

放射性降下物中の ^{95}Nb の放射能測定による 核爆発後の経過時間の推定法について

帯 刀 正*

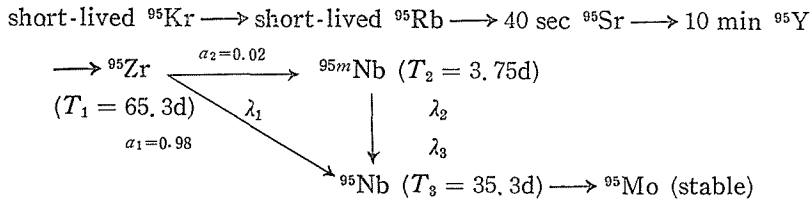
(昭和47年10月31日受理)

1. ま え が き

核爆発によって生成された放射性降下物の起爆時から測定時までの経過時間の推定は、放射性降下物の物理—化学的性質の研究において必要であるばかりでなく、放射性降下物をトレーサーとして大気の運動を全地球的な規模において調べる気象学的研究においても、また核爆発による環境汚染の問題の研究においても極めて重要である。放射性降下物の核爆発後の経過時間を推定するのにいろいろの方法^{1)~8)}があるが、筆者は同一質量数の核種の崩壊系列に属する2つの核種として ^{95}Zr と ^{95}Nb が放射する各種 γ 線の放出比を高分解能の Ge(Li) 検出器で測定して、核爆発後の経過時間を算定し、理論値とよく一致する結果を得た。なかでも γ 線放出比 R_b [^{95}Zr (724keV) + ^{95}Zr (757keV)]/ ^{95}Nb (766keV) によって得られる核爆発後の経過時間の推定値は $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95}\text{Nb}$ の遷移の際、 ^{95}Nb の基底準位に対する γ 線の励起準位 724keV と 756keV への分岐比の影響を全く受けることなく、最も誤差が少いことを報告⁹⁾ した。今回は ^{95}Zr の娘核種 ^{95}Nb の γ 線 766keV の強さを一定時間隔てて測定して得られる一対の測定値から、放射性降下物の爆発後の経過時間を推定する新しい方法を見出した。1967年12月24日に行なわれた第7回中国核爆発実験による強放射能粒子のデータをこの方法に適用して核爆発後の経過時間を算定したところ、実際とかなり良く一致する結果を得たので報告する。

2. 推定法の原理

質量数95の崩壊系列はつぎのとおりである。¹⁰⁾



上記崩壊系列から明らかなように、 ^{95}Zr の先行核種 ^{95}Kr , ^{95}Rb , ^{95}Sr および ^{95}Y の半減期は、いずれも ^{95}Zr の半減期に比べれば遙かに短いので、 ^{95}Zr が生成され崩壊し始め

* 応用物理学教室 助教授

る時刻を核爆発の時刻としても、放射性降下物の核爆発後の経過時間推定にはさしつかえないものとする。また ^{235}U 等の瞬間的に行なわれた核分裂においては質量数 95 に属する核分裂生成核種の収率値に関する L. E. Weaver ら¹¹⁾のデータによると、 ^{95}Zr までの累積収率値に比べて ^{95}Nb , ^{95m}Nb の独立収率値はきわめて小さいことがわかるので、一応これらの独立収率値は ^{95}Zr までの累積収率値に比べて無視するものとする。従って核爆発の時刻 $t = 0$ から測った時間 t における ^{95}Zr と ^{95}Nb の原子数をそれぞれ N_1 , N_3 とすると、これらは次式で表わされる。

$$N_1 = N_{1,0} e^{-\lambda_1 t}, \quad (1)$$

$$N_3 = \lambda_1 N_{1,0} \left\{ \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_1} \left(a_1 + \frac{a_2 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) e^{-\lambda_1 t} - \frac{a_2 \lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_2 - \lambda_1)} e^{-\lambda_2 t} - \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_1} \left(a_1 + \frac{a_2 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3} \right) e^{-\lambda_3 t} \right\}. \quad (2)$$

ここに $N_{1,0}$ は $t = 0$ における ^{95}Zr の原子数、 λ_1 , λ_2 , λ_3 はそれぞれ ^{95}Zr , ^{95m}Nb , ^{95}Nb の崩壊定数、 a_1 , a_2 はそれぞれ $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95}\text{Nb}$, $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95m}\text{Nb}$ の場合の分岐比である。

$$\text{いま} \quad \left. \begin{aligned} A &= \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_1} \left(a_1 + \frac{a_2 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \\ B &= \frac{-a_2 \lambda_2}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_2 - \lambda_1)} \\ C &= \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_1} \left(a_1 + \frac{a_2 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

とおくと、式(2)は次のごとくなる。

$$N_3 = \lambda_1 N_{1,0} (Ae^{-\lambda_1 t} + Be^{-\lambda_2 t} - Ce^{-\lambda_3 t}). \quad (2a)$$

崩壊系列に記してあるように ^{95}Zr , ^{95m}Nb および ^{95}Nb の半減期をそれぞれ $T_1 = 65.3\text{d}$, $T_2 = 3.75\text{d}$ および $T_3 = 35.3\text{d}$ ¹²⁾ とすれば、 ^{95}Zr , ^{95m}Nb および ^{95}Nb の崩壊定数は式 $\lambda_i = \ln 2 / T_i$ ($i=1, 2, 3$) より、それぞれ $\lambda_1 = 0.01061$ (d^{-1}), $\lambda_2 = 0.18484$ (d^{-1}) および $\lambda_3 = 0.001964$ (d^{-1}) を得る。これらの値と分岐比の値 $a_1 = 0.98$, $a_2 = 0.02$ ¹⁰⁾ を式(3)に代入すると、 $A = 110.9$, $B = 0.1284$, $C = 111.1$ を得る。

いま、起爆時 $t = 0$ より測った経過時間 t_1 , t_2 における ^{95}Nb の原子数をそれぞれ $N_{3,1}$, $N_{3,2}$ とすると式(2a)から次式を得る。

$$\frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} = \frac{Ae^{-\lambda_1 t_1} + Be^{-\lambda_2 t_1} - Ce^{-\lambda_3 t_1}}{Ae^{-\lambda_1 t_2} + Be^{-\lambda_2 t_2} - Ce^{-\lambda_3 t_2}}.$$

上式を変形して、

$$Ae^{-\lambda_1 t_1} \left\{ \frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_1(t_2 - t_1)} - 1 \right\} + Be^{-\lambda_2 t_1} \left\{ \frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_2(t_2 - t_1)} - 1 \right\}$$

$$- Ce^{-\lambda_3 t_1} \left\{ \frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_3(t_2-t_1)} - 1 \right\} = 0. \quad (4)$$

いま

$$\left. \begin{aligned} \tau &= t_2 - t_1 \\ k_{11} &= \frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_1 \tau} - 1 \\ k_{12} &= \frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_2 \tau} - 1 \\ k_{13} &= \frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_3 \tau} - 1 \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

とおくと、式(4)は次のごとくなる。

$$f(t_1) = A k_{11} e^{-\lambda_1 t_1} + B k_{12} e^{-\lambda_2 t_1} - C k_{13} e^{-\lambda_3 t_1} = 0. \quad (4a)$$

測定時の時間間隔 τ および測定時 t_1, t_2 における ^{95}Nb の原子数 $N_{3,1}, N_{3,2}$ が測定されれば、式(5)から k_{11}, k_{12}, k_{13} が求まり、従って式(4a)から放射性降下物の核爆発後の経過時間 t_1 が求まる。

崩壊定数は $\lambda_1 \cong \lambda_2/20, \lambda_3 \cong \lambda_2/10$ であるので、 $\lambda_2 > \lambda_1, \lambda_2 > \lambda_3$ 、従って式(4a)の第2項は第1項および第3項に比べて速かに時間とともに減衰する。従ってこの項を無視して差支えない。それ故、放射性降下物の核爆発後の経過時間 t_1 は次の式(6)から導いた式(7)から容易に求めることができる。

$$A k_{11} e^{-\lambda_1 t_1} - C k_{13} e^{-\lambda_3 t_1} = 0, \quad (6)$$

$$\therefore t_1 = \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_1} \ln \left[\frac{C k_{13}}{A k_{11}} \right] = \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_1} \ln \left[\frac{C \left(\frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_3 \tau} - 1 \right)}{A \left(\frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_1 \tau} - 1 \right)} \right], \quad (7)$$

実際 $A = 110.9, C = 111.1$ なので

$$t_1 = \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_1} \ln \left[\frac{k_{13}}{k_{11}} \right] = \frac{1}{\lambda_3 - \lambda_1} \ln \left[\frac{\frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_3 \tau} - 1}{\frac{N_{3,1}}{N_{3,2}} e^{-\lambda_1 \tau} - 1} \right]. \quad (7a)$$

から簡単に t_1 が求まる。

次に測定時 t_1, t_2 における ^{95}Nb の原子数 $N_{3,1}, N_{3,2}$ および測定時 t_1, t_2 の時間間隔 τ の測定誤差をそれぞれ $\Delta N_{3,1}, \Delta N_{3,2}$ および $\Delta \tau$ とすれば、放射性降下物の核爆発後の経過時間 t_1 の誤差 Δt_1 は、誤差伝播の式により求めることができる。すなわち

$$(\Delta t_1)^2 = \left(\frac{\partial t_1}{\partial N_{3,1}} \right)^2 (\Delta N_{3,1})^2 + \left(\frac{\partial t_1}{\partial N_{3,2}} \right)^2 (\Delta N_{3,2})^2 + \left(\frac{\partial t_1}{\partial \tau} \right)^2 (\Delta \tau)^2,$$

より

$$\begin{aligned} \therefore \Delta t_1 = & \frac{1}{k_{11} \cdot k_{13} (\lambda_3 - \lambda_1)} [(e^{-\lambda_1 \tau} - e^{-\lambda_3 \tau})^2 \{(N_{3,2} \cdot \Delta N_{3,1})^2\} + (N_{3,1} \cdot \Delta N_{3,2})^2] \\ & + \{N_{3,2} (\lambda_3 e^{-\lambda_3 \tau} - \lambda_1 e^{-\lambda_1 \tau}) + N_{3,1} (\lambda_1 - \lambda_3) e^{-(\lambda_1 + \lambda_3) \tau}\}^2 (\Delta \tau)^2]^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (8)$$

を得る.

特に $\Delta \tau = 0$ の場合は

$$\Delta t_1' = \frac{e^{-\lambda_1 \tau} - e^{-\lambda_3 \tau}}{k_{11} \cdot k_{13} (\lambda_3 - \lambda_1)} \sqrt{(N_{3,2} \cdot \Delta N_{3,1})^2 + (N_{3,1} \cdot \Delta N_{3,2})^2}. \quad (9)$$

となる.

3. 試料および測定装置

試料は1967年12月24日に行われた第7回中国核爆発実験による強放射能粒子で、同年12月26日より28日にわたり、主として本工学部内土木工学科建物の屋上と一部は筆者の自宅(工学部北東6km)に設けた採集台上で採取したうちの一部である。そのうち試料 No. 1 は強放射能粒子を1個をふくみ、試料 No. 2 は7個をふくむ。測定装置のうち γ 線検出器は有効体積22ccの同軸形のGe(Li)で、 γ 線スペクトロメータとともにORTEC製、波高分析器は800チャンネルの東芝製である。

4. 測定結果および推定値

測定した試料の γ 線スペクトルの一部を図1、図2に示す。 ^{95}Zr (724keV)はよく分離した光電ピークを示しているが、 ^{95}Zr (757keV)と ^{95}Nb (766keV)は複合光電ピークを示している。この複合光電ピークの面積は二成分光電ピーク分離法¹³⁾により二つの成分光電ピークに分解される。この方法により求めた ^{95}Nb (766keV)の光電ピークの真の面積(カ

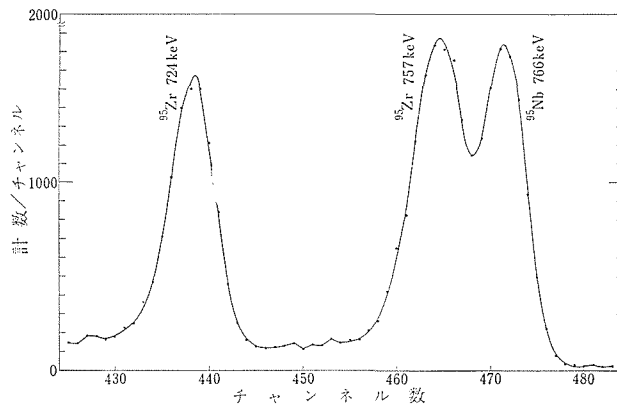


図 1

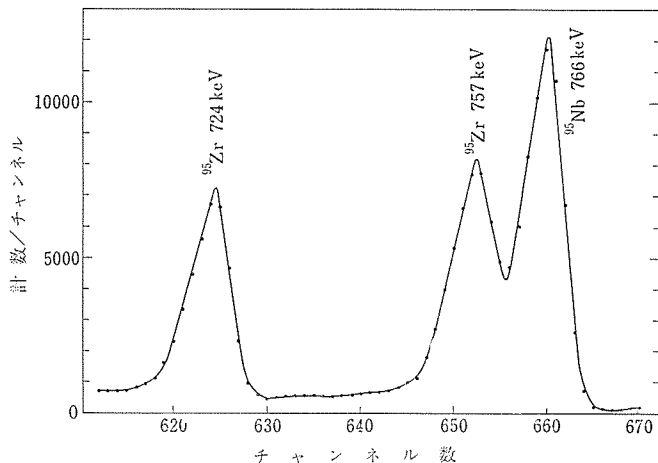


図 2

ウント数)を計測時間で割って、 ^{95}Nb (766keV) の γ 線の強度とし、単位を cps (count per sec)で表わす。1968年1月6日から同年2月29日までの期間において、試料 No.1 および No.2 の γ 線スペクトルを測定し、上記の方法で ^{95}Nb (766keV)の強度を求めた結果を表1に示す。次にこの表に示された測定結果に基づいて、試料 No.1 および No.2 の測定時 t_1 , t_2 の組み合わせを考え、式(4a)および式(7)または式(7a)によって算定した核爆発後の経過時間 t_1 の推定値、真値との偏差および百分率偏差を表2に示す。

表 1

試料	No.1				No.2	
	測定日	68/ 1/ 6	68/ 1/26	68/ 2/10	68/ 2/29	68/ 1/26
^{95}Nb (766keV)の γ 線強度 [cps]	0.3726	0.6741	0.7650	0.7918	5.9053	7.3890

表 2

試料	番号	測定日		時間間隔 $\tau(\text{日}) = t_2' - t_1'$	^{95}Nb の原子数比 $N_{3,1}/N_{3,2}$	核爆発後の経過時間 t_1 (日)				
		t_1'	t_2'			真値	式(4a)による推定値	式(7)による推定値	式(7)による推定値の偏差	式(7)による百分率偏差
No.1	①	68/1/ 6	68/1/26	20	0.3726/0.6741		14.07	14.08	+1.08	+7.7%
	②	68/1/ 6	68/2/10	35	0.3726/0.7650	13.00	14.41	14.42	+1.42	+9.8
	③	68/1/ 6	68/2/29	54	0.3726/0.7918		14.64	14.64	+1.64	+11.2
	④	68/1/26	68/2/10	15	0.6741/0.7650	33.00	36.12	36.11	+3.11	+8.6
	⑤	68/1/26	68/2/29	34	0.6741/0.7918		36.35	36.35	+3.35	+9.2
	⑥	68/2/10	68/2/29	19	0.7650/0.7918	48.00	51.71	51.71	+3.71	+7.1
No.2	⑦	68/1/26	68/2/19	24	5.9053/7.3890	33.00	30.72	30.71	-2.29	-7.4

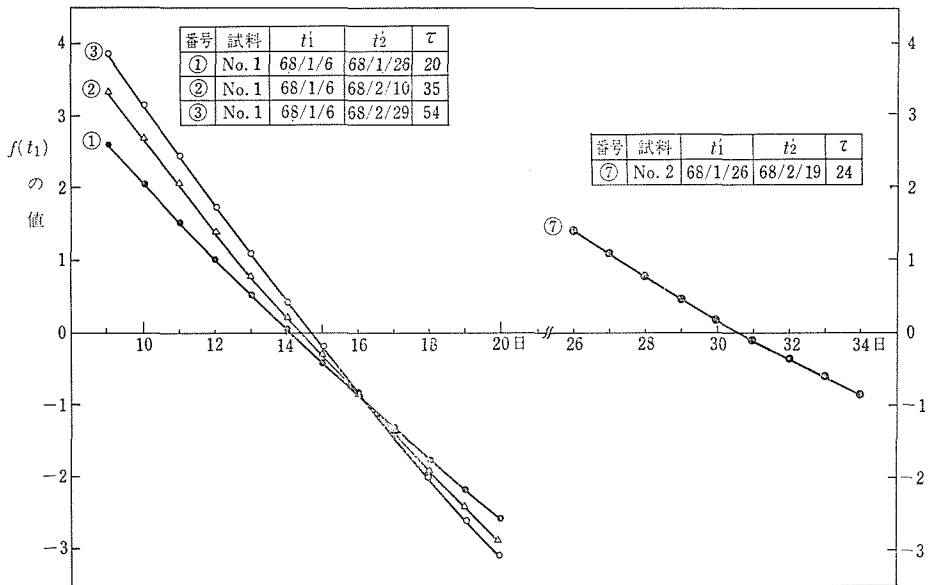


図 3

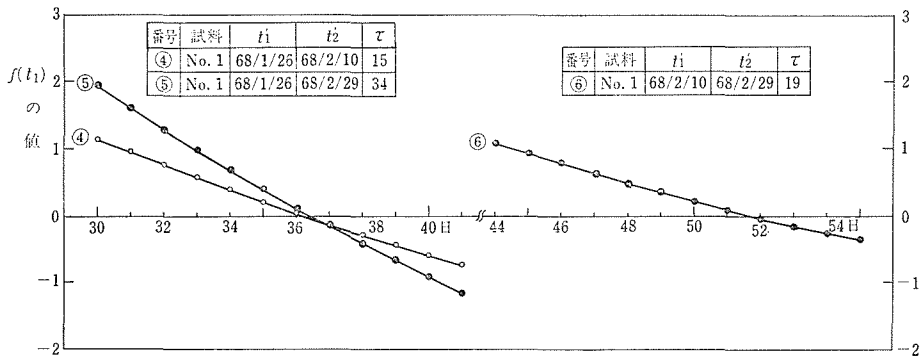


図 4

式(4a)から t_1 を求めるには、 t_1 を変数として、式(4a)の左辺 $f(t_1)$ の値を計算し、その値が正から負に変わる点すなわち t_1 軸（横軸）を切る点を見出せばよい。これをグラフに示したのが図3と図4である。時間間隔 τ が15日以上の場合において、式(4a)による t_1 の算定値も、式(7)または式(7a)による算定値もほとんど等しいので、放射性降下物の核爆発後の経過時間 t_1 の推定値を求めるには、簡単な式(7)または式(7a)で十分であることが分る。

表2において、①、②、③の各場合、測定日 t_1' (1968年1月6日)の起爆時からの経過時間 t_1 の推定値として式(7)から算定して14.08日、14.42日、14.64日を得たが、これら推定値の真値からの偏差はそれぞれ1.08日、1.42日、1.64日であり、1日～2日の誤差範

囲で真値とよく合っている。次に④, ⑤, ⑦, ⑥の場合はそれぞれの測定日 t_1' の起爆時からの経過時間 t_1 の推定値として式(7)から36.11日, 36.35日, 30.81日, 51.71日を得ているが, これら推定値はそれぞれの真値からの偏差はそれぞれ3.11日, 3.35日, -2.29 日, 3.71日であり, ⑦の場合は3日, ④, ⑤, ⑥の場合はいずれも4日の誤差範囲内で真値とかなりよく合う。これらの偏差を百分率偏差に直すといずれも7%~11%となり, これらの推定値にはそれぞれこの程度の百分率誤差を含むことがわかる。

5. 推定値の誤差と考察

起爆時の真値が既知の場合, 実測値を用いて算定された放射性降下物の爆発後の経過時間 t_1 の推定値と真値との偏差は容易に求まるが, 起爆時の真値が未知の場合は t_1 の推定値と真値との偏差は求まらない。そこで爆発後の経過時間 t_1 の推定値の誤差 Δt_1 または $\Delta t_1'$ を次に示す (i), (ii), (iii) の条件の下で, それぞれ式(8)または式(9)により計算し, t_1 の推定値に予期される誤差を表3に示す。

- (i) $t_1 = 15.0$ 日, 30.0日, 50.0日の各場合
- (ii) $\tau = 1.0$ 日, 2.0日, 5.0日, 10.0日, 20.0日, 30.0日, 40.0日, 50.0日の各場合
- (iii) $N_{3,1}$, $N_{3,2}$, τ の測定精度をそれぞれ百分率誤差 $(\Delta N_{3,1}/N_{3,1}) \times 100\%$, $(\Delta N_{3,2}/N_{3,2}) \times 100\%$, $(\Delta \tau/\tau) \times 100\%$ で示し, とともにそれぞれ0.1%, 0.2%, 0.5%, 1.0%, 2.0%, 5.0%の値を採る場合

ただし測定時 t_1' , t_2' における ^{95}Nb の原子数 $N_{3,1}$, $N_{3,2}$ は式(2a)からの理論値を用いる。

表3より各測定精度が同一の場合, 推定値 t_1 の値が大きいときは, 誤差 Δt_1 または $\Delta t_1'$ の絶対値は大きく, また各測定精度を同一に保ち, 測定時間間隔 τ を大きく採ると, 誤差 Δt_1 または $\Delta t_1'$ は小さくなるのがわかる。従って測定時間間隔 τ を小さく採った場合すなわち測定時 t_2' を t_1' に接近させて測定する場合は, 余程百分率誤差 $(\Delta N_{3,1}/N_{3,1}) \times 100\%$, $(\Delta N_{3,2}/N_{3,2}) \times 100\%$, $(\Delta \tau/\tau) \times 100\%$ を小さくしないと推定値 t_1 の誤差 Δt_1 または $\Delta t_1'$ は小さくならない。このために測定装置の安定性を極めて良好な状態で維持し, 測定精度を高くする必要があると同時に, その再現性がよくなければならない。また表3から誤差 Δt_1 と $\Delta t_1'$ の値はほとんど等しいことがわかる。

次に放射性降下物の核爆発後の経過時間 t_1 を1日または2日の誤差範囲内で推定したい場合, 必要な $N_{3,1}$, $N_{3,2}$, τ の測定精度を表4に示す。この表より, 測定時間間隔 τ をなるべく短くして, 経過時間 t_1 を推定するのに, 誤差 $\Delta t_1 \leq 1.0$ 日の範囲内で行なうとすれば, $t_1 = 15.0$ 日の場合は各測定精度が0.2%の下で $\tau = 1.0$ 日を必要とし, $t_1 = 30.0$ 日の場合では各測定精度は0.1%の下で $\tau = 2.0$ 日を必要とする。また $t_1 = 50.0$ 日の場合は各測定精度が0.1%の下で $\tau = 5.0$ 日の時間間隔を必要とすることがわかる。

以上この推定法によって採取した放射性降下物の核爆発後の経過時間 t_1 をなるべく早期に推定しようとする場合, 普通, 核爆発後15日以内で正確に推定するには困難を伴う。なぜならば ^{95}Zr と ^{95}Nb の放射能比による核爆発後の経過時間推定法と同じく, ^{95}Nb 766 keV の γ 線光電ピークはまだ十分成長せず ^{132}I 773 keV の γ 線光電ピークの妨害を受け

表 3

τ (日)	測定精度 (百分率誤差%)			$t_1 = 15.0$ 日		$t_1 = 30.0$ 日		$t_1 = 50.0$ 日	
	$(\Delta N_{3,1}/N_{3,1}) \times 100$	$(\Delta N_{3,2}/N_{3,2}) \times 100$	$(\Delta\tau/\tau) \times 100$	Δt_1	$\Delta t_1'$	Δt_1	$\Delta t_1'$	Δt_1	$\Delta t_1'$
1.0	0.1	0.1	0.1	0.35	0.34	1.32	1.32	3.66	3.66
	0.2	0.2	0.2	0.70	0.67	2.64	2.63	7.32	7.32
	0.5	0.5	0.5	1.74	1.68	6.59	6.58	18.30	18.29
	1.0	1.0	1.0	3.48	3.36	13.18	13.16	36.59	35.59
	2.0	2.0	2.0	6.95	6.72	26.36	26.31	72.19	73.18
	5.0	5.0	5.0	17.38	16.79	65.90	65.78	182.97	182.95
2.0	0.1	0.1	0.1	0.20	0.18	0.68	0.68	1.86	1.86
	0.2	0.2	0.2	0.40	0.36	1.36	1.36	3.73	3.72
	0.5	0.5	0.5	1.00	0.89	3.41	3.39	9.31	9.31
	1.0	1.0	1.0	1.99	1.79	6.82	6.78	18.54	18.53
	2.0	2.0	2.0	3.98	3.57	13.65	13.56	37.26	37.25
	5.0	5.0	5.0	9.95	8.92	34.12	33.90	93.15	93.12
5.0	0.1	0.1	0.1	0.12	0.08	0.31	0.30	0.79	0.79
	0.2	0.2	0.2	0.24	0.17	0.61	0.59	1.58	1.58
	0.5	0.5	0.5	0.59	0.42	1.52	1.48	3.95	3.94
	1.0	1.0	1.0	1.18	0.84	3.05	2.97	7.90	7.89
	2.0	2.0	2.0	2.36	1.68	6.11	5.94	15.80	15.78
	5.0	5.0	5.0	5.91	4.20	15.27	14.84	39.49	39.44
10.0	0.1	0.1	0.1	0.09	0.05	0.18	0.17	0.43	0.43
	0.2	0.2	0.2	0.18	0.11	0.36	0.34	0.86	0.86
	0.5	0.5	0.5	0.45	0.26	0.90	0.85	2.16	2.16
	1.0	1.0	1.0	0.91	0.53	1.80	1.70	4.32	4.31
	2.0	2.0	2.0	1.82	1.05	3.61	3.40	8.63	8.62
	5.0	5.0	5.0	4.55	2.63	9.02	8.49	21.59	21.55
20.0	0.1	0.1	0.1	0.07	0.04	0.11	0.10	0.25	0.25
	0.2	0.2	0.2	0.14	0.07	0.23	0.21	0.50	0.50
	0.5	0.5	0.5	0.34	0.18	0.57	0.53	1.26	1.26
	1.0	1.0	1.0	0.68	0.37	1.13	1.06	2.52	2.52
	2.0	2.0	2.0	1.36	0.74	2.27	2.13	5.05	5.05
	5.0	5.0	5.0	3.39	1.84	5.67	5.32	12.62	12.62
30.0	0.1	0.1	0.1	0.05	0.03	0.09	0.08	0.20	0.19
	0.2	0.2	0.2	0.10	0.06	0.17	0.16	0.39	0.39
	0.5	0.5	0.5	0.25	0.16	0.44	0.43	0.98	0.96
	1.0	1.0	1.0	0.51	0.32	0.87	0.85	1.96	1.93
	2.0	2.0	2.0	1.01	0.63	1.74	1.71	3.92	3.86
	5.0	5.0	5.0	2.54	1.58	4.36	4.27	9.79	9.65
40.0	0.1	0.1	0.1	0.04	0.03	0.07	0.07	0.17	0.16
	0.2	0.2	0.2	0.07	0.06	0.15	0.15	0.35	0.33
	0.5	0.5	0.5	0.18	0.15	0.37	0.37	0.87	0.82
	1.0	1.0	1.0	0.37	0.29	0.75	0.75	1.75	1.63
	2.0	2.0	2.0	0.74	0.58	1.50	1.50	3.50	3.27
	5.0	5.0	5.0	1.84	1.45	3.75	3.74	8.75	8.17
50.0	0.1	0.1	0.1	0.03	0.03	0.07	0.07	0.17	0.15
	0.2	0.2	0.2	0.06	0.05	0.15	0.14	0.34	0.29
	0.5	0.5	0.5	0.14	0.14	0.36	0.34	0.86	0.73
	1.0	1.0	1.0	0.28	0.27	0.73	0.69	1.72	1.46
	2.0	2.0	2.0	0.56	0.55	1.46	1.37	3.44	2.91
	5.0	5.0	5.0	1.40	1.37	3.65	3.43	8.60	7.29

おそれがあるからである。しかし測定結果に示すごとく Fractionation 効果の影響を受けて希発性振舞をする核種 ^{132}I 773keV が非常に乏しい試料 (No. 114) では核爆発後の経過時

表 4

τ (日)	*測定精度 ($(\Delta N_{3,1}/N_{3,1}) \times 100\%$, $(\Delta N_{3,2}/N_{3,2}) \times 100\%$, $(\Delta\tau/\tau) \times 100\%$)					
	$t_1 = 15.0$ 日の場合		$t_1 = 30.0$ 日の場合		$t_1 = 50.0$ 日の場合	
	$\Delta t_1 \leq 1.0$ 日	$\Delta t_1 \leq 2.0$ 日	$\Delta t_1 \leq 1.0$ 日	$\Delta t_1 \leq 2.0$ 日	$\Delta t_1 \leq 1.0$ 日	$\Delta t_1 \leq 2.0$ 日
1.0	0.2	0.5	0.1以下	0.1	0.1以下	0.1以下
2.0	0.5	1.0	0.1	0.2	0.1以下	0.1
5.0	0.5	1.0	0.2	0.5	0.1	0.2
10.0	1.0	2.0	0.5	1.0	0.2	0.2
20.0	1.0	2.0	0.5	1.0	0.2	0.5
30.0	2.0	2.0	1.0	2.0	0.5	1.0
40.0	2.0	5.0	1.0	2.0	0.5	1.0
50.0	2.0	5.0	1.0	2.0	0.5	1.0

* 測定精度は $(\Delta N_{3,1}/N_{3,1}) \times 100\% = (\Delta N_{3,2}/N_{3,2}) \times 100\% = (\Delta\tau/\tau) \times 100\% = 0.2\%$ のごとく皆同一の百分率誤差の値をとるものとする。

間 t_1 が15.0日より少い13.0日を1.0日～2.0日の誤差範囲以内で14.08日～14.64日と推定できることがわかる。

また起爆日が異なり、かつ比較的接近している新旧放射性降下物の混合試料の場合にこの方法を適用することは困難であり、何等注意を払わずに本法を適用すると大きな誤差を免れないであろう。

さらに本推定法は既報の ^{95}Zr と ^{95}Nb の放射能比による核爆発後の経過時間の推定法⁹⁾ に比べると、 γ 線スペクトルをある時間隔てて少くとも1回多く測定する必要があるが、両推定法によって得られた核爆発後の経過時間の推定値は互によく一致しており、両推定法によって確かめられた核爆発後の経過時間の推定値は一層その信頼度を増すことになる。

6. む す び

核爆発によって生成された放射性降下物の起爆時から測定時までの経過時間を推定するのに、 ^{95}Zr の娘核種 ^{95}Nb の γ 線 766keV の強度を一定時間隔てて測定して得られる1対の測定値を用いる新しい方法を開発した。1967年12月24日に行なわれた第7回中国核爆発実験による強放射能粒子に関する測定データを本推定法に適用し、核爆発後の経過時間を算定したところ、実際とかなりよく一致する結果を得た。またこの結果は ^{95}Zr と ^{95}Nb の放射能比による推定値ともよく一致する。

終りに本研究の測定に際し、多くの便宜を与えられた東芝総合研究所員藤井勲博士と小野寺浩一氏に対し感謝の意を表します。

文 献

- 1) K. Way and E. P. Wigner : Phys. Rev., **73**, 11 (1949).
- 2) H. F. Hunter and N. E. Ballou : Nucleonics, **9**, No. 5, C-2 (1951).
- 3) F. Yamasaki and H. Kaneko : J. Sci. Res. Inst., **49**, 137-143 (1955).

- 4) 西脇, 本田, 原田, 森島, 木村, 古賀: 近畿大学原子力研究所年報 第1卷 80-90 (1963).
- 5) T. Sotobayashi *et al*: Nature, **215**, 728 (1967).
- 6) T. Sotobayashi *et al*: Bull. Chem. Soc. Jap., **41** (11) 2796 (1968).
- 7) T. Mamuro, Y. Matsuda: J. Rad. Res., **10-3-4**, 126-132 (1969).
- 8) I. Fujii, K. Onodera: J. Inorg. Nucl. Chem., **31** (7) 1907 (1969).
- 9) 帶刀 正: 信州大学工学部紀要 第29号 4-17 (1970).
- 10) S. Katcoff: Nucleonics, **18**, 201 (1960).
- 11) L. E. Weaver *et al*: USNRL-TR-633, 21
- 12) K. F. Flynn *et al*: Nucl. Sci. Engineering, **22**, 416-419 (1965).
- 13) C. L. Carnahan: Nucl. Instr. Methods, **30**, 165 (1964).
- 14) 帶刀 正: 信州大学工学部紀要 第31号 29-30 (1971).

Summary

A Method for Estimation of the Elapsed Time after a Nuclear Explosion by Measuring the Activity of ^{95}Nb in the Radioactive Fallout

Tadashi TATEWAKI

(Institute of Physics, Faculty of Engineering)

A new method for estimation of the elapsed time after a nuclear explosion from a given radioactive fallout has been developed wherein the activity of ^{95}Nb is measured by a Ge(Li) gamma-ray detector with high resolution. The elapsed time after the nuclear explosion was calculated by this method from the two measured values of the activity of ^{95}Nb at a given time intervals in the highly radioactive fallout particles due to the seventh Chinese nuclear test explosion on 24 December 1967. The results were in fairly good agreement with the true values of the elapsed time, and also with the estimated values of the elapsed time obtained from the activity ratio of ^{95}Zr to ^{95}Nb . The expected errors for the results and the necessary measurement accuracies for the number of the atoms of ^{95}Nb and the time intervals to estimate the elapsed time within the errors 1 to 2 days, are given in the tables.