

# 放射性同位元素を利用する液体流れの追跡

加藤正夫・佐藤乙丸・井上健

液体の流れの追跡への放射性同位元素利用方法について、放射化トレーサ法もふくめて一般的に説明し、ついで河川水の拡散、流量測定、河川中の塩水の挙動、工場内の液体循環時間、反応かくはん槽の液体滞留時間、電解槽の流れと液量の算出などの応用例について述べた。

## 1. ま え が き

放射性同位元素を利用する流れの追跡は、ここ数年来気体、液体、固形物の移動を調べる方法として各方面で実用化されてきた。とくに水理学方面における利用が盛んで、河川水の流量測定、地下水流の追跡、湖沼中の汚れや海水の拡散、河底や海底におけるシルトの移動追跡などが 1963 年の IAEA の水理学における放射性同位元素利用に関する国際会議<sup>1)</sup>でとりあげられた。なお英国においては、開放水路の流量測定の一つの基準として同位体稀釈法に基づく方法を 1965 年以来 B. S. 規格にも採用している。

工場内における物質移動の放射性追跡法は、稼動状態のまま適用できることから、工程解析の有力な手段として早くから応用されてきた。中性子源 Po-Be 50 Ci を用いて短半減期の放射性同位元素を製造し、連続的に流量を測定する方式、および中性子源のかわりに中性子発生装置を用いる方式などの実用化がはかられている。このほか物質の混合、かくはん、滞留、循環などの測定への応用<sup>2)</sup>は枚挙にいとまがない。

放射性気体を利用した、各種小部屋内の空気流のフロー・パターンの測定をはじめ、放射性稀ガスによる装置内の漏れ検査も応用例が多い。煙突から出る塵ガスの大気汚染状況を調査する目的で放射性追跡法を利用する試みも行なわれている。固形物の移動追跡は、河川中のシルトや海底漂砂の移動調査に早くから応用されており、このほか、工場内における各種原料の流れ・移動の追跡にも冶金・化学工場で用いられてきた。

このように放射性同位元素を利用する流れの追跡法はかなり広い範囲に及ぶものであるが、ここでは筆者らがつりあげてきた過去数年間の液体の流れ追跡実験例、すなわち北海道空知川で行なった、既報告論文<sup>3)</sup>以後の実験、信濃川、阿賀野川における実験、ニッケル電解工場内で行なった、一連の実験などを中心に述べることにする。

## 2. 放射性同位元素の使い方

### (1) 核種の選定

追跡しようとする液体と物理的に同一挙動を示す放射性同位元素を含む化合物を、そのまま追跡体とする方法と、非放射性の追跡体を用い、試料採取後放射化分析し

て追跡結果をうる方法とがある。後者は放射線障害防止上問題がある場合に用いられるが、前者に比べて検出感度が劣りまた放射化分析という時間と経費のかかる操作が必要であるなど不利な点が多い。この目的に使用される非放射性同位元素としては、表・1 のようなものがあ

表・1 トレーサとして使用できる非放射性同位元素

安定核種	存在比(%)	放射化断面積	放射性核種の半減期
<sup>23</sup> Na	100	536±10(mb)	15.0(h)
<sup>51</sup> V	99.76	45±0.9(b)	3.76(m)
<sup>55</sup> Mn	100	13.2±0.2(b)	2.58(h)
<sup>81</sup> Br	49.48	3.1±0.5(b)	35.9(h)
<sup>115</sup> In	95.77	155±10(b)	54.2(m)
<sup>151</sup> Eu	47.77	1400±300(b)	9.2(h)
<sup>191</sup> Ir	38.5	700±200(b)	74(d)
<sup>193</sup> Ir	61.5	130±30(b)	19(h)
<sup>197</sup> Au	100	96±10(b)	2.7(d)

り、半減期 1 時間以上で放射化断面積の大きいものが有利である。しかし大量の試薬を水に溶かして使用する関係上、安価に入手できるものでなければならない。したがってマンガン、ブロム、インジウムなどが適している。

水ないし水溶液の放射性トレーサ核種としては水と同一挙動をとる <sup>3</sup>H がもっとも適している。しかし <sup>3</sup>H は最大 18 keV のベータ線を放射して崩壊しているため、検出がきわめて困難であり、液体シンチレータに溶かすかまたはガス状にして計数せざるを得ない。また半減期も長く約 12 年である。幸い水中許容濃度、最大許容身体負荷量ともに他の核種に比べて大きいので、<sup>3</sup>H 以外の放射性核種の追跡中の損失分を測定したり、各種の水のトレーサに用いられる。

<sup>3</sup>H 以外のものとしては <sup>24</sup>Na, <sup>82</sup>Br, <sup>131</sup>I, <sup>198</sup>Au, などが用いられる。いずれも半減期が適当であること、水によく溶ける化合物が存在し、追跡中安定(吸着・沈澱などが少ない)であること、適当なエネルギーのガンマ線を放出していること、水中許容濃度が大きいこと、比放射能の大きいトレーサ液が得られることなどの条件から選定されたものである。地下水の追跡体としては以上の核種のほか金属のキレート化合物がよく用いられる。

### (2) 使用数量

放射線による一般公衆や取扱い者以外の作業員に対する障害を予防する立場から、できるだけ少量の放射性同

位元素を用いることが望ましい。一般に必要最少数量は実験内容によってきまるが、このうちとくに使用放射性核種の特性、測定値の許容誤差、放射能検出方法、実験系内でのトレーサの稀釈度などによって大きく左右される。工場内におけるトレーサ実験の場合は、一工程内で使用している総流量がきまっていることが多いので所要放射能の概算はそれほど困難ではない。河川や地下水の流れの追跡実験のときに問題となる。

筆者らが空知川における実験で用いた計算法<sup>4)</sup>は、塩水法で測定（不正確）されていた空知川の縦方向乱流拡散係数値を基礎にして求めたものである。縦方向乱流拡散係数が不明の場合は類似した河川の数値を参考にして仮定し、次式によっても概算することができる<sup>5)</sup>。

$$A = 0.2a\sqrt{\pi Kx}(\text{MPC})/\sqrt{v}$$

この場合は測定点における最大水中濃度を使用核種の最大許容水中濃度 (MPC) の 0.1 にするに必要な数量を  $A(\mu\text{Ci})$ 、縦方向乱流拡散係数  $K(\text{cm}^2/\text{s})$ 、河川の平均流速、平均断面積、区間距離を  $v(\text{cm}/\text{s})$ 、 $a(\text{cm}^2)$ 、 $x(\text{cm})$  としている。

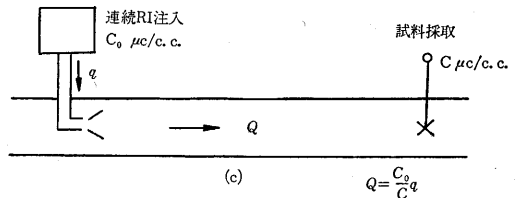
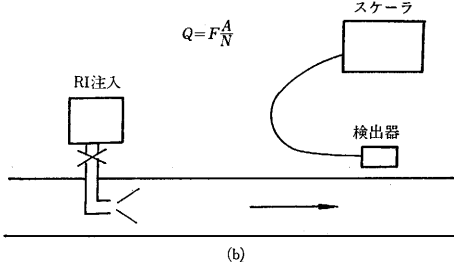
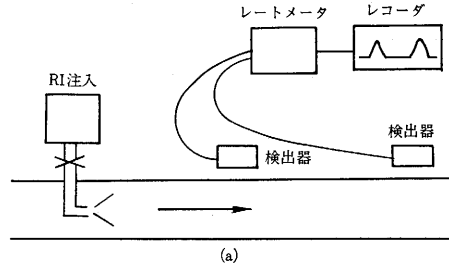
測定誤差が問題となる場合は、河川流量を全計数法で測定するものとして、流量  $Q$  の  $\Delta Q/Q=f$  とおけば、

$$A = \frac{Q}{2f^2F} (1 + \sqrt{1 + 4n_0 t_0}) e^{\frac{0.693ft}{T}}$$

から求められる。ここで  $F$  は全計数時の計数効率、 $t_0$  は全計数時間、 $n_0$  は自然計数率であらかじめ  $t_0$  に相当する時間測定して求めておいた値、 $T$  は使用核種の半減期、 $t$  は注入点から測定点までのトレーサ流下時間である。

### (3) トレーサ注入法と測定法

同位体稀釈法の原理を応用するため、連続的に一定時間一定流量でトレーサを注入する場合と、瞬間的に点状でまたは断面積方向に数カ所で注入する場合とある。トレーサの到着時間や平均流速を測定するにすぎない場合は図・1(a)の2点測定法によればよい。この方法で流量を求めることもできるが、誤差が大きいため流量の測定を必要とするときは次の方法が用いられる。



図・1 液体の流量測定法

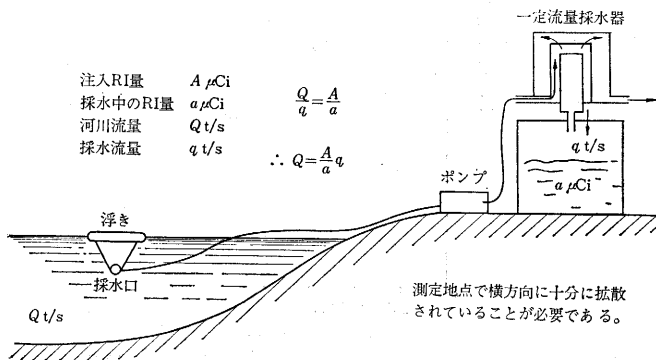
**連続注入稀釈法** (constant rate injection-isotope dilution method) は既知の濃度  $C_0$  のトレーサを一定流量  $q$  で連続注入し、十分に横拡散しかつトレーサ水塊の濃度が一定となったときに測定点で採水し、両者の濃度比から流量を求める方法である。すなわち採水濃度  $C$ 、流量  $Q$  とすれば  $Q = qC_0/C$  (図・1(c))。

**瞬間注入稀釈法** (sudden injection-isotope dilution method) は使用放射能  $A$ 、横拡散が均一に行なわれている測定点を通じたトレーサ水塊の濃度積分値を  $\int c dt$  とするとき  $Q = A / \int c dt$  から求める方法である。濃度積分値はフロー曲線の面積またはトレーサ水塊通過時間  $t_1$  から  $t_2$  までの間に一定時間間隔で一定量づつ採水してタンクに入れ、その平均濃度  $\bar{C}$  を求める方法

( $\int c dt = \bar{C}(t_2 - t_1)$  total-sample method) から計算できる。

**全計数法** (total-count method) はトレーサ水塊の全計数値  $N$  が流量  $Q$  に反比例し、使用数量  $A$  に比例することに基づく方法で、計数効率  $F$  とすれば  $Q = FA/N$ 。  $F$  による測定誤差を小さくするため、測定点で連続的にトレーサ水塊の一部を採水して全計数する方法が一般に用いられている (図・1(b))。

**瞬間注入連続採水法** (図・2) は一定流量  $q$  でトレーサ水塊を採水し、その中に含まれている放射能を  $a\mu\text{Ci}$  とするとき  $Q = q(A/a)$  から求



図・2 連続採水流量測定

める方法である。q を一定にしさえすれば注入放射能の絶対値がわからなくとも A/a の比較測定から流量が求められる利点がある。

これらの流量測定法ではいずれも注入トレーサの濃度や数量、検出器の計数効率などの誤差がそのまま流量の誤差となってくる。このため使用トレーサの一部を正確に測ってあらかじめ採取しておき、実験に使用した測定方法と同じ条件で測定して両者の比較値で流量を計算する方法<sup>6)</sup>が使用されるようになった。その結果 1~2% の誤差で流量測定することが可能となった。

さらに流量測定にあっては、測定点においてトレーサが横方向に均一に拡散していなければならない。この状態になる最短距離は混合距離と称せられ、現在までいくつかの実験式が提案されたが自然河川に適用しうる式はまだ与えられていない。この距離を短くして使用放射能を少なくするために、断面積内で多点注入を行なう試みも行なわれている。

3. 河川水のトレーサ例

(1) 空知川における実験

1963 年夏、ダブルトレーサ法により空知川の上流区間約 20 km にわたり、トレーサ損失、横拡散、流量測定の実験<sup>7)</sup>を行なった。実験区間の上流に河状の複雑な区間があったので、河状による横拡散の程度を調べるためその区間以後数 km は 2 回にわたってトレースすることにし、計 3 回の実験を行なった。使用トレーサは各回ともトリチウム水 <sup>3</sup>H を標準とし、ほぼ同一時刻同一場所に <sup>24</sup>Na, 43 mCi, <sup>82</sup>Br 46 mCi, 43.6 mCi を重畳して瞬間注入した。測定箇所は下流 3 地点をえらび、左岸、流心、右岸の 3 カ所から同時に採水するほか水中検出器による連続記録も併用した。流量測定は、連続採水器を作り注入点から 1~3 km の測定点に設置し、左岸、流心、右岸から採水し、その放射能濃度を求めて行なった。

<sup>24</sup>Na と <sup>82</sup>Br のトレーサ損失に関する結果は、採水試料の放射能を測定して得られたフロー曲線のピーク値におけるトレーサ濃度の無次元量を比較して検討した。注入トレーサ量 A μCi, 測定点におけるトレーサ濃度のピーク値 C<sub>max</sub>, 流量 Q, 到着時間 t とすると、無次元量 C' は

$$C' = C \frac{A}{Qt}$$

となる。ここで Q, t は <sup>3</sup>H と <sup>24</sup>Na, <sup>82</sup>Br とで変化がないから

$$C' \propto C/A$$

上式を用いて計算してみると表・2 のようになり、<sup>24</sup>Na は約 6 km 下流ですでに <sup>3</sup>H より若干小さくなっており、数 % の損失が認められる。<sup>82</sup>Br は一例を除いて <sup>3</sup>H よりむしろ大きい値を示しており、水中損失がき

表・2 空知川における <sup>24</sup>Na, <sup>82</sup>Br の水中損失および横方向の混合率

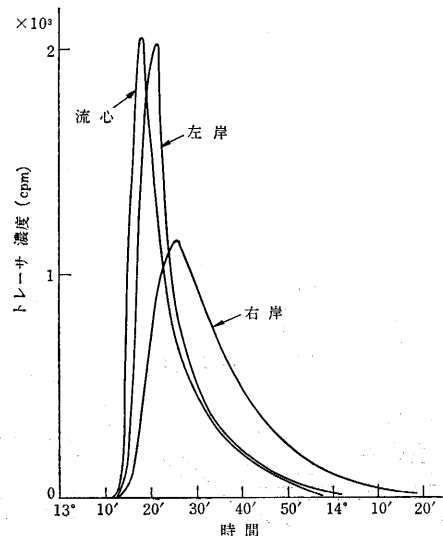
注入点からの距離 (km)	測定箇所	C' の値 (×10 <sup>-5</sup> )			混合率 (%)
		<sup>3</sup> H	<sup>24</sup> Na	<sup>82</sup> Br	
6.4	右岸	2.03	1.93		81.5
	流心	2.07	1.98		
	左岸	1.23	1.175		
8.3	右岸	1.32		1.36	96.4
	流心	1.42		1.76	
	左岸	0.914		0.87	
10.7	右岸	0.71		0.745	98.2
	流心	0.81		0.83	
	左岸	0.81		0.96	

わめて小さいことを物語っている。この結果は諸外国で行なわれたこの種の実験とほぼ同一傾向を示しており、<sup>82</sup>Br (NH<sub>4</sub>\*Br) が河川水のトレーサ物質としてとくにすぐれていることがわかる

横方向の拡散を調べるために、左右流心部の 3 カ所から採水してフロー曲線を描いた。横拡散の程度をあらわすのに左右流心部のフロー曲線の積分値をそれぞれ S<sub>L</sub>, S<sub>R</sub>, S<sub>C</sub>, これらの算術平均値を S<sub>M</sub> として次式を用いて混合率としてみた。

$$1 - \frac{(|S_L - S_M| + |S_C - S_M| + |S_R - S_M|)}{3 S_M} = \text{混合率}$$

<sup>3</sup>H のフロー曲線を用いて計算した結果を表・2 にのせてある。95% 以上の混合率のときはほぼ均一に拡散されていると考えれば、空知川の場合 7~8 km となる。なおこのときの空知川の流量は約 40 m<sup>3</sup>/s 前後であった。また上流区間の複雑な河状による横拡散の影響に関しては、注入点から 3 km 下流の測定点で採水し、<sup>3</sup>H と <sup>82</sup>Br のフロー曲線を描いた。図・3 に示すように <sup>82</sup>Br の混



図・3 注入点より 3 km 下流地点における <sup>82</sup>Br のフロー曲線

合率は 95% 以上であったが、<sup>3</sup>H は 46% にすぎなかった。この原因は、両トレーサの注入時間に 2 分の差があり、また注入カ所が西達布川との合流地点であったため、それぞれの注入時刻における河川水の流れの相違によるものと考えられる。いずれにせよ河状の複雑な区間においてはかなり早く横拡散が行なわれることがわかった。

流量測定の一つの方法として図・2 の原理にもとづいて連続定量採水装置を作って実験してみた。得られた結果は表・3 のとおりであり、各測定点とも 3 台設置したが、各種のトラブルで 1 台または 2 台しか満足に動作しなかった。表・3 の実測値と比べて 1~2 km 下流で測定した値は横拡散が均一に行なわれていないためかなり異なっているが、3 km 下流で測定した値は 1.1 km 上流で実測した流量値より若干大きく、測定点の流量値に近い値が得られた。この測定点は図・3 に示すように、<sup>82</sup>Br の横拡散がほぼ均一になっていた地点である。

表・3 空知川における流量測定結果

測定点と位置	注入点からの距離 (km)	測定値 (m <sup>3</sup> /s)	カレントメータによる実測値 (m <sup>3</sup> /s)
山部橋 流心 右岸	1.1	56.6 29.1	40
布部鉄橋 流心 左岸	1.9	58.5 54.9	36.56
山部橋 流心	3.0	31.7	27.63*

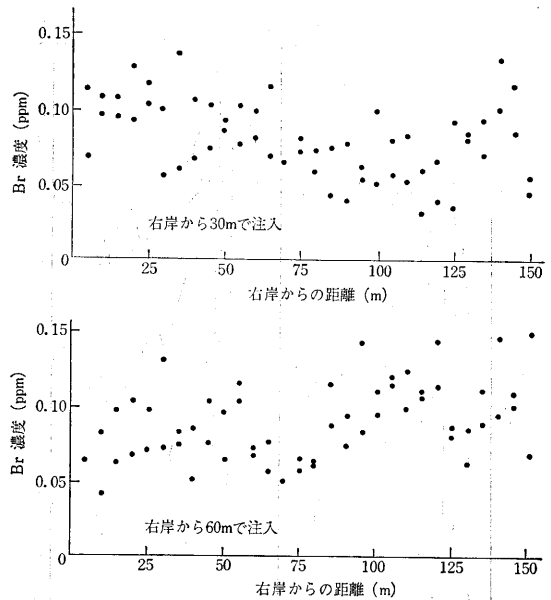
\* 印 1.1 km 上流における実測値

(2) 信濃川における実験<sup>8)</sup>

1965 年夏の渇水期に、水道用水取入口上流 800 m 地点に設けられる予定の農業用水放水口の水道用水に及ぼす影響をあらかじめ調査する目的で、非放射性トレーサによる河川水拡散実験を行なった。トレーサ化合物として NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>, MnSO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>Br を用い、トレーサ核種の濃度を 2000~30000 ppm にし、約 1.5 l/min の流量で 1~1.5 時間連続注入した。取水口、放水口ともに右岸にあるので、第 1 回の実験では放水口地点の右岸から 10 m おきに 60m までの 6 カ所をえらんで注入し、取水口地点の右岸から 150 m まで 5 m おきにボートを操作して採水した。採水地点の河幅は 270 m で流量は約 300 t/sec であった。

採水試料は No. 5 の沓紙でろ過し、ポリエチレン照射容器に 4 ml 入れて密封し、既知濃度の標準試料とともに HTR 原子炉の照射棚または気送管を用いて熱中性子を照射し、放射化分析して採水試料の濃度を求めた。Mn, Br, V のうち V の検出感度は 0.1 ppm 程度で有意義な結果は得られなかったが、主要追跡子として用いた Mn と Br はそれぞれ 0.002, 0.05 ppm の検出感度があり、有意義な結果が得られた。

第 1 回の実験結果の一例は図・4 のとおりで、右岸か



図・4 取水口付近のトレーサ濃度分布

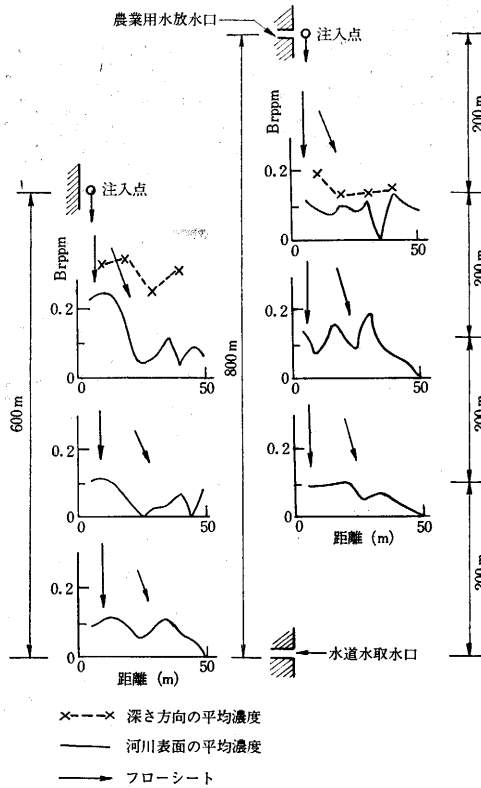
ら 30 m, 60 m 地点で NH<sub>4</sub>Br を注入したときのトレーサ分布がわかる。区間距離が 800 m にすぎないが、流心部をこえて左岸のほうまで拡散しており、その傾向は 60 m 地点で注入した場合が 30 m で注入したときより大きい。また取水口で採水した試料の稀釈率を求めたものが表・4 である。Mn の稀釈率が大きいのは、河川中における Mn の損失があったためと考えられるので、Br の稀釈率のほうが正しい値を示しているといえよう。一般的傾向として右岸寄りにトレーサを注入した場合に高い濃度のものが取水口に入ってくることがわかる。

表・4 取水口に流入したトレーサの稀釈率

トレーサ	注入場所 (右岸から, m)	稀釈率 (×10 <sup>5</sup> )
Br	5	1.4
Mn	15	11
Mn	20	17
Br	30	9.7
Mn	40	43
Br	60	13

第 2 回の実験は、測定区間 800 m を 200 m づつ 4 区間に分け、トレーサの注入地点を取水口上流 200, 400, 600, 800 m に選定し、右岸から 5 m または 15 m の河水中に注入して、右岸寄りの河川水の流れを追跡してみた。したがって採水は右岸から 50 m までとした。なお深さ方向の濃度分布を調べるため、特殊サンプラによって水面下 30, 60, 90, 120 m の採水を岸から 10 m おきに行なった。右岸から 5 m の河水中に Br を注入して得られたフローシートの一例が図・5 である。

図中の破線は深さ方向の平均濃度で、いずれも表面水よりも高い濃度を示しており、表面に注入したトレーサが水面下にもぐって拡散していく傾向があることがわか



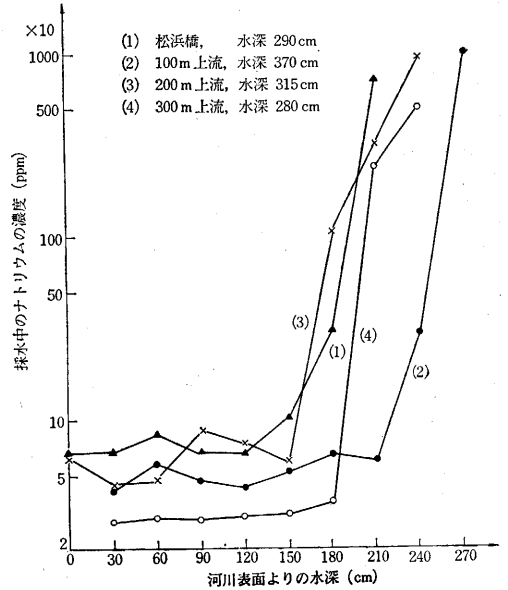
図・5 注入地点を移動した場合の下流 200m 間隔でのトレーサ濃度の変化とフローシートの例

った。また測定区間内の河川断面図を参考にして検討すると、放水口地点から約 100m 下流の右岸寄りに流心部が移動しており、このため放水口付近から注入したトレーサの横方向への拡散が激しく行なわれるものと予想される。この傾向は図・5 の右端のフローシートからも明らかによみとれる。一方 200m 下流から注入した場合は右岸よりに流下しながら、拡散していつていることがわかる。

(3) 阿賀野川における塩水との境界面の検査

1965 年 8 月 25 日満潮時に松浜橋下およびその上流 100, 200, 300 m の地点 4 カ所をえらんで、長さ 3 m 外径 3.6 cm の多段式採水器を用い、水深 30 cm ごとに 20~50 ml づつ採水して、その中に含まれる Na を放射化分析することにより、塩水と真水の境界面の挙動を調べた。実験目的は松浜橋上流約 900 m 地点にある工業用取水口に塩分を含む河川水が入りこむ可能性があるため、取入口を河底近くでなく水面近くに設けることが問題となっており、その設計資料として河底を流れる塩水とその上を流れる真水との境界面を明らかにすることであった。

当初、上述の 4 地点のほか取水口付近の調査も行なう予定であったが、実験時に風が強ク吹いたため断念せざるを得なかった。採水試料はろ過した後 4 ml を HTR



図・6 水深によるナトリウム濃度変化

の気送管で 10 分間照射し、<sup>24</sup>Na のガンマ線スペクトルから Na を定量して塩水濃度を求めた。表面水の Na 濃度は 30~60 ppm 程度で上流ほど濃度が低く、図・6 に示したように水深 3 m 程度では水面下約 2 m 付近に境界面があり、その下が塩水となっていることがわかった。また塩水と真水とが混合している部分は約 60cm あり、底部の Na 濃度は約 10000 ppm であり、海水と大差がなかった。

この方法はきわめて少量の採水量で分析できるため、周囲の状況をかく乱しないで採水が可能であり、かつ検出感度もすぐれているという利点がある。

4. 工場内のトレーサ実験<sup>9)</sup>

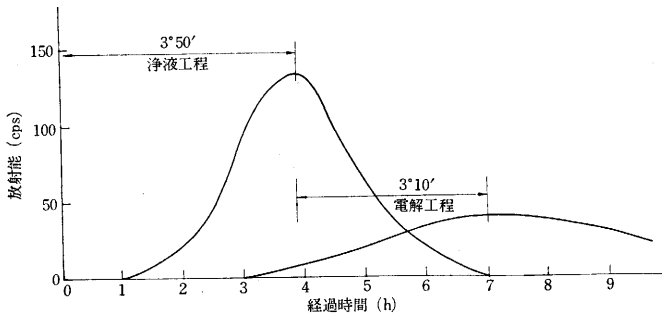
1963 年、電解工場内の電解液の循環時間の測定、浄液槽の滞留時間の測定、電解槽内のフローパターンの追跡、電解液の漏れ検査など、放射性追跡法による一連の実験を行なった。使用放射性核種は <sup>24</sup>Na (一部 <sup>82</sup>Br) で、1 回の使用数量は作業員の放射線被曝を少なくするため数 mCi 以下とした。

(1) 電解工程の循環時間の測定

浄液工程入口から <sup>24</sup>Na を瞬間的に注入し、浄液工程入口および電解工程の出口の電解液中に水冷式シンチレーションプローブを浸けてレートメータにより自動記録して図・7 が得られた。この結果循環時間は 7 時間程度で、従来考えられていた 10 時間よりかなり短く、全電解液量も、それまで考えられていた 700 m<sup>3</sup> でなく約 500 m<sup>3</sup> であることが明らかになった。

(2) 構造の異なる浄液槽の平均滞留時間の測定

図・8 に示すように同一構造の連結された 2 槽のうち、前の槽の中心近くに <sup>24</sup>Na を瞬間的に注ぎ、2 槽間の連



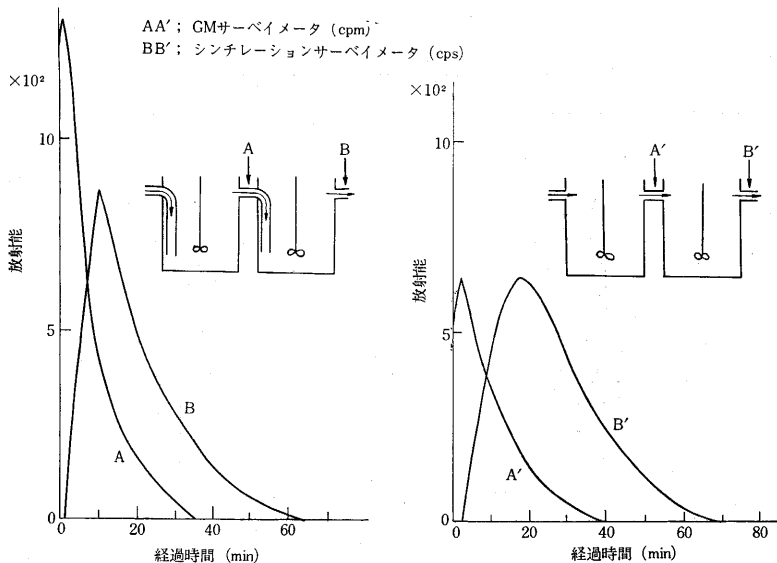
図・7 電解工程の循環時間の測定結果

結パイプおよび後の槽の出口にそれぞれ GM サーベイメータおよびシンチレーションサーベイメータを設置して流出液中の放射能を測定記録した。結果は図・8 のとおりで左右の槽の構造は電解液の流入口が槽の上部にあるか底部にあるかの差だけでほかは全く同一である。

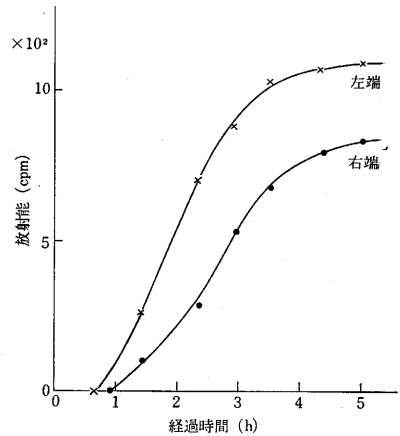
図・8 の曲線の右側の減衰部分から平均滞留時間を求めたところ、それぞれ 9 min, 14 min となり、図形中心から求めると 9.5 min, 13 min となった。いずれにせよ、このように滞留時間が異なることから、混合攪拌効果も異なることは明らかである。しかしいずれの槽を選択するかは槽内で行なわれる化学反応によって決定される。

(3) 電解槽の陰極室内の電解液の流れ

$^{24}\text{Na}$  約 0.4 mCi を 100 l の電解液に溶かし、7 l/hr の流量で連続的に一つの槽内の中央の陰極室（一槽内に 12 個ある）の入口に注入した。また特殊の採水器を用い陰極室内の 9 カ所から 10~20 ml づつ、一定時間ごとに採水し、5 ml を井戸型シンチレーションカウンターで測定して放射性電解液の混合拡散を調べた。



図・8 構造の異なる液槽の平均滞留時間の測定



図・9 電解槽廃液孔でのトレーサの濃度変化

注入開始後 1 時間で、ほとんど均一に陰極室内に分散し、約 3 時間後には飽和値に達することがわかった。また電解液は注入口から流下して底部にまわりこみながら分散している。いずれにせよ作業上まったく問題ないことが確かめられた。一方電解槽両端に設けられた廃液口での排出液の放射能測定結果によれば図・9 のように異なったフロー曲線が得られた。これは中央陰極室の左右に 6 室と 5 室があるためである。

また陰極室の放射能が飽和したときの値と注入液の放射能値とから同位体希釈法を用いて中央陰極室への非放射性電解液の流入量を求めると約 28 l/hr となる。一方図・10 の平均飽和値から、排出電解液量を逆算すると約 474 l/hr となり、入出液量は同じであるから 12 個の陰極室への平均流入量は 39 l/hr となる。この結果から各陰極室への流入量にかなりの差があることが予想され、均一な製品を得る点で問題があることがわかった。この点からも注入方法の改善が急務であるといえる。

5. むすび

筆者らの行なった実験データをもとにして液体の流れの放射性追跡法の解説を行なってきた。放射性追跡法の特長は、きわめて高感度でしかも実験系を乱すことなく追跡できる点にある。ただ放射線取扱上の法律的規制がかなり厳しいために利用が活発に行なわれないという傾向がみられる。

今秋 IAEA 主催で、工業および地球物理学における放射性トレーサ利用に関するシンポジウム（プラグ）および水理学への放射性同位元素利用に関するシンポジウム（ウィーン）が開かれることになってお

り、プラーグシンポジウムでの論文発表をかねてウィーン  
のシンポジウムにも参加する予定で準備をしている。

このように国際的にも放射性追跡法が重視され、水資源の有効な利用、公害などの環境調査への利用をはじめとして、各種の工程解析に今後ますます応用面が開拓されていくものと期待される。(1966年8月10日受理)

文 献

- 1) Proc. of IAEA Conf. on the Use of Radioisotopes in Hydrology, IAEA, (1963)
- 2) 河添邦太郎, ほか; 生産研究 14 5 p. 27~33 (1962)
- 3) 加藤正夫, ほか; 生産研究 14 1 p. 11~18 (1962)
- 4) 加藤正夫, ほか; Radioisotopes 11 4 p. 363~372 (1962)
- 5) R. P. Gardner, et al.; Int. J. App. Rad. & Isotopes 16 2 p. 75~80 (1965)
- 6) 佐藤乙丸; 原子力工業 11 7 p. 27~29 (1965)
- 7) 加藤正夫, ほか; Radioisotopes 15 5 (1966) 印刷中
- 8) 加藤正夫, ほか; 第7回日本 RI 会議報文集 B/④-4 (1966) 印刷中
- 9) Masao KATO, et al.; IAEA Symp. on Radioisotope Tracers in Industry and Geophysics (1966. 11)

(p.23 よりつづく)

- 3) 木下良作: 科学技術庁資源局資料, 第 36 号, (1962. 12)
- 4) 井口昌平: 生研報告, 14 5, (1965. 10)
- 5) Albertson, M. et al.: Proc. ACSE, Hy Division, Vol. 84, (1958. 4)
- 6) Bogardi, J.: Jr. of Geophysical Research, Vol. 66, Oct., 1961.
- 7) Garde R., Albertson, M.: Proc. IAHR, Montreal, Vol. 4, (1959.)
- 8) 杉尾捨三郎: 土木学会論文集, 71, (1960・10)
- 9) Garde, R., Ranga Raju: Proc. ASCE, Hy Division, Vol. 89, Nov., 1963.
- 10) 文献 2)
- 11) Allen, J.: "Scale Models in Hydraulic Engineering", Longmans, Green and Co., (1946.)
- 12) 文献 3)
- 13) 文献 3)

次 号 予 告 (11月号)

研究解説

全自動高精度圧延機.....鈴木 弘  
糊料のレオロジー.....黒 岩 城 雄

海外事情

IFAC ロンドン会議に出席して.....大 島 康次郎

研究速報

風による水槽波高の変化.....田 宮 真  
タンデム圧延機におけるパススケジュールの新しい計算法 (第1報).....鈴木 弘  
鎌 田 正 誠  
Cu-Fe 合金の時効について.....西 川 精 一  
長 田 田 雄 美  
小 林 繁  
ケイ皮酸の増感異性.....菊 池 真 一  
中 村 賢 市 郎  
前 田 則 義  
地盤注入用各種グラウトの特性の比較.....三 木 五 三 郎

正 誤 表 (9月号)

頁	段	行	種 別	正	誤
3	右	30	式 (8)	$i(X) = A(X)f(X)$	$i(X) = A(x)f(x)$
5	左	1	" (12-2)	$i_s(X) = \frac{I}{2} \sigma^*(X) \otimes G(X)$	$i_s(X) = \frac{I}{2} \sigma^*(X) \otimes G(\hat{X})$
6	左		表・1	パナトミック X	パナトミック
			"	(20°C)	(20°)
7	右	下1	本 文	表紙写真を参照されたい	表紙写真を参照さいたい
13	右	5	"	4).....	5).....
14	左	4	"	5).....	6).....
"	右	15	"	6).....	7).....
17	左		図・29	"0" 連続読取波形 10mv/div	最下位波形の説明句
19	右	5	本 文	そのほか	のほか
"	"	"	"	あるいは	あるいは
			筆者紹介	渡辺 勝.....理博	渡辺 勝.....工博