

1. はじめに

河川水質データは、日毎に質的・量的に豊富化しつつあり、また現在までに各機関により測定されたデータの蓄積量も龐大なものとなっている。しかしながら、水質データの解釈はほとんど行なわれていないのが実情である。これは、主として河川水質データに再現性が乏しく、いかなる条件下で測定したものが最適であるのかはつきりしないためである。

本研究は、都水道局により測定された水質日データから、水質データサンプリング時の条件（サンプリング条件）をかえて、水質標本を取り出し、サンプリング条件の違いによって生じる水質標本の統計的性質（代表値、分布）を抽出した。さらに、この情報を利用し、水質代表値の選定、水質代表値とサンプリング条件の関連性について考察を行った。サンプリング条件としては、図1に示すように“定期的なサンプリング”と“流量条件を考慮したサンプリング”を対象とし、前者は、連日データと一定間隔サンプリングデータを、後者では、一定流量範囲における水質データ及び、無降雨期間の水質データを取り上げた。とくに、無降雨期間の水質では、水質の変動特性についても考察を加えた。また、代表値としては、平均値と非超過確率値（90, 80, ..., 20, 10, 75, 25%）を取り上げた。

2. 対象とデータ

対象は多摩川下流部の調布堰地奥及び砧地奥である（図2参照）。調布堰は河口より13kmに位置し、取水堰と防潮堰を兼ねた堰であり、多摩川下流部の最下流地奥である。砧地奥は調布堰より上流8kmに位置し、河川伏流水が取水されている。両地奥間の距離は短い。途中かなり汚濁した支川の野川が流入するために、両地奥の水質は差がある。

利用したデータは、表1に示すように、都水道局により測定された水質日データである。水質項目としては、濁度、pH、アルカリ度、COD（過マンガン酸カリウム消費量より求めた）、電気伝導度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ （アンモニア性窒素）であるが、本報告では、有機汚濁の（相対的）指標であるCOD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を取り上げた。

3. 定期的サンプリング

3-1. 連日（全日）サンプリングデータ 連日サンプリングデータ、すなわち年間の水質日データの分布型をみるために、トーマス法により累積分布曲線をプロットしたのが図3である。図3-1はCOD濃度を、3-2は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を、各々1968～1972年の5年間について示してある。

COD濃度では、非超過確率95～99%の奥で曲線が折れ曲がっており、この折曲奥の存在がCOD濃度の年間分布のひとつの

測定地奥	河口からの距離	資料期間	期間長	測定機関
砧	21 km	1969～1972	4年	都水道局
調布堰	13	1965～1972	18	〃

表1 水質日データ

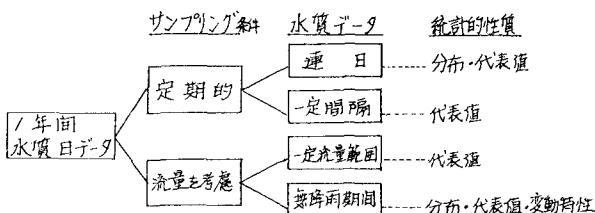


図1 サンプル条件と水質データ



図2 多摩川流域

特徴と言えるが、1971年についてはみられない。この臭以上のCOD値と流量データを対比すると、いずれも大流量に相当しており、流量増加により高濃度が出現している(文献/参照)。この臭以下のデータは図3の累積分布曲線及び度数分布図(省略)から1968, 69, 70年では、対数正規分布、71, 72年は正規分布で近似できる。NH₄-NではCODのような(折曲臭)はみられず、下に凸の曲線となっており、分布型は正規分布と対数正規分布の中間型となっている。代表値として、平均値、非超過確率値(中央値, 75%値)を考えると、高濃度出現がみられるCODでは、平均値よりも中央値が、NH₄-Nでは、平均値が妥当な代表値である。

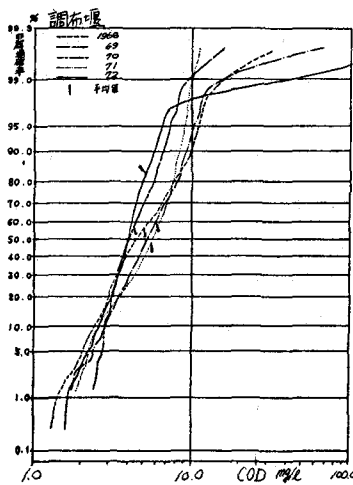


図3-1 累積分布曲線(COD)

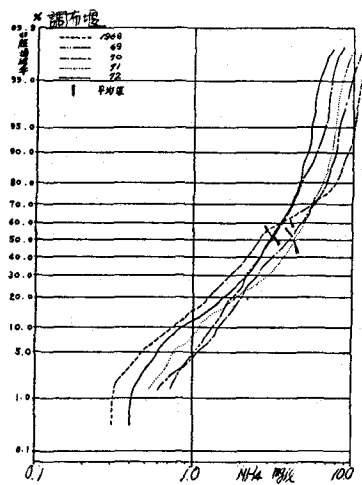


図3-2 累積分布曲線(NH₄-N)

3-2. サンプリング間隔と代表値

水質日データを、5, 10, 15, 20, 25, 30日間隔で機械的にとり水質標本として(各々データ数72, 36, 24, 18, 14, 12), その代表値を全データの場合と比較した。まず、各標本の代表値(標本代表値)として、標本平均値、標本非超過確率値を算定し、続いて各標本代表値のバラツキを評価するために、各標本代表値間の平均値・標準偏差を求めた。

図4は、各サンプリング間隔で(標本代表値間平均値/年代代表値)及び(標本代表値間標準偏差/年代代表値)を1971年のCOD, NH₄-N(調布堰)について示したものである。(標本代表値間平均値/年代代表値)では、NH₄-N非超過確率25%値を除いて、各サンプリング間隔で、1.0~1.1の範囲に入っている(この場合、標本平均値間平均値は年平均値に等しい)。標本代表値間標準偏差は、サンプリング間隔が長くなる程、大きくなる傾向があり、標本のデータ数が少なくなるにつれ標本代表値のバラツキが大きくなることを示している。さらに、標本平均値が標本非超過確率値に比し、バラツキが小さいといった特徴がみられる。これらから、サンプリング間隔を30日として得られた小標本の代表値は、年代代表値の周辺に分布していると考えられる。そのバラツキ具合の多少をみるために、順序統計量の分布に関する理論を利用した。母集団分布が正規分布の場合、順序統計量の分布(期待値, 標準偏差)が表で与えられており(文献2), これから、非超過確率値の分布(期待値, 標準偏差)の理論値を内挿して求めた。図5は理論値を標本代表値間平均値・標準偏差(年平均値, 標準偏差により基準化)計算値とともにプロットしたものである。標準偏差をみると、理

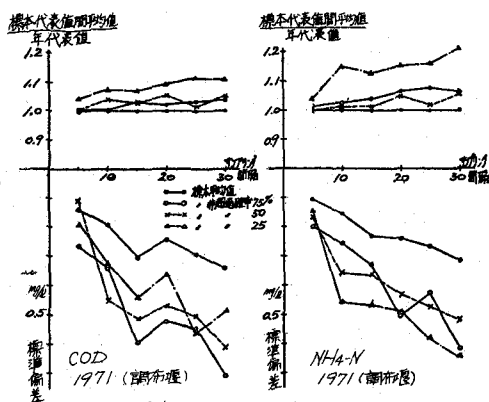


図4 標本代表値の分布

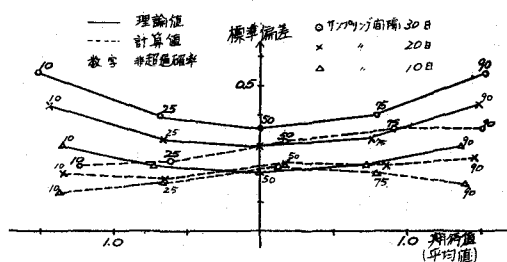


図5 非超過確率値の分布

論値に比べ計算値のバラツキが小さいことがわかる。また、平均値では、標本平均値の分布から、標準偏差（理論値）は 0.59^{COD} 、 0.63^{NH_4} となり、計算値 $\{0.34^{COD}, 0.32^{NH_4}\}$ の方が小さい。

以上から、30日間隔で得られる小標本（データ数12）からでも、その年の平均値、非超過確率値の概略値を得ることができる。さらに、非超過確率10～90%値から、年分布型の概要についての情報が得られる。こうした小標本による年分布・代表値の推定は、他の年についても可能である。しかし、CODのように比較的高い濃度が出現する場合には、非超過確率5、50、95%値ではその影響を受けないが、非超過確率80、90%値、平均値は大きく影響される。このため、小標本（例えば年間12ヶ月のデータ）による年代表値の推定では、高濃度出現の有無の検討が必要である。

4. 流量条件を考慮したサンプリング

河川水質データを解析する際、負荷量計算を除いて流量がexplicitに取扱われることは少なく、多くの場合、水質調査時のひとつの目安になっているにすぎない。一方、流量と濃度とは、逆比例関係が成立すると仮定され、年間の水質データでは、非超過確率75%値が、低水流時の水質に対応する値とみなされ、平均値とともに水質代表値として用いられる主な根拠となっている。河川水質の代表値を考えるには、流量条件、流量と水質の関連性を検討しておくことが重要であり、以下一定流量範囲における水質データを対象とした場合及び、実際の水質調査を行なう条件としては最適と考えられる無降雨時の水質を対象とした場合について、その統計的性質を考察した。

4-1. 一定流量範囲における水質

年間の水質データを対象とした場合の流量-濃度相関図（面対数プロット）の例を図6（調布堰1970年）に示した。NH₄-Nでは、 $C = \alpha Q^\beta$ （C：濃度、Q：流量、 α, β ：定数）で表現される簡単なモデルが適用できるのに対し（相関係数-0.84）、CODでは流量20^{m³/s}前後で、濃度の変動パターンが異なっている。これは、先に記したように、流量20^{m³/s}以上では、流量増加による高濃度値が出現するためである。20^{m³/s}以下では、CODと流量との逆比例関係がみられ、流量が20^{m³/s}から5^{m³/s}に変動するにつれCOD濃度は約3^{mg/l}から10^{mg/l}へと変化する。このように流量の多少が濃度に与える影響は大きく、マクロな水質の経年変化の比較を行なう場合には、流量条件を一定とした水質データについて代表値を求めることが考えられる。図7はその例として、5、10、15^{m³/s}を中心に±2.5^{m³/s}の流量範囲に対応する水質データの平均値及び標準偏差を年平均値、年標準偏差とともにプロットしたものである。流量を一定範囲に限ると、経年変化のパターンは、年平均値のそれと異なったものとなり、標準偏差も相対的に小さい。年平均値は全ての流量範

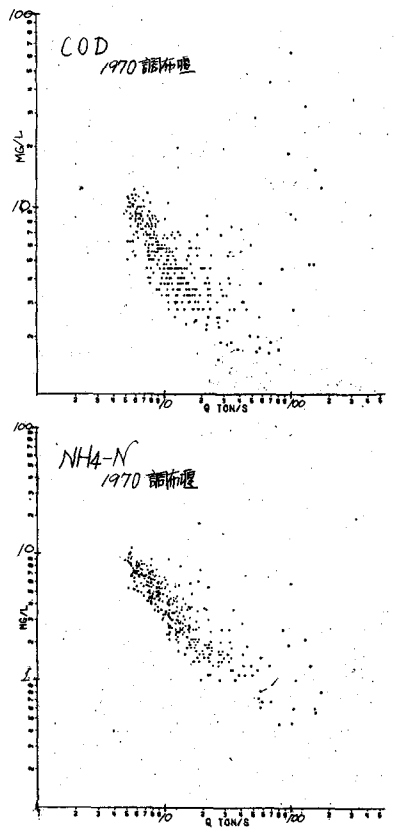


図6 流量-濃度相関図

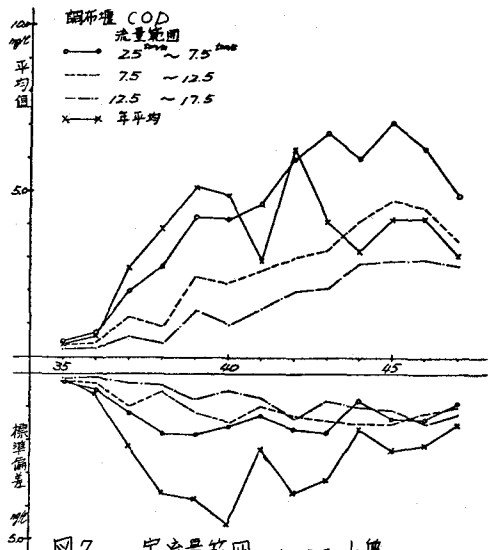


図7 一定流量範囲における水質

図を対象としているので、流量条件の差が、水質代表値に反映されているわけである。実際には、流量と対になった水質データが少ないことから、流量条件を限った水質データの解析はかなり難しいと思われる。又、再現性を向上させるひとつの方法として、例にあげたような流量条件を一定とした水質データの代表値を利用することがあげられる。

4-2. 無降雨期間の流量と水質

水質調査時期としては最適と思われる降雨のない期間（無降雨期間）の水質データを選び出し、各期間（ケース）の流量・水質の分布・変動について検討した。

無降雨期間としては、降雨観測地長東京の降雨量が“0”または“なし”の日が20日以上継続する期間とし、1955～1972年の18年間で選り出した。各ケースの流量・水質（濃度・負荷量）の概要を表2にすこめた（所在地はケース13～16のみ、また、流量データはない）。

①流量変動：無降雨期間の流量変動は、その減衰状態から次の3タイプに分類できる。①期間を通して急激な減衰。②期間初期に急激な減衰、後に漸減。③期間を通してほぼ一定或いは漸減。以上の流況タイプの概略を図8に、各ケースのタイプ分類を表2に記した。各ケースの流況とケースを含む年の流況と比較すると、各期のケースでは、平水～低水～濁水流量に対応するケースが多く、夏期では豊水～平水流量にほぼ対応しているが表2に示したように、各ケースの平均流量はかなり異なっている。

②濃度変動：各ケースの濃度・負荷量変動の例を図9に示した。この図から、無降雨期間の濃度変動が、流量変動に対応した傾向変動と細かい濃度変動よりなることがわかる。前者を、移動平均をとることにより近似し、原変動（図9）との差を残差変動とし、後者に相当すると考え、各々の特徴を調べた。

③傾向変動：移動平均をとることにより、全体の傾向が明らかになる。この場合、移動平均巾は7日としている。図10は各ケースのCODの移動平均であり、細かい変動が平滑化され滑らかな曲線となる。流量変動に対応する濃度変動パターンは、いくつかのパターンに分類できる。①期間を通して上昇傾向。②上昇傾向からほぼ一定レベルに達する。③期間を通してほぼ一定レベル。④その他。各ケースの濃度の傾向変動パターンを表2に記した。流量パターンに対応させて考えると、流量が安定化するにつれて（流況パターン①→②→③）、濃度のパターンは①→②→③と変化すると考えられる。

④残差変動：原変動から移動平均を除いた値を残差変動（細かい変動）とした。この残差変動の大きさを標準偏差で評価し、各ケースの平均濃度に対してプロットしたのが図11である。COD、NH₄-Nともに水質濃度の平均レベルが上昇する程、残差変動が増加する。図11直線の勾配は、CODでは、

0.13、NH₄-Nでは0.10（図中A点を除いた場合であり（相関係数は各々0.87、0.90））

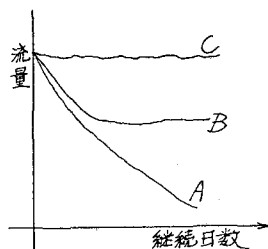


図8 無降雨期間の流況

地区	ケースNo.	期間	C			O			D			アンモニア性窒素		
			濃度(%)			濃度(%)			濃度(%)			濃度(%)		
			平均	標準偏差	タイプ	平均	標準偏差	タイプ	平均	標準偏差	タイプ	平均	標準偏差	タイプ
岡山	1	31.12.10-32.1.10	7.95	2.27	B	0.97	0.25	C	0.62	0.19	C	—	—	—
	2	35.1.17-2.9	10.57	3.70	B	1.50	0.65	C	1.44	1.13	B	0.47	0.08	C
	3	36.7.13-8.2	8.71	4.15	A	1.43	0.25	C	1.09	0.64	A	0.25	0.06	C
	4	37.1.19-2.20	1.60	1.22	C	3.90	0.81	B	0.65	0.13	C	5.76	1.71	B
	5	37.7.29-8.7	7.44	3.78	A	1.97	0.84	A	1.15	0.74	A	1.10	0.41	B
	6	37.12.31-38.2.1	4.21	2.79	B	3.68	1.77	A	1.14	0.76	B	2.44	1.98	A
	7	40.7.29-8.12	8.87	4.32	A	2.85	0.61	A	2.01	0.66	A	2.05	0.98	A
	8	41.1.18-2.14	3.31	1.48	C	4.49	0.84	A	1.16	0.38	B	6.35	1.71	A
	9	41.7.23-8.14	7.95	18.44	A	2.65	1.36	D	5.26	9.26	A	1.63	0.98	A
	10	43.1.18-2.7	2.00	0.32	C	4.32	1.00	B	1.44	0.25	C	7.60	0.83	B
岡山	11	43.12.10-12.3	7.97	2.48	B	4.68	0.68	B	3.07	1.11	A	4.16	0.97	A
	12	43.12.30-44.1.11	12.43	3.30	B	3.72	1.01	D	3.87	0.91	D	3.16	0.74	D
	13	44.12.8-45.1.27	7.42	1.78	B	7.83	2.22	D	4.84	1.10	D	5.99	1.34	D
	14	46.1.23-46.2.11	6.14	1.26	C	7.99	0.96	C	4.01	0.83	A	7.22	1.41	A
	15	46.7.14-46.12.4	7.76	1.17	B	4.41	0.59	A	3.68	0.37	C	4.22	0.79	A
	16	47.1.18-47.12.6	4.62	0.77	C	5.22	0.74	B	3.08	0.33	C	3.46	0.53	B
	13	48.12.8-49.1.27	—	—	—	3.20	0.63	B	—	—	—	3.08	1.17	B
	14	48.1.23-48.2.11	—	—	—	3.93	0.41	A	—	—	—	3.11	0.80	A
	15	48.11.18-49.12.4	—	—	—	2.98	0.41	A	—	—	—	2.69	0.73	A
	16	49.1.18-49.12.6	—	—	—	3.08	0.52	C	—	—	—	1.83	0.18	B

表2 無降雨期間の流量と水質

濃度レベルに対して、10%程度の変動があることがわかる。さらに、残差変動の累積分布曲線、コレログラムを図12、13に示した。分布はほぼ正規分布とみなせるが、コレログラムでは、完全にランダムな変動ではないことが示されている。水質濃度の細かい変動は、豪降雨期間に限らず、平間の日データ時系列でも

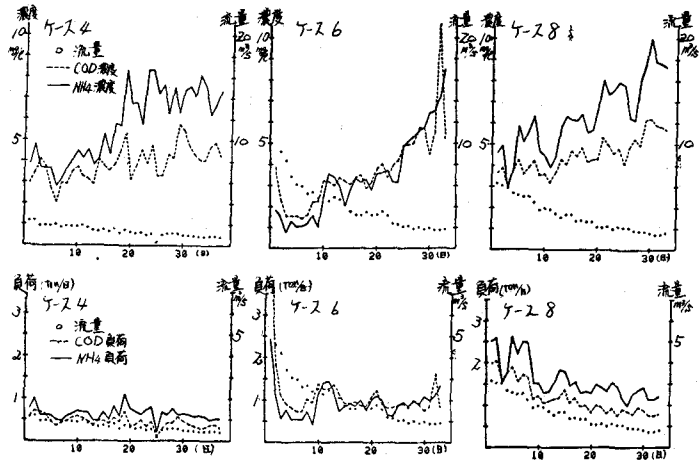


図9 濃度・負荷量変動

みられる。流量の比較的安定した豪降雨時の水質調査を考える場合には、単に1回のサンプリングでは、この細かい変動の影響を受けるので、複数回のサンプリングを行ない、データの平均化を行ってこの変動を消すか、或いは、予め変動の大きさを求めておき、水質データの解析を行なう際にそれを評価してやるといった処理が必要であろう。

b) 負荷量: 負荷量の7日移動平均を図14に示した。負荷量の傾向変動パターンを分類すると、①流量変動の影響が大きい。②期間初期を除いてほぼ一定負荷量。③期間を通してほぼ一定負荷量。④その他。に分類でき、各ケースの負荷量変動パターンを表2に記した。濃度では、同一ケースでCOD、NH₄-Nの傾向変動パターンの差はみられないが、負荷量では、両者に差が生じているケースが多く、CODに比べ、NH₄-Nの傾向変動は安定している。負荷量変動にも細かい変動がみられ、残差標準偏差と平均負荷量間の回帰直線の勾配は、CODでは0.27(相関係数 $r=0.79$)、NH₄-Nでは0.08($r=0.84$)と両者に差は大きい。

c) 水質の分布: 原変動では細かい変動がみられるが、各ケースの水質の分布型を考える場合には、

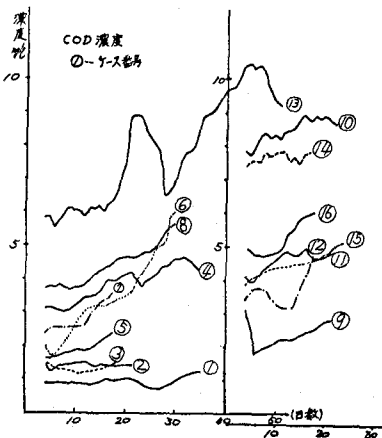


図10 7日移動平均値(COD濃度)

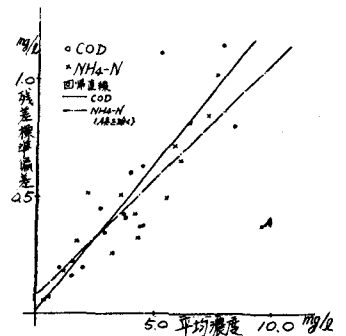


図11 平均濃度と残差標準偏差

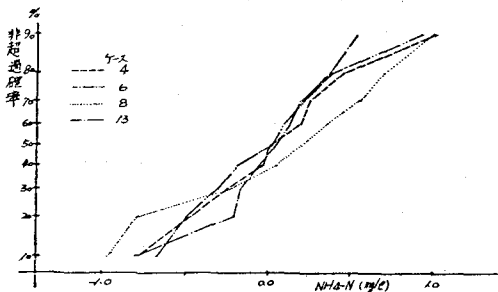


図12 残差の累積分布曲線(NH₄-N)

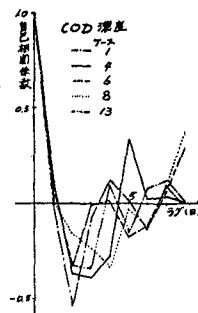


図13 残差変動のコレログラム

原変動と移動平均（傾向変動）の累積分布の差はほとんどない。濃度の累積分布曲線の例を図15に示した。各ケースの分布は、流量変動の影響を大きく受ける夏期の例を除いて、ほぼ正規分布とみなせる。

各ケースの濃度の代表値が、年間のそれとどう対応するかを調べるために各ケースの代表値と年間の代表値をプロットしたのが図16である。両者の関係は一定したものではなく、各ケースの代表値の年分布における位置づけがケースにより異なることを示している。NH₄-Nについても同様な傾向がみられる。これは、年一回主になるか否かの長期の無降雨期間をとると、流量変動は安定しているが、流量レベルは、無降雨等の影響を受け、ケースごとに異なるためと考えられる。無降雨期間の水質データの意味については、さらに短期の無降雨を取り上げ、水質データの解析を市行う必要がある。

5. 総括

まず、水質の年分布・代表値を求め、次にサンプリング条件をかえて得られた水質標本の代表値との比較を行ったが、①月1回（定期的）サンプリングによる水質標本の代表値は、ほぼ年代表値に対応している。しかし、②流量を考慮すると、また違った河川水質代表値が得られ、また、河川水質の面を表わす、マクロな水質の経年変化を調べるには流量範囲を限った水質代表値が有効であろう。③実際の水質調査を糸原において、長期の無降雨期間の水質を考えたが、各ケースで流況が異なり、水質データの分布代表値は年間のそれと一定の関係ではない。河川水質調査データの意味を明らかにするには、比較的短かい無降雨期間を取り上げ解析を進める必要がある。

6. 参考文献

- 1: 市川 新 「河川水質の定量化」水道協会誌 (1976)
- 2: 日本規格協会 「統計数値表 JSA-19720

付記

この報告は東京大学大学院工学系研究科都市工学専門課程において、市川 新 助教授の指導のもとに行った研究をとりまとめたものである。

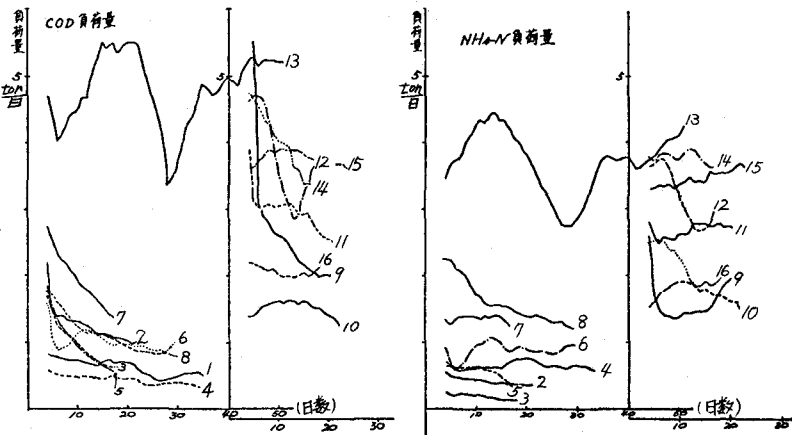


図14 7日移動平均値(負荷量) 1~16 ケース番号

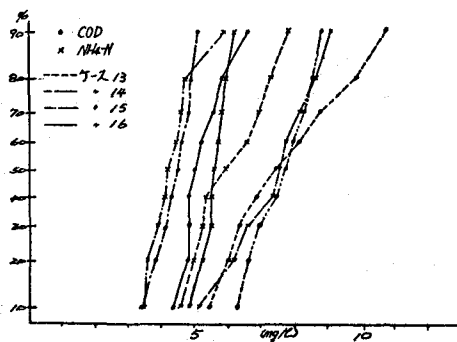


図15 濃度の累積分布曲線

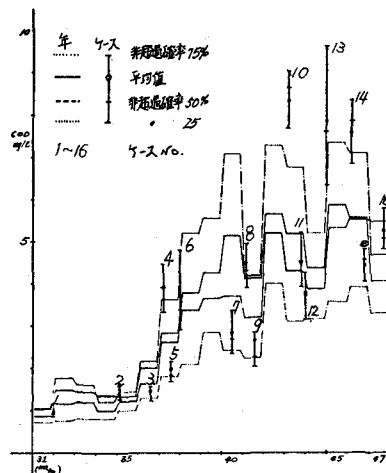


図16 各ケースの代表値と年代表値 (糸原産 COD 濃度)