

## 技術論文

チェレンコフ光測定と液体シンチレーション測定による  
 $^{89}\text{Sr}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の迅速測定法の検討清水武彦\*<sup>1</sup>, 林 直美\*<sup>1</sup>, 坪 憲\*<sup>1</sup>, 野村 保\*<sup>1</sup>, 大和愛司\*<sup>1</sup>, 岩井 誠\*<sup>1</sup>

(1985年1月16日受理)

(1985年2月26日再受理)

Rapid Measurement of  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  by Čerenkov and Liquid Scintillation CountingTakehiko SHIMIZU,\*<sup>1</sup> Naomi HAYASHI,\*<sup>1</sup> Ken AKUTSU,\*<sup>1</sup> Tamotsu NOMURA,\*<sup>1</sup>  
Aiji YAMATO\*<sup>1</sup> and Makoto IWAI\*<sup>1</sup>

Two methods have been developed for rapid determination of  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in liquid effluent from nuclear facilities. One is the sequential Čerenkov and liquid scintillation counting. The pure  $\beta$  emitting nuclides, freshly separated from  $^{90}\text{Y}$  by 0.05 M TTA-Benzene extraction, are first counted for  $^{89}\text{Sr}$  Čerenkov radiation, and then recounted for  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  by liquid scintillation counting. The other is the simultaneous determination of  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Sr}$  with spill-over method by liquid scintillation counting.

Although ingrowing  $^{90}\text{Y}$  may be a main cause of errors in determination of  $^{89}\text{Sr}$ , it can be minimized by dual radionuclides counting in Čerenkov and triple radionuclides counting in liquid scintillation. Reasonably accurate results have been obtained for samples having  $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$  ratio ranging from 0.05 to 20, if the countings are completed within several hours after chemical separation of  $^{90}\text{Y}$ .

KEY WORDS :  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , rapid determination, Čerenkov radiation, liquid scintillation

## I 緒 言

原子力施設から環境に放出される低レベルの放射性廃液に含まれている  $^{89}\text{Sr}$  と  $^{90}\text{Sr}$  を弁別測定するには、一般に  $^{90}\text{Y}$  をミルクングして  $^{90}\text{Sr}$  を求め、 $^{89}\text{Sr} + ^{90}\text{Sr}$  のグロスの測定値より  $^{90}\text{Sr}$  を差し引いて  $^{89}\text{Sr}$  を求める方法<sup>1)</sup> がとられている。しかし、この方法は、 $^{90}\text{Y}$  をミルクングするために試料を約2週間放置する必要があり、迅速性が要求される試料に対応することが困難である。

一方、 $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  を迅速に測定する方法として $\beta$ 線スペクトロメータを利用した方法<sup>2)</sup> や、アルミニウム吸収

板を利用して測定する方法<sup>3)</sup>、液体シンチレーション測定<sup>4)</sup> またはチェレンコフ光測定<sup>5,6)</sup> を利用した方法等が報告されている。

ここでは、 $^{89}\text{Sr}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の迅速測定を(1)チェレンコフ光測定と液体シンチレーション測定を組み合わせた方法および(2)液体シンチレーション測定のみで行う方法について検討したので報告する。

II 液体シンチレーション測定およびチェレンコフ光測定による  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  の定量方法

液体シンチレーション測定<sup>7)</sup> は、一般に他の $\beta$ 線測定法と比べ、1)  $\beta$ 線の自己吸収がないこと、2)  $4\pi$  計数であるため計数効率が高い ( $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  の計数効率は、それぞれ 90% 以上) ことが長所とされ、また、短所として、クエンチングにより計数効率が低下すること等があ

\*<sup>1</sup> 動力炉・核燃料開発事業団東海事業所安全管理部; 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 (〒319-11)  
Health and Safety Division, Tokai-works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation; Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken.

げられる。

またチェレンコフ光の測定<sup>7)</sup>では、長所として、1)液体シンチレーションカウンタが利用できる。2)化学クエンチングの影響をうけない。3)放射性試料の回収が可能である。4)廃溶媒が発生しない、等があげられ、また短所として、1)色クエンチングの影響を受けやすい。2)計数効率が液体シンチレーション測定に比べ低いなどがあげられる。また、チェレンコフ光の発生には、エネルギーのしきい値が存在しており、理論上、水を媒体とした場合 0.26 MeV 以下の $\beta$ 線では発光しない<sup>7,8)</sup>。この特性を利用すると  $^{90}\text{Sr}$  ( $\beta$ 線最大エネルギー 0.55 MeV)を弁別したチャンネルで、 $^{89}\text{Sr}$  ( $\beta$ 線最大エネルギー 1.46 MeV)のみをチェレンコフ光により定量することが可能である。

### 1. 使用機器および試薬

本実験に使用した液体シンチレーションカウンタは、対数増幅器を使用しているため測定ゲインを変化させることなく、低エネルギー領域から高エネルギー領域まで同一ウィンドで測定できる。また、クエンチングのモニタ方法としては、外部標準法の一つである  $H\#$  ( $H$  ナンバー) 法<sup>9)</sup> が用いられている。すなわち外部標準  $^{137}\text{Cs}$  を照射して非クエンチング標準試料のコプトンエッジを自動スキニングによって求め、この位置を基準点としてクエンチング試料のコプトンエッジの位置との差を  $H\#$  と呼び、これによりクエンチングの度合をモニタする方式である。

1) 液体シンチレーションカウンタ; LS-9000 (米国ベックマン社製)

対数増幅器, 3チャンネル,  $H\#$  クエンチング検出方式 (自動クエンチング補正)

2) 液体シンチレータ; アクアゾル II (New England Nuclear 社製)

3) 標準線源

$^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ; LMRI 製

$^{89}\text{Sr}$ ; Amersham 製

### 2. チェレンコフ光測定と液体シンチレーション測定とを組み合わせた方法 (以下チェレンコフ-液シン法と略す)

$^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  を含む試料から  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  を化学分離後、まずチェレンコフ光測定により  $^{89}\text{Sr}$  を測定する。次に、液体シンチレーション測定により  $^{89}\text{Sr}$ + $^{90}\text{Sr}$  を測定し、チェレンコフ光測定から求めた  $^{89}\text{Sr}$  を差し引くことによって  $^{90}\text{Sr}$  を定量する。

#### 2.1 チェレンコフ光測定 ( $^{90}\text{Sr}$ の定量)

Fig. 1 にチェレンコフ光測定における  $^{89}\text{Sr}$ , および

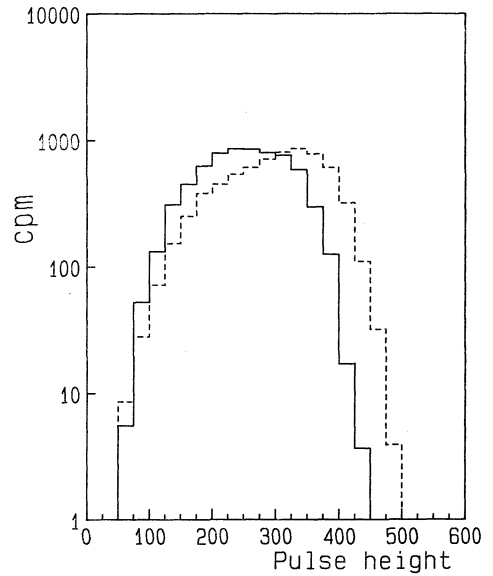


Fig. 1 Pulse height spectra of Čerenkov radiation.

Counter used: Beckman LS-9000, Solution used: 0.1 M HCl, Solution Vol.: 20 ml.

—:  $^{89}\text{Sr}$   $6.1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$ , ----:  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$   $5.1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$ .

$^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  平衡溶液のパルス高スペクトル図を示す。

チェレンコフ光は、水 (屈折率=1.332) が媒体の場合、0.26 MeV 以下のエネルギーの $\beta$ 線では発生せず、出力パルスは、おもに、液シン法の  $^3\text{H}$  測定領域で測定される。 $\beta$ 線の最大エネルギーが 0.55 MeV (平均エネルギー約 0.2 MeV) の  $^{90}\text{Sr}$  の計数効率は、1% 以下である。 $^{90}\text{Sr}$  によるパルスの上限に、ディスクリミネータの LOWER LEVEL (L.L.) を設定すれば、 $^{89}\text{Sr}$  のみが測定できる。

$^{90}\text{Sr}$  を弁別したチャンネルでの  $^{89}\text{Sr}$  の計数効率は約 33%, また  $^{90}\text{Y}$  では約 57% であった。しかし、放射性ストロンチウムの同位体組成が  $^{90}\text{Sr} > ^{89}\text{Sr}$  の場合には、 $^{90}\text{Sr}$  より成長する  $^{90}\text{Y}$  の妨害を無視できない。そこで 2チャンネルを設定し、 $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$  を測定して、次式によりそれぞれの放射能を求める。

$$\left. \begin{aligned} \text{Ch 1; } N_1 &= (^{89}\text{Sr}) E_1^{89} + (^{90}\text{Y}) E_1^{90\text{Y}} \\ \text{Ch 2; } N_2 &= (^{89}\text{Sr}) E_2^{89} + (^{90}\text{Y}) E_2^{90\text{Y}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

( $^{89}\text{Sr}$ ), ( $^{90}\text{Y}$ ) は放射能,  $N_1$ ,  $N_2$  は各チャンネルの計数値,  $E_1^{89}$ ,  $E_2^{89}$ ,  $E_1^{90\text{Y}}$ ,  $E_2^{90\text{Y}}$  はそれぞれ  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$  の各チャンネルの計数効率を示す。

また、チェレンコフ光測定における水溶液中での  $^{89}\text{Sr}$  の計数値を 100 とした場合の塩酸および硝酸溶液中での

**Table 1** Effect of concentration of HCl and HNO<sub>3</sub> on <sup>89</sup>Sr Čerenkov radiation.

Solution	Channel 1 (125-350 Ch) Relative count ratio	Channel 2 (350-550 Ch) Relative count ratio
H <sub>2</sub> O	100*1,*3	100*2,*4
0.1 M HCl	100.4	99.2
1.0 M HCl	100.8	99.6
2.0 M HCl	105.2	115.0
0.1 M HNO <sub>3</sub>	94.9	63.0
1.0 M HNO <sub>3</sub>	93.2	36.0
2.0 M HNO <sub>3</sub>	75.5	9.6

\*1 Counting Efficiency of <sup>89</sup>Sr; 31.6% (<sup>90</sup>Y; 43.3 %).

\*2 Counting Efficiency of <sup>89</sup>Sr; 1.4% (<sup>90</sup>Y; 13.7 %).

\*3 Observed Counting rate 11,800 cpm.

\*4 Observed Counting rate 510 cpm.

測定結果 (比計数率=塩酸または硝酸溶液中での <sup>89</sup>Sr の計数率/水溶液中での <sup>89</sup>Sr の計数率) を、Table 1 に示す。

塩酸溶液の場合、ほとんど水溶液と同様の結果が得られたが、濃度が高くなるに従い比計数率が若干、増加する傾向が見られた。これは、塩酸濃度の増大により屈折率が大きくなる<sup>10)</sup>ために、計数効率が増加したためと考えられる。硝酸溶液の場合は、硝酸自体が紫外領域に吸収スペクトル<sup>11)</sup> (吸収極大 2,700~3,000 Å) をもっているため、比計数率が低下したと考えられる。そこで、本法においては、液体シンチレーション測定時におけるクエンチングも考慮して、0.1 M 塩酸溶液で測定することにした。

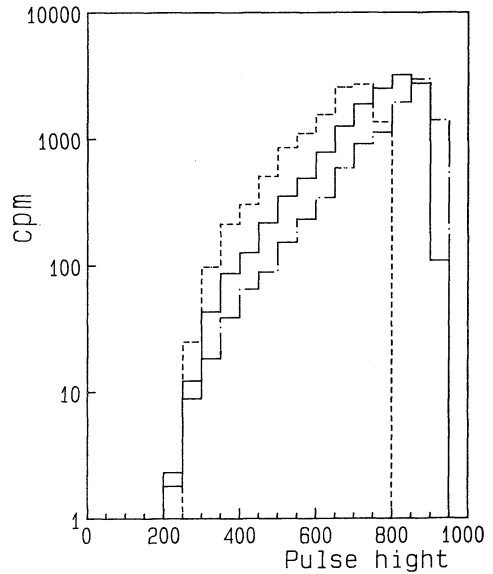
2.2 液体シンチレーション測定 (<sup>90</sup>Sr の定量)

Fig. 2 に液体シンチレーション測定における <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Y 溶液のスペクトル図を示す。

チャンネル1は、<sup>90</sup>Sr のスペクトルをすべて測定できる領域に設定する。チャンネル2の L.L. は、<sup>90</sup>Sr を完全に弁別する位置、つまりチャンネル1の UPPER LEVEL (U.L.) とし、チャンネル2の U.L. は、<sup>90</sup>Y の最大エネルギーを超えるよう設定してスピルオーバー法により <sup>90</sup>Sr を定量する。したがってチャンネル1、チャンネル2には、次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \text{Ch 1; } N_1 &= ({}^{89}\text{Sr}) E_1^{89} + ({}^{90}\text{Sr}) E_1^{90} + ({}^{90}\text{Y}) E_1^{90Y} \\ \text{Ch 2; } N_2 &= ({}^{89}\text{Sr}) E_2^{89} + ({}^{90}\text{Y}) E_2^{90Y} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(<sup>89</sup>Sr), (<sup>90</sup>Sr), (<sup>90</sup>Y) は放射能, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> は各チャ



**Fig. 2** Pulse height spectra of liquid scintillation.

Counter used : Beckman LS-9000, Scintillator used : AQUASOL-II, Scintillator Vol. : 10 ml, Solution used : 0.1 M HCl, Solution Vol. : 10 ml, — : <sup>89</sup>Sr 6.5 × 10<sup>-3</sup> μCi, ---- : <sup>90</sup>Sr 5.1 × 10<sup>-3</sup> μCi, - · - : <sup>90</sup>Y 5.1 × 10<sup>-3</sup> μCi.

ネルの計数値, E<sub>1</sub><sup>89</sup>, E<sub>2</sub><sup>89</sup>, E<sub>1</sub><sup>90</sup>, E<sub>1</sub><sup>90Y</sup>, E<sub>2</sub><sup>90Y</sup> はそれぞれ <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Y の各チャンネルの外部標準法より求めた計数効率を示す。

<sup>89</sup>Sr は、あらかじめチェレンコフ光測定で定量しておく、(2)式に代入し、<sup>90</sup>Sr の放射能をもとめる。

3. 液体シンチレーション測定法による方法 (以下液シン法と略す)

チェレンコフ液シン法と同様に試料から <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr を分離した後、液体シンチレーションカウンタに3チャンネルを設定し、スピルオーバー法により <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr および成長してくる <sup>90</sup>Y を同時定量する方法である。チャンネル1は <sup>90</sup>Sr のエネルギーをすべて測定できる領域に設定し、チャンネル2、チャンネル3は <sup>90</sup>Sr を弁別した領域をさらに2分割する。したがって次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \text{Ch 1; } N_1 &= ({}^{89}\text{Sr}) E_1^{89} + ({}^{90}\text{Sr}) E_1^{90} + ({}^{90}\text{Y}) E_1^{90Y} \\ \text{Ch 2; } N_2 &= ({}^{89}\text{Sr}) E_2^{89} + ({}^{90}\text{Y}) E_2^{90Y} \\ \text{Ch 3; } N_3 &= ({}^{89}\text{Sr}) E_3^{89} + ({}^{90}\text{Y}) E_3^{90Y} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(<sup>89</sup>Sr), (<sup>90</sup>Sr), (<sup>90</sup>Y) は放射能, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> は各チャンネルの計数値, E<sub>1</sub><sup>89</sup>, E<sub>2</sub><sup>89</sup>, E<sub>3</sub><sup>89</sup>, E<sub>1</sub><sup>90</sup>, E<sub>1</sub><sup>90Y</sup>, E<sub>2</sub><sup>90Y</sup>, E<sub>3</sub><sup>90Y</sup> はそれぞれ <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Y の各チャンネルの外

部標準法より求めた計数効率を示す。この式を解くことにより,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$  のおのおの放射能が求められる。

### III 測定結果

既知量の  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  (およそ  $4 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$ ) を用い, 同位体組成 (放射能比) を 0.05~20 まで変化させて調製した試料を, 分離操作後 3 時間以内に測定した結果を **Table 2** に示す。

試料溶液から 0.05 M TTA-ベンゼン溶媒抽出<sup>12)</sup>により  $^{90}\text{Y}$  を抽出し, 抽出残液を蒸発乾固後, 0.1 M 塩酸溶液に溶解して, チェレンコフ光, および液体シンチレーション測定用の測定試料とした。一般に多チャンネルを設定しスピルオーバー法で数核種を定量する場合, 低エネルギー核種の測定誤差が大きくなる<sup>8)</sup>。つまり, 成長してくる  $^{90}\text{Y}$  による  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  への影響は, チェレンコフ-液シン法でも液シン法でも避けられない。チェレン

コフ-液シン法の場合, チェレンコフ光測定では同位体組成が  $^{89}\text{Sr} < ^{90}\text{Sr}$  の場合,  $^{90}\text{Y}$  の影響で  $^{89}\text{Sr}$  を過大評価する傾向が見られた。また, 同位体組成が  $^{89}\text{Sr} > ^{90}\text{Sr}$  の場合は  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  とも十分定量できる。

液体シンチレーション測定のみで定量する方法では,  $^{89}\text{Sr}$  に対する  $^{90}\text{Y}$  の影響はチェレンコフ-液シン法ほど大きくないが, 同位体組成が  $^{89}\text{Sr} > ^{90}\text{Sr}$  のとき,  $^{90}\text{Sr}$  を約 10% 過小に評価した。

したがって,  $^{89}\text{Sr} > ^{90}\text{Sr}$  である試料についてはチェレンコフ-液シン法を,  $^{89}\text{Sr} < ^{90}\text{Sr}$  である試料には, 液シン法を適用することによって,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  の同位体組成の広い範囲で定量が可能である。

また, 試料 200 ml から  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  を分離後 3 時間以内に, 測定時間 30 分でチェレンコフ光および液体シンチレーション測定をした場合の検出限界値 ( $3\sigma$ ) を **Table 3** に示す。

**Table 2** Results of  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  measurement as a function of  $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$  ratio.

Ratio $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$	Added ( $\mu\text{Ci}$ )	Observed			
		Čerenkov-L.S. Method		L.S. Method	
		$^{89}\text{Sr}$ ( $\mu\text{Ci}$ )	$^{90}\text{Sr}$ ( $\mu\text{Ci}$ )	$^{89}\text{Sr}$ ( $\mu\text{Ci}$ )	$^{90}\text{Sr}$ ( $\mu\text{Ci}$ )
0.05	$^{89}\text{Sr}$ $4.4 \times 10^{-5}$	$6.4 \times 10^{-5}$	$9.6 \times 10^{-4}$	$4.9 \times 10^{-5}$	$9.6 \times 10^{-4}$
	$^{90}\text{Sr}$ $9.5 \times 10^{-4}$	$\pm 6.1 \times 10^{-6}$	$\pm 3.8 \times 10^{-6}$	$\pm 4.3 \times 10^{-6}$	$\pm 3.8 \times 10^{-6}$
0.1	$^{89}\text{Sr}$ $4.7 \times 10^{-5}$	$6.2 \times 10^{-5}$	$4.8 \times 10^{-4}$	$4.4 \times 10^{-5}$	$4.9 \times 10^{-4}$
	$^{90}\text{Sr}$ $4.8 \times 10^{-4}$	$\pm 5.2 \times 10^{-6}$	$\pm 4.3 \times 10^{-6}$	$\pm 3.4 \times 10^{-6}$	$\pm 4.3 \times 10^{-6}$
1	$^{89}\text{Sr}$ $5.0 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-5}$	$5.3 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-5}$	$5.2 \times 10^{-5}$
	$^{90}\text{Sr}$ $5.0 \times 10^{-5}$	$\pm 4.4 \times 10^{-6}$	$\pm 1.5 \times 10^{-6}$	$\pm 2.6 \times 10^{-6}$	$\pm 1.4 \times 10^{-6}$
11	$^{89}\text{Sr}$ $5.4 \times 10^{-4}$	$5.3 \times 10^{-4}$	$5.3 \times 10^{-5}$	$5.9 \times 10^{-4}$	$4.5 \times 10^{-5}$
	$^{90}\text{Sr}$ $5.0 \times 10^{-5}$	$\pm 9.7 \times 10^{-6}$	$\pm 2.4 \times 10^{-6}$	$\pm 7.0 \times 10^{-6}$	$\pm 2.4 \times 10^{-6}$
20	$^{89}\text{Sr}$ $1.0 \times 10^{-3}$	$9.9 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$4.5 \times 10^{-5}$
	$^{90}\text{Sr}$ $5.0 \times 10^{-5}$	$\pm 1.0 \times 10^{-6}$	$\pm 2.9 \times 10^{-6}$	$\pm 1.0 \times 10^{-6}$	$\pm 2.8 \times 10^{-6}$

The uncertainties (three sigmas) listed were derived from the counting data only.

**Table 3** Detection limits as a function of  $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$  ratio.

Ratio $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$	Čerenkov-L.S. Method		L.S. Method	
	$^{89}\text{Sr}$ ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )	$^{90}\text{Sr}$ ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )	$^{89}\text{Sr}$ ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )	$^{90}\text{Sr}$ ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )
0.05	$5.4 \times 10^{-8}$	$1.6 \times 10^{-8}$	$3.5 \times 10^{-8}$	$1.6 \times 10^{-8}$
1	$4.7 \times 10^{-8}$	$1.6 \times 10^{-8}$	$2.9 \times 10^{-8}$	$1.6 \times 10^{-8}$
20	$4.7 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-8}$	$2.9 \times 10^{-8}$	$3.7 \times 10^{-8}$

## IV 結 論

本法によれば、環境に放出する低レベルの放射性廃液に含まれる  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  の定量を2日から3日の短期間で行うことが可能である。

チェレンコフ光測定において、同位体組成が  $^{89}\text{Sr} < ^{90}\text{Sr}$  の場合、 $^{89}\text{Sr}$  を過大評価する傾向が見られたが、これは成長してくる  $^{90}\text{Y}$  の影響のためと考えられる。

$^{89}\text{Sr} > ^{90}\text{Sr}$  の場合は、 $^{89}\text{Sr}$  にくらべ成長する  $^{90}\text{Y}$  の量が相対的に少ないので、 $^{89}\text{Sr}$  の定量にほとんど影響しないと考えられる。今回用いた測定装置は、外部線源に  $^{137}\text{Cs}$  を使用しているため、チェレンコフ光測定におけるクエンチング補正が不可能であったが、 $^{226}\text{Ra}$  を用いた装置を使用すればこれが可能になり、さらに精度のよい測定が期待できる。

本報告では、迅速測定法について検討したが、環境試料中の  $^{89}\text{Sr}$  および  $^{90}\text{Sr}$  の測定にもチェレンコフ光測定および液体シンチレーション測定は利用できるものと考えられる。

本稿は、本会第18回研究発表会の発表内容に加筆してまとめたものである。

## 参 考 文 献

- 1) 科学技術庁；放射性ストロンチウム分析法，日本分析センター（1974）。
- 2) 西川元之，亘 恒男； *Radioisotopes*, **29**, 542 (1980)。
- 3) 山県 登；環境放射能測定法，共立出版（1969），東京。
- 4) 動力炉・核燃料開発事業団；標準分析作業法（放出管理編），排水中の  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  分析法，PNCT N852-84-06（1984）。
- 5) R.B. RANDOLPH； *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **26**, 9 (1975)。
- 6) B. CARMON and U. GERMAN； *Health Physics*, **42**, 529 (1982)。
- 7) 石川寛明；液体シンチレーション測定法（1981），南山堂，東京。
- 8) H.H. ROSS； *Anal. Chem.*, **41**, 1260 (1969)。
- 9) ベックマン・ジャパン(株)；液体シンチレーション・カウンティングシステム・ハンドブック(1983)。
- 10) 日本化学会；“化学便覧”，基礎編，改訂2版，p.1258 (1979)，丸善，東京。
- 11) 分析化学辞典編集委員会（編）；“分析化学辞典”，p.904 (1971)，共立出版，東京。
- 12) 鈴木信男，加藤豊明；日化誌，**80**, 1148 (1959)。