

浄水場において規準水質を超過する日数の推定

佐藤 尚 徳*

1. 緒 言

浄水場における水質管理にあたっては、浄化目標たる規準水質を定めてその良否判断のもととし、浄化の結果たる浄水水質と規準水質とを比較して、浄水水質が規準水質を越える日数（または度数）を少なくするように浄化作業管理を行なう必要がある。

また、水質汚濁防止で浄水場の原水を汚濁防止の対象とした場合は、原水水質の改善に応じて浄水水質の規準水質を越える日数が改善される模様を知ることが必要であろう。

いずれの場合においても、規準水質を越える日数を減少させるために浄化作業、原水水質を改善することが、妥当な投資であるかどうかの判断にもとづいて、実際にそれぞれの改善を行なうかどうかを決めなければならないが、本論文では技術上の問題点である、浄水水質が浄水能力や原水水質の変化によって、規準水質を越える日数の変化する模様を推定する方法を提案しようとするものである。

水質指標としては、過マンガン酸カリウム消費量 ($\text{KMnO}_4 \cdot \text{cons.}$) を用いるものとする。

2. 浄水場の浄化能力

(1) 原水水質と浄水水質の分布

筆者が解析を試みようとするものは、M川に取水するN浄水場の水質関係資料のうち、1959年4月から1960年3月に至る1年間のものである。

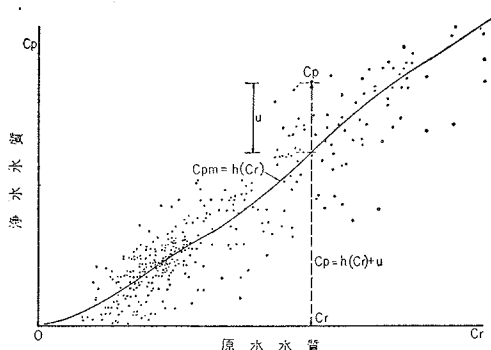
N浄水場における原水水質 C_r と浄水水質 C_p との関係は図-1の●点で表わすようなものである。

図-1で見るとおり、原水水質 C_r の増加にしたがって浄水水質 C_p は増加する傾向にあり、原水水質 C_r と浄水水質 C_p とは何らかの関係をもつものであることが予想される。

(2) 浄化能力を表わす関数

浄水水質 C_p の原水水質 C_r に対する関係は、原水水質 C_r が浄水場という浄化プロセスを通過する場合に一般的に、平均の原水水質構成・浄化作業などのもとでは平均の浄水水質 $\alpha \cdot C_r$ が期待できるものであり、現実の浄水水質 C_p は平均の原水水質構成・浄化作業のまわりに分布し、それらの中に存在する不確定な要素の影響をうけて表われる現実の原水水質・浄化作業などのかく乱

図-1 原水水質と浄水水質の分布



をうけて、 $\alpha \cdot C_r$ のまわりに実現するものと理解することができよう。

ここで α は常数ではなく、浄化プロセスの原水水質に対する浄化能力に関するものである。

いま、原水水質を C_r とするとき、 α を規定するような関数を h と表わせば、浄水水質の平均値 C_{pm} は次式で表わすことができる。

$$C_{pm} = h(C_r) \dots\dots\dots (1)$$

式(1)は図-1において、ほぼ細実線のように描かれる。また、かく乱を考えると浄水水質の実現値 C_p は次式で表わすことができる。

$$C_p = h(C_r) + u \dots\dots\dots (2)$$

u : かく乱

関数 $h(C_r)$ は、原水水質 C_r を代入して浄水水質の平均値を知るものであるから、浄水場の浄化能力を表わす関数といえることができる。

能力関数 $h(C_r)$ の形状を図-1から見ると、原水水質の全範囲に対してその関数型は単純であるとはいえないが、ほぼ直線的であることが考えられる。

このことは実際的に、同一プロセスを用いて浄化を行なう場合に、同一浄化率を期待できるということと一致する。したがって筆者は、能力関数 $h(C_r)$ の関数型を次式で表わすこととする。

$$C_{pm} = h(C_r) = \alpha + \beta \cdot C_r \dots\dots\dots (3)$$

したがって

$$C_p = h(C_r) + u = \alpha + \beta \cdot C_r + u \dots\dots\dots (4)$$

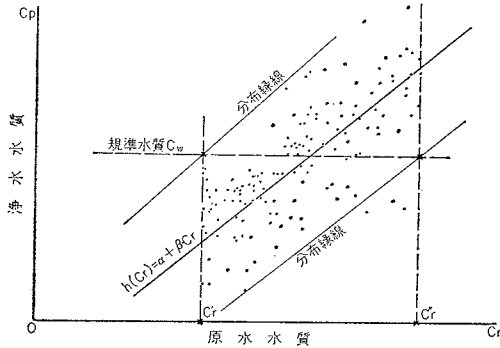
(3) 標本の抽出

本論文は浄水場で浄水水質が規準水質を越える様態を推定することを命題とした。

いま、観測値についてその分布の外縁をふくむような

* 正員 経済企画庁水資源局水質調査課 総理府技官

図-2 規準水質と分布縁線



線を分布縁線と名づけ、規準水質 C_w との関係を描くと図-2 のようになる。

分布縁線と規準水質との交わる点の原水水質 C_r' と C_r'' に注目すると、原水水質 C_r' に対する浄水水質はほぼ 100% の確率で規準水質 C_w を越えず、原水水質 C_r'' に対する浄水水質は、ほぼ 100% の確率で規準水質 C_w を越える。

ゆえに、本論文の命題のもとでは、原水水質 C_r が $C_r' < C_r < C_r''$ であるような範囲の原水水質と、それに対する浄水水質とは必ずしも必要な資料ではないといえよう。

さらに、式(3),(4)によって、厳密な直線関係にないおそれのある能力関数 $h(C_r)$ を直線関係にあるとし

た。したがって、この間の誤差を少なくするために、原水水質の範囲をなるべく小区間に限定することが望ましい。

このような2つの観点から能力関数 $h(C_r)$ を定めるための標本範囲は次のとおりとすることが適切である。

$$C_r' < C_r < C_r'' \dots\dots\dots (5)$$

(4) N 浄水場における能力関数

本論文の命題のもとに N 浄水場における能力関数を定めるための条件は、次の4条件である。

条件 1...規準水質について

$$C_w = 10 \text{ ppm}$$

条件 2...標本範囲について

$$C_r' = 20 \text{ ppm}$$

$$C_r'' = 48 \text{ ppm}$$

$$20 \text{ ppm} < C_r < 48 \text{ ppm}$$

条件 3...能力関数について

$$C_{pm} = h(C_r) = \alpha + \beta \cdot C_r$$

$$C_p = h(C_r) + u = \alpha + \beta \cdot C_r + u$$

条件 4...かく乱について

u は平均値 C_{pm} で標準偏差 σ の正規分布をする

N 浄水場で条件を満足する標本は表-1 のとおりである。

4条件のもとで能力関数 $h(C_r)$ を定めるための諸数値は、次の諸式を用いて計算される。

表-1 原水水質と浄水水質

| No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C_r | 20.19 | 20.50 | 20.52 | 20.55 | 20.55 | 20.55 | 20.85 | 21.12 | 21.16 | 21.20 | 21.20 | 21.50 | 21.80 | 22.10 | 22.10 |
| C_p | 6.67 | 5.85 | 4.11 | 6.32 | 6.64 | 7.00 | 6.96 | 6.00 | 6.80 | 2.68 | 7.13 | 6.16 | 5.86 | 5.21 | 6.18 |
| No. | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| C_r | 22.14 | 22.16 | 22.45 | 22.45 | 22.67 | 22.76 | 23.05 | 23.11 | 23.21 | 23.40 | 23.70 | 23.70 | 24.00 | 24.00 | 24.12 |
| C_p | 9.48 | 4.80 | 5.85 | 7.13 | 3.62 | 5.22 | 6.80 | 5.21 | 11.28 | 8.48 | 8.06 | 8.85 | 8.58 | 9.96 | 5.10 |
| No. | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| C_r | 24.32 | 24.35 | 24.50 | 24.51 | 24.51 | 24.62 | 24.65 | 24.70 | 24.95 | 25.09 | 25.14 | 25.14 | 25.24 | 25.25 | 25.25 |
| C_p | 7.27 | 8.54 | 5.80 | 8.91 | 10.10 | 8.06 | 8.54 | 9.53 | 7.58 | 4.95 | 4.51 | 8.53 | 9.16 | 9.48 | 11.85 |
| No. | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| C_r | 25.59 | 25.72 | 25.75 | 25.78 | 25.90 | 25.96 | 26.31 | 27.00 | 27.20 | 27.20 | 27.44 | 27.50 | 27.80 | 28.12 | 28.40 |
| C_p | 12.01 | 8.25 | 10.42 | 7.41 | 8.85 | 7.56 | 10.47 | 12.15 | 8.54 | 10.58 | 9.68 | 6.48 | 6.64 | 8.38 | 6.00 |
| No. | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 |
| C_r | \bar{x} 28.40 | 28.40 | 28.67 | 28.68 | 28.90 | 29.01 | 29.04 | 29.04 | 29.29 | 29.36 | 29.36 | 30.10 | 30.16 | 30.40 | 30.40 |
| C_p | \bar{y} 9.05 | 9.32 | 10.54 | 9.97 | 12.45 | 9.08 | 8.70 | 10.10 | 4.88 | 6.64 | 7.90 | 8.06 | 6.16 | 9.80 | 10.42 |
| No. | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 |
| C_r | 30.40 | 30.59 | 30.62 | 31.32 | 31.58 | 31.91 | 32.20 | 32.20 | 32.20 | 32.23 | 32.52 | 32.82 | 33.50 | 33.52 | 33.82 |
| C_p | 11.54 | 8.14 | 14.53 | 9.32 | 11.12 | 10.31 | 8.38 | 9.16 | 11.38 | 11.65 | 10.10 | 12.31 | 11.70 | 11.92 | 5.84 |
| No. | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 |
| C_r | 34.16 | 34.16 | 34.72 | 34.80 | 34.80 | 34.80 | 34.81 | 35.40 | 35.40 | 35.45 | 36.00 | 36.00 | 36.10 | 36.60 | 36.60 |
| C_p | 9.35 | 12.89 | 5.53 | 11.08 | 13.28 | 15.20 | 11.37 | 12.00 | 12.95 | 9.99 | 10.42 | 12.65 | 11.92 | 11.91 | 13.28 |
| No. | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | | | | |
| C_r | 36.32 | 36.49 | 37.20 | 37.20 | 37.28 | 38.50 | 41.24 | 41.25 | 41.68 | 44.20 | 44.32 | | | | |
| C_p | 13.90 | 12.95 | 12.06 | 13.60 | 12.04 | 9.80 | 14.49 | 10.31 | 14.90 | 12.31 | 14.52 | | | | |

原水水質の平均値 $\bar{C}_r = \frac{\sum C_r}{n}$ n : 標本数
(6)

浄水水質の平均値 $\bar{C}_p = \frac{\sum C_p}{n}$ (7)

原水水質の標準偏差 $s_r = \sqrt{\frac{\sum (C_r - \bar{C}_r)^2}{n-1}}$
(8)

浄水水質の標準偏差 $s_p = \sqrt{\frac{\sum (C_p - \bar{C}_p)^2}{n-1}}$
(9)

浄水水質の原水水質に対する相関係数

$$r = \frac{\sum (C_r - \bar{C}_r)(C_p - \bar{C}_p)}{\sqrt{\sum (C_r - \bar{C}_r)^2} \cdot \sqrt{\sum (C_p - \bar{C}_p)^2}}$$
 (10)

浄水水質の原水水質に対する標準偏差

$$s = \sqrt{\frac{(1-r^2)\sum (C_p - \bar{C}_p)^2}{n-2}}$$
(11)

浄水水質の原水水質に対する回帰係数

$$\beta = r \cdot \frac{s_p}{s_r}$$
(12)

$(\alpha = \bar{C}_p - \beta \cdot \bar{C}_r)$

実数は $r=0.7133 \cdot s=1.9658 \text{ ppm} \cdot \alpha=-0.64 \text{ ppm}$
 $\beta=0.3411$ で、能力関数は

$C_{pm} = -0.64 + 0.34 \cdot C_r$ (3)'

と決定される。

式(3)'によって、標本について能力関数 $h(C_r)$ を確定したが、推定論においては母集団における能力関数の様態を知らねばならない。

4条件のもとで、 $C_{pm} = h(C_r)$ の信頼区間を次式によって知ることができる。

信頼上限の浄水水質 L_1 は

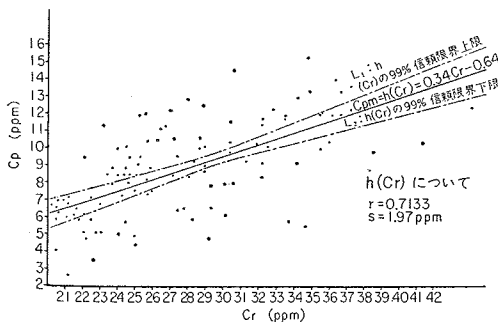
$$L_1 = \alpha + \beta \cdot C_{r0} + t_{(\alpha)} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(C_{r0} - \bar{C}_r)^2}{\sum (C_r - \bar{C}_r)^2}}$$
(13)

信頼下限の浄水水質 L_2 は

$$L_2 = \alpha + \beta \cdot C_{r0} - t_{(\alpha)} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(C_{r0} - \bar{C}_r)^2}{\sum (C_r - \bar{C}_r)^2}}$$
(14)

C_{r0} : 限界値を求めようとする原水水質

図-3 能力関数と信頼限界



$t_{(\alpha)}$: 信頼度 $(1-\alpha)$ で自由度 $(n-2)$ の t 分布値
 99% 信頼度における $C_{pm} = h(C_r)$ 信頼区間は

$L_1 = -0.64 + 0.34 \cdot C_{r0} + 5.047 \cdot \{8621 + 255 \cdot (C_{r0} - 28.4)^2\}^{1/2} \times 10^{-3}$ (13)'

$L_2 = -0.64 + 0.34 \cdot C_{r0} - 5.047 \cdot \{8621 + 255 \cdot (C_{r0} - 28.4)^2\}^{1/2} \times 10^{-3}$ (14)'

N 浄水場における $C_{pm} = h(C_r)$ とその 99% 信頼区間を図に描くと図-3 のようになる。

(5) 浄水水質が基準水質を越える確率

条件4において、 u は $N(C_{pm}, \sigma^2)$ の正規分布をする。 C_{pm} は式(13), (14) によって区間推定がなされた。

また、 s は σ の不偏推定量である。

したがって、 u はほぼ上限で $N(L_1, s^2)$ 、下限で $N(L_2, s^2)$ の正規分布をする と推定される。

ここで次の条件を加える。

条件5... u について

u は $N(L_1, s^2) \sim N(L_2, s^2)$ の正規分布をする

5条件のもとで、母集団における原水水質 C_r に対する浄水水質 C_p が超過確率 P を満足する上限 R_1 および下限 R_2 を次式で推定することができる。

超過確率の上限の浄水水質は

$$R_1 = L_1 + s \cdot z = \alpha + \beta \cdot C_{r0} + t_{(\alpha)} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(C_{r0} - \bar{C}_r)^2}{\sum (C_r - \bar{C}_r)^2}} + s \cdot z$$
(15)

超過確率 P の下限の浄水水質は

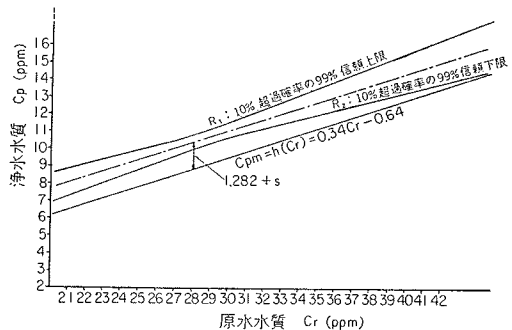
$$R_2 = L_2 + s \cdot z = \alpha + \beta \cdot C_{r0} - t_{(\alpha)} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(C_{r0} - \bar{C}_r)^2}{\sum (C_r - \bar{C}_r)^2}} + s \cdot z$$
(16)

$z: P = \frac{1}{2\pi} \int_z^{+\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} \cdot dz$ を満足する z

N 浄水場における、 $C_{pm} = h(C_r)$ の信頼度 99% での超過確率 $P=10\%$ の上限 R_1 および下限 R_2 を描くと図-4 のようになる。

式(15), (16) によって、任意の原水水質 C_{r0} における任意の超過確率 P とそれに対応する浄水水質 C_p の上限値および下限値を推定することができるが、これはまた、任意の原水水質 C_{r0} における任意の浄水水質 C_p

図-4 能力関数と超過確率限界



を満足する超過確率 P の上限値および下限値を推定することも可能にすることを示す。

ここで、任意の浄水水質を規準水質 C_w にとれば、そのような超過確率は任意の原水水質 C_{r0} で浄水水質 C_p が規準水質 C_w を越える確率を表わす。

すなわち、

$$P_1 = \frac{1}{2\pi} \int_{z_1}^{+\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} \cdot dz \dots\dots\dots(17)_1$$

$$z_1 = \frac{\left[C_w - \left\{ \alpha + \beta \cdot C_{r0} - t_{(\alpha)} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(C_{r0} - \bar{C}_r)^2}{\Sigma(C_r - \bar{C}_r)^2}} \right\} \right]}{s} \dots\dots\dots(17)_2$$

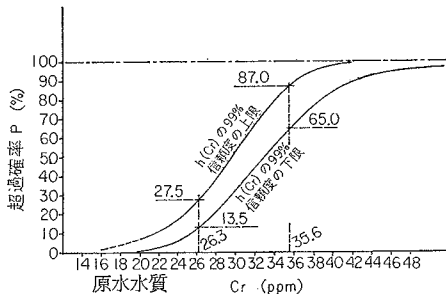
浄水水質が規準水質を越える下限の確率 P_2 は

$$P_2 = \frac{1}{2\pi} \int_{z_2}^{+\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} \cdot dz \dots\dots\dots(18)_1$$

$$z_2 = \frac{\left[C_w - \left\{ \alpha + \beta \cdot C_{r0} + t_{(\alpha)} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(C_{r0} - \bar{C}_r)^2}{\Sigma(C_r - \bar{C}_r)^2}} \right\} \right]}{s} \dots\dots\dots(18)_2$$

N 浄水場における式 (17), (18) の計算を、 $C_{pm} = h(C_r)$ の 99% 信頼度で行なって描くと 図-5 のようになる。

図-5 原水水質と浄水水質が 10 ppm を越える確率



3. 流水の水質

流水を取水源とする浄水場の原水水質は流水の水質である。したがって、原水水質は流水の水質発生事情に左右される。

流水の水質は流量・流域の表面の水質の構成要素となる溶出性物質の自然的条件・人為的汚物の放出の条件などによって変動するものである。

(1) 流水の水質の構成

流水の水質 C はその構成原因から、次式で表わされる。

$$C = C_n + C_a \dots\dots\dots(19)_1$$

C_n : 自然水質

C_a : 人為水質

C_n は自然的要件によって発生するもので、流量の構成要素たるそれぞれの流出水が、流域内から流水内のそ

の地点に至るまでに含有したものに原因する。大流量のときには水流の掃流力の増加などにより、含有物質の量はいちじるしく大となると考えられるが、浄水場の水質 (S.S. を除く) に大きな影響のある低流量時にあっては、流出水の様態は定常の状態にあり、緩急に流出する間に含有されるものの溶出の率はほぼ一定であり、したがって含有量は流量にほぼ比例するものであろう。

ここで自然水質 C_n は次式で表わすことができる。

$$C_n = \text{const.} \dots\dots\dots(20)$$

C_a は人為的要件によって発生するもので、流量との関係は次式で表わすことができる。(19)₁ 式などを水道協会誌 No. 329 に発表)

$$C_a = \frac{p_s'}{q_r} \dots\dots\dots(21)$$

p_s' : 流達人為水質負荷

q_r : 流量

流達人為水質負荷 p_s' は、流域内の各所で人為的に放出された汚水の水質負荷 p_s のうち、流水中のその点に流達したもので、一般に $p_s' = F(p_s)$ で表わされるものである。

人為水質負荷はその発生が流量の発生とは互に独立の関係にあり、またある一定値を平均値としてそのまわりに分布して発生すると考えられるので、人為水質もある一定の平均値をもち、そのまわりに分布するようなものである。

式 (21) は厳密には近似式であるが、流水の流量 q_r が十分大きいときは成立することを水道協会誌第 329 号で述べた。

式 (20), (21) から式 (19) は、次のように表わされる。

$$C = C_n + \frac{p_s}{q_r} \dots\dots\dots(19)_2$$

(2) 流量と水質

式 (19)₂ において観測することができるものは、流水の水質 C と流量 q_r である。

M 川における 1959 年 8 月から 1960 年 7 月に至る 1 年間の観測値は表-2 のとおりである。

表-2 の観測値を用いて $C_n \cdot q_s$ を定めるには、水質負荷 $L = C \cdot q_r$ を考えると式 (19)₂ は、次のように表わされる。

$$L = C_n \cdot q_r + p_s \dots\dots\dots(19)_3$$

式 (19)₃ における諸数値を

$$L \rightarrow C_{pm} \cdot C_n \rightarrow \beta \cdot q_r \rightarrow C_r \cdot p_s \rightarrow \alpha$$

と考えれば、式 (6) から式 (14) によって式 (19)₃ を

表-2 流水の流量と水質

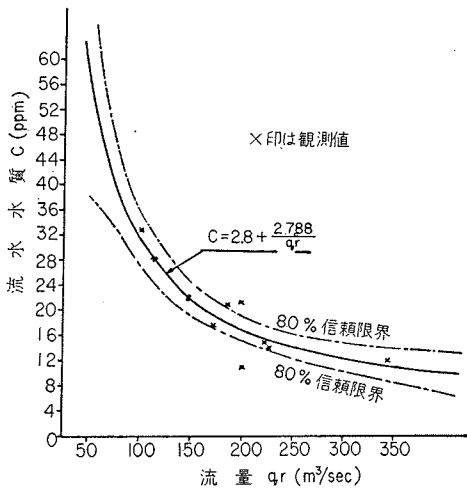
| 年月日 | 34.9.9 | 10.14 | 11.11 | 12.9 | 35.1.13 | 2.10 | 3.9 | 4.27 | 5.25 | 6.29 | 7.27 |
|------------------------------|--------|-------|-------|------|---------|------|------|------|------|------|------|
| 流量 m ³ /sec | 200 | 343 | 224 | 183 | 148 | 114 | 102 | 195 | 225 | 418 | 171 |
| KMnO ₄ cons (ppm) | 10.8 | 12.0 | 14.8 | 20.8 | 22.0 | 28.0 | 32.8 | 21.2 | 14.0 | 6.0 | 17.6 |

表-3 流量発生日数 D_i , 超過確率 $P_{i,2}$, 超過推定日数 D_{12} および実日数

| 区間番号 i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 超過日数 D_{12} | | | |
|-------------------------------------|------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|-----|-----------|-----------|
| 流量区間 q_{ri} (m ³ /sec) | ~60 | 60~70 | 70~80 | 80~90 | 90~100 | 100~110 | 110~120 | 120~130 | 130~140 | 140~150 | 150~160 | 160~170 | | | | |
| 超過確率 P_i | 上限 1 | 100 | 100 | 98.5 | 87.0 | 65.5 | 47.5 | 33.0 | 21.5 | 15.0 | 11.0 | 8.0 | 6.0 | 日 | | |
| | 下限 2 | 97.0 | 94.3 | 85.5 | 65.0 | 45.5 | 29.0 | 17.0 | 9.0 | 5.0 | 2.5 | 2.0 | 0 | 実日数 | 推定日数 | |
| 流量発生日数 D_i | 日 | 1956 | 6 | 7 | 45 | 10 | 5 | 13 | 6 | 5 | 1 | 0 | 0 | 2 | 77 | 65.0~78.8 |
| | | 1957 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 13 | 6 | 18 | 15 | 11 | 7 | 3 | 16 | 15.4~27.1 |
| | | 1958 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 4 | 8 | 10 | 10 | 9 | 10 | 21 | 10 | 8.3~16.9 |
| | | 1959 | 0 | 10 | 15 | 14 | 8 | 5 | 8 | 9 | 6 | 5 | 7 | 7 | 49 | 38.2~52.3 |
| | | 1960 | 0 | 3 | 16 | 9 | 14 | 20 | 7 | 9 | 6 | 8 | 9 | 2 | 56 | 37.2~52.1 |
| | | 1961 | 2 | 7 | 29 | 37 | 14 | 12 | 8 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 82 | 69.0~86.0 |
| | 平均 | 1.3 | 4.5 | 17.5 | 12.8 | 9.5 | 11.1 | 7.1 | 9.1 | 6.6 | 5.6 | 5.6 | 6.0 | 48 | 38.9~52.3 | |

注: 1) q_r は 50 m³/sec 以下はほとんど生じない。
 2) q_r の 170 m³/sec 以上は超過確率が小さく、超過日数にほとんど影響しないので省略した。
 3) 超過確率は p_s' の現状 $p_s'=2788 q_r/\text{sec}$ と、 q_s については各区間の中央値を用いて計算した。

図-6 流量と水質



定め、その信頼限界を知ることができ、それぞれを q_r で除して式 (19)₂ およびその信頼限界を知ることができる。

M 川の式 (20)₂ の実際は

$$C = 2.8 + \frac{2788}{q_r} \dots\dots\dots (19)_2'$$

それらを図に描くと図-6 のようになる。

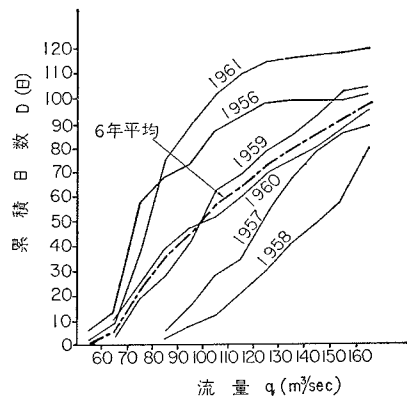
(3) 流量の発生日数

式 (19) によって、流量と水質との関係を明らかにすることができた。したがって、流量の発生日数を知ることによって、水質の発生日数を知ることができよう。そして、このようにして知られた水質は流量を媒介として、流域の人為水質と関連をもつものであることを注目すべきである。

低流量における流量の発生日数を一定期間を単位として数年間にわたって観察すると、各年は豊水年・平水年・渇水年によって度数に大きな変動をもっているが、度数平均値はほぼ一定であるようである。

M 川の 1956 年から 1961 年に至る 6 年間の流量につい

図-7 流量と累積日数



て、流量区間を 10 m³/sec として低流量の発生日数を数えると、表-3 の流量発生日数 D_i の項のようである。

これを発生日数の累積度数として表わすと図-7 のようになる。平均値は比較的なだらかな線となる。

流量の発生日数 D は一般に次式で表わされる。

$$D = f(q_r) \dots\dots\dots (22)$$

4. 浄水場で規準水質を超過する日数

式 (19) によって流量 q_r に対する水質 C , いいかえると浄水場の原水水質 C_r の代表値を一般的に推定することができる。

式 (17), (18) によって原水水質 C_r に対する浄水水質 C_p が規準水質 C_w を越える確率を一般的に推定することができる。

したがって、流量 q_r に対する浄水水質 C_p の推定という形で、浄水水質 C_p が規準水質 C_w を越える確率を一般的に推定することができる。

式 (22) によって流量 q_r の発生日数 D を一般的に推定できる。ゆえに、流量 q_r を媒介として浄水場で浄水水質 C_p が規準水質 C_w を越える日数を次式で推定できる。

超過日数上限 D_1 は

$$D_1 = \int_{q_r} P_1 \cdot D \cdot dq \dots\dots\dots(23)_1$$

P_1 : 式 (17)₁ ただし

$$z_1 = \frac{\left[C_w - \left\{ \alpha + \beta \cdot (C_n + p'_s/q_r) - t_{(a)} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(C_n + p'_s/q_r - \bar{C}_r)^2}{\Sigma(C_r - \bar{C}_r)^2}} \right\} \right]}{s} \dots\dots\dots(17)_3$$

これを実数で表わすと,

$$z_1 = 4.927 - 0.173568 \times p'_s/q_r - 2.576 \times \{8621 + (0.2551 \times p'_s/q_r - 6.5304)^2\}^{1/2} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(17)_3'$$

式 (23)₁ は実用上, 流量 q_r を微小区間にわけて

$$D_1 = \Sigma P_{i1} \cdot D_i \quad (i \text{ は流量の微小区間番号}) \dots\dots\dots(23)_3$$

超過日数下限 D_2 は

$$D_2 = \int_{q_r} P_2 \cdot D \cdot dq \dots\dots\dots(24)_1$$

P_2 : 式 (18)₁ ただし

$$z_2 = \frac{\left[C_w - \left\{ \alpha + \beta \cdot (C_n + p'_s/q_r) + t_{(a)} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(C_n + p'_s/q_r - \bar{C}_r)^2}{\Sigma(C_r - \bar{C}_r)^2}} \right\} \right]}{s} \dots\dots\dots(18)_3$$

これを実数で表わすと

$$z_2 = 4.927 - 0.173568 \times p'_s/q_r + 2.576 \times \{8621 + (0.2551 \times p'_s/q_r - 6.5304)^2\}^{1/2} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(18)_3'$$

式 (24)₁ は実用上, 流量 q_r を微小区間にわけて

$$D_2 = \Sigma P_{i2} \cdot D_i \quad (i \text{ は流量の微小区間番号}) \dots\dots\dots(24)_2$$

M川に取水する N 浄水場について, 式 (23), (24) を用いて推定される超過日数を計算し, 実際の超過日数を流量区間ごとの $P_{i1} \cdot P_{i2}$ とともに表わすと表-3 のとおりである。

計算の一例を図を用いて行なうと, $q_r = 80 \sim 90 \text{ m}^3/\text{sec}$ の区間について $q_r = 85 \text{ m}^3/\text{sec}$ を代表流量と定め, $q_r = 85 \text{ m}^3/\text{sec}$ に対する水質を図-6 から求めると $C = C_r = 35.6 \text{ ppm}$ となる。

$C_r = 35.6 \text{ ppm}$ に対する超過確率 P は 図-5 から $P = 65.0 \sim 87.0\%$ である。

流量 $q = 80 \sim 90 \text{ m}^3/\text{sec}$ の発生日数は 1959 年は 14 日である。

ゆえに, 1959 年の流量 $q_r = 80 \sim 90 \text{ m}^3/\text{sec}$ の区間での超過日数 ΔD は

$$\Delta D = 9.1 \sim 12.2 \text{ 日} = 14 \text{ 日} \times 0.65 \sim 0.87$$

である。

これを, それぞれの流量区間に計算し合計すれば 1959 年における超過日数 38.2~52.3 日を得る。

表-3 の超過日数の実日数と推定日数をくらべると, 1960 年を除き, 実日数が推定日数の中にはさむことができた。また, 平均値でも同様にはさむことができたが, これらは式 (23), (24) による推定の確かさを立証したものである。

5. 浄化能力の改善と超過日数

浄水場で浄化能力を改善した場合は, 改めて原水水質 C_r と浄水水質 C_b とを観測し, "2. 浄水場の浄化能

力" で述べた手法にしたがって, 新しい能力関数を求めて, 規準水質を超過する日数を検討することとなる。ここで, 能力関数における β の性格について考察すると, $\beta = C_b/C_r$ と単純に考えることのできるものようである。

したがって, 改善しようとする浄化作業の二, 三の実験から β が改善される程度を予測し, このような β をすでに求めたそれぞれの式の β に代入して計算すれば, 浄化能力改善の水質管理への反映をある程度予測することが可能となろう。

6. 人為水質の改善(水質汚濁防止)と超過日数

浄水場にとっては超過日数を少なくすることが望ましいが, そのためには浄化能力を改善することとも原水水質を改善することも一つの方策である。

図-8 流量・流達・負荷・原水水質

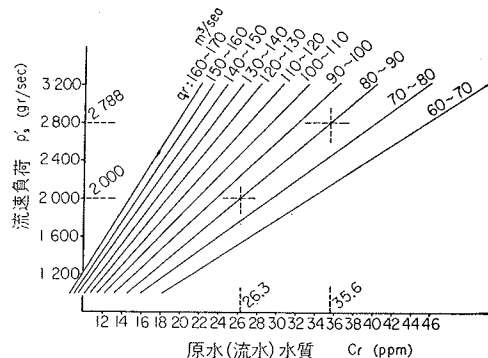
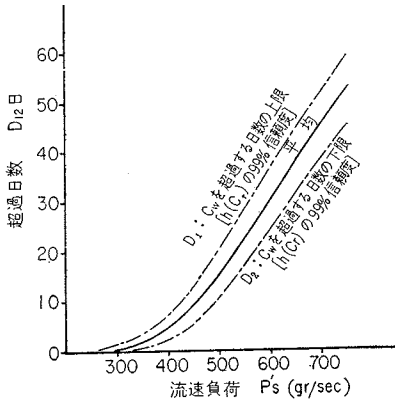


図-9 流達負荷と超過日数



原水水質、すなわち流水の水質を改善するには、自然水質を改善することではないので、人為水質について規制を加えることとなる。

人為水質の規制は p_s' の低減によって達せられるが、人為水質規制が浄水場の超過日数におよぼす効果については既述の資料および諸公式によって推定することができる。

すなわち、式 (23), (24) において p_s' を q_r とともに未知数として変化させれば、任意の p_s' における超過確率 $P_1 P_2$ を計算することができるので、任意の流量における超過日数の計算が可能となり、 $D_1 \cdot D_2$ を知ることができる。

計算の一例を図を用いて行なう。

式 (19)₂ を用いて $p_s' \cdot q_r \cdot C = C_r$ の関係を表わすと図-8 のようになる。

いま、 $p_s' = 2788 \text{ ppm}$ を $p_s' = 2000 \text{ ppm}$ に減ずると図-7 から流量 $q_r = 80 \sim 90 \text{ m}^3/\text{sec}$ の区間に対して $C = C_r = 26.3 \text{ ppm}$ となる。 $C_r = 26.3 \text{ PPM}$ に対して図-5 から超過確率 $P = 13.5 \sim 27.5\%$ を得る。流量の発生日

数を超過確率に乗じて超過日数を知ることができる。

流量の発生日数を 1956 年から 1961 年に至る 6 年間の平均発生日数として将来の平均超過日数の推定を行なうこととすれば、それらは流達人為水質 p_s' に対して図-9 のようになる。図-9 を用いて浄水場の水質管理上の要求から、規準水質 C_w を超過することを許容する日数 D_a を決めることにより、人為水質規制の限度を知ることができよう。

すなわち

$$D_1 > D_a > D_2 \dots\dots\dots (25)$$

を満足する p_s' が人為水質の規制として許容されるものとなる。

7. 結 語

浄水場において浄水の規準水質を定めた場合、その規準水質を越える日数の推定について、超過日数に影響を与える流水の流量・発生日数・水質・浄水場の原水水質・浄水水質に着目し、それら相互間にある関係を確定しながら、最終的に必要最小限のパラメーターである $q_r \cdot p_s \cdot \beta$ などを用いて超過日数を推定するモデル（条件と適用式の組合せ）を明らかにすることができた。

途中で用いた推論上のある種の仮定も、結果的には事実を十分に説明できたことで、このようなモデルでは工学上支障がないと行うことができるであろう。

参 考 文 献

- 1) 宮沢光一：近代統計概論，培風館，昭 35.
- 2) 佐藤良一郎：数理統計学概説，培風館，昭 36.
- 3) 佐藤尚徳：水質の調査，水道協会誌，No. 329, 1962
- 4) 佐藤尚徳：水質の調査，水道協会誌，No. 331, 1962
- 5) 長谷川寛一・末石富太郎：浄水場における水質指標の分布と水質管理の関係について，土木学会第 17 回年次学術講演会，1962
- 6) Bowker：Tolerance Limits for Normal Distribution in Technique of Statistical Analysis, Eisenhart ed, 1947 (原稿受付：1962.7.11)

ESTIMATION OF DAYS EXCEEDING THE WATER QUALITY CRITERIA IN A WATER PURIFICATION PLANT.

By Hisanori Sato, C.E. Member

This paper presents a model to estimate days when the purified water quality will exceed the water quality criteria in a water purification plant, which would be one of the important factors for supervising the operation of water purification and controlling the pollution of waters.

1. There should be the relationship of equation (3) between the raw quality C_r and the mean value of the purified quality C_{pm} , where α and β are coefficients.

And the purified quality C_p is presented by equation (4) under the condition of $u : N(C_{pm} \cdot \sigma^2)$, where u is disturbance.

Thus the confidence limit is able to infer by equations (13) and (14). Figure 3 shows the equations (3) · (4) · (13) and (14) under observed values C_r and C_p and the confidence coefficient 99%.

2. In addition to the condition, u is distributed as $N(L \cdot s^2)$. Under those conditions the probability of the purified quality exceeding the quality criteria is able to be inferred from equations (17) and (18).

Figure 5 shows the equations (17)₁ and (18)₁, in the condition of C_w (quality criteria) = 10 ppm.

3. The stream quality C is composed of

natural pollution C_n and artificial pollution C_a as shown in equation (19)₁.

The writer assumes equations (20) and (21) about C_n and C_a , where q_r is the discharge of flow and p_s' is the quality loading of the artificial pollution which reached the observing point of a stream from the source of pollution.

Figure 6 shows the equation (19)₁.

4. The frequency of certain discharge is generally presented by equation (22).

Thus we can infer the days when the purified quality exceed the quality criteria from equations (23) and (24).

Real exceeded days and the estimated days are shown as follows

| Year | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | Mean |
|----------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Real Days | 77 | 16 | 10 | 49 | 56 | 82 | 48 |
| Estimated Days | 65~79 | 15~27 | 8~17 | 38~52 | 37~52 | 69~86 | 39~52 |

Only one of real days deviates from 56 days by four days in 1960 in seven estimations.

It is demonstrated that the presented model is reliable and a few conditions which are used on reasoning could technically be free as those conditions explained the fact finally.

(Received July 11, 1962)