HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	白井川の流下時間と縦方向拡散量の測定
Author(s)	林, 猛雄; 丹保, 憲仁
Citation	衛生工学, 6, 1-11
Issue Date	1960-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36153
Type	departmental bulletin paper
File Information	6_1-12.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

白井川の流下時間と縦方向拡散量の測定

林　　猛　雄*
丹　保　憲　仁**
（昭和36年4月24日受理）

The Time of Flow Down of Water Masses in the Shirai River and the Longitudinal Diffusion Coefficient of the River

Takeo Hayashi
and
Norihito Tambo

The authors measured the time of flow down of water masses in the Shirai River (a branch of the Toyohira River which flows into the Ishikari river) by the salt tracer method. Using the time-concentration curve obtained by the method they calculated the longitudinal diffusion coefficient and showed it had the order of 10^7 m/sec.

---

* 才一講座　　教　授
** 同　　助教授

1. はしがき

我々の研究室はここ三年来河川の自浄作用に関する研究の一環として豊平川上流部，特にその支流の白井川について研究を行つて来て居るが，その一部として白井川の流下時間および縦方向拡散量の測定を行つた。

この測定値を利用することによつて，白井川上流T鉱山より非定常的に排出される坑内水の河川中での動向を適確に知る事が出来るが，本報告はその水理量の測定のみについての中間報告である。平常時流量1.0 ～ 1.5 m^3/sec程度の小河川における測定例として，同学の士の参考ともなれば幸である。

実測に当つては本教室の神山助教授，森，松本，井上，砂川の各助手，小沢技術員，小林君外の学生諸君，並びに札幌市水道局の熱心な御協力を得た事を記して感謝の意を表する。

2. 白井川の概況と観測点の位置

白井川は石狩川最下流部に注ぐ豊平川の一支流で，流程約20Kmの後定山渓温泉下流2Km地点で豊平川に合流する。

この白井川における河水の流下状況を知るために，河川を2区間に分けて，4つの観測点をおいて食塩をトレーサーとして用い流下時間の観測を行つた。4観測点の位置および距離，標高と河床勾配は図－1のようである。トレーサーを投入したのはT鉱山廃水沈澱池放流口および観測点Bである。

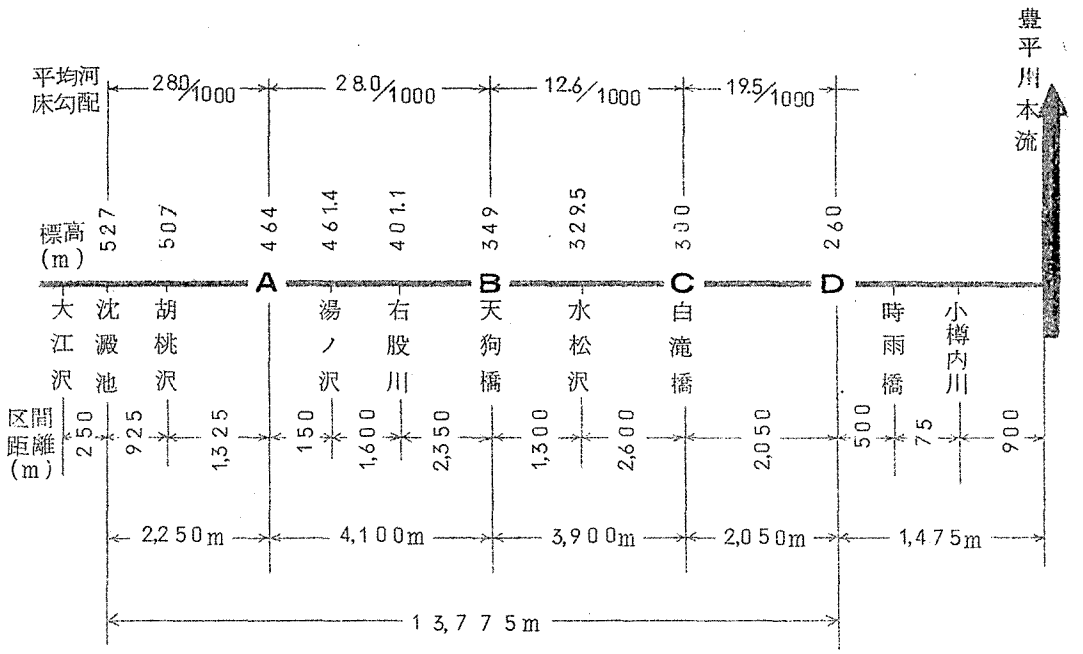
河床はすべて玉石で大部分の区間は浅い峡谷を形成している。

3. 観測方法

この観測は1960年10月23日行なわれた。Tracerは午前10時にB観測点で，同10時45分T鉱山沈澱池放流口下で投入された。この流下状況は下流のC・DおよびA・Bの4観測班によつて連続観測された。

Tracerとしては工業用粗製塩を水溶液としたものを用い，測定は適時採水した河川についてMohr法による塩素イオンの定量および電気伝導度の変化測定による事とした。食塩は底辺が15分の三角形に分散されてもその尖頭濃度が白井川における塩素イオンの基底濃度である7～8 ppmの10倍であるよう，また流量は2 m^3/secを仮定して量を決定した。

図－1　白井川概況図（国土地理院 1：25,000地形図より）



1投入点について160Kgの工業用粗製塩を250lit 入りの風呂桶2槽に予め溶解しておき定時に一斉に投入した。

この測定結果は図－2のようであり，曲線のpeakを流達時刻* として流下時間および流速を求めると表－1のようである。

これにより白井川は約1Km/hrの流速で流下しており，T鉱山放流口より豊平川に合流するまでに約14時間を要する事が知られた。

この方法で良い結果がえられた事は，本法が流下時間等を推定するのに，小河川において極めて有効な方法であることを示している。

註－1）予期に反して流速が小であつたためにB点においてはTracerの流達を観測することに失敗した。

註－2）A点において電導度のみの山があるのはT鉱山廃水の流下によるものである。

*註－3）柏村の研究によれば濃度のpeakの到達する時間を以つて平均流

図 － 2 － a

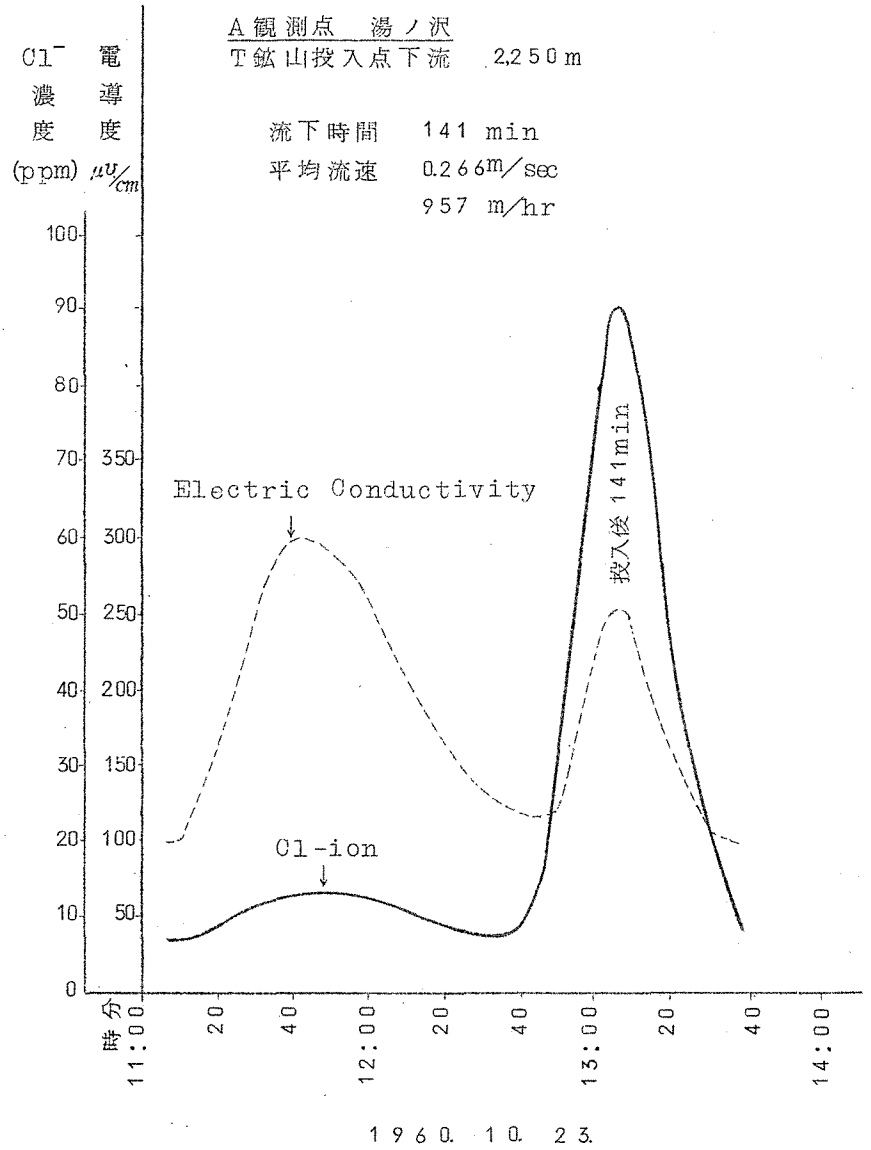
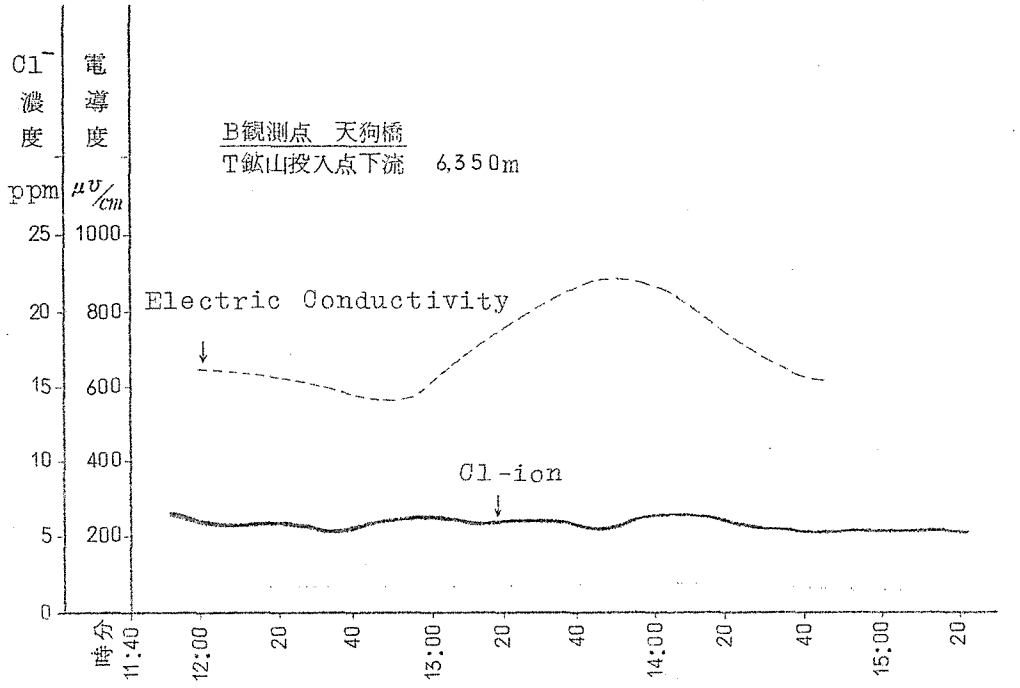

A観測点　湯ノ沢
T鉱山投入点下流　2,250m
流下時間　141 min
平均流速　0.266m/sec
957 m/hr
Cl⁻ 濃度 (ppm)
電導度 μυ/cm
Electric Conductivity
Cl-ion
投入後141min
時分
11:00
20
40
12:00
20
40
13:00
20
40
14:00
1960. 10. 23.

図 － 2 － b



1960. 10. 23

表 － 1

観測点	距離 (m)	所要時間 (分)	区間平均流速 m/sec	区間平均流速 m/min	区間平均流速 m/hr	区間平均河床勾配
沈澱池 A	2,250	141	0.266	16.0	957	28.0/1000
B	4,100	—	—	—	—	28.0/1000
C	3,900	212	0.307	18.4	1,100	12.6/1000
D	2,050	145	0.236	14.1	848	19.5/1000

図 － 2 － c

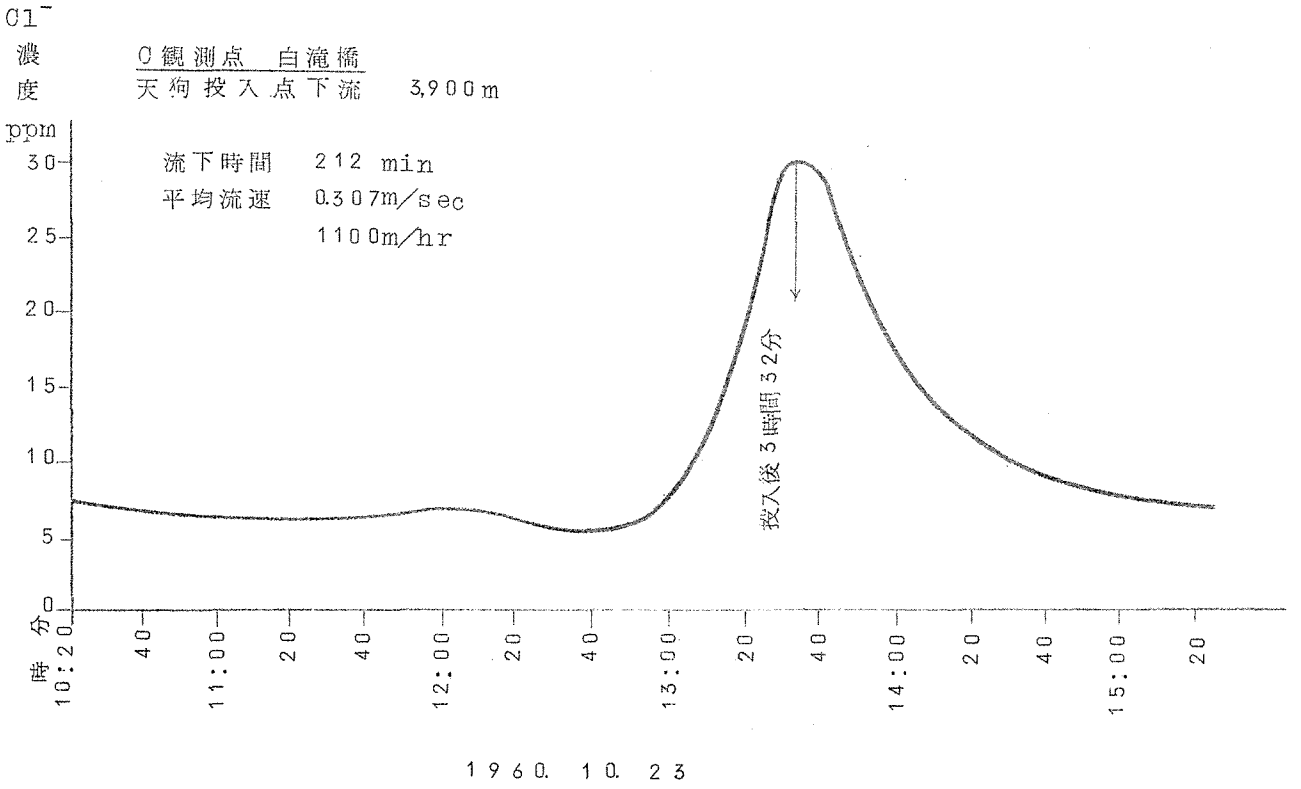
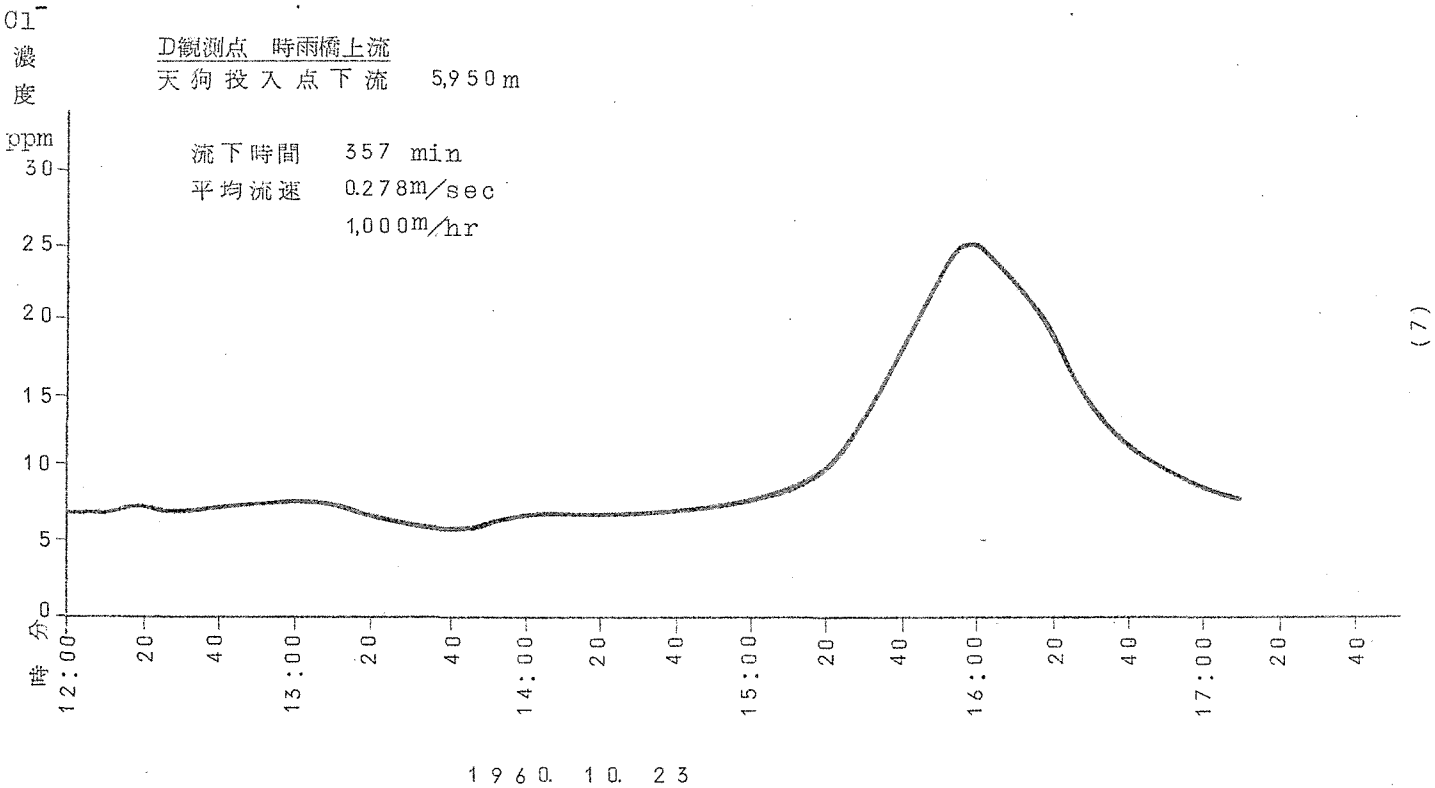

Cl⁻
濃
度
C観測点　白滝橋
天狗投入点下流　3,900m
ppm
30
25
20
15
10
5
0
流下時間　212 min
平均流速　0.307m/sec
1100m/hr
投入後3時間32分
時
分
10:20
40
11:00
20
40
12:00
20
40
13:00
20
40
14:00
20
40
15:00
20
1960. 10. 23

図 － 2 － d


Cl⁻
濃度
ppm
30
25
20
15
10
5
0
D観測点 時雨橋上流
天狗投入点下流 5,950m
流下時間 357 min
平均流速 0.278m/sec
1,000m/hr
時 分
12:00
20
40
13:00
20
40
14:00
20
40
15:00
20
40
16:00
20
40
17:00
20
40
1960. 10. 23

達時間として一般の河川では問題のない事が明らかにされた。

本測定は渇水期（豊平川本流みすまい流量観測所の流量が約 6 m^3/sec ）に行つたものであるが，河川の流速公式から流量が増加した時の流速を推定してみよう。

広矩形断面を仮定し $V = C\sqrt{HI}$ を用いる。（V：流速，H：水深，I：水面勾配）河巾をBとすると流量 $Q = CBH\sqrt{HI} = BCH^{\frac{3}{2}} I^{\frac{1}{2}}$ 流量が増大しても白井川のように峡谷をなす急流河川ではB，Iはあまり変化しないと考えられるので，$Q \propto H^{\frac{3}{2}}$ であり，かつ $V \propto H^{\frac{1}{2}}$ であるから $V \propto Q^{\frac{1}{3}}$ となる。

故に豊平川みすまいの流量が観測時の5倍，30 m^3/sec 程度に増大したとしても流速の増加は 1.71 倍程度であり，白井川を流下するのに8時間余を有していると考えられる。

5. 河川における縦方向拡散の式

河川中の物質移動の基本式は次のように表わされる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (UC)}{\partial x} + \frac{\partial (VC)}{\partial y} + \frac{\partial (WC)}{\partial z}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + W_0 \frac{\partial C}{\partial z} - \alpha C \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで，

- C ；流水中の対象物質の濃度
- U，V，W，および D_x，D_y，D_z ；x，y，z方向の流速成分および拡散係数
- W_0；対象物質の沈降速度
- α ；対象物質の自己減衰係数（但し単分子反応と仮定出来る場合について）
- x，y，z軸はそれぞれ河川の流下，横断，水深の方向にとつてある。

河川中にTracerを注入し，その流下による濃度変化から縦方向拡散係数を推定する場合，河を理想的状態と考えて，定常等速流と見做して計算を行

うものとする。

ここで用いるCは河の単位長さに含まれるTracer量である。このような仮定下では前述の基本式は次のように簡略化される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U\frac{\partial C}{\partial x} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ここで
- U ；平均流下速度
- X ；流下方向への距離
- D ；縦方向拡散係数

今投入したTracerの全量が流下途中で減少しないものとすれば

$$g = \int_0^\infty C\,Q\,dt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

ここで
- Q ；河川の流量（測定地点）
- g ；投入Tracerの全量

今，座標原点を河川中で流下して行くTracer塊群と同速で（川の平均流下速度U）移動させると(2)式の左辺ゟ2項は省略され次式をうる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

ここで　X ；移動原点よりの距離

この時初期条件として次式を与える。

$C_{t=0} = f(X)$

このf(X)をXの＋∞と－∞の間でFourier積分で表わすと（5）式をうる。

$$f(X) = \frac{1}{\pi}\int_0^\infty d\alpha \int_{-\infty}^{+\infty} f(\lambda)\cos\alpha(X-\lambda)\,d\lambda \quad [-\infty<x<+\infty] \cdots\cdots(5)$$

$$C \propto e^{pt}\cos\alpha\,(X-\lambda) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

とおくと(7)の特解をうる。

$$C = A(\alpha\cdot\lambda)\,e^{-D\alpha^2 t}\cos\alpha\,(X-\lambda) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

$t=0$の時（7）と（5)は等しくなければならぬ事から

$$C=\frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}}\int_{-\infty}^{\infty}f(\lambda)e^{-\frac{(X-\lambda)^2}{4Dt}}\,d\lambda \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

Tracerは一瞬には投入し得ず一様な幅に広がつて注入されるので初期条件を次のように定める。

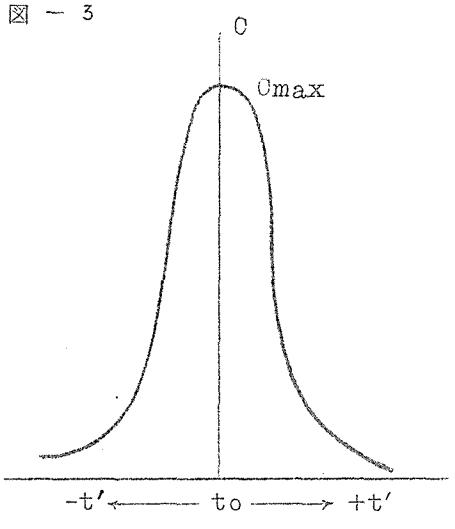
$$\begin{cases} t=0,\ C=C_0=gu/2\xi\ Q_0,\ -\xi\leqslant X\leqslant\xi \\ t=0,\ C=0 \qquad\qquad |X|\geqslant\xi \end{cases}$$

ここで
- 2ξ ；投入点でのTracerの上下流方向えの広がり
- g ；投入Tracerの全量
- Q_0；投入点の流量

更に初期の注入巾ξは流下後の観測点における拡がりの巾Xに比して小さい（$X\ggg\xi$ ）とすると

$$C=\frac{C_0\xi}{\sqrt{\pi Dt}}e^{-\frac{X^2}{4Dt}}=\frac{gu}{2Q_0\sqrt{\pi Dt}}e^{-\frac{X^2}{4Dt}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

図 － 3



$t=t_0$ を原点として移動座表系の横軸を時間に書きかえた濃度時間分布（実測の際えられる曲線形）にかき直す，

$$X=ut'$$

ここで　t'；原点を流達時間t_0にとつたときの（Cmaxを$t'=0$にとつて）濃度時間曲線

$$C=\frac{ug}{2Q_0\sqrt{\pi Dt_0}}e^{-\frac{V^2t'^2}{4Dt_0}} \quad \cdots\cdots(9')$$

$t'=0$で$C=Cmax$

$$\therefore\quad D=\frac{u^2g^2}{4Q_0^2Cmax^2t_0\pi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

但しCmaxは河川の流量増加による希釈によつて減少しているので

$C_{max} = C_p \times (Q_p/Q_o)$ にして測定値を補正して用いる。ここで C_p ；観測点で最大濃度 Q_p ；観測点での河川流量。

これらから次の計算式を最終的に得る。

$$D = \frac{u^2 g^2}{4 C_p^2 Q_p^2 t_o \pi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

6. 白井川拡散係数の算定

この実験でえられた観測値から表－2のように求めた。この内流量は当日BおよびD点で行つた流量測定により，A点のものはそれからの推定値である。uは流下時間の測定値から，gは図－2の曲線をPlanimeterを用いて求積してその点を通つた食塩量とした。

表 － 2

	Q_p m³/sec	U m/sec	to sec	C_p gr/m³	g gr	D m²/sec
A	0.5	1.0×10^3	8.46×10^3	90.9	7×10^4	2.25×10^7
C	1.2	1.1×10^3	1.27×10^4	30.1	9×10^4	4.73×10^7
D	1.2	1.0×10^3	2.14×10^4	25.0	8×10^4	2.66×10^7

これにより白井川における拡散係数Dは（2～5）×10^7 m²/sec程度のものである事が知られた。異つた水理条件下でのDについては更に模型水路による基礎実験と実河川における他の流量時の実測を加えて考えて行かねばならない。柏村が空知川でも同様程度の値を測定して居り，この程度の河川では10^7 m²/secの桁と考えて大差ない事が知られる。

参 考 文 献

i) 小平吉男，物理数学才一巻，岩波書店

ii) 柏村正和，空知川の縦の乱流拡散について，北海道大学地球物理研究報告 才5号 昭和32. 10.