

川崎市内中小河川の水質測定における年平均値の推定精度及び評価についての検討

Consideration of Sampling frequency for Surface Water Quality Monitoring in Kawasaki

林	久 緒	Hisao	HAYASHI
古 塩	英 世	Hideyo	KOSHIO
松 本	文 秀*	Fumihide	MATUMOTO
山 田	茂**	Sigeru	YAMADA

1 はじめに

各地方自治体では、公共用水域の水質汚濁状況把握のため、水質汚濁防止法（以下、水濁法）の規定による水質測定計画に基づき、生活環境や健康項目を中心に測定を行ってきている。それらのデータは、環境基準適合性の評価、種々の水質改善施策の立案や評価、都市化や工場等の立地の動向との関連づけをするために用いられているが、主にトレンド把握という立場で年平均をもとめる処理がなされている。しかしながら、ある測定地点の平均値の信頼性については、年あたりの測定回数、試料採取時刻及びデータの変動によって左右されるといわれている。それに関連して、合理的な採水頻度を統計的に検討する研究も以前よりなされてきている。¹⁻⁴⁾

川崎市では、水濁法第16条の測定計画を補完し、

あわせて市内中小河川の汚染状況を監視するため、市計画の水質調査を実施してきた。生活環境の5項目については1986年度まで、毎月1回、12地点で行ってきている。ここでは、都市中小河川の例として、川崎市のデータ（市計画）を用い、平均値の信頼限界をもとめると同時に、信頼限界幅を定めた場合の測定回数を算出した。さらに、常時監視データ（自動）との比較及びそれを用いた平均値の補正の方法についても若干の検討を試みたので報告する。

2 平均値の推定及び頻度算出に用いたデータ及び手法

データは、1984、1985年度の鶴見川水系の中野橋（麻生川）、水車橋（真福寺川）、五月橋（有馬川）の生活環境系5項目（pH、COD、

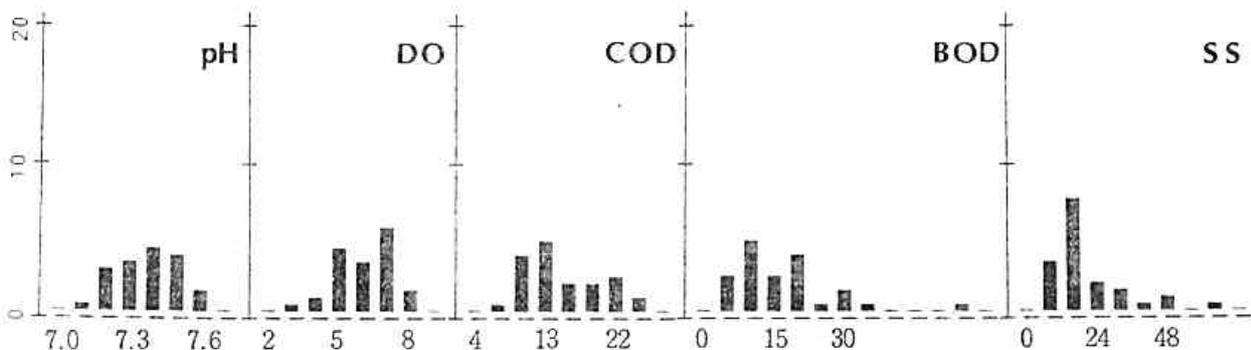


図1 水質項目のヒストグラム（水車橋、1983.4～1986.1）

*：単位はpH以外はmg/l

*：川崎市衛生研究所理化学検査担当，**：川崎市環境保全局公害部騒音振動第2課

DO, BOD, SS)の市計画測定結果(市計画データ)⁵⁻⁶⁾を用いた。3地点は、いずれも都市河川であるが汚染状況は異なり、COD濃度では中野橋<水車橋<五月橋の順となっている。また、これらの地点では、比較的近接した場所の常時監視データ(pH, COD, DO, TB)⁷⁻⁸⁾が得られており、それらも用いた。図1には、本検討に用いた各項目の分布の例をヒストグラムで示した。確率紙上では、pHやDOはほぼ正規分布、BODやSSは対数正規分布に近いと考えられた。しかし、通常、水質項目は年平均値を算術平均として求めていることを考えあわせ、ここでは各項目とも正規分布していると仮定した。

一般にある変数の母平均値の信頼限界は、母集団より抜き取られた標本の平均 \bar{X} 、標本の数N及び標準偏差より求められる。すなわち、ある計測値 X_i が正規分布をしていると仮定すると、以下のように表わされる。

$$\bar{X} - ts/\sqrt{N} < \mu < \bar{X} + ts/\sqrt{N} \dots\dots\dots(1)$$

\bar{X} : X_i の平均値, s : 標本標準偏差, μ : 母平均, N : 標本の数。

また、t分布の有意水準と平均値の信頼限界幅を与えれば、

$$N = (ts)^2 / (\bar{X} - \mu)^2 \dots\dots\dots(2)$$

を計算することにより、その時のNの最適解が得られる。但し、 μ があらかじめわかっていないと計算は出来ないが、ここでは標本平均を仮に置き、それに信頼限界の幅を与え、対応する頻度をもとめた。

3 結果及び考察

3.1 市計画測定結果の年平均値の信頼限界と測定回数(頻度)

市計画データの年平均値の95%信頼限界(以下、単に信頼限界と記す)を表1に、信頼限界の幅と測定頻度Nの関係を図2に例示する。3地点の各年度の年平均値の信頼限界は、平均値に対して、pH : $\pm 2\%$ 以下, COD : $\pm 17\sim 28\%$, DO : $\pm 7\sim 41\%$, BOD : $\pm 20\sim 49\%$, SS : $\pm 28\sim 59\%$ となっている。表1には変動率(s/\bar{x})を示したが、それらが大きいほど頻度は大きくなっている。信頼限界を平均値の $\pm 10\%$ 以内に抑えるための採水頻度は表2に示すようにpH : 3回, COD : 29~75回, DO : 8~160回, BOD : 38~230回, SS : 77~330回となり、pHを除けば、かなりの頻度の採水が必要となることがわかる。いずれにしても、年12回の測定ではpHを除く他の項目は平均値の信頼限界が10%以上になる場合が多く、経年推移等の評価を下す際には念頭に置く必要があることがわかる。

3.2 常時監視データからの評価及び補正

市計画測定結果からもとめた平均値の信頼限界及び信頼限界に対応する頻度は標本の平均と標準偏差から算出したものであり、母平均値及び母標準偏差が得られている場合との比較検討は出来ない。しかしながら、連続測定データからは母平均あるいは母標準偏差に最も近い値が得られると思われる。そこで、市計画調査地点とはほぼ同一地点で得られた、常時監視データを用いて年平均値と信頼限界及び頻度との関係についてもとめ、市計画データの平均値の推定の評価及び補正方法について検討を行った。

表1 市計画データによる平均値の95%信頼限界 (n = 12)

項目	中野橋			水車橋			五月橋		
	\bar{x}	変動率 s/\bar{x}	95%信頼 限界/ \bar{x} ($\pm\%$)	\bar{x}	変動率 s/\bar{x}	95%信頼 限界/ \bar{x} ($\pm\%$)	\bar{x}	変動率 s/\bar{x}	95%信頼 限界/ \bar{x} ($\pm\%$)
pH (84')	7.6	0.01	1	7.5	0.02	1	7.3	0.02	1
" (85')	7.6	0.04	2	7.5	0.02	1	7.4	0.02	1
COD (84')	11.9	0.26	17	17.5	0.26	17	25.2	0.30	19
" (85')	13.9	0.31	20	17.0	0.29	19	25.0	0.43	28
DO (84')	7.8	0.12	7	6.3	0.18	12	3.5	0.64	41
" (85')	6.3	0.34	21	6.0	0.13	8	3.0	0.38	24
BOD (84')	14.4	0.35	22	21.1	0.31	20	37.0	0.40	25
" (85')	12.8	0.34	22	17.0	0.76	49	30.7	0.59	38
SS (84')	15.6	0.67	43	26.4	0.44	28	40.9	0.59	37
" (85')	13.9	0.75	48	21.0	0.55	35	43.8	0.92	59

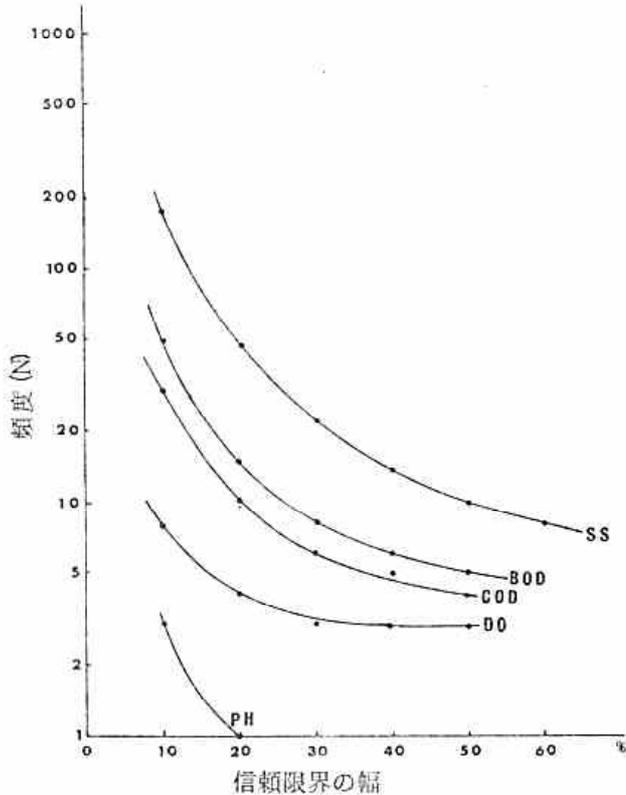


図2 信頼限界と測定頻度との関係 (中野橋, 1984)

表2 平均値の信頼限界の幅に対応する測定頻度(N) - 市計画データ

項目・地点(年度)	95% 信頼限界の幅				
	±10%	±20%	±30%	±40%	±50%
pH 中野橋(84') (85') 水車橋(84') (85') 五月橋(84') (85')	3	1			
	3	1			
	3	1			
	3	1			
	3	2			
COD 中野橋(84') (85') 水車橋(84') (85') 五月橋(84') (85')	30	10	6	5	4
	40	12	7	5	4
	29	10	6	5	4
	36	11	7	5	4
	38	12	7	5	4
DO 中野橋(84') (85') 水車橋(84') (85') 五月橋(84') (85')	8	4	3	3	3
	47	14	8	6	5
	16	6	4	4	3
	9	5	4	3	3
	160	42	20	13	9
BOD 中野橋(84') (85') 水車橋(84') (85') 五月橋(84') (85')	49	15	8	6	5
	50	15	8	6	5
	38	12	7	5	4
	230	60	28	17	12
	65	18	10	7	5
SS 中野橋(84') (85') 水車橋(84') (85') 五月橋(84') (85')	180	47	22	14	10
	220	57	27	16	12
	77	22	11	8	6
	120	32	16	10	8
	140	36	18	11	8

* : 平均値×割合, 例えば, 10%とは $x \times 0.1$ の信頼限界幅を指す。

3.2.1 市計画データと常時監視データの相関及び濃度変化パターン

常時監視データを用い, 市計画データの平均値及びその信頼限界の評価をするためには, 常時監視データとの関係をもておく必要がある。そこで, 共通する項目としてpH, COD(常時監視の方法は, 硫酸銀無添加), DO及びSS(常時監視データの表面反射率:TBがSSに対応するとし

た)をあげ, 相関関係等を調べ表3に示した。

COD, DOは各地点とも危険率1%で有意の相関関係が得られ, 年平均値も比較的近い。pHについては, 図3に例示したように数値の変動が少ないため有意な相関が得られていないが, 両者

表3 常時監視データ(自動測定装置)と市計画データ(公定分析)間の関係

場所	項目 市計画 常時監視	n	回帰式	r	平均値	
					市計画	常時監視 差の検定
中野橋	PH(JIS)-PH(自動)	18	$Y=0.529X+3.726$	0.367	7.64	7.77
	COD(JIS)-COD(自動)	17	$Y=1.0134X-4.070$	0.721**	12.7	8.8
	DO(JIS)-DO(自動)	18	$Y=0.957X+0.636$	0.851**	7.23	7.56 *
	SS(JIS)-TB(自動)	17	$Y=0.920X+20.24$	0.448	14	33 *
水車橋	PH(JIS)-PH(自動)	21	$Y=0.111X+6.663$	0.131	7.48	7.50
	COD(JIS)-COD(自動)	16	$Y=1.021X-2.679$	0.655**	18.1	15.8
	DO(JIS)-DO(自動)	21	$Y=0.917X+0.358$	0.628**	6.16	6.00
	SS(JIS)-TB(自動)	19	$Y=0.383X+37.884$	0.205	25	48 *
五月橋	PH(JIS)-PH(自動)	22	$Y=0.714X+1.922$	0.333	7.39	7.20 *
	COD(JIS)-COD(自動)	17	$Y=1.013X-0.384$	0.852**	25.3	25.3
	DO(JIS)-DO(自動)	22	$Y=1.123X-0.542$	0.937**	3.11	2.95
	SS(JIS)-TB(自動)	22	$Y=1.292X+8.219$	0.900**	41	62 *

* : 危険率5%で差有り, ** : 危険率1%で有意な相関関係有り

の年平均値を比較（t検定）すると、少なくとも2地点で有意差がみられない。これらのことから、常時監視データを用いた解析によりpH、COD、DOにおいては市計画データの平均値推定の評価に有用な情報が提供されうると考えた。なお、SSはTBとの間に有意の相関が1地点でしかみられなく、平均値では3地点とも有意差があり、同種のものの計測をしているとは思われない結果となっているので以下の検討から除外した。

また、pH、COD、DO、SSについて常時監視データ（n>6500）と市計画データ（n=12）の間の分散の相違を χ^2 分布を用いて検定した結果を表4に示した。COD以外の項目では、いくつかの地点、年で市計画データの分散が小さく、本来は異ならないはずの母分散に相違がある結果となっている。

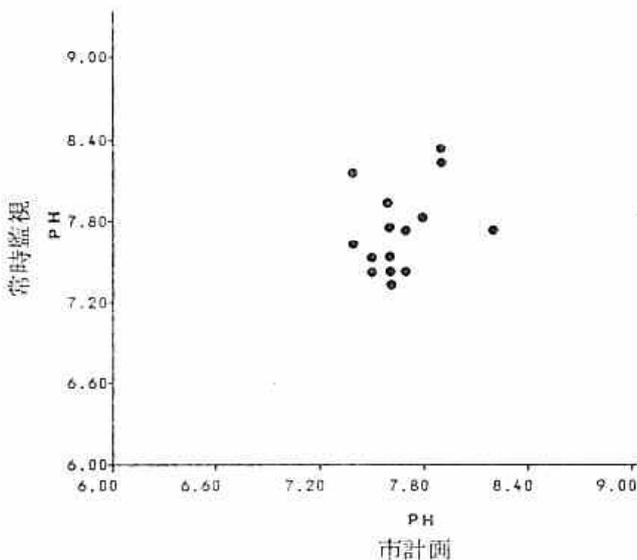


図3 市計画データと常時監視データとの関係（中野橋，1985）

表4 χ^2 分布を用いた常時監視データと市計画データの分散の相違

場所	年	pH	DO	COD	SS (TB)
中野橋 (麻生川)	1984	小	小	-	小
	1985	-	-	-	小
水車橋 (真福寺川)	1984	-	-	-	小
	1985	-	小	-	小
五月橋 (有馬川)	1984	-	-	-	-
	1985	小	小	-	-

小：市計画データの方が分散が小さい，-：分散に差があるとはいえない。 α ：0.05

さらに、時間変化パターンは市計画の平均値を評価する際参考となると思われるので、各項目のデータについて、常時監視データから得られた経月変化及び経時変化の例を図4～5に示した。経月変化をみると、CODはどの地点も12月～3月に高くなる傾向が全ての地点で見られる。また、経時変化をみると、CODは汚染の進んでいる河川ほど日中と夜間のピークが明確に出ている。DOは河川によってまちまちであるが、汚染の進んでいない河川ほど日中のピークが大きい。

3.2.2 常時監視データからの平均値の信頼限界の推定

常時監視全データから得られた年平均値と信頼

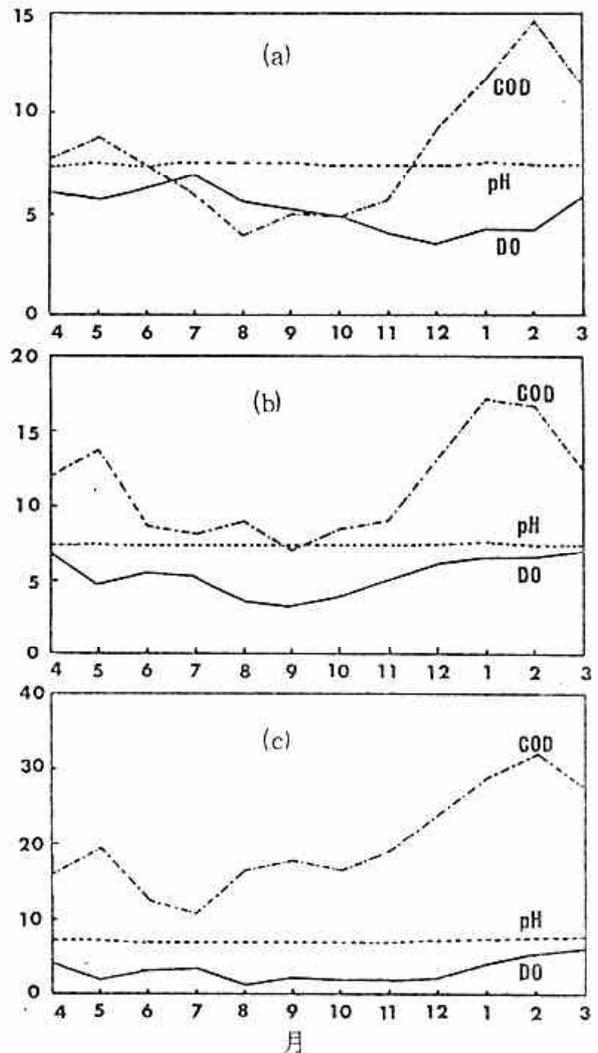


図4 水質項目の月別変動（1985）
(a)：中野橋，(b)：水車橋，(c)：五月橋
単位はpH以外はmg/l

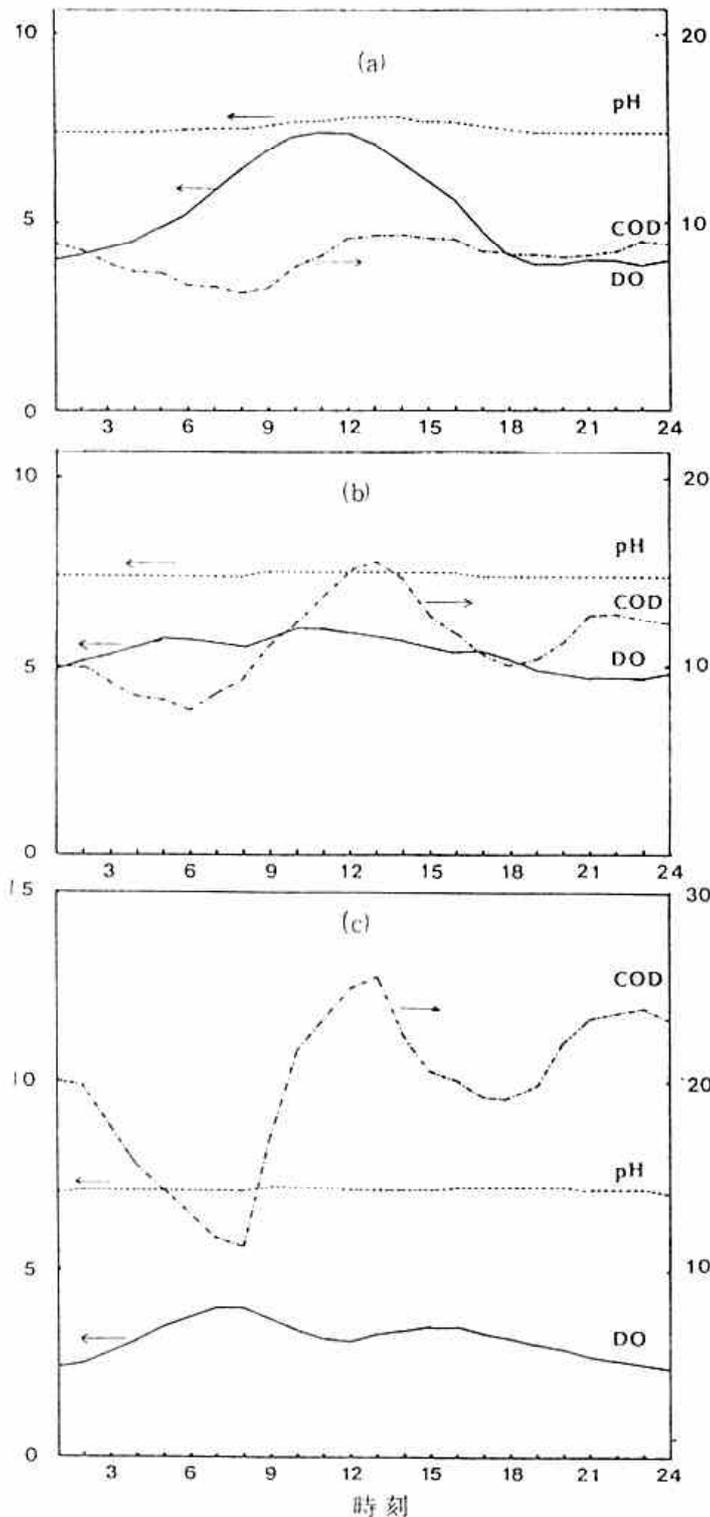


図5 水質項目の時間変動(1985)
 (a): 中野橋, (b): 水車橋, (c): 五月橋
 単位はpH以外はmg/l

限界に対応する頻度をpH, COD, DOについて求めた。なお、常時監視データから得られた年平均値及び標準偏差は各々、母平均、母標準偏差として計算した。したがって(1)式は、

$$|\bar{X} - \mu| = 1.96 \sigma / \sqrt{N} \text{となる。ただし、}\sigma:$$

母標準偏差, 1.96: p を0.05としたときの正規分布の u 値。

表5には頻度を年12回とした場合の年平均値の信頼限界, 各所の測定データから市計画採水時刻に対応するデータを抽出(抽出データ, 常時監視データの欠測のため必ずしも年12回とはなっていない)して平均し μ との差を求めその割合を算出したもの(a)を示した。

採水頻度を年12回としたときの平均値の信頼限界は μ に対してpH: $\pm 1 \sim 2\%$, COD: $\pm 21 \sim 30\%$, DO: $\pm 18 \sim 47\%$ となっている。年平均の信頼限界を常時監視データと3.1で推定された市計画データとで比較するとpH, CODは比較的近い値を示している。しかし、DOは市計画の方が1/2以下となっているケースがいくつかみられる。このことはDOにおいては図5のように1日の経時変化が一定のパターンを示す場合もあり、一方で市計画測定では試料採取時間がほぼ一定しており、測定値に偏りがあることに起因するものと思われ、先に述べたように母分散に違いがあるという結果からも説明される。これらのことから市計画データ($n=12$)から推定したpH, CODについての信頼限界や頻度は比較的良好な結果を示していると思われる。また、この結果は年12回の測定であっても毎月1回というように季節に偏りをもたない採水をすれば比較的良く年変動を捉え、平均値の信頼性を高めていることも示している。

抽出データの平均値と μ との差(a)はDOの数例を除けばいずれも信頼限界の範囲内に入っているか、またはほぼ近い値となっている。DOについては先に述べた理由で、偏った平均値(\bar{X})が得られた可能性がある。

3.2.3 常時監視データを用いた平均値の補正

一日の濃度変動パターンがほぼ一定であれば市計画採水時刻に対応する年12回の常時監視データの平均に時間補正を加えれば μ との差が小さくなると考えられる。表5には市計画の採水時刻に対応する時刻の常時監視全データからの年平均値(M_t)及びそれを用いて補正した抽出データの平均(\bar{X}')と μ との差の割合(b)も示したが、補正は以下のようにした。

表5 常時監視データによる平均値の信頼限界, 抽出データ補正・未補正平均値と μ の差

項目 測定場所	95%信頼限界/ μ (n=12) $\pm\%$		市計画採水時刻対応抽出データ 未補正平均値 n X (a)*2			抽出データ補正平均値 採水時刻 対応年平均Mt*1 \bar{X}'/\bar{X} (b)*2			
	μ		n	X	(a)*2	\bar{X}'	\bar{X}	(b)*2	
pH	中野橋 (84')	7.5	2	9	7.7	+ 2.7	7.8	7.4	- 1.3
	" (85')	7.5	2	12	7.7	+ 2.7	7.8	7.4	- 1.2
	水車橋 (84')	7.4	1	10	7.5	+ 1.4	7.5	7.5	0
	" (85')	7.4	1	12	7.5	+ 1.4	7.5	7.5	0
	五月橋 (84')	7.1	2	10	7.2	+ 1.4	7.2	7.2	0
" (85')	7.1	2	12	7.2	+ 1.4	7.1	7.2	+ 1.4	
COD	中野橋 (84')	9.1	27	9	9.8	+ 7.4	9.2	9.7	+ 6.1
	" (85')	8.2	30	12	10.1	+23.2	9.6	8.6	+ 5.2
	水車橋 (84')	13.6	30	8	16.6	+22.2	16.2	14.0	+ 2.4
	" (85')	11.3	31	12	13.5	+19.6	14.7	10.4	- 8.0
	五月橋 (84')	23.8	21	8	28.2	+18.5	24.5	27.3	+15.1
" (85')	19.8	28	12	22.1	+11.6	20.6	21.6	+ 7.0	
DO	中野橋 (84')	5.3	27	9	7.7	+45.3	7.9	5.2	- 2.6
	" (85')	5.2	26	12	6.9	+32.7	6.6	5.4	+ 4.5
	水車橋 (84')	5.1	20	10	6.4	+25.5	6.0	5.4	+ 6.7
	" (85')	5.3	18	12	5.7	+ 7.5	5.7	5.3	0
	五月橋 (84')	2.6	47	10	3.3	+25.0	2.9	2.9	+11.8
" (85')	3.1	42	12	2.7	-12.6	3.5	2.4	- 22.6	

* 1 : 採水時刻は各所とも12回のうちやらずれているものもあったが, 最も多い時刻で代表させた。

* 2 : (a) = $(\bar{X} - \mu) \times 100 / \mu$, (b) = $(\bar{X}' - \mu) \times 100 / \mu$ 。

$$\bar{X}' = \bar{X} \mu / Mt$$

ただし, \bar{X}' : 補正後の平均値, \bar{X} : 標本平均, Mt : t時の年間平均値。

1984, 1985年度の \bar{X}' と μ との差(b)は, μ に対してpH: $\pm 0 \sim 1\%$, COD: $\pm 2 \sim 15\%$, DO: $\pm 0 \sim 23\%$ となった。このように補正を加えると, そうでない場合(a)にくらべ, ほとんどの項目で差が小さくなる傾向が認められたが, 中でも差の大きかった中野橋及び水車橋のDOについては著しい改善が, またDOほどではないがCODにおいても改善がみられた。したがって, 水質汚濁状況評価にマニュアル測定データが主に用いられている現在(項目によっては, 公定法と異なる部分があるため), 常時監視データから得られた補正係数を使って市計画のような採水頻度の少ないマニュアル測定CODあるいはDOの年平均値の補正をすることは, 年々その経時変化パターンが大きく変化しないとすれば, 有用であろうと思われる。

4 まとめ

本検討では, 都市中小河川の例として, 川崎市のデータ(市計画)を用い, 平均値の信頼限界をもとめると同時に, 信頼限界幅を定めた場合の測定頻度を算出した。さらに, 常時監視データ(自動)との比較及びそれを用いた平均値の補正の方法についても若干の検討を試みた。その結果, 1984, 1985年度の市計画データ(3地点)のpH, COD, DO, BOD, SSについては, 年平均値の信頼限界が平均値に対して, 各々 $\pm 2\%$ 以下, $\pm 17 \sim 29\%$, $\pm 7 \sim 41\%$, $\pm 20 \sim 49\%$, $\pm 28 \sim 59\%$ であると算出された。これらのうちpH, COD, DOについて, 常時監視データを用いて平均値の補正を検討したところ, DO, CODでは補正平均値と母平均値の差が小さくなった。このように, 常時監視データが公定法から得られたデータとよく一致していれば, それから得られた補正係数により, 頻度の少ないマニュアル測定データの平均値補正が可能となることがわかった。また, BOD, SSについては別に検討することが必要である。

さらに次のようなことがこの検討の中から言えよう。

- ・採水計画が水質の年変動を反映していないような場合には、そのデータから算出された年平均値の信頼限界の推定精度はよくない。
- ・データのさまざまな変動要因を考慮にいった採水計画を立てることにより比較的少ない頻度でも年平均の誤差を少なく出来る。
- ・さらに、種々の検討をして採水計画を立てる際、常時監視データは有効に使用されるものと思われる。

文 献

- 1) Loftis, J. C.; Ward, R. C.: Water Quality Monitoring - Some Practical Sampling Frequency Considerations, Environmental Management, 4, No 6, 521 - 526 (1980)
- 2) 荒井治, 佐藤定平: 河川水質変動の一般的特徴, 河川, 401 (1979)
- 3) 松岡譲, 内藤正明: 水質監視システムの合理化に関する研究の現状と問題点, 水質汚濁研究, 6, No 1, 1 - 13 (1983)
- 4) 岡敬一, 吉見洋, 井口きよし, 小森谷ひろこ: 分散分析による水質測定計画の測定頻度の最適化に関する研究, 水質汚濁研究, 7, No 7, 443 - 447 (1984)
- 5) 神奈川県: 昭和59年度神奈川県水質調査年表
- 6) 神奈川県: 昭和60年度神奈川県水質調査年表
- 7) 川崎市: 昭和59年度水質年報
- 8) 川崎市: 昭和60年度水質年報