

1. 概論 管水路開水路を問わず、流れにトレーサーとして異物を投じ、下流で検出して水塊流達速度の流達時間を求め速度を算出するやり方はかなり昔から行なわれており、今日では各種の方法が知られている。¹⁾ その中で著名なものをとては、色素トレーサーとし、光学的に検出する方法、RIを用いて放射線強度も測定する方法、あるいは塩水を投じて下流で刻々採水の上、化学分析で濃度を検出する方法等があるが、最後の塩水の検出に電気伝導度の測定が用いられるようになってから、その容易さ、コストの低廉さ、あるいは水質汚染上ほとんど無害等の有利な条件が重なり、塩水速度法が今日最も普及していると考えられる。はじめに塩水速度法を用いたのは Allen, Taylor (1923) であると云われるが、この方法は発電管路の流速を求めたのに、しばしば用いられている。^{2) 4)} 粗度の小さいこのような小規模水路には塩水法は能率的で、乱流による分散 (dispersion) が比較的小さい、平均流達時間を求めるのに適している。塩水速度法を大河川に適用したものとせば、筆者が行った 室知川、夕張川、忠別川 などの例、^{5) 6)} あるいは半谷⁷⁾、Fischer⁸⁾、Calkin, Dunne⁹⁾ の例などがある。塩水法のようなトレーサーを用いる方法の目的は大別して二つになる。一つは水路の平均流速を求めることであり、もう一つは水路の乱流混合や河道の不整、流速の分布などにもとづく分散を求めるためである。後者は乱流拡散機構の研究につながり、学問的興味をもつて進められており、Taylor¹⁰⁾、Aris¹¹⁾、Elder¹²⁾、Fischer¹³⁾、あるいは著者¹⁴⁾、奥田他¹⁵⁾ 等が数多くの研究がある。これに加えて分散係数も求めることは、実用的には投棄された汚物等の稀釈の度合を算出するために重要な量であり、汚濁防止の見地からこの方向の研究は今後も進むであろう。この論文ではこのような分散あるいは縦拡散とよばれる現象をひとまず離れて、単一の平均流達速度を求める方法の応用例を紹介したい。

2. 河川水温問題への応用 東北、北海道などの寒冷地では、農業上しばしば河川の水温が問題となる。ことに米作では言うまでもなく、水温の高いことが望まれ、場所によっては 25°C の差でも重大事になる。多くの水系のなかで、支流が多く、ここに発電農業水、等の目的でダムをいくつか持ち相対に隧道で連続させているような水系にあっては、下流の水温推定はきつめて難しい。この際、ダム、河川部、隧道部の水温変化の熱授受機構が勿論最も重要な要素であるが、それと同時に上記各区間の水塊流達時間も同じく重要な要素になる。なぜなら、支流、隧道とも、水温は日変化をし、しかも温度振幅や位相は、条件により、まちまちであるから、それらの合流後の水温を計算するために、各区間の流達時間の知識が不可欠だからである。これには水の実質部分の流下速度を求めねばならない。塩水速度法はこの目的に適合している。忠別川での実験例を紹介したい。表-1が、その結果である。各区間とも使用した塩は 60kg で、これをドラム罐で充分攪拌溶解し、所定の時刻に流心に一時に投入する。区間は 12.4km が普通で、隧道部では 11km におよぶ場合もある。塩分の検出には電気伝導計を用い、刻々水の電導度を測定して行なった。同時に自記記録も行ない、ロー時刻の正しい測定につとめた。分散係数の値をみると、隧道部では、勾配は少ないが、粗度が小さいので、流下は早く、排水路も比較的一様なので、分散係数は小さい。約 $(1.3 \sim 3.6) \times 10^{-4}$ cgs である。一方河川部では

表-1. 塩水速度法による分散係数および流達時間

地 点	月 日	(m) 正間距離	(m/s) 流 量	(s) 平均流達時間	(m/s) 平均流達速度	(cm ² /s) 分散係数
隧 道	上川発電所 (隧道入口・出口間)	3591	27.3	1510	2.38	0.13×10^5
	44-10-1		25.0	1496	2.40	0.31 "
	45-5-28		21.3	1585	2.27	0.13 "
	(進洞深達入口 江部隧道出口間)	11217	15.2	5260	2.13	0.36×10^5
忠 別 川 本 流	(滝見橋 天人間)	1410	8.8	1615	0.87	0.80×10^5
	(清流橋 龍沢橋間)	1400	22.5	1100	1.28	0.94×10^5
	(木橋流夫 江部橋間)	3950	12.4	3760	1.05	2.23×10^5
	(喜比内橋 八代橋間)	3420	15.8	3640	0.94	0.53×10^5

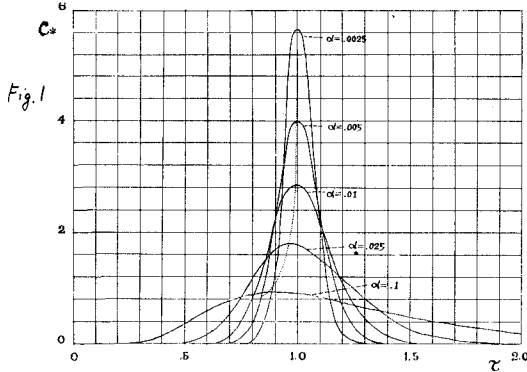
場所により値に差に開きがあるが、大体 $(0.5-2.5) \times 10^5$ CQS 程度である。以前に述べた空知川の $(1-6) \times 10^5$ CQS に較べると若干小さく、川規模の相違も必ずしも考

えられる。濃度の観測曲線は理論によるとつぎのように与えられる。¹³⁾

$$C_* = \frac{1}{\sqrt{4\pi\alpha t}} \exp \left\{ -\frac{(1-C)^2}{4\alpha t} \right\} \quad (1)$$

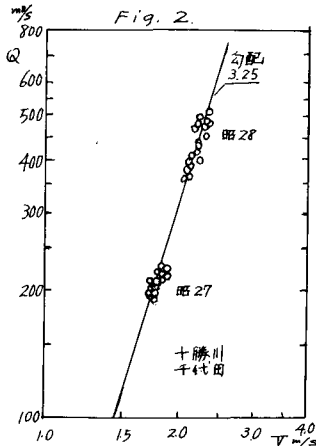
表-1: C_* , t , α は無次元化した濃度、時間、分散係数を表わし、つぎの

内容をもっている。すなわち $C_* = CQ t_0 / S$, $t = t/t_0$, $\alpha = A/UX$ である。C は測定の濃度、Q は流量、 t_0 は投入塩量と点間の平均流達時間、 t は時刻、S は投入塩の質量、A は分散係数(縦散係数)、U は平均流速、 X は正間距離である。この曲線a-b-fは $t < 1$ にあり、 α が小さくなると1に近



づく。実測では α は $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 程度であり、b-f は $t \neq 1$ ときと考えてよい。また分散係数に関する Elder の式¹²⁾ $D = 5.9 d U_*$ (d は河川断面の水力半径)はこのような実河川では過小であることも検討できる。古くは Fischer の指摘による¹⁰⁾ $D = (50 \sim 700) r U_*$ (r : 半径)の範囲に収まるようである。このように実際の河川にも塩水速度法が適用でき、実用化されているが、水温問題に適用するときにはもう一つ問題点がある。測定時の流量以外の場合にも流達時間が必要である。推定できるときでなくとも、水質・水温計画には有効である。

* 11) R. Aris, Proc. Roy. Soc. A, 232, 1955. 12) J. W. Elder, J. Fluid Mech. 5, 1959. 13) 植村石峰, Proc. 6th Japan. Nat. Congr. Appl. Mech., 1964. 14) 清水通水工学研究会, 6, 4, 1983.



い。このため、各正間毎に、流量—流達速度特性を塩水速度法によって明らかにしておく必要がある。流量条件の異なり多くの場合の測定を必要とせよ。場合によっては、 $Q = C U^m$ (2) (U : 平均流達速度) を仮定し、少なくとも2回以上の観測から、 C, m の数値を各正間毎に求めておけばよい。(2)式がほぼ成立していることは、著者¹⁾の報告でなく、文献⁹⁾にも紹介されている。 m の値は河道横断形状によるが、大体 $2.5 \sim 3.25$ の値をとると考えられる。Fig. 2 に十勝川9例を示す ($m = 3.25$) [文献]¹⁾ 1) 水質・水温研究, Vol. 2, No. 5, 1983. 2) Ch. M. Allen & E. A. Taylor: Trans. ASME, Vol. 65, 1923. 3) 池谷「流量測定法」OHM社 4) 植村石峰, 日本機械学会誌, 67, 1943, 1959. 5) 植村石峰, 土木学会物理研究報告, 5, 1982. 6) 植村石峰, 土木学会物理研究報告, 5, 1982. 7) 植村石峰, 土木学会物理研究報告, 5, 1982. 8) 植村石峰, 土木学会物理研究報告, 5, 1982. 9) 植村石峰, 土木学会物理研究報告, 5, 1982.