

放射性追跡法による河川流水流下速度の測定に関する野外実験

加藤 正夫・河添邦太郎・佐藤 乙丸・猪瀬 寧雄・森田 義育・小浜 実

河川における RI 追跡法は、他の方法より高感度で長距離追跡が可能であるため、諸外国においても、汚染水の研究に広く用いられている。本研究は、北海道空知川流域での流水流下速度の測定実験に関するもので、国産の放射性同位元素 ^{24}Na を大量使用し、十分な検出感度で、世界最長距離の追跡を行なうことができた。

1. ま え が き

河川流水の流下速度を観測するには、水とまったく同一の挙動をする追跡子を放流してその挙動を調べればよい。現在までに種々の方法が用いられてきたが、いずれも検出感度が小さく追跡距離が短いという難点があった。これに対して、RI による追跡法はきわめて高感度であるため諸外国^{1)~8)}においても、汚染水の拡がり、希釈率の測定などの衛生工学的な目的に使用されてきたが、数十 km にわたる流水追跡を行なった例は少ない。著者らは 1960 年、1961 年の 2 回にわたり北海道開発局と共同して、北海道空知川流域（第 1 図参照）約 70 km の流水追跡実験を行なった。実験の目的は、空知川上流

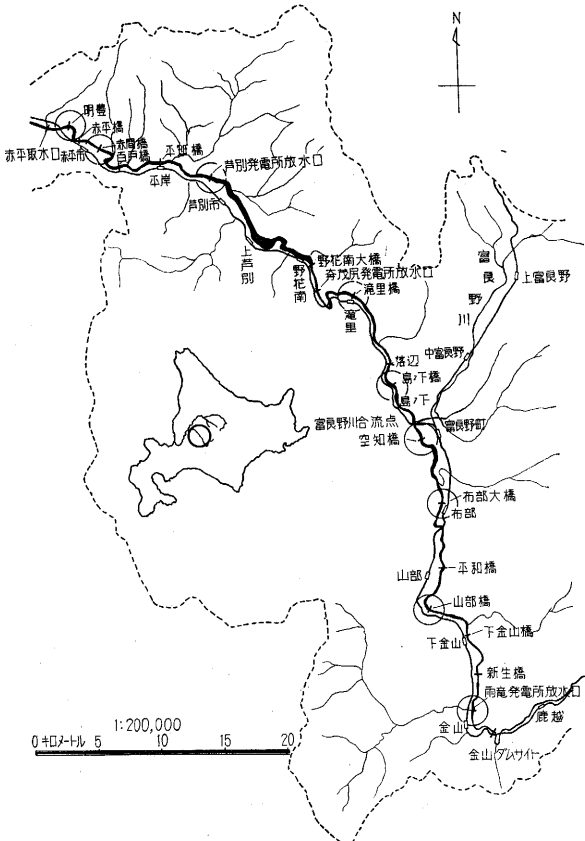
に建設計画中の多目的ダムからの放流水の流下状況を推定する基礎データを得ることであり、段波伝播を伴うダム放流水の流下に関する実験も計画中である。使用した RI は ^{131}I 数 100 mc, ^{24}Na 約 300 mc で、全流域のうち、貯水池となっている区間と最下流の取水口以下の区間を除いた約 70 km を数区間に分けて実験した。なおこのほかに、バイパスのある区間とか洲の多い区間などを選んで短区間の再追跡も行なった。放射能の検出方法としては、特製の水中検出器による直接 γ 計測法と、1 l の採水試料を化学分析して β 計測する方法とを併用し、両者の測定結果がよく一致した。

2. 原理と方法

河川流水流下時間の測定方法としては、従来フロート・電解質溶液（主に食塩水が用いられる）・螢光着色剤などを放流する方法が用いられてきたが、RI による方法は検出感度が甚大であるだけでなく、適当な追跡体を用いれば汚濁されている河川においても、他の方法では不可能な長距離追跡が可能である。原理は他の方法と同じで、河川に RI を注入し、下流の観測地点に設置した水中検出装置の出力、もしくはそこで採取した試料から得られた分析値より放射能の時間的変化曲線を作成し、この曲線から観測地点での RI 水塊の到達時刻を読んで流下時間を求めるのである。流下時間は流量によって変化するので、同時に流量観測を行なうことはいうまでもない。RI 追跡法には上述の 2 点観測法のほかに、直接流量を測定する全計数法⁶⁾がある。この方法は観測地点に計数装置を置き通過する RI の全計数値 N cpm をよみとる方法で、このとき注入した RI を A mc, 観測地点の流量 Q t/sec とすれば、 $Q \propto \frac{A}{N}$ となることを利用したものである。比例定数は RI と検出器の特性および検出の幾何学的関係によってきまるもので実験的に求められる。この全計数法は RI が一様に分散されているときに、かなりの正確さで流量を求めることができるので、著者らが採用した 2 点観測法と併用すれば、流量変化の大きい河川においても、観測時の流量を同時に知ることができて便利である。

3. トレーサー（放射性追跡子）の選定と調製

1) RI の選定 追跡子として使用する RI は次の各



第 1 図 空知川流下速度測定区間平面図

第1表 選択の対象となる RI の種類とその性質

RI の種類	化学的形狀	半減期	放射線の種類とエネルギー		I_T 1 mc の mrhm	全身に対する 最大許容量 (μ c)	飲料水中の 許容濃度 (μ c./c.c)
			β 線 (MeV)	γ 線 (MeV)			
^3H	Gas or water	12.26y	0.018	none		2×10^3	3×10^{-2}
^{131}I	NaI in $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution	8.0d	0.608 (87%) 0.335 (9%) 0.250 (3%)	0.722 (3%) 0.637 (9%) 0.364 (80%) 0.284 (5%) 0.080 (2%)	0.231	50	2×10^{-5}
^{32}P	H_3PO_4 in HCl solution	14.22d	1.707	none		30	2×10^{-4}
^{140}Ba - ^{140}La	BaCl_2 in HCl solution	^{140}Ba 12.8d ^{140}La 40.3h	0.48, 1.02 2.26, 1.67, 1.32	0.54, 0.162, 0.304 1.596, 0.82, 0.48, 0.329	1.4	9 10	2×10^{-4} 2×10^{-4}
^{86}Rb	RbCl in HCl solution	18.68d	1.78 0.71	1.08 (8.9%)	0.06	30	2×10^{-4}
^{82}Br	KBr in H_2O solution	35.7h	0.46	0.53, 0.75, 1.02 1.29, 1.44	1.48	10	4×10^{-4}
^{24}Na	NaCl in HCl solution	14.97h	1.39	2.758 1.380	1.93	7	3×10^{-4}

条件を満足するものであることが望ましい。(1) 一般公衆に対する放射線障害をさけるために、水中許容濃度が大きかつ全身に摂取しうる最大許容量も大きいこと。(2) 半減期が実験にさしつかえない程度に短いこと。(3) 水によく溶け、かつ河川中の他の物質への吸着や川底への沈殿が少ないこと、すなわち回収率(recovery)が大きいこと。(4) 採水後 β 計測する場合は β 放射体でよいが、直接水中計測を行なう場合は γ 線の放射体であること。(5) 大量に使用する必要があるため、安価に入手可能で現場へ運搬できるものであること。(6) 比放射能が大きいこと。

以上の観点から選択の対象と考えられる RI は第1表のとおりである。このうち、 ^3H は極低エネルギーの β 放射体であるので水中検出が不可能であり、かつ採水試料の計測も困難である。しかし水の追跡体としては水中許容濃度も大きく最も好ましい核種であるので将来使用されることになるものと思われる。 ^{32}P も β 放射体であるが、 β 線のエネルギーが大きいので採水法だけによる場合に使用される。 ^{24}Na 、 ^{82}Br 、 ^{86}Rb 、 ^{140}Ba - ^{140}La は水中許容濃度も比較的大でいずれも水中検出に好都合なエネルギーの γ 線を放射しており、また半減期も適当なので諸外国においても広く用いられている。このうち、 ^{24}Na 、 ^{82}Br は半減期が1日前後で放射比面積も大きいので、国内の原子炉で製造して使用することができる。 ^{86}Rb はやや半減期が長い。 ^{140}Ba - ^{140}La は輸入値段が高いので使えない。 ^{131}I は水中許容濃度の点からは不利であるが輸入単価が安く半減期も適当なので好都合である。

上述の検討にしたがって著者らは、まず ^{131}I を用いて予備実験を行ない、 ^{24}Na 大量使用上の諸問題を解決

して、本年度の本実験では主として ^{24}Na を用い、 ^{131}I は再追跡を要する短区間に使用した。

2) 実験計画 使用する RI の数量と実験区間とを定めるために、食塩水による追跡結果から算出されている空知川の乱流拡散係数を用いて、図形解法により希釈率を計算した。この希釈率と RI の水中検出限度とから、1回の注入数量と追跡距離を求めたところ、 ^{131}I の場合は100 mc で約10 km、 ^{24}Na の場合は70 mc で20 km以上の追跡が可能であることがわかった。そこで全追跡区間を数区間に分けることにし、流域内の各種農工業用水取入口での水中濃度が、 $\frac{1}{10}$ MPC 以下となるように注入地点を選定した。区間の注入数量は追跡距離と流量によって変わるが、 ^{24}Na については最大70 mc、 ^{131}I については最大100 mc とした。本実験での区間、注入量の一覧表は第2表のとおりである。また実験に先立ち、携帯用の GM 計数装置および水中検出器装置によって、注入観測地点の河川中での BG 測定を行なうほか、上中下流の3地点から採水した河水の化学分析を行なった。第3表は河水の化学分析結果である。

なおこの実験を行なうにあたり、放射性同位元素一時使用規定を作り、これに従って現地に RI 貯蔵庫、化学分析実験室を設営し、また放射線障害予防のために、一般公衆に対しては立札によって河川への立入りを禁ずるとともに、必要に応じて注入地点から2 km 以内に監視人を配置することにした。実験予定日は、農業用水が不要となる8月下旬とし、実験場所、日時、使用 RI 数量、実験の方法の概略、放射線障害予防規定、さらに本実験が安全に行なえることを裏づける希釈度の計算書などの書類一式を作成して科学技術庁へ届けた。

第 2 表 実 験 区 間

月 日	注入核種 数 (mc)	注入地点 時刻	測 定 地 点	注入点から の 距 離 (km)
8.23	²⁴ Na 28mc	赤間橋 15°42'	1. 赤平橋	1.575
			2. 明豊橋	3.700
			3. 赤平取水口	5.725
8.24	²⁴ Na 54mc	芦別発電所 11°50'30"	1. 平埜橋	4.750
			2. 百戸橋	8.850
			3. 赤間橋	12.625
8.25	²⁴ Na 59mc	鳥の下観測所 12°00'	1. 落 辺	2.550
			2. 滝里橋	10.055
			3. 野花南大橋	16.180
8.27	¹³¹ I 125mc	滝里橋 11°09'30"	1. 奔茂尻発電所放水口	3.200
			2. " 吊橋	4.000
			3. 野花南大橋	6.125
8.28	¹³¹ I 65mc	空知橋 10°18'26"	1. 富良野川合流点上流	1.400
			2. 鳥の下観測所	5.170
8.29	¹³¹ I 35mc	布部大橋 9°18'	1. 空知橋	6.600
8.29	¹³¹ I 47mc	明豊橋 11°29'	1. 赤平取水口	2.025
8.30	²⁴ Na 68mc	山 部 橋 11°05'	1. 平和橋	4.750
			2. 布部大橋	10.980
			3. 空知橋	17.580
8.31	²⁴ Na 52mc	雨竜発電所 11°34'30"	1. 新生橋	3.325
			2. 下金山橋	8.330
			3. 山部橋	11.975
			4. 空知橋	29.555

第 3 表 空 知 川 水 質 試 験 結 果

採水地点 分析項目	金 山		奔 茂 尻		芦 別	
	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm
pH	7.5		7.4		7.3	
全 酸 度	0.05	2.4	0.07	3.4	0.06	3.0
アルカリ度	0.34	17	0.40	20	0.42	21
蒸 発 残 分	—	51	—	99	—	91
強 熱 残 分	—	32	—	79	—	62
硬 度	0.38	19.0	0.57	28.4	0.59	29.4
Cl'	0.044	1.6	0.11	3.8	0.085	3.0
SO ₂	18		17		22	
NO ₂ '	0.02		—		—	
C. O. D.	0.46	3.7	0.35	2.8	0.38	3.0
Cu	0.020		0.020		0.022	

3) RI の調製 ¹³¹I の場合は輸入した RI 400 mc を日本放射性同位元素協会にて 100~180 mc に分離し、50 cc アンブルに封入して運搬することにした。この際、一般公衆に対する放射線障害を防ぎ、かつ河川中での沈殿吸着による RI のロスを最小にするために、NaI 飽和溶

液 50 cc を加え、比放射能 ¹³¹I/¹²⁷I を 10⁻⁷ の桁まで下げた注入試料とすることができた。

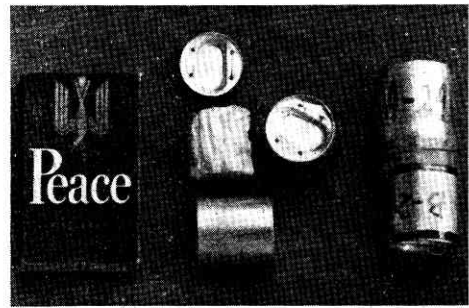


写真 1 ²⁴Na 製造に用いた照射容器

²⁴Na の場合は、日本原子力研究所 RI 製造準備室からの要求事項、現地までの航空輸送上の問題、RI 注入試料調製法などを検討した結果、写真 1 に示すように、ポリビニールアルコールで二重密封した Na₂CO₃ 10 gr をアルミニウム (2S, 厚さ 0.3 mm) 罐に封入してターゲットとした。写真 1 の右側は、このターゲットと空のアルミニウム罐とを気送管用ポリエチレン製照射容器に入れたところである。空のアルミニウム罐は、²⁸Al による誘導放射能を差し引いて正確な ²⁴Na の放射能を知るために入れたものである。JRR-1 で約 2 時間照射することにより、Na₂CO₃ 10 gr. あたり 30mc 前後の ²⁴Na が得られたが、これは比放射能の極めて低いものでありさらに担体を添加する必要がなかった。RI 照射後注入時まで 1 半減期余の時間 (約 18 時間) がかかるので、上記の照射試料を毎日 5 個ずつ照射し、総量 130~160mc を鉛容器 4~5 個に入れて航空便と自動車便とにより現地へ運搬した。現地に着いた RI は、一時使用実験室内のアルミ罐切断器で上部を切り取った後、ポリビニールアルコール袋をとり出して 100cc の硝酸液を入れた 1000 cc のビーカーに入れて溶解させた。完全に溶解させるために、数分後にさらに 100 cc の温湯を加えた。写真 2 はその状況を示すもので、完全に溶解した後、NaNO₃ 水溶液を 250 cc の特製注入用プラスチックに移して密封し、



写真 2 アルミニウム罐を Pb 厚さ 40mm の切断器に入れて、その上部を切り取っているところ

注入試料とした。

4. 注 入

RI の注入に先だち、注入試料の放射能の強さを検定するために測定台上に試料を設置し、電離箱式線量率計を用いて γ 線の線量率を測定した。写真3は望遠鏡で目盛を読み取っているところである。

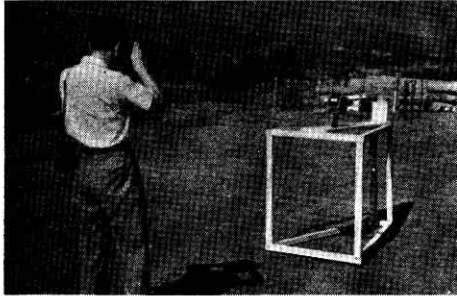


写真3 注入試料の線量率測定

RI の注入方法は、衝撃によりガラス容器のまま粉碎して放流する方式のもので ^{131}I の場合は50ccのアンプルを入れることができる軽量で簡易なものを用いたが、 ^{24}Na の場合は、注入試料を入れる部分に鉛の遮蔽壁を設けかつプラスチックの栓を押える装置を取りつけたため重量約



写真4 ^{24}Na 注入器に注入容器を入れているところ

30kg となったので、フロートをつけて河水に浮かしながら運搬注入が行ないうるようにした。写真4は ^{24}Na 注入器に注入容器を入れているところで、写真5はその注入状況である。注入が完全に行なわれたかどうかをた

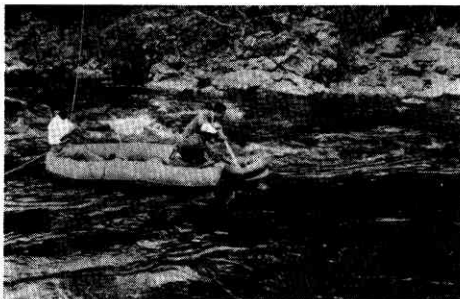


写真5 ^{24}Na の注入

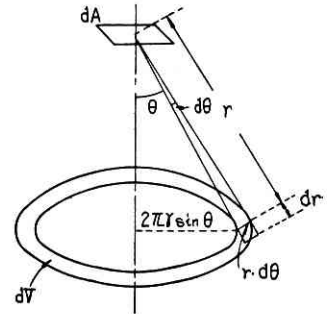
しかめるために、ゴムボート上から線量率計で監視することにした。また注入試料に蛍光染料を混入して目測も行なったが、これによると、まず点状水塊として放出され、ついで縦方向に広がりながら流れていくことがわかった。

5. 直接水中での γ 線計測

無限に一樣に分散している水中 RI の検出に関する理論式を第2図によって計算すると、

$$dn = \frac{N \cdot dA}{4\pi r^2} \cos \theta dV e^{-\mu r}$$

ここに、 dn は単位体積あたり N dpmの崩壊を行なう RI 溶液中にある検出部の表面積 dA に体積 dV から入射する γ 量子の数である。ただし1崩壊あたり1個の光量子を放出しているものとし



第2図 分散した RI からの γ 量子の計算図

μ は溶液の線吸収係数である。さて上式で

$$dV = 2\pi r^2 \sin \theta d\theta dr$$

となるから、

$$n = \frac{N}{2} \int_A dA \int_{r=0}^{\infty} \int_{\theta=0}^{\frac{\pi}{2}} e^{-\mu r} dr \sin \theta \cos \theta d\theta = \frac{NA}{4\mu}$$

すなわち、表面積 $A \text{ cm}^2$ に入射する γ 量子数 n は $\frac{NA}{4\mu}$ であらわされる。したがってある検出器を使用する場合、その検出器の有効表面積を $A \text{ cm}^2$ 、検出効率 η 、検出器の壁材による吸収率を ϵ とすれば、検出器の計数率 n' は、

$$n' = \frac{AN}{4\mu} \eta \epsilon \text{ cpm}$$

となる。この式を用いて、たとえば ^{131}I を1"φ×1"のシンチレータで検出する場合の計算を行なってみると、 $N=2.2 \text{ dpm/cm}^3$ ($1\mu\text{c/cm}^3$ の場合)、 $\mu=0.1 \text{ cm}^{-1}$ 、 $\eta=0.5$ 、 $\epsilon=0.7$ 、 $A=2.5 \text{ cm}^2$ として、 $n' \approx 69 \text{ cpm}$ となる。この計算では、2次 γ 線を見逃しているの、一般にいわれているように2次 γ 線による効果を2倍とみると $n' \approx 138 \text{ cpm}$ となり、実験値 140 cpm とよく一致している。一方 ^{24}Na の場合について計算すると実験値の $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ の値となって一致しなくなる。この理由は、多重散乱 γ 線が多くなり、しかも一次 γ 線よりも効率よく計数されることによるものと思われる。

さて、本実験に使用した水中検出器は GM 管式のものと同シンチレーション式のものと同方であるが、予備実験では、次の諸点を考慮して GM 管方式のもののみを使用した。すなわち、GM 管の使用本数をふやし、かつ有

効面積の大きいものを使えば全体としての計数効率を大きくすることができること。GM 管は規格が統一されているので、故障で交換しても検出器の特性の変化が少ないこと。印加高電圧や周囲温度の変化に対しても計数値があまり変わらないことなどである。製作した GM 検出器は、有効長 $50\phi \times 330$ の大型ハロゲン GM 管 3 本を内蔵するものであるが、大型 GM 管の構成材料による BG が意外に大きく、水中に入れても水面上の値の 60

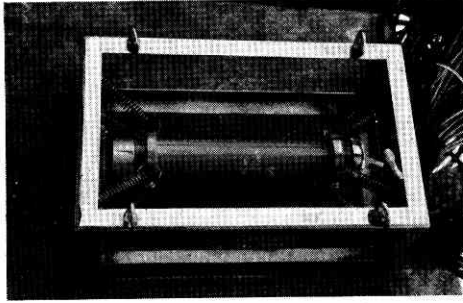


写真 6 シンチレーション検出器

%に低下しただけであった。このため検出精度が低下し、予備実験中の水中検出結果は思ったより悪かった。そこでシンチレーション方式の実用化を検討し、本実験までに 2 台の検出器を新たに作った。写真 6 はその外観で、中央の円筒状ケースの中に $1\frac{3}{4}\phi$ の NaI クリスタルと 2 次電子増倍管が封入

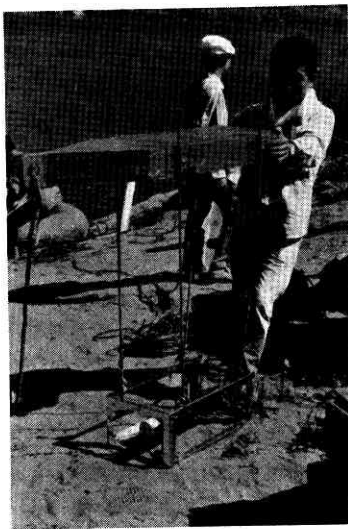


写真 7 シンチレーション検出器に浮きをとりにつけたところ

されている。この検出部は運搬時の機械的衝撃をさけ、かつフロートをつけて水中に浮かしうるようにステンレスの枠の中にバネで吊ってある。写真 7 はフロートを取りつけた水中検出器である。この検出器の出力は 50m のケーブルをへて前置増幅器に入り、トランジスタ・レートメータ・直流増幅器を通してレコーダーを働かせている。写真 8 はこれらの装置を設置して測定中のものである。シンチレーション検出器の特長は、水中での BG の低下が大きいことで、河川中での測定結果（第 3 図）によると、水面下数十 cm のところで水面上の約 $\frac{1}{4}$ 以下（3~6 cps）となっている。したがって検出精度がよくなり、時定数 10 秒でレートメータを働かせた場合、2 cps 程度の針のふれの増加を読み取ることができた。一

方検出感度も第 4 図に示すように GM 管と比べてすぐれており、 ^{24}Na では $0.04 \mu\text{c}/\text{m}^3$ 、 ^{131}I では $0.1 \mu\text{c}/\text{m}^3$ 程度までの検出が可能であった。なお実験区間の流速が $1 \sim 0.5 \text{ m}/\text{sec}$ であったので、時定数は 10 秒、レコーダ速度 $0.5 \text{ cm}/\text{min}$ にして記録を行なった。

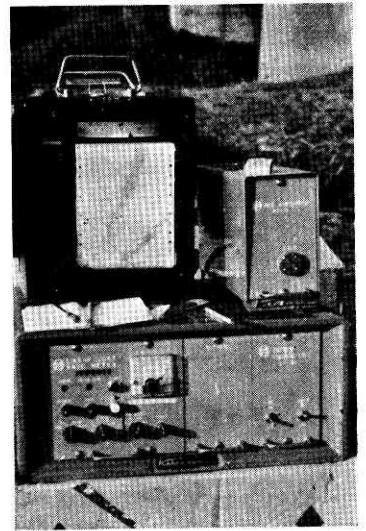


写真 8 トランジスタ方式のレートメータレコーダで測定しているところ

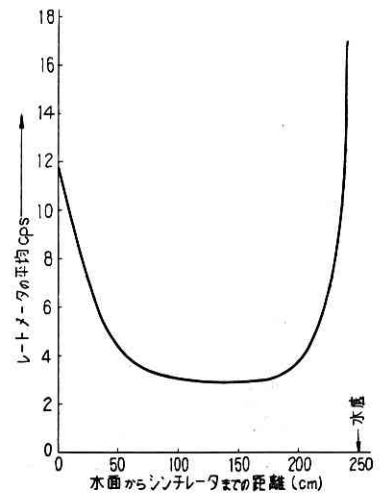
6. 採水とその化学分析法

直接水中で計測した結果を裏づけるために、記録計をみながら検出器の近くで 1 l ずつ適宜採水した。この試料を現地の実験室に持ち運び化学分析して β 計数を行ない、放射能を算出した。

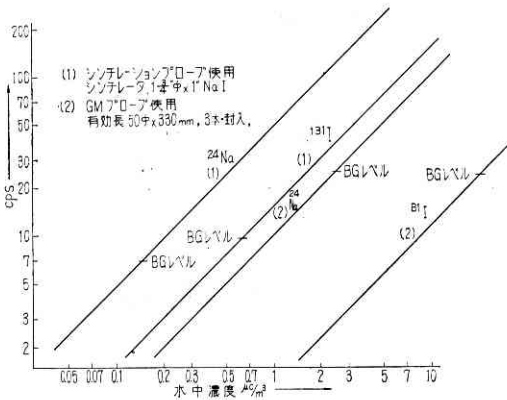
^{131}I 、 ^{24}Na の化学分析法としては、1 l の試料水を蒸発乾固するのが最も簡

単で損失の少ない方法であるが、1日 40 個もの試料を処理するためには時間がかかりすぎるので不適當である。そこで ^{24}Na については水銀陰極電解法とイオン交換法を研究し、また ^{131}I についてはイオン交換法のほかに沈殿法の検討を行なった。

水銀陰極電解法の原理は、電解で生成した Na^+ イオンが陰極の水銀とアマルガムを作って水銀中に溶解することを利用したもので、電解後にアルカリアマルガムを加水分解してカセイアルカリとして分離するものである。この方法は収率のパラツキが大きい上に、かなりの熟練を要するので、イオン交換樹脂法を用いることにした。すなわち、まず不純物を濾過した 1 l の試料水に担体として 1 N の NaCl 0.2 ml を加えて、イオン交換装



第 3 図 水中における BG 特性
空知橋下（水深 2.5m）で測定
シンチレータ $1\frac{3}{4}\phi \times 1$ "



第4図 ^{131}I , ^{24}Na 水中検出感度特性
 使用水槽 $1.5 \times 1.5 \times 1.5\text{m}$
 水深 1.3m
 プロープの位置 水面下 0.6m

置【(写真 9) 上部の液槽に貯える。つぎに液槽のコックを調節して、 $18 \sim 20\text{ ml/min}$ の速度で、アニオン・カチオン各 4 ml ずつ入っているカラム中を降下させる。その後 3N の HCl 30 ml を 2 ml/min の速度で降下させて Na^+ イオンを溶解し、さらに 20 ml の蒸留水で3回樹脂を洗浄した。かくして得られた約 100 ml の液を蒸発乾固し、少量の蒸留水で溶かして試料皿に入れ、赤外線ランプまたは乾燥器中で乾燥後、GM 計数装置で β 計数した。この方法の収率は 95% であった。

^{131}I に関しては、予備実験では、約 50 ml まで加熱濃縮した後、 AgNO_3 のほかに NaI を加えて AgI の沈殿を作り吸引濾過する方法を用いたが、濃縮に時間がかか

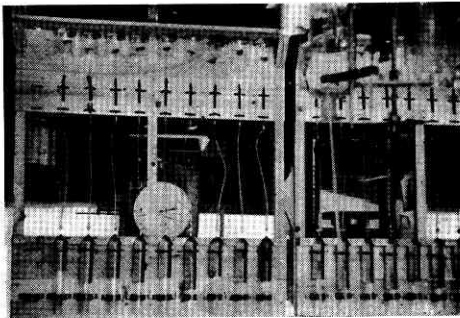


写真 9 Na^+ のイオン交換装置 (後方に見える試験機はこの装置と無関係)



写真 10 AgI^* の濾過装置

るので再検討を行なう一方、 Br_2 方法、イオン交換法なども研究した。その結果、 AgI の凝集を早めるため H_2SO_4 を使用し、 $7 \sim 8\text{ c.c./l}$ で $\text{PH} 0.5 \sim 1.0$ にして強く攪拌すれば、濃縮せずに直接 1 l を吸引濾過しても収率が平均 85% であったので、この沈殿法を用いることにした。写真 10 はその濾過装置である。なお研究した諸分析法の収率は第 4 表のとおりで、沈殿法 I は Fridlander⁹⁾ らが行なったものであり、沈殿法 II が筆者らが使用した方法である。

第 4 表 化学分析の検出収率

分析方法	検出イオン	検出収率%
水銀陰極電解法	Na^+	約85
イオン交換法	Na^+	95-97
イオン交換法	I^-	約60
沈 殿 法 [I]	I^-	60-75
沈 殿 法 [II]	I^-	約85

7. 測定結果

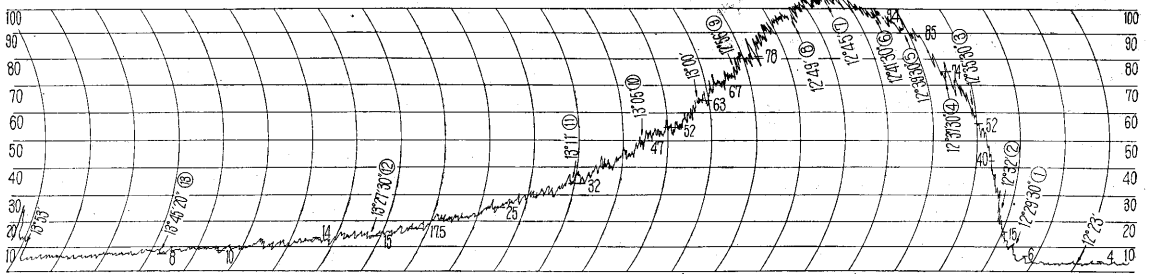
以上に述べてきた方法でこの追跡実験を行ない、いずれの地点でも十分な感度で測定することができた。直接水中計測によって得られた記録の 1 例は、第 5 図 A のとおりで、これらを水中検出感度特性により水中濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に換算し、第 5 図 B の破線のとおりに、時間による濃度の変化曲線に描き直した。化学分析結果は第 5 表を見ればわかるように、収率と減衰の補正を行ない、採取時の水中濃度に換算して第 5 図 B の実線で表わした。この場合 ^{131}I については、水中検出感度試験、化学分析ともに英国から輸入した較正線源を用いた結果を基準とし、 ^{24}Na については、 4π 計数して確かめた RI を現地の水で処理して得られた結果を用いた。 ^{24}Na の水中検出感度特性のみは、線量率から算定した数量の RI の一部を用いて行なった水槽実験結果を使用した。

このようにして得られた曲線は、両者ともほぼ一致しており、この曲線から流下時間を求めることにした。流下時刻をきめる方法には、最高濃度の時刻をとる方法、曲線の面積中心時刻をとる方法、最高濃度の $1/2$ の時刻の中央をとる方法などあって、どの方法を採用するかに議論の余地があるが、ここでは最高濃度の時刻を RI 水塊到達時刻として流下時間を算出した。第 6 表にこうして得られた区間平均流速、流下時間を示す。

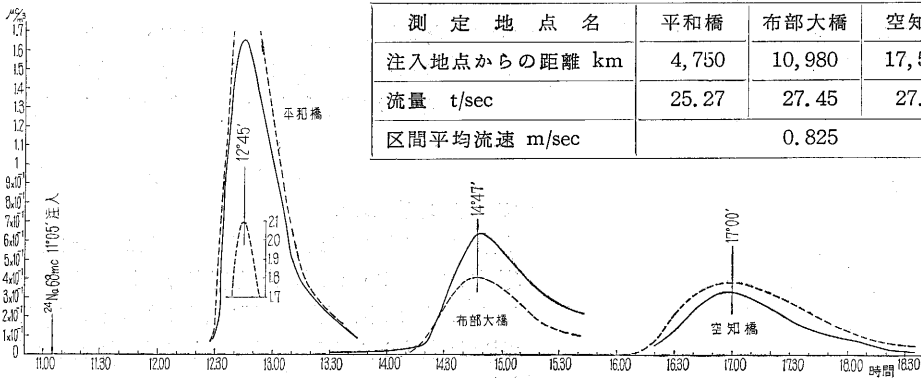
8. 考察と総括

第 5 図 B の破線と実線がよく一致しているので、注入地点から十数 km 以内では、採水しなくとも十分な精度で検出しうることがわかった。しかし水中検出器の検出効率は観測地点の河状により変化するので、絶対濃度を知るために、最高濃度と思われる時刻で採水して分析したほうがよい。

水中検出器の検出効率を一定にするため、検出部は少



A 昭和 36 年 8 月 30 日第 1 測定点 平和橋での記録
 注入地点 山部橋 注入時刻 11 時 5 分 注入核種数量 ^{24}Na 68mc 注入地点からの距離 4.75km



測定地点名	平和橋	布部大橋	空知橋
注入地点からの距離 km	4,750	10,980	17,580
流量 t/sec	25.27	27.45	27.78
区間平均流速 m/sec	0.825		

流心部のほうが早く立ち上がって最高目盛を示したので前もって流心部を調べておいて検出器を設置しないと、RI 水塊到達時刻の誤差が大きくなる。

つぎに水中検出感度特性は $150 \times 150 \times 150$

B 昭和 36 年 8 月 30 日 ^{24}Na 68mc 山部橋注入
 第 5 図 記録用紙と濃度曲線

なくとも水深 1m 以上のところに設置する必要がある。しかしこの河川では流心部が水面から 60cm 前後のところが多かったので、1 ないし 2 割低い検出効率で測定せざるを得なかった。また同一地点の流心部と岸に近いほうの 2 カ所に検出器を設置して検出した結果によると、

cm の水槽に深さ 130cm まで水を満たして実験したものであるから、水中での半価層が小さい ^{131}I の場合は問題ないが、高エネルギーの γ 線を放出する ^{24}Na の場合は、無限大の水槽と考えられる河川中での計数值より小さい計数值が得られる。この点を調べた結果、著者ら

第 5 表 昭和 36 年 8 月 31 日第 2 測定点下金山橋採水試料の分析結果例
 ^{24}Na 52mc $11^{\circ}34'30''$ 雨発電所放水口注入

試料番号	計数時間 (分)	計数值	cpm	Net cpm	測定開始時刻	dpm	測定時数量 $\mu\text{c}/\text{m}^3$	採水時刻	採水時数量 $\mu\text{c}/\text{m}^3$	注入時数量 $\mu\text{c}/\text{m}^3$
B. G.	10	158	15.8		9.1. 4.59					
31-2-0	10	153	15.3		4.37					
31-2-1	10	250	25.0	9.7	4.48	42.2	0.019	34.14.17	0.037	0.042
31-2-2	10	678	67.8	52.5	5.15	228	0.103	14.20	0.205	0.232
31-2-3	10	1455	145.5	130.2	5.26	566.5	0.255	14.23	0.512	0.582
31-2-4	10	1891	189.1	173.8	5.37	753	0.339	14.25	0.685	0.781
31-2-5	5	1090	218.0	202.7	5.47	948	0.427	14.28	0.871	0.995
31-2-6	5	1141	228.2	212.9	5.52	999	0.450	14.34	0.917	1.052
S-4	5	3239	647.8	632.5	5.58	2808				
31-2-7	5	1072	214.4	199.1	6.04	866	0.390	14.41	0.794	0.916
31-2-8	5	1254	250.8	235.5	6.10	1090	0.491	14.45	1.001	1.158
31-2-9	5	1075	215.0	199.7	6.17	869	0.391	14.54	0.797	0.928
B. G.	10	142	14.2		9.1. 6.22					
31-2-10	10	1763	176.3	161.0	6.42	701	0.315	15.03	0.646	0.758
31-2-11	10	1598	159.8	144.5	6.53	628.5	0.283	15.13	0.584	0.691
31-2-12	10	853	85.3	70.3	7.03	306	0.138	15.31	0.282	0.338

の水槽実験値は、無限大の水中検出値の95%であった。しかし第5図Bの破線を描くときにはこの補正を行わなかった。

シンチレーション検出器を使用する場合、デスクリレベルを何 keV に設定して測定するかが問題である。一般にそれぞれの核種についてBGを差し引いた計数率とBG計数率の比が最大になるようにデスクリレベルを設定して測定すべきであるが、本実験では、¹³¹I, ²⁴Naとも同一レベルで測ったので、最高感度のところで測定したわけではない。特に水中での²⁴Naの検出に際しては散乱γ線による計数値が大きくなるものと考えられるので、そのエネルギー分布を調べて適切なデスクリレベルを設定して測定する必要がある。

第6表 区間平均流速 () 内は ¹³¹I による結果

地名	区間距離、平均流速、所要時間		
雨竜発電所放水口	↑ 3.325 km 0.688 m/sec		
新生橋	↑ 5.005 km 0.762 m/sec	↑ 11.975 km 0.737 m/sec 4'30"30"	
下金山橋	↑ 3.645 km 0.769 m/sec		↑ 29.555 km 0.788 m/sec 10'25"30"
山部橋	↑ 4.750 km 0.782 m/sec		↑ 17.580 km 0.825 m/sec 11'25"30"
平和橋	↑ 6.230 km 0.851 m/sec		
市部橋	↑ 6.600 km 0.827 (0.821) m/sec		↑ 50.905 km 10'14"04"
空知橋	↑ 1.400 km 0.675 m/sec		↑ 5.170 km (0.832 m/sec) 1'43"34"
富良野合流点 上流 敷橋下	↑ 3.730 km 0.891 m/sec		
島の下観測所	↑ 2.530 km 0.654 m/sec		
落 辺	↑ 7.505 km 1.168 m/sec		
滝里橋	↑ 3.200 km 0.840 m/sec	↑ 4.000 km (0.515 m/sec) 2'09"30"	↑ 16.180 km 0.729 m/sec 6'10"
丹波川発電所 放水口	↑ 2.125 km 0.553 m/sec		
高尾川発電所 市部橋			
野花南橋			
芦別発電所 放水口	↑ 4.750 km 0.758 m/sec	↑ 12.625 km 0.671 m/sec 5'13"30"	
平 塚 橋	↑ 4.100 km 0.663 m/sec		↑ 18.350 km 7'32"30"
白 戸 橋	↑ 3.775 km 0.594 m/sec		↑ 5.725 km 0.686 m/sec 2'19"
赤 蘭 橋	↑ 3.100 km 0.761 m/sec		
明 豊 橋	↑ 2.025 km 0.582 m/sec	↑ 2.025 km (0.475 m/sec)	
赤平取水口			

本実験最終日に約 30 km の追跡 (第6図) を行なったが、そのピーク値を BG の 3~4 倍で水中検出することができた。この区間の RI 水塊の希釈率を、採水試料の濃度から計算すると、RI 水塊の濃度が 1/10 になる距離は約 6 km で、20~25 km で 1/10 に低下することがわかった。ただしこの区間の流量は 15~25 t/sec であった。また区間流速の値はレコーダの読みから ±1% 以内の精度で算出することが可能であった。

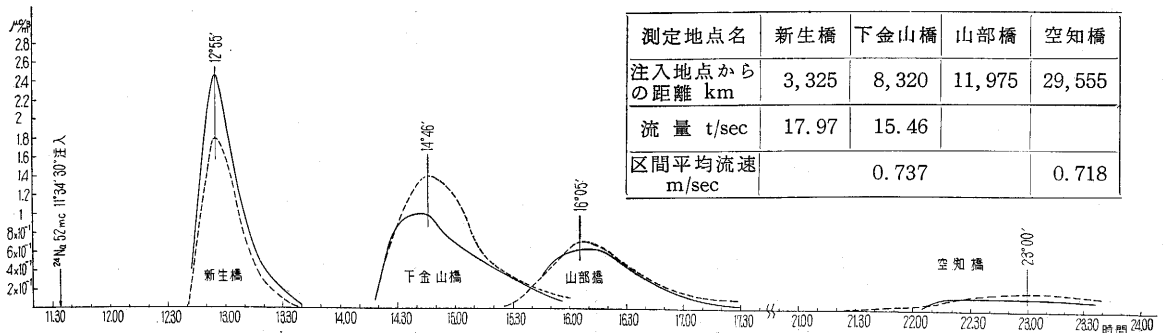
9. むすび

実験終了後 2, 3 日後に、河川汚染状況を調査するために河川に沿って水中検出器で BG 測定を行なったが、すでに完全にもとの BG に復帰していることを確認した。また本実験中の RI 取扱者の最高被曝量は 180mr/10日 (1名) であり、100 mr/10日前後が 2名、それ以外は僅少であった。実験中の汚染物は、一時使用予防規定にしたがって、貯蔵庫内に保管し、減衰を待って廃棄するように処置した。

最後に本実験にあたり、²⁴Na の製造に関して絶大なご協力をいただいた日本原子力研究所 RI 製造準備室の諸氏および、水中検出器の製作の面で熱心なご協力をいただいた神戸工業の諸氏に対し深く感謝の意を表する次第である。
(1961年11月6日受理)

文 献

- 1) A. F. Findeis et al: Conference on the Use of Radioisotopes in the Physical Sciences and Industry RICC/205 (1960).
- 2) H. Mosr and W. Rauer: Atomkernenergie 5 419. 462 (1960).
- 3) K. O. Beatty et al: Ist Geneva. Conf., XV P/148, 194 (1955).
- 4) C. P. Straub et al: Trans. A. G. U., 39, 420 (1958).
- 5) G. T. Brant and J. C. Geyer: Trans. A. G. U., 39, 440 (1958).
- 6) D. E. Hull: I. J. A. R. I., 4, 1 (1958).
- 7) K. Ljunggren et al: I. J. A. R. I., 5, 204 (1959).
- 8) H. A. Thomas: Ist Geneva. Conf., XV, P/226, 42 (1955).
- 9) R. B. Hahn et al: J. A. W. W. A., 50, 1499(1958).



昭和 36 年 8 月 31 日 ²⁴Na 52mc 雨竜発電所放水口 注入、流量 12.52 t/sec

第6図 30 km 追跡の結果