

山梨大学 正会員 平山公明
 山梨大学 正会員 今岡正美
 山梨大学 正会員 片山けい子

1. はじめに 水質調査をおこなう際の試料の具体的な採取場所を決めるためには、河川に流入した汚濁物が流下にもなるとどのように混合・拡散してゆくのかを把握する必要がある。河川での水質調査の多くは、河川の横断方向のあるひとつの場所で試料を採取するということが、最も普通におこなわれているであろう。横からの流入がない河川ではどの場所で試料を採取するかということはあまり問題にならないであろうが、2つの河川の合流点の下流や、汚濁物の流入点の下流では一般に横断方向にも流下方向にも水質が変化しているので、このような場合には、合流点や流入点のどの程度下流で採水すれば十分混合された試料が得られるのかわかると都合がよい。横方向の物質の拡散と実測した例が少なく、特に、しばしば水質調査の対象となると思われる川幅が10~30m程度の河川での報告例がみあたらないので、本研究では、この点に関する知見を得るため、甲府市内を流れる荒川(川幅10~30m)において、水質の異なる支川との合流点の下流で横断方向の水質の分布を調べた。以下にその結果と報告する。

2. 調査の概要 調査地点の概要を図1に示す。調査は、荒川と貢川、相川の合流点の下流(図1中のA)、および、荒川と四分川の合流点の下流(図1中のB)の2か所でおこなった。測定対象は塩素イオンとし、河川の横断方向に5名並び、2~3mの間隔で11か所採水して横断方向の塩素イオン濃度分布を調べた。それを河川の流下方向に40mおきにいくつか横断面をとっておこなった。また、そのうちのいくつかについては水深と流速も測定した。採水は上流から下流にかけておこなったので、流下方向には採水時刻にずれが生じている。最上流と最下流の採水時刻のずれは1時間程度である。

3. 測定結果 荒川-貢川、相川合流点下流(以下“地点A”)での塩素イオン濃度(以下“Cl濃度”)の測定結果を図2に示す。相川には塩素イオンを多く含む温泉水が流入しているために、相川のCl濃度は約40mg/lと荒川、貢川の約10mg/lに比べると非常に高い値となっている。したがって、図2に示されるように、地点Aでは左岸に近い所でCl濃度が高くなっているが、その濃度分布は流下するにつれて均一になる傾向にあるといえる。

荒川-四分川合流点下流(以下“地点B”)でのCl濃度の測定結果を図3に示す。人為的な水質汚濁がかなり進んでいる四分川のCl濃度が約20mg/lで、荒川での値10mg/lに比べて高いため、右岸に近い所でCl濃度が高くなっている。Cl濃度の分布は、流下するにつれて均一になる傾向にあるといえる。

4. 横方向拡散係数の推定方法 横方向の拡散係数は南部によって提案された方法に準拠して推定した。以下にその概要を述べる。定常状態で、流れ方向の拡散項が横断方向に比べて無視できるものとすれば、拡散の基礎式は次式となる。

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = E \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (1)$$

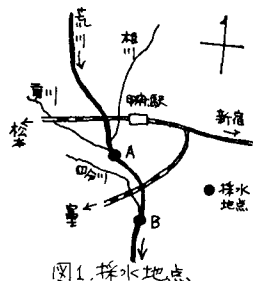


図1. 採水地点

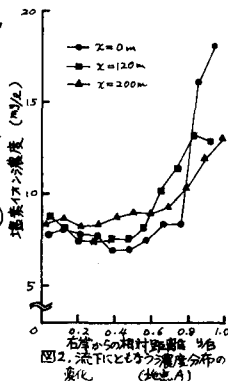


図2. 流下方向による濃度分布の変化 (地点A)

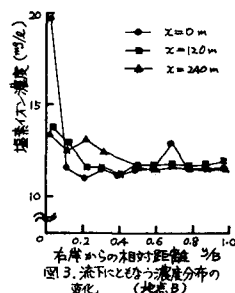


図3. 流下方向による濃度分布の変化 (地点B)

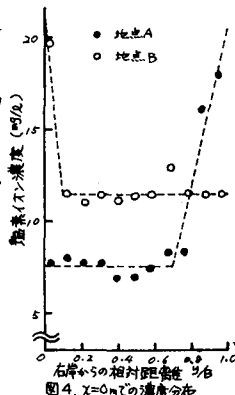


図4. X=0mでの濃度分布

汚濁物が河道外に出ないという次の条件,

$$y=0 \text{ で } \frac{\partial C}{\partial y}=0, \quad y=B \text{ で } \frac{\partial C}{\partial y}=0 \quad \text{--- (2)}$$

$$\text{と, 境界条件} \quad x=0 \text{ で } C=f(y) \quad \text{--- (3)}$$

のもとで(1)式を解くと, 次式が得られる。

$$C(x,y) = \frac{1}{B} \left[\int_0^B f(y) dy + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{\varepsilon x}{U} \left(\frac{n\pi}{B}\right)^2\right) \cdot \cos(n\pi y/B) \right. \\ \left. \times \int_0^B f(y) \cos(n\pi y/B) dy \right] \quad \text{--- (4)}$$

(4)式を用いれば, $f(y)$, U , B , ε がわかると下流の任意の場所での濃度を知ることができる。本研究では上流の濃度分布を図4に示される破線と近似した。そして, いくつかの ε の値に対して下流の濃度分布を求め, 実測値に近い濃度分布を与える ε の値を横方向拡散係数の推定値とした。

5. 横方向拡散係数の推定結果と考察 図5~10に, いくつかの断面について, Cl 濃度の実測値と, ε の推定値と(4)式に代入した時に得られる Cl 濃度の計算値を示した。(地点Aでは $B=165$ m, $U=0.83$ m/s, 地点Bでは $B=29.5$ m, $U=0.51$ m/sである。)これらの図より, 地点Aでの ε は $0.04 \sim 0.06$ m²/s, 地点Bでの ε は $0.03 \sim 0.05$ m²/sであると推定される。これまでに測定されている横方向の拡散係数を表1に示す。流速は拡散係数に影響を及ぼすと予想される。表1を見る限り, 流速が大きくなると拡散係数は多少大きくなる傾向が見られるが, 一般に, 川幅10~120 m, 流速が $0.5 \sim 1$ m/s程度の河川では, $0.03 \sim 0.06$ m²/sと横方向の拡散係数のめやすとすることができると考えられる。

また, 2つの河川が合流した際に十分混合した試料と採取するのに必要な流下距離と推定した。このような流下距離を一般的に求めることは困難なので, 本川の4分の1の負荷量の流入があった場合と想定して, 上流での濃度分布が図11のようであると仮定した時の下流での濃度分布を(4)式により求めてみた。計算にあたっては, $B=10$ m, $U=0.8$ m/s, $\varepsilon=0.05$ m²/sと仮定した。その結果を図12に示す。川の中流での濃度が完全に混合した時の濃度の95%になる流下距離と十分混合した試料と採取するのに必要な流下距離とをえ, その値を求めると, この場合は約50 mとなる。同じ条件で川幅だけが異なる場合, (4)式より, 川幅が4倍になればその流下距離は2.5倍となる。したがって, 川幅が20 mの場合は約200 m, 30 mの場合は約500 mとなり, よく混合した試料と採取するには, 川幅が10~30 mの河川では数百メートルの流下距離が必要な場合もあるといえる。

6. まとめ 甲府市と流れる荒川での横方向の拡散係数は $0.03 \sim 0.06$ m²/sであると推定された。また, 川幅が10~30 mの河川では, よく混合した試料と採取するためには数百メートルの流下距離が必要となる場合があることがわかった。

試料の採取と分析に協力いただいた当時の卒業生の方々に感謝いたします。

使用記号 B: 川幅[m], C: 塩素イオン濃度[mg/l], U: 流速[m/s], x: 流下距離[m], y: 右岸からの距離[m], ε : 横方向の拡散係数[m²/s]

文献 1) 南部; 土木学会論文集, No. 59, pp. 26~31, (1958) 2) 岩井, 南部, 合田, 松本; 水道協会雑誌, No. 304, pp. 29~37, (1960) 3) 半谷, 谷部; 水質汚濁研究法, 丸善, p. 44, (1971)

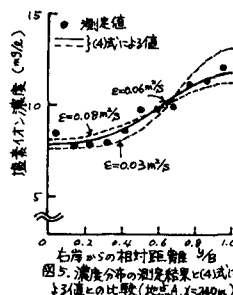


図5. 濃度分布の測定結果と(4)式による値との比較(地点A, $x=240$ m)

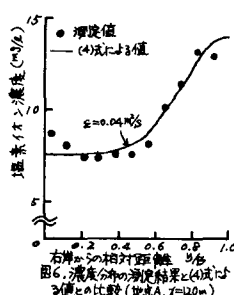


図6. 濃度分布の測定結果と(4)式による値との比較(地点A, $x=20$ m)

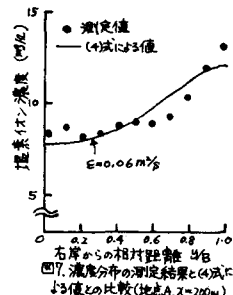


図7. 濃度分布の測定結果と(4)式による値との比較(地点A, $x=220$ m)

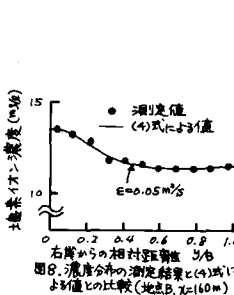


図8. 濃度分布の測定結果と(4)式による値との比較(地点B, $x=10$ m)

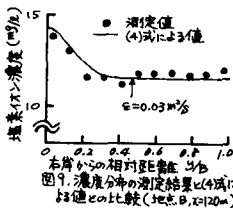


図9. 濃度分布の測定結果と(4)式による値との比較(地点B, $x=120$ m)

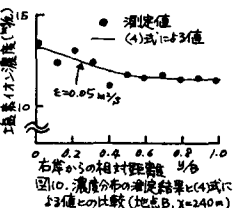


図10. 濃度分布の測定結果と(4)式による値との比較(地点B, $x=160$ m)

表1. 横方向拡散係数の測定値

河川名	拡散係数 (m ² /s)	川幅 (m)	流速 (m/s)	研究者
黒田川 (淀川支流)	0.052	120	1.0	岩井, 合田, 南部, 松本
芥川 (淀川支流)	0.059	120	1.1	岩井, 合田, 南部, 松本
相模川	0.027	80	0.65	半谷, 谷部
荒川 (地点A)	0.04~0.06	165	0.83	本研究
荒川 (地点B)	0.03~0.05	29.5	0.51	本研究

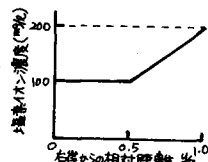


図11. 仮定した濃度分布

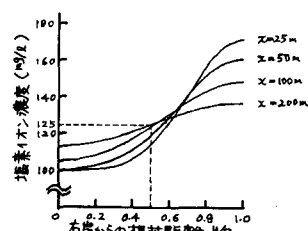


図12. 流下距離と川幅の異なる場合の濃度分布の推定値 ($\varepsilon=0.05$ m²/s, $B=10$ m, $U=0.8$ m/s)