hot particles sample No. 1 having half lives from 8.0 days to 284.2 days.

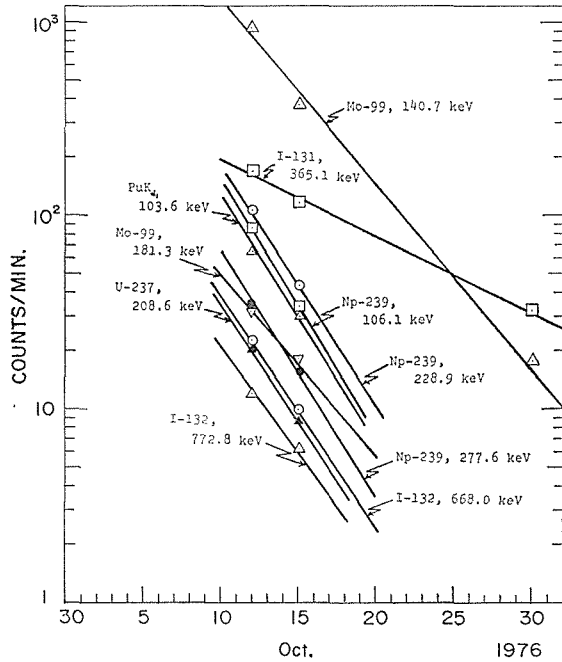


Fig. 8. Characteristic decay curves of observed nuclides in hot particles sample No.2 having half lives from 2.35 days to 6.75 days.

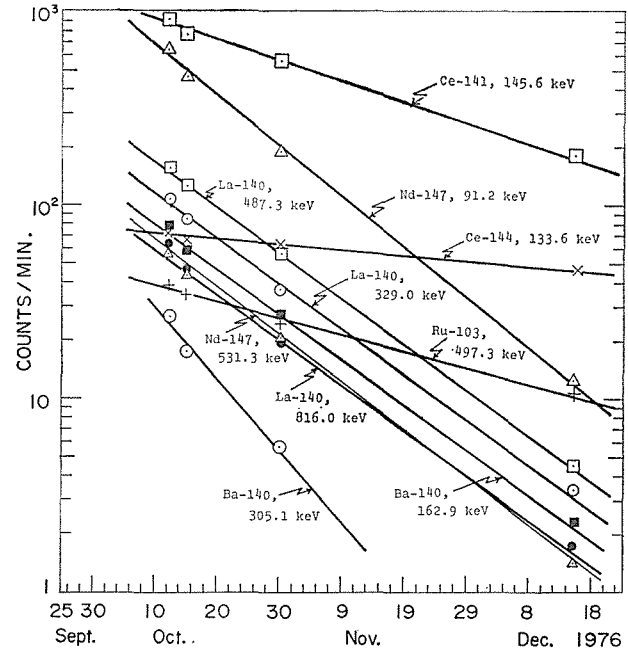


Fig. 9. Characteristic decay curves of observed nuclides in hot particles sample No.2 having half lives from 11.0 days to 284.2 days.

文 献

- 1) J. Sisefsky, G. Persson: Health Physics 18, 347-356 (1970)
- 2) T. Mamuro, T. Matsunami, A. Fujita: *ibid.*, 14, 223-239 (1968)
- 3) R. S. Clark, K. Yoshikawa et al: J. Geophysical Research 72, 1793-1796 (1967)
- 4) D. T. Moore, J. N. Beck et al: *ibid.*, 78, 7039-7050 (1973)
- 5) U. C. Mishra, B. Y. Lalit et al: J. Sci. Ind. Res. 33, 216 (1974)
- 6) J. D. Sherwood, D. T. Moore et al: Health Physics 24, 491-495 (1973)
- 7) 帶刀 正: 信州大学工学部紀要 第31号 23-32 (1971)
- 8) H. F. Hunter, N. E. Ballou: Nucleonics, 9, No. 5, C-2 (1951)
- 9) C. E. Crothamel, F. Adams and R. Dams: Applied Gamma-Ray Spectrometry, 2nd edition, Pergamon Press (1970)
- 10) C. M. Lederer, J. M. Hollander, I. Perlman: Table of Isotopes, 6th edition, John Wiley & Sons, Inc. (1967)
- 11) H. Klös, R. May, H. Schneider: Z. Naturforschg. 21a, 1502-1504 (1966)
- 12) D. Paffrath, W. Peters: Staub-Reinhalt. Luft, 28 Nr. 8, 311 (1968)
- 13) T. Mamuro, T. Matsunami: Ann. Repts. Rad. Cent. Osaka Pref., 11, 36-39 (1970)
- 14) J. A. Cooper, R. W. Perkins: Nucl. Instrum. Methods, 99, 125 (1972)
- 15) U. C. Mishra et al: Atomkernenegie 29 (1) 49-55 (1977)