

(27) 全国河川を対象とした水質変動特性の解析

WATER QUALITY VARIATIONS AT 1,235 SAMPLING POINTS IN JAPANESE RIVERS

福島 武彦*, 村岡 浩* 爾*, 天野 耕 二*
Takehiko FUKUSHIMA*, Kohji MURAOKA*, Kohji AMANO*

ABSTRACT; To elucidate the fundamental features of water qualities variations (BOD, COD, pH, SS, TN, TP etc.), statistical analyses were applied for the data obtained at 1,235 sampling points in Japanese rivers. The magnitude of water quality variations defined by $(C_{75} - C_{25})$ (C_x means x percentile of C in each point) was nearly proportional to the median (C_{50}) in most of the water qualities. Better agreements were found in expressing the water quality variations by the variance analysis model with seasonal classification, compared with by the regression model to water discharge. The positive correlation coefficients between pH and the saturation rate of DO etc. indicated the primary production in river waters. The degrees of agreement by the variance analysis model and the correlation coefficients between some water qualities and water discharge varied with every group of sampling points classified by the median of BOD.

KEYWORDS; River, Water quality variation, Statistical model

1. はじめに

河川水質を対象とした研究, 調査は活発に進められているが, その内河川水質変動を論じたものとしては, 羽田による雄物川¹⁾, 市川による多摩川²⁾の例に見られるように, 膨大かつ詳細な現地観測資料をもとに, 一つの河川の水質変動を詳細に解析したものが多い。このため, 一つの河川における水質変動を正確に把握しているものの, 得られた成果を他の河川でどの程度利用しうるか不明な点もある。本研究では全国 1,000 を超える地点での水質観測結果をもとに, 河川水質変動の一般的構造を明らかにして, 全国河川レベルで見た場合, 水質変動のモデル化に際して注意すべき特性の検討を目的とした。このため, 水質代表値, 変動の大きさとその要因, 水質相互の関係, 河川タイプの影響に着目した統計解析を主体に行った。精度が若干落ちるとしても, 流域特性, 河川タイプ等の基本データのみから平均的な水質, 水質変動の基本特性を推定し得て, 流域管理に役立つ簡易な水質予測モデルが望まれているが, その作成の第一段階を目指した。

2. 解析の方法

2.1 対象としたデータ

全国各自治体等が測定し, 環境庁及び国立公害研究所が整理して作成した公共用水域水質データファイル³⁾に所蔵されている1980年4月～1985年3月の5ケ年の河川水質データを解析対象とした。まず, 流量が記載されていないデータ, 多層採水の場合の表層以外のデータは除外した。また, 連続観測データ(2日程度にわたり数時間間隔で測定されているもの, 主に無降雨時の水質日間変動の観測を目的としていて流量, 水質の変動幅は小さい)については平均をとり, 一つのデータとした。このため, データの測定頻度はどの地点とも月 1.2 回程度となった。次に, 感潮域地点の混入を防ぐため, 各地点の全測定回で1回でもゼロ又は負の流量が観測された地点は除外し, また統計解析の精度を考えると各地点の全測定回数が30未満の地点は省いた。この結果, 全国で 1,235 地点が選ばれたが, その内 956 地点が環境基準点であった。全国の河川における環境基準点総数は 2,300 程度であるので³⁾, 約 4

* 国立公害研究所 The National Institute for Environmental Studies.

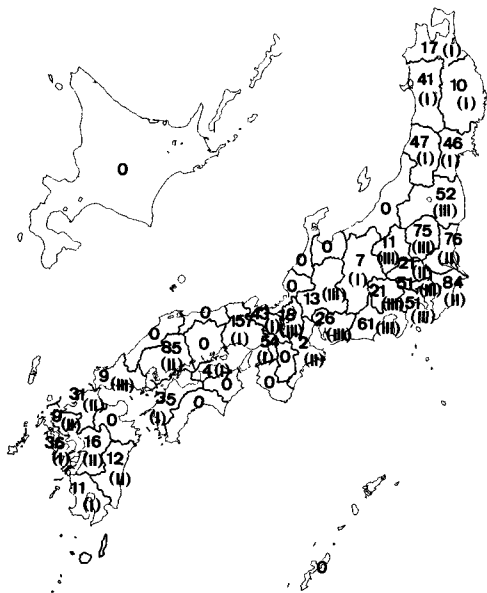


Fig.1 Number of river sampling points in each prefecture and most frequent type in seasonal variation patterns of water discharge. I. maximum in April or May, II. maximum in June or July, III. maximum in August or September.

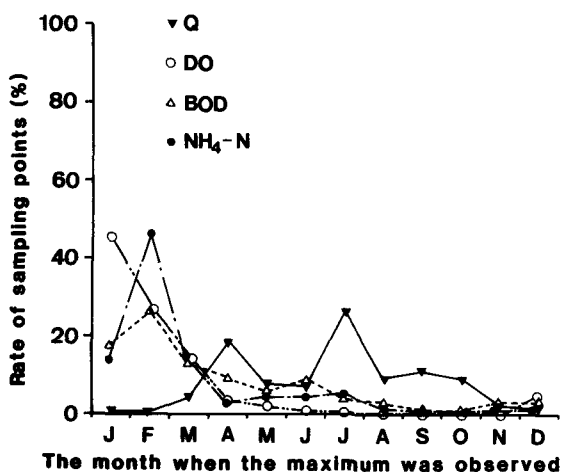


Fig.2 Rate of the sampling points in classifying by the month when the annual maximum was observed

Ⅱが多いことがわかる。

分類指標相互には以下のような関係が見られた。BOD₅₀とQ₅₀（共に5ヶ年総データの中央値）との間の相関係数は-0.23と若干の負の相関が見られた。流量規模各グループごとにBOD₅₀の平均値を見ると、4.91, 5.49, 4.31, 2.87, 2.33, 1.93 mg/lと有意な差が検出された。このため、Q₅₀とBOD₅₀による分類は相互に完全に独立した分類とはいえないが、3.4で示すように各分類によって諸量のグループ平均値間に有意な差が見られたり、見られなかったりしたので共に別々の分類指標として扱った。次に、流量年変化パターンによる分類を行うと、Ⅰグループ

割を含むことになる。各地点の平均測定回数は53.3となった。Fig.1には各都道府県ごとの地点数を示す。

水質項目としては測定回数の少ないものを除き、水温(T), pH, 溶存酸素(DO), BOD, COD, SS, アンモニア態窒素(NH₄-N), 硝酸態窒素(NO₃-N), 全窒素(TN), 全リン(TP)を選んだ。DOに関しては水温データにあわせて飽和率(DO^s, 飽和を1.0)を計算して他のデータと同様な解析を行った。Fig.3中の()中の数字が各水質ごとに20回以上の測定回数を有する地点数を表している。なお、定量限界値以下のデータはその1/2として解析した。

2.2 測定地点のグループ分け

水質変動のパターンが河川タイプによってどの程度異なるかを明らかにすることを目標として、測定地点のグループ分けを検討した。河川タイプの分類には各種の分類基準が考えられるが、ここでは水質汚濁の程度、流量規模、流量年変化パターンを用いた。水質汚濁の程度は流域の発生源特性、流量規模は希釈や河床への堆積などの物理特性、流量年変化パターンは気象、汚濁物の蓄積などの地域特性を表していると考えためである。まず、水質汚濁の程度は各地点のBOD中央値(BOD₅₀)をもって分類指標とし、1以下、1~2, 2~3, 3~5, 5~10, 10mg/l以上の6段階に分けた（後述する Fig.12に各段階の地点数を示してある）。次に、

流量規模は各地点流量中央値(Q₅₀)によって、各区間の地点数が等しくなるように0.4以下、0.4~1, 1~2, 2~5, 5~10, 10m³/s以上の6分類とした（Fig.13）。最後に流量年変化パターンについては以下のように行った。Fig.2には年12カ月ごとにそれぞれの月が年最大となる地点数の割合を流量(Q), DO, BOD, NH₄-Nについて示すが、Q以外は1~3月にピークを有する地点が圧倒的に多いのに対し、Qでは4, 7, 9月にピークが見られ、河川ごとに流出の季節特性が存在することがわかる。ここでは新井による分類⁴⁾、すなわち雪解け型(Ⅰ), 梅雨型(Ⅱ), 台風・秋雨型(Ⅲ)を考慮して、4, 5月, 6, 7月, 8, 9月の5ヶ年平均流量を比較して、最大の期間からそれぞれⅠ, Ⅱ, Ⅲタイプとした。Fig.1には各都道府県ごとに最も多くなった流量年変化タイプを記してある。新井が指摘するように、東北、裏日本にⅠ, 関東、東海にⅢ, 西部日本に

はBOD₅₀が小さくQ₅₀が大きくなり、Ⅱグループでは逆の傾向が見られ、Ⅲグループは両者の中間であるが、Ⅱグループに近かった。特に、3.4で述べる解析例ではBOD₅₀による分類と似たようなグループ間差が見つかった。

2.3 解析の統計手法

河川水質変動の基本特性を理解するという目的から、本研究では相関分析、一元配置の分散分析等最も簡単な統計手法しか用いていない。なお、全データ数n個の場合の非超過確率a%値（C_aと記す）は小さいデータから並べ、trunc(n×a/100)番目とtrunc(n×a/100)+1番目のデータから比例配分して求めた（trunc(b)はbの小数点以下切り捨て値）。以下の文中で、C_{max}、C_{min}はそれぞれ最大値、最小値を、rは単相関係数を、σ_cはCの標準偏差を、σ_{inc}はCを対数化したものの標準偏差を、αは検定の有意水準を（大部分のものは0.10とした）、s_eは回帰の残差平方平均値の平方根を表している（Cを各種水質値とした）。

3. 結果と考察

3.1 代表値の選定

各地点における水質の程度、変動の大きさ等を表現する指標を検討した。まず、各地点、各水質ごとの分布形を考えるために、対数変換しないデータと対数変換したデータ両方に対して、歪度、尖度、Kolmogorov-Smirnov

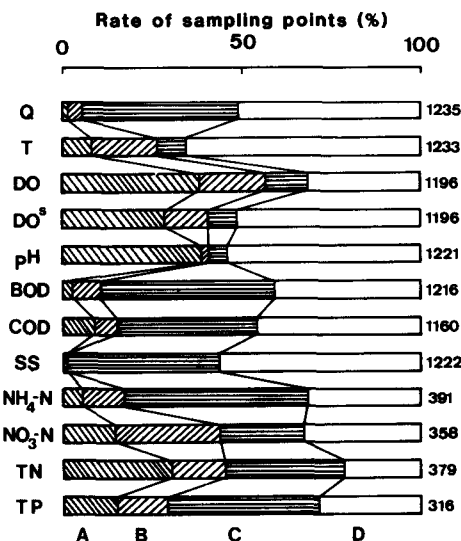


Fig.3 Frequency distribution type. A normal or lognormal, B. normal, C: lognormal, D: others, figures on the right side number of sampling point.

検定⁵⁾を行い、3種の棄却検定すべてで正規分布でないとい有意に判定されないもの（α=0.10）を、それぞれ正規分布、対数正規分布とみなせるサンプルとした。Fig.3には地点数の割合として示す。Q、BOD、COD、SS等で対数正規分布の、NO₃-Nで正規分布の比率が高いものの、両者とも棄却されるケースがかなりの割合を占めていることがわかる。

robustness（非正規性の影響を受けにくいこと）の観点から、このように正規分布からかけ離れた分布形を有するサンプルには、算術平均値よりも順序統計量の方が代表値として優れていることがわかっているので⁶⁾、以下には水質程度を表す量として中央値（非超過確率50%値）を用いることにした。

次に、変動の大きさについては、相対値として（C₇₅-C₂₅）/C₅₀、（C₉₀-C₁₀）/C₅₀、（C_{max}-C_{min}）/C₅₀、σ_c/C（変動係数、CはCの平均値）、σ_{inc}の5つの指標を考えて、相互の関係を調べた。Table 1に各指標間の相関行列を、Fig.4には（C₇₅-C₂₅）/C₅₀と（C₉₀-C₁₀）/C₅₀との関係をBOD、NH₄-Nを例として示す。他の水質も含めて、すべての関係に正の有意な相関（α=0.01以下）とFig.4のような直線的な関係が見られ、水質変動の大きい地点では先の5つの指標がみな高く、水質変動の小さい地点ではみな小さいことがわかる。以

Table 1 Correlation coefficients among some values expressing the degree of water quality variations (n=1204-1222)

		V ₁ (SS)	V ₂ (SS)	V ₃ (SS)	V ₄ (SS)	V ₅ (SS)	
		1	0.752	0.435	0.422	0.757	V ₁ (SS)
V ₁ (BOD)	1						V ₂ (SS)
V ₂ (BOD)	0.779	1					V ₃ (SS)
V ₃ (BOD)	0.472	0.652	1				V ₄ (SS)
V ₄ (BOD)	0.611	0.769	0.935	1			V ₅ (SS)
V ₅ (BOD)	0.747	0.803	0.618	0.787	1		
		V ₁ (BOD)	V ₂ (BOD)	V ₃ (BOD)	V ₄ (BOD)	V ₅ (BOD)	

V₁=ln{(C₇₅-C₂₅)/C₅₀}, V₂=ln{(C₉₀-C₁₀)/C₅₀}, V₃=ln{(C_{max}-C_{min})/C₅₀}, V₄=ln(σ_c/C), V₅=ln(σ_{inc})

下には環境基準の評価方法（BODの75%値、その根拠を明かにする意味から）、非超過確率値、極値の安定性²⁾を考慮して、各地点の水質変動の大きさを示す指標として非超過確率75%値-非超過確率25%値（C₇₅-C₂₅、4分位偏差の2倍）を用いることにする。

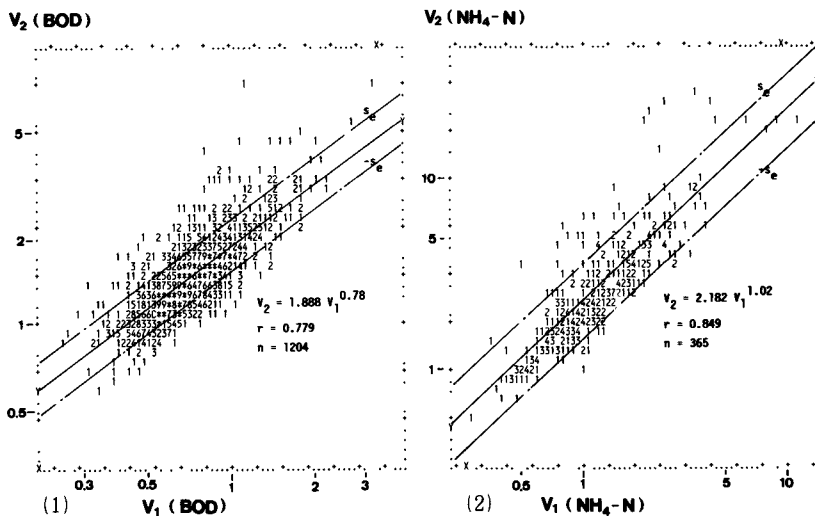


Fig 4 Relationship between $(C_{75} - C_{25})/C_{50}$ (V_1) and $(C_{90} - C_{10})/C_{50}$ (V_2). (1) BOD, (2) $\text{NH}_4\text{-N}$, C_x : percentile, numerals : frequency (* means more than 9)

3.2 変動の大きさ、要因とそのモデル化

(1) 変動の大きさ

変動の大きさについては 3.1 で述べたように $(C_{75} - C_{25})$ を指標として、各地点の水質の程度を表す指標 C_{50} との関係調べた。Fig.5 に BOD, $\text{NH}_4\text{-N}$ の例を示すが、明白な正の相関とほぼ 1 に近い傾きが見られる。河川タイプによる分類グループ間の差異は 3.4 で論ずるとして、水質変動の大きさは一次近似として各地点の水質の程度によるといえよう。すなわち、各地点での水質分布形が中央値をひとつの母数としてほぼ相似的に変化していることを表している。このような関係は COD, SS 等でも明白に見られ、水質値ゼロを汚濁ゼロとするような濃度指標に共通の特徴となっている。湖沼でも同様な関係が見られ、栄養レベルと湖内生産量との関係として説明されているが⁷⁾、河川の場合には内部生産の寄与は湖沼と比べ低いと考えられるので（夏期においても溶存態栄養塩が豊富なこと、Fig.2 に見られるように例えば BOD は 1~3 月にピークを有する地点が多いこと等から）、汚濁物の流

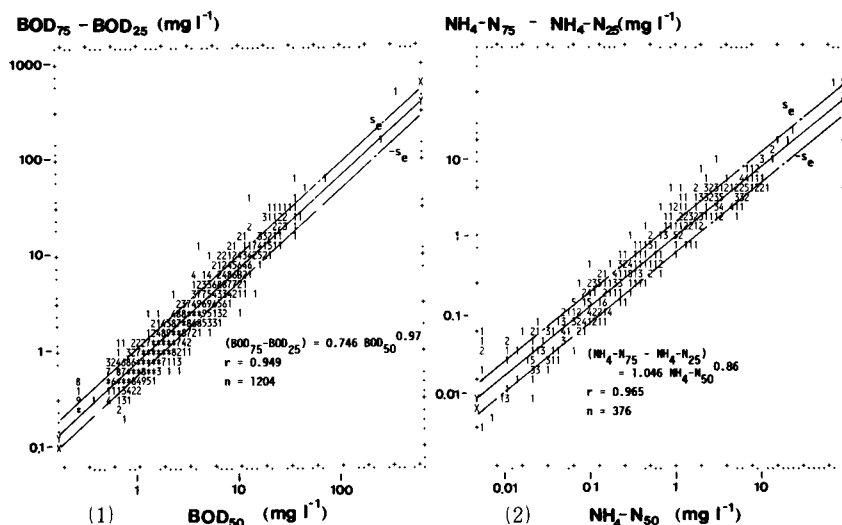


Fig 5 Relationship between C_{50} and $(C_{75} - C_{25})$. (1) BOD, (2) $\text{NH}_4\text{-N}$.

出現象の基本特性と考えておくべきだろう。 $(C_{75}-C_{25})/C_{50}$ は一般に SS, $\text{NH}_4\text{-N}$ で 1 を超え (Q も), BOD, COD, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, TP では 1 を下回る。前者の項目では各地点の分布形として対数正規型が卓越することと対応している。なお、他の水質項目の内、 DO^s の変動の大きさは水質汚濁の程度と正の相関を有し (例えば BOD_{50} と 0.611 の相関係数を有する), 汚濁した地点ほど溶存酸素飽和度の変化が激しいことを示すが、他の項目, T, pH, DO ではその変動の大きさと各水質指標の中央値, 水質汚濁の程度, 流量規模, 他の水質の変動の大きさ等と意味ある相関を示さなかった。これらの水質項目の変動の大きさは今回考えた以外の地点特性により支配されているものと考えられる。

(2) 変動の要因, そのモデル化

羽田は雄物川での実測結果をもとに流量と水質との関係を調べ、濁度, SS, COD では正の、塩素イオン、総硬度では負の相関関係があり、BOD, $\text{NO}_3\text{-N}$ では明確な関係が見られないと報告している¹⁾。特にこれらの関係の内いくつかは季節によって回帰式が異なることも示している。他の河川でもほぼ同様な結果が報告されているが²⁾, ここでは全国 1, 235 地点を対象に水質変動に占める流量と季節の効果について検討を行った。まず、流量と各水質

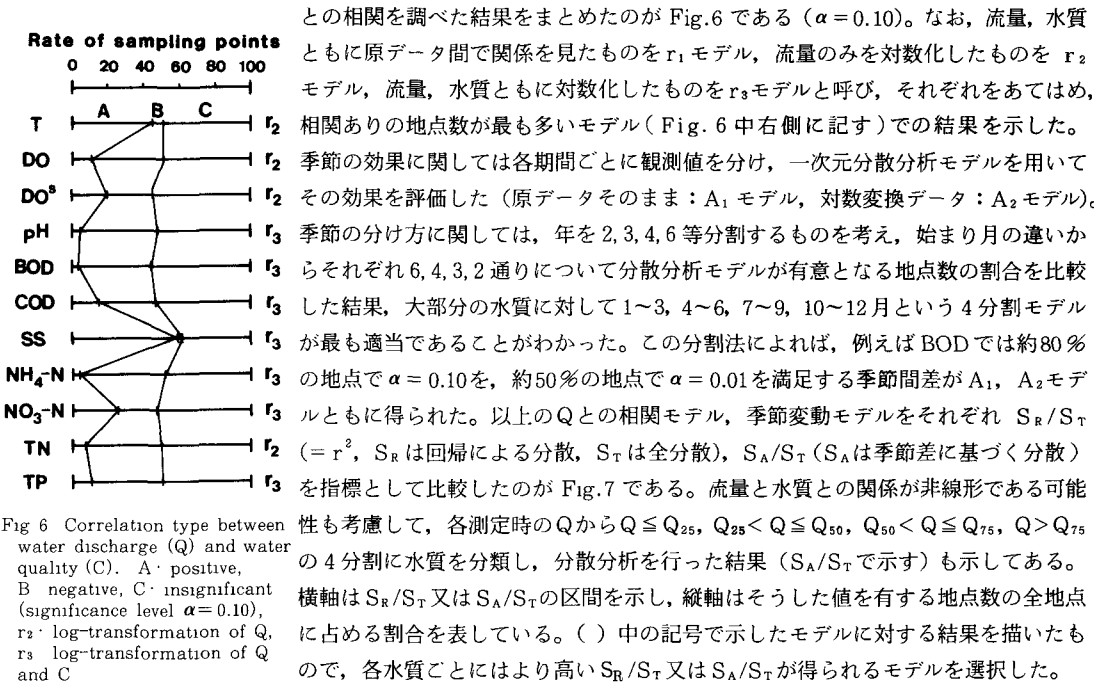


Fig. 6 Correlation type between water discharge (Q) and water quality (C). A: positive, B: negative, C: insignificant (significance level $\alpha = 0.10$), r_2 : log-transformation of Q, r_3 : log-transformation of Q and C

との相関を調べた結果をまとめたのが Fig. 6 である ($\alpha = 0.10$)。なお、流量、水質ともに原データ間で関係を見たものを r_1 モデル、流量のみを対数化したものを r_2 モデル、流量、水質ともに対数化したものを r_3 モデルと呼び、それぞれをあてはめ、相関ありの地点数が最も多いモデル (Fig. 6 中右側に記す) での結果を示した。季節の効果に関しては各期間ごとに観測値を分け、一次元分散分析モデルを用いてその効果を評価した (原データそのまま: A_1 モデル, 対数変換データ: A_2 モデル)。季節の分け方に関しては、年を 2, 3, 4, 6 等分割するものと考え、始まり月の違いからそれぞれ 6, 4, 3, 2 通りについて分散分析モデルが有意となる地点数の割合を比較した結果、大部分の水質に対して 1~3, 4~6, 7~9, 10~12 月という 4 分割モデルが最も適当であることがわかった。この分割法によれば、例えば BOD では約 80% の地点で $\alpha = 0.10$ を、約 50% の地点で $\alpha = 0.01$ を満足する季節間差が A_1 , A_2 モデルともに得られた。以上の Q との相関モデル、季節変動モデルをそれぞれ S_R/S_T ($= r^2$, S_R は回帰による分散, S_T は全分散), S_A/S_T (S_A は季節差に基づく分散) を指標として比較したのが Fig. 7 である。流量と水質との関係が非線形である可能性も考慮して、各測定時の Q から $Q \leq Q_{25}$, $Q_{25} < Q \leq Q_{50}$, $Q_{50} < Q \leq Q_{75}$, $Q > Q_{75}$ の 4 分割に水質を分類し、分散分析を行った結果 (S_A/S_T で示す) も示してある。横軸は S_R/S_T 又は S_A/S_T の区間を示し、縦軸はそうした値を有する地点数の全地点に占める割合を表している。() 中の記号で示したモデルに対する結果を描いたもので、各水質ごとにはより高い S_R/S_T 又は S_A/S_T が得られるモデルを選択した。

この結果、Q でも季節変動が見られる点が多いこと (60% 以上の地点で $\alpha = 0.10$ を満足する季節間差が見られた), T では季節変動モデルが極めて有効なこと, BOD, $\text{NH}_4\text{-N}$ でも Q との相関モデル, Q による 4 分割モデルに比べ季節変動モデルの方が説明力のあることがわかる。すなわち、流量相関モデルでは過半数の地点で 10% 以下の説明力しかないのに対し、季節変動モデルでは過半数の地点で 20% 以上の説明力がある。また、Q による 4 分割モデルの方が Q との相関モデルより説明力があるのは、Q 変動に季節変動が見られること、流量と水質との関係が非線形となる場合が存在することが原因と考えられる。なお、残差について分布、時系列特性を調べた結果、多くは正規分布に近く、時系列的に見ても白色性が高いことがわかり、Q との相関、季節差以外の因子でこれ以上のモデル化を行うことは実質的に難しいことがわかっていく。

最後に Fig. 8 は各水質ごとに、水質変動を表現するモデルとして適切なものの分類分けを行った結果である。すべて判定の有意水準は 0.10 とした。G2 とは各地点全データを対象として Q との相関、季節差を評価すると有意となるものの、各季節ごとのデータを対象に Q との相関を調べると有意な関係が見られない季節が存在する場合で、G3 のように共分散分析が適用できないものである。Q にも季節差があるため、各季節ごとには Q との相関がないにもかかわらず、全データを対象とすると見かけ上 Q と相関があるように見えるケースと考えられる。G3 は各季

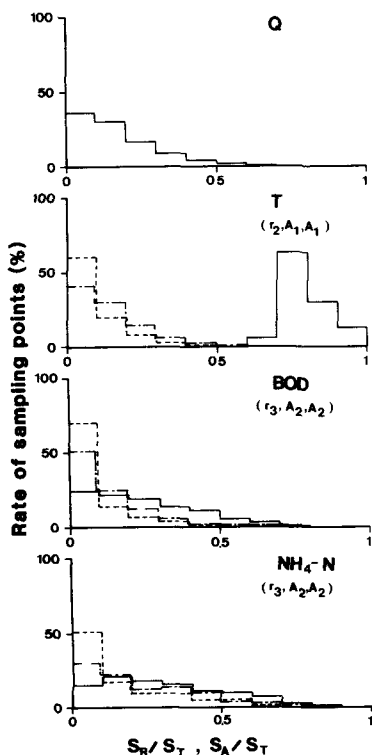


Fig.7 Frequency distribution of S_R/S_T and S_A/S_T . S_R : variation due to regression, S_A : variation between classes, S_T : total variation. dotted line: regression analysis model to water discharge, solid line: variance analysis model by 4 seasons, chain line: variance analysis model by 4 groups classified by water discharge, letters in bracket mean the model type.

3.3.3 水質相互の関係

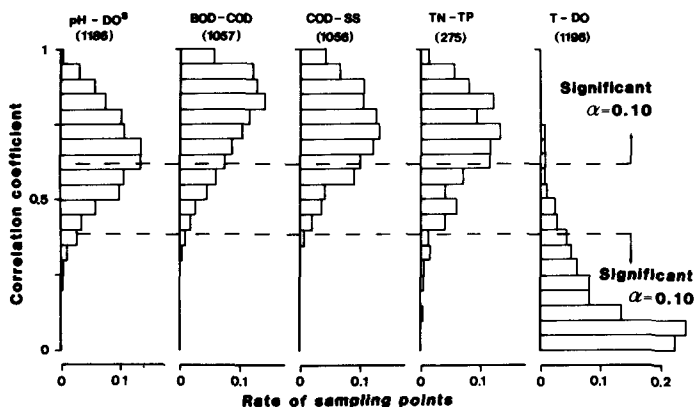


Fig.9 Frequency distribution of correlation coefficients between some water qualities. figure in bracket: number of sampling points.

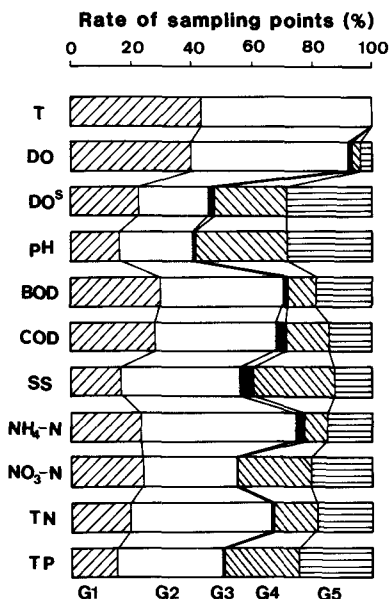


Fig.8 Model explaining the water quality variations. G1. variance analysis model by 4 seasons, G2. G1 and G4, but G3 not applicable, G3 covariance analysis model, G4. regression analysis model to water discharge, G5. none

節ごとにQとの相関が有意となり、回帰式の傾き、切片の違い等を統計的に検定可能な共分散分析が当てはまるケースである⁵⁾。Fig.8からG1とG2に当てはまる地点が過半数を占める水質が多く、水質変動のモデル化にあたっては季節差を考慮すべきことがわかる。水質に流量を乗じた負荷量の形にすると、流量との相関係数が0.8を超える地点が大部分となるが、これは流量変動に比べ水質変動が小さいためである(例えば $(Q_{75}-Q_{25})/Q_{50}$ の全地点平均値は1.51, $(BOD_{75}-BOD_{25})/BOD_{50}$ のそれは0.76)。以上、河川水質濃度の変動を表現するモデルを検討した結果、季節差を考慮したモデルの方が流量との相関モデルよりも多くの点で適合性がよいことがわかった。今回、解析

対象とした公共用水域水質観測結果は降雨による増水時をなるべく避けるようにして得られたものである。水質変動に及ぼす流量の影響が幾分減じられていることもあり季節差の方が大きいものと考えられる。河川水質変化の季節性の要因としては気象、流量、流域、河川での水利用、河川流下過程での生物作用等が関係しているものと考えられる。

(1) 各地点での関係

Fig.9ではpH- DO^s , BOD-COD, COD-SS, TN-TP, T- DO を例に、各地点での水質間の相関係数の頻度分布を示す。前4者では正の、T- DO では負の相関を有する地点が2/3以上を占めていることがわかる。他に正の相関が多い地点で見られるものとしては、T- DO^s , COD-TN, COD-TPなど、負の相関となるものとしてはT-BOD, T- NH_4-N などが挙げられる。これらの結果を整理すれば、各地点で一般的に観察される水質間の関係の構造として以下の

ようなことが考えられる。まず、TとDOとの負の相関（後述のTとDO^sとの正の相関も考慮すれば）は水温の増加に伴う飽和溶存酸素量の低下と対応したもので、河川における再曝気の大きさを示すものといえよう。これに対して、TとDO^sでは正の相関が多く見られるが、これはpHとDO^sとの正の相関と同じく、水温増加期における内部生産の活発さを示すものとして注目される。TとBOD等に見られる負の相関はFig.2に示したように1~3月期にBOD等が増加することが原因と考えられる。他のBOD-COD、COD-SS、TN-TP等の関係は流域における負荷発生構造から生じたものと考えられよう。

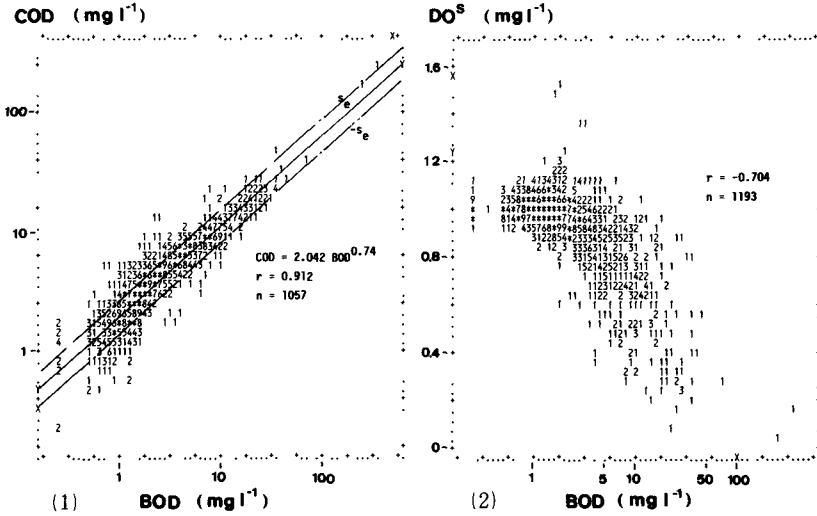


Fig.10 (1) Relationship between the median of BOD and the median of COD.
(2) Relationship between the median of BOD and DO saturation rate.

(2) 各地点水質中央値間の関係

Fig.10に各地点中央値間の関係の例として、BOD₅₀-COD₅₀、BOD₅₀-DO₅₀^sとの関係を示す。BOD₅₀、COD₅₀との正の高い相関を有するものには他にSS₅₀、NH₄-N₅₀、TP₅₀があり、これらの水質項目は各地点の人為的な汚濁の程度あるいは地点上流域の都市化の進行度等を表しているものと考えられる。これに対してNO₃-N₅₀は他の水質項目との相関が低く、その発生源から考えても⁸⁾、農地等からの汚濁を主に表現していると考えられる。

DO₅₀、DO₅₀^sに関しては人為的汚濁程度を表す水質指標と負の相関となる。Fig.10、(2)より、BOD₅₀とDO₅₀^sとの関係は、BOD₅₀が2mg l⁻¹以下ではDO₅₀^sはほぼ1で安定しているが、BOD₅₀がそれ以上増加するとばらつきがあるもののゼロに向かって減少し始める。BOD₅₀が2mg l⁻¹以下では河川中に分解される有機物量が少ないことから、消費されたDOが再曝気により補われていると考えられ、BOD₅₀が20mg l⁻¹を超えると大部分の地点ではDO^sは0.5を下回り、再曝気では消費されたDOを回復することができないことを表している。なお、この関係でかなりのばらつきが見られるのは、各地点の水深、流速の大小等が影響しているものと考えられる。

3.4 河川タイプの影響

2.2で述べた3種類の河川分類軸(BOD₅₀、Q₅₀、Q年変化パターン)ごとに、各地点における各水質分布形(歪度、尖度、変動の相対的大きさ(C₇₅-C₂₅)/C₅₀)、水質相互間の相関係数、Qと水質との相関係数、水質の季節変動モデルによる表現度に関して河川タイプの影響を評価した。

(1) 水質汚濁程度(BOD₅₀)の影響

BOD₅₀が高いグループと低いグループとの差をまとめると以下のようである。

(1) BOD₅₀レベルが高いグループはほど(Q₇₅-Q₂₅)/Q₅₀、(SS₇₅-SS₂₅)/SS₅₀等が小さく、相対的な流量変動、水質変動の大きさが小さくなる(例えばSSではBOD₅₀ ≤ 1のグループの平均1.51からBOD₅₀ > 10のグループの平均0.91へと漸減する)。

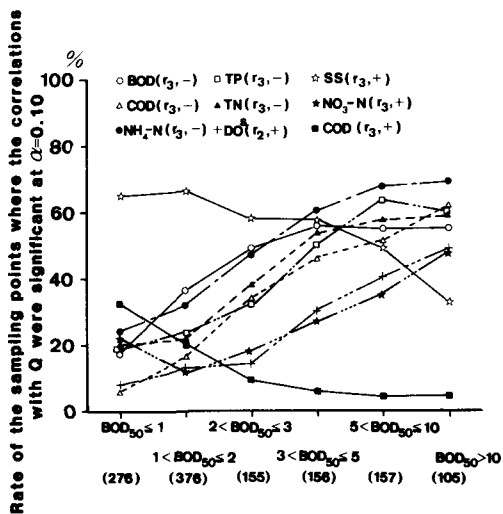


Fig. 11 Rate of the sampling point having the significant correlation coefficient with water discharge, in each group classified by the median of BOD + positive, - negative, figure in bracket, number of sampling points.

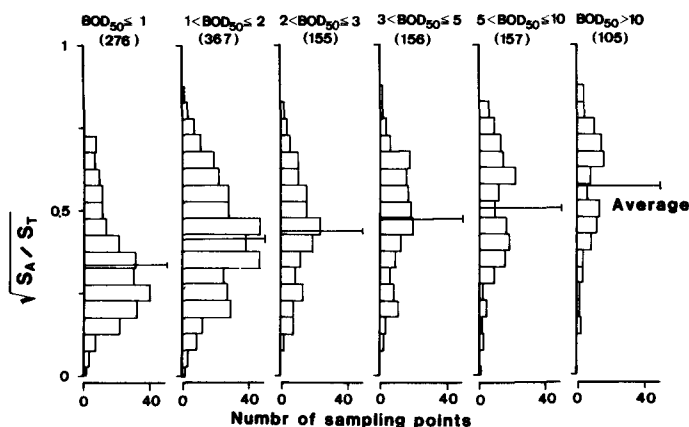


Fig. 12 Contribution of seasonal variation in total variation of BOD, in each group classified by the median of BOD.

られる。これは(Ⅲ)で述べたことと対応している。

(Ⅴ) Fig. 12 には BOD 変動に占める季節要因の割合 ($\sqrt{S_A/S_T}$) が BOD₅₀ の異なるグループごとにどの程度変わるか頻度分布として示す。(Ⅳ)と同様に、BOD₅₀ の高いグループほど $\sqrt{S_A/S_T}$ が増加することがわかる。NH₄-N 等でも同様な傾向が見られたが、SS では変化が見られなかった。

以上を整理すると、BOD₅₀ の高い地点、言い換えれば都市化された流域をもつ地点においては BOD₅₀ の低い地点、すなわち山地、田園地の観測地点と比べ、水質変動の大きさが小さく、正規分布的な水質変動をし、各水質間の相関が高く、Q との相関、季節差も明白であるといえよう。すなわち、人為的負荷のウェイトが極めて高いという構造が水質変動の諸特性を大きく支配している。

(2) 流量規模 (Q₅₀) の影響

2.2 で述べたように Q₅₀ の大きい地点では一般に BOD₅₀ が小さくなるため、(1)で述べたことで BOD₅₀ が高いを Q₅₀ が小さいに読み換えるとほとんどの関係に傾向が見られるが、その変化巾は小さく (グループ間平均値差の検

(Ⅱ) NH₄-N、TP 等の水質では BOD₅₀ レベルが高いグループほど正規分布形を有する地点割合が増加する (例えば NH₄-N の尖度が正規分布と判定される地点割合は BOD₅₀ ≤ 1 のグループでの約 1 割から BOD₅₀ > 10 のグループでの約 7 割に増加する)。

(Ⅲ) 例えば、各地点における BOD と COD との間の相関係数が BOD₅₀ が 1 mg/l 以下のグループでは平均 0.28、10 mg/l 以上のグループでは 0.76 のように、BOD₅₀ の高いグループほど高い。他に、TN-TP、TN-COD 間で同様な関係が見られ、水質汚濁程度が増すとともに COD、BOD 等でそれぞれの主たる成分の類似性が増加するためと考えられる。逆に COD-SS 間では BOD₅₀ が高いグループほど相関係数が低くなり、COD に占める懸濁態成分の影響が相対的に小さくなることを表している。

(Ⅳ) Q との相関が有意 ($\alpha = 0.10$) となる地点割合を BOD₅₀ 分類の各グループで比較した結果を Fig. 11 に示す。図中の各水質名の後につけた () の中には、モデル

タイプと Q との相関が正なのか負なのか記してある。BOD、COD、NH₄-N、TP、TN での Q との相関が負となるものの割合、DO^s、NO₃-N での Q との相関が正となるものの割合が BOD₅₀ の高いグループほど増加すること、SS、COD での Q との相関が正となるものの割合が減少することがわかる。その他の相関 (例えば BOD と Q との正の相関) が有意となる地点の割合は低く、また BOD₅₀ グループ間の差は少なかった。特に COD では、水質汚濁の進んでいない地点では Q との正の相関、進んでいる地点で Q との負の相関が見

定から), また傾向も明白でない場合が多い。このため, Q_{50} の影響は主に BOD_{50} によるものの副次的なものと考えられる。しかし例外としては Fig. 13 に示す Q と SS との相関係数 (r_3 タイプ) が挙げられる。 BOD_{50} によるグ

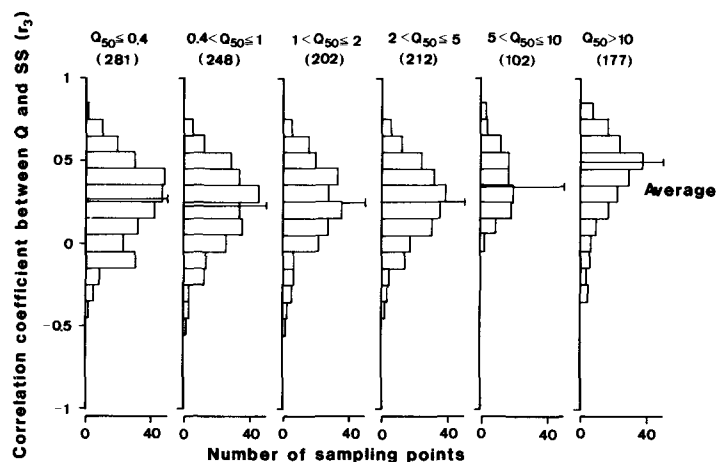


Fig. 13 Frequency distribution of correlation coefficients between SS and Q in each group classified by the median of Q .

ープ間では明白には傾向が見られないのに対して, この図によると Q_{50} の増加に伴い, 高い相関を有する地点が増加する傾向がはっきりとわかる。特に, SS と Q との関係は降雨時を含めてほぼ比例関係となるとの報告が多いが⁹⁾, このように Q に強く依存する特性が Fig. 13 のような傾向を導いたものと考えられる。

(2) 流量年変化パターンの影響
タイプⅡ, Ⅲでは流量の増加期と水温上昇期がほぼ一致するので, 例えば DO のように T との相関が高い水質項目で Q との相関も高くなる傾向が見られた。また, 2.2 で述べたように, タイプⅠの地点ではタイプⅡ, Ⅲの地点と比べ

般に BOD_{50} が低くなるので, 水質汚濁程度の影響が存在する項目ではタイプⅠとタイプⅡ, Ⅲとの間に差が見られた。羽田は雄物川の解析から, 融雪河川では流量と水質との関係が楕円型となることを指摘しているが¹⁾, 今回の解析結果からタイプⅠの河川でその影響が特に強く見られることはなく (例えば, 水質変動に占める季節要因の割合がタイプⅡ, Ⅲと比べ高くなることはなかった), それよりも BOD_{50} が低くなるという特徴の方が明白に現われた。高々, 月 1, 2 回の調査データをもとにした解析であるので, 水質変動の詳細を完全に扱えたものとはいえないが, 水質変動の特徴という観点から見た河川を分類する軸としては, 水質汚濁の程度の方が流量年変化パターンより大きく効いていると考えられた。

4. 結 論

公共用水域水質観測結果をもとに全国 1, 235 の河川地点における水質変動に関して統計解析を行い, 代表値の選定, 変動の大きさと要因, 水質相互の関係, 河川タイプの影響に関して検討を行った。得られた主要な成果をまとめると以下のようなものである。

- (1) 各地点, 各水質の分布形, 各種変動量指標間の関係から, 各地点の水質程度を表す指標として中央値 (C_{50}) を, 水質変動の大きさを表す指標として非超過確率 75% 値 - 非超過確率 25% 値 ($C_{75} - C_{25}$) を選んだ。
- (2) 水質値ゼロを汚濁ゼロとするような濃度指標をもつ水質 (BOD , NH_4-N , ……) では各地点の C_{50} と ($C_{75} - C_{25}$) には比例関係が見られた。
- (3) 水質変動要因として流量と季節差との影響の程度を比較した結果, 季節差の方が大きな要因となる水質, 地点が多く, 水質モデル作成にあたって注意しなければならないことがわかった。
- (4) 各地点における水質間の相関関係の内, $BOD-COD$ 等の正の相関関係は流域における負荷発生構造から生じたものと考えられるが, $pH-DO^s$, $T-DO^s$ 間に見られる正の相関関係は内部生産を意味するものとして注目された。
- (5) 各地点の BOD , COD , SS , NH_4-N , TN , TP , DO , DO^s の中央値相互には明白な相関関係が見られた。 NO_3-N の中央値はこれらと有意な相関をもたないが, その原因は主要な発生源の違いと考えられた。
- (6) 水質汚濁の程度 (BOD_{50} を指標として) によりグループ分けを行うと, 以上 (2) ~ (5) の諸関係に影響が見られ,

人為的負荷のウェイトの大小が水質変動の特性を大きく支配していることがわかった。

謝辞 公共用水域水質データファイルの利用にあたって国立公害研究所環境情報部の御厚意を得た。記して感謝の意を表する。

参考文献及び資料

- 1) 羽田守夫 (1977): 雄物川の水質の変動特性とそのモデル化. 土木学会論文報告集, No.265, 73-81.
- 2) 市川新 (1980): 都市河川の環境科学. 培風館, 247 pp.
- 3) 国立公害研究所環境情報部: 公共用水域水質データファイル. 昭和 55-59 年度版.
- 4) 新井正 (1980): 日本の水. 三省堂, 278 pp.
- 5) 奥野忠一代表編 (1978): 応用統計ハンドブック. 養賢堂, 827 pp.
- 6) 柴田義貞 (1981): 正規分布. 東大出版会, 307 pp.
- 7) 福島武彦・天野耕二・村岡浩爾 (1986): 日本全国90湖沼の水質変動特性の統計解析. 衛生工学研究論文集, Vol. 22, 75-85.
- 8) 海老瀬潜一 (1985): 降雨による土壌層から河川への NO_3^- の排出. 同上, Vol.21, 57-68.
- 9) 山口高志・吉川勝秀・興石洋 (1980): 河川の水質・負荷量に関する水文学的研究. 土木学会論文報告集, No. 293, 49-63.