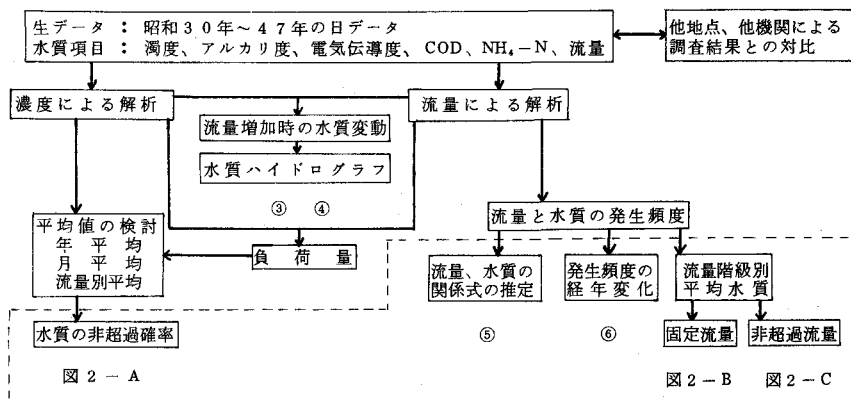


1. はじめに 昭和30年代から水質汚染が顕著になり、法的規制として、水質保全法、公害対策基本法、水質汚濁法が制定され、行政的にこれをうけて、環境基準の設定と流域別総合整備計画が作製され、さらに、これらをうけて下水道計画がたてられてきている。これらの行政の目的が、水質汚濁の軽減にあるのは当然であるが水質の定義ないし、どのような状態を目標とするのかという根源的問題に対しては、必ずしも充分な解答が得られていない。というのは、水質は多面的で、一律にとらえられないところに問題があり、すなわち、指標毎にその表わす意味が異なること、同じ指標でも水質は絶対的な尺度でなく、その履歴から決定される過渡的なもので、場所や時間が異なれば変化するものである事による。それ故、水質をとらえるために多くの機関・研究者が水質の全体像の解明のために多くの研究が行なわれているが、水質というグローバルな現象のひとつの断面を知ることが出来るにすぎず、全体像の把握はきわめて困難な状態にある。このような状況に対して、我々は水道局の浄水場のデータを使用して水質像の解明を試みている。各浄水場においては、水質管理おもとに凝集剤投与量の決定のために、連日ないし数時間おきに原水水質を調べており、データの数としては、他の機関に比してきわめて豊富にある。勿論、これらのデータは浄水場の水質管理の目的であるので、環境の記述に必要な水質指標と若干の差があることは否めないが、水質の性状を知るには最適のものとする。さらにこれらの情報を環境のアセスメントにどのように利用出来るかを検討することが本研究の目的の一つである。

ここでとりあげたデータは、東京都水道局玉川浄水場で行なっている、多摩川調布堰（丸子橋）の表流水のデータであり、昭和30年から18年間の毎日の測定データである。水質項目としては、COD（過マンガン酸カリ消費量 $\times 0.2531$ で求めた）、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、アルカリ度、電気伝導度、濁度である。さらにこの理解を助けるために、同地点の日流量（同じく水道局観測）をも利用している。多摩川については既に多くの論文があるのでこ

図-1 研究の動向



- ① 河川の水質の定量化：下水道協会誌（投稿中）
- ② 環境の定量化：地球化学 Vol.5（1975）
- ③ 水文学的手法による汚濁流出機構の解析：水理講演会、土木学会（1974）
- ④ 水質ハイドログラフに関する研究：水理講演会、土木学会（1975）
- ⑤ 河川における水質と流量の関係について：下水道協会研究発表会（1974）
- ⑥ 河川における水質と流量に関する一考察：下水道協会研究発表会（1975）

ここでは詳述しないが、約1200km²の流域面積に約180万人の流域人口を有する都市型河川であること、中流地点でほぼ全量取水され、多摩川に還流する量は極めて少ないこと、調布堰が防潮堰を兼ねていることもあり河口から7.5 km地点にあるにもかかわらず海水の影響のないこと、さらにはこの地点でせきとめられていることから、完全な流水状態とはいえないことをあらかじめ考慮しておく必要がある。

2 研究の方向 18年間の水質データを東京大学大型計算機センターのHITAC(8700/8800)にファイル化して、上記の研究目的に応じた各種の統計計算を行っている。図-1にその研究の方向をフローシートで示す。研究は濃度に関するものと、流量との関連を対象としたものに大別される。濃度について、まず各種の平均値を求め、その経年的傾向をあきらかにしたが、水質の分布状態が正規分布とはいいがたいため、平均値で表現される水質には限界があると考えられる。そこで、分布をあきらかにするため、年間データによる非超過確率を求め正規確率紙上にプロットすると、上に凸の曲線が得られたので、ノーマライズするため、水文学でしばしば使用されている対数変換を行ない、正規化とそれに伴う水質の経年データの等価性をもたせる研究を行ってきたが、まだ充分な成果は得られていない。

流量との関連についていえば、負荷量に関するものと、流量階級による水質に分けられる。前者については、濃度とはほぼ同じ研究を行っている。後者については、水質の発生頻度と流量階級別平均水質とそれぞれの特性に関する研究を行っている。さらに流量の増加時における水質変動をあきらかにすることにより、日データのもつ意味をあきらかにしている。

本研究では、図-1の点線で囲んだ領域を研究対象としている。すなわち、流量階級別平均水質を求め、これと水質の非超過確率との対比を行い、さらに流量階級毎の水質の発生分布を頻度という形で解析を行っている。最後に、このような確率的分布とは別に、ある水質がどの程度継続するかの検討を行っている。

3 水質の経年変化 図2-Aに非超過確率20, 40, 60, 80%に対応する水質濃度の経年変化を示す。超過確率80%というのは、その濃度以上になるのは1年間を通して20%すなわち5日に1日しかないということを示すものである。もし水質データが正規分布をしているとすると、平均値は非超過確率50%に相当するが、これに近い値をとっている水質指標もある。例えば、電気伝導度、NH₄-N、アルカリ度といったような、溶解性物質を示す指標である。一方、濁度、CODといった浮遊物質に起因するか、そのしめる割合の大きな水質指標の場合の平均値は超過確率20%以上という年もある。

経年変化をみると、濁度は全体として若干増加している傾向が認められるが、それよりも流量の変動による差が大きく、流量の多い59, 65, 66の各年が大きく流量の少なかった67年が小さな値となっている。非超過確率の差による変動はあまりなく、ほぼ同じパターンを示しているが、年間平均値は非超過確率20%をこえている場合が多い。

次に、非超過確率がどのような時に発生するのかについて検討を行ってみる。非超過確率20%というのは、理論的には5日おきに1回づつ発生すること、1年のうちのはじめの72日間連続して発生することもありうる。この関係をあきらかにするために、流量2.5m³/sec以下、2.5~5.0、5.0~10.0、10.0~20.0、20.0~40.0m³/secの範囲内にあるときの平均水質を求め、その経年変化を示したのが図2-Bである。この図は、図2-Aとかなり異なった曲線になっているのが特徴的である。例えば濁度では、年毎に大きく変動している。経年的傾向はあきらかにしえなかった。一方、電気伝導度については、流量の少ない時に大きな値となっていて、経年的に単調な増加傾向がみられるが、最小流量巾についてみると、69, 71年には、それに相当する流量の日がないこともあって不連続となっている。このような傾向は、他の溶解性物質を示す、NH₄-N、アルカリ度にも共通にみられる傾向であり、図2-Aとは異なった曲線になっている。CODは濁度と溶解性物質との中間に位置する関係がみられる。

図2-A 水質の超過確率

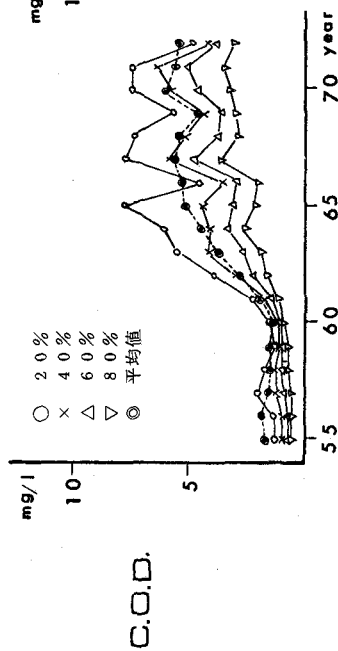


図2-B 固定流量市の平均濃度

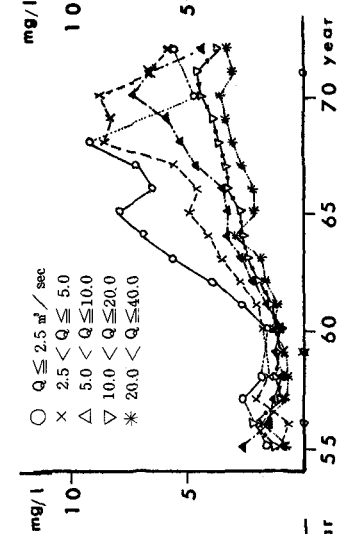
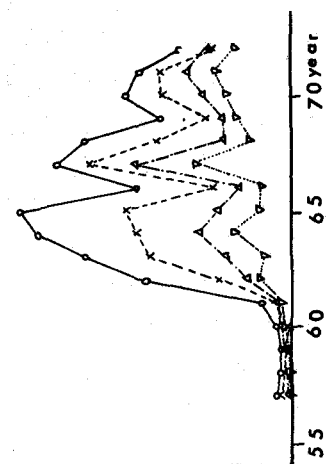
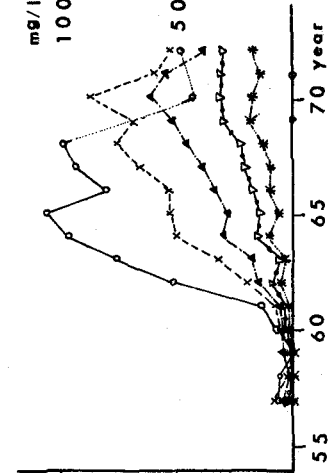
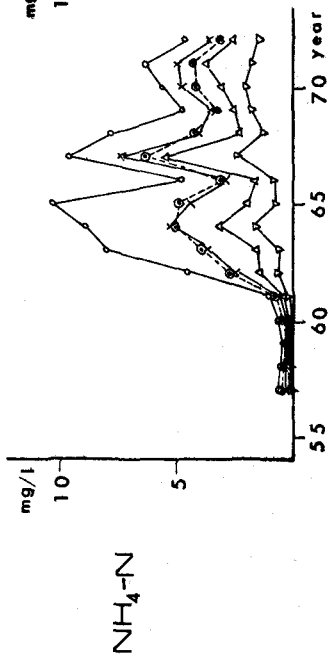
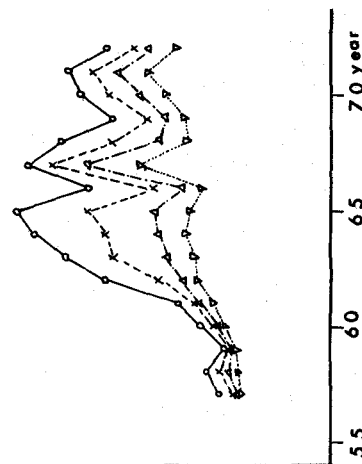
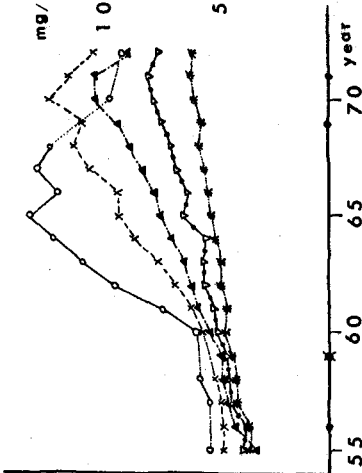
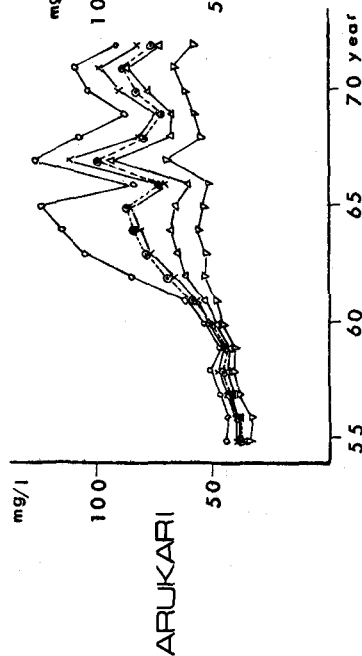
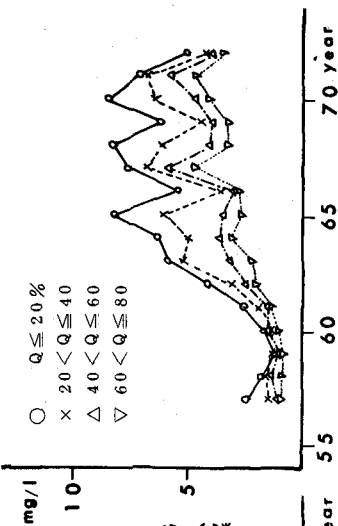
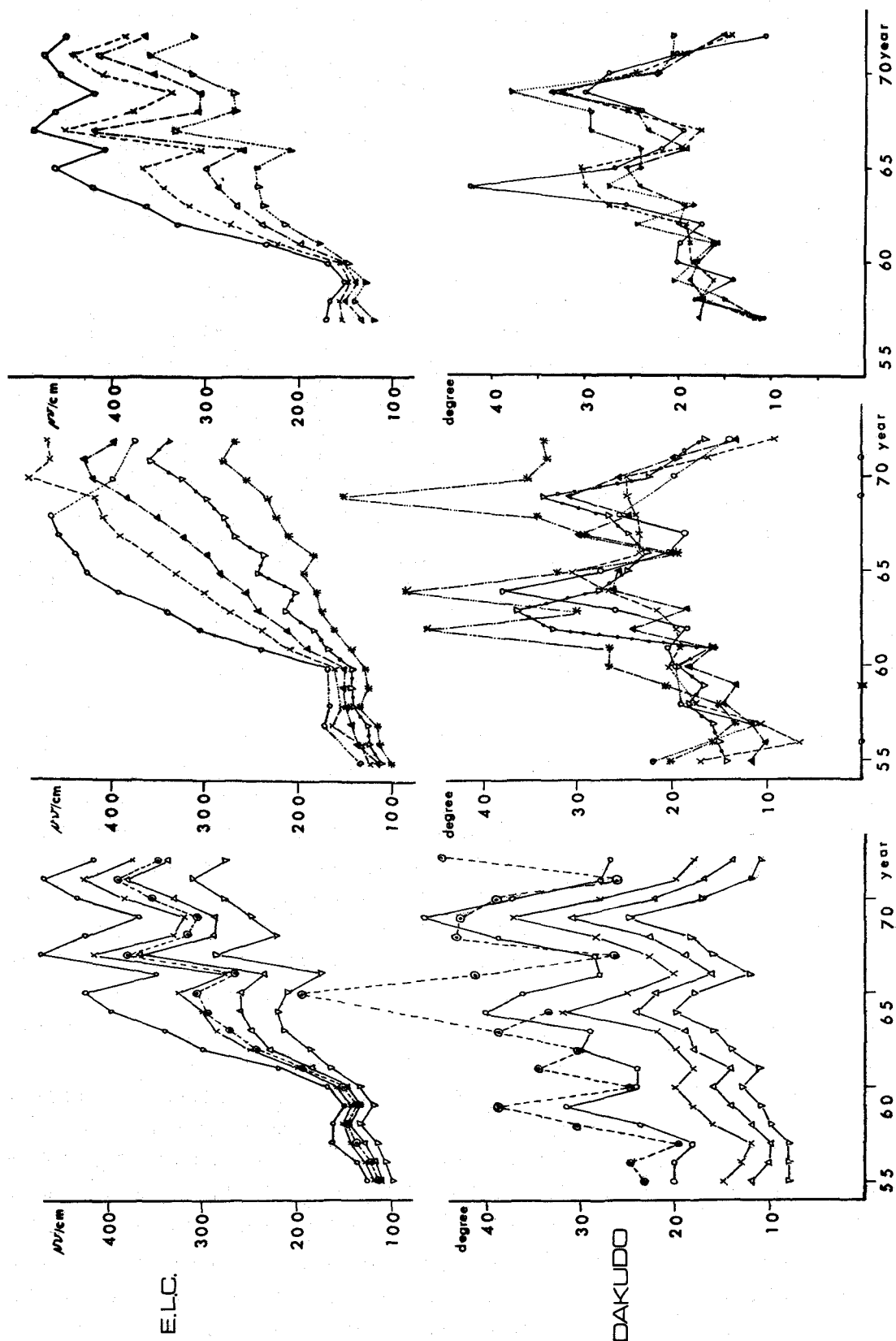


図2-C 非超過確率流量市の平均濃度

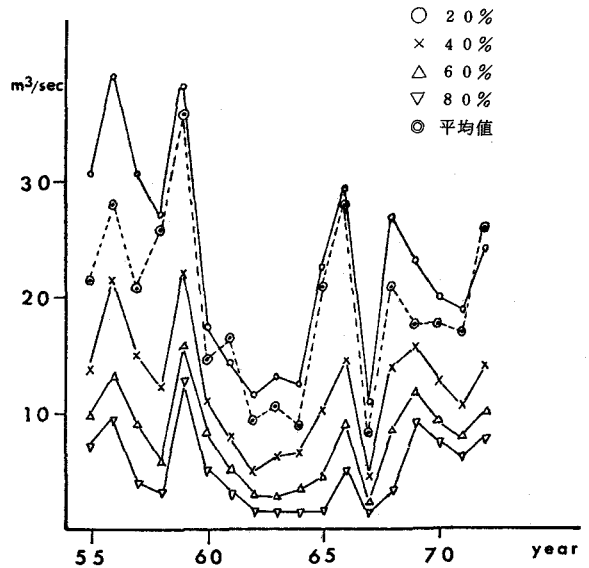




この図の基となった流量について考察をしてみる。

図-3に流量の非超過確率の経年変化を示したが同じ $5\text{ m}^3/\text{sec}$ といっても、67年では超過確率は60%以上となっているが、69年では20%にも達しないということがわかる。それ故、 $5\text{ m}^3/\text{sec}$ というような固定された流量で分類するとその発生回数が異なること、その時の水理条件が異なるため水質も同一視することが不可能となることがわかる。69, 71年に最小流量巾における水質が0となっているのは、水質が0であるのではなく、そのような状態が存在しなかったということの意味している。このようなことを考えると、固定した流量巾における平均濃度の示す意味もかなり限られてくると思われるので、流量の非超過確率を20, 40, 60, 80%ととり、その流量を区間巾とした時の平均濃度を求めその経年変化を図2-Cに示した。この図を全体的にいうなら図2-Aときわめて似た曲線となっていることがわかる。濁度についてみると、一定の流量巾における

図-3 流量の超過確率の経年変化

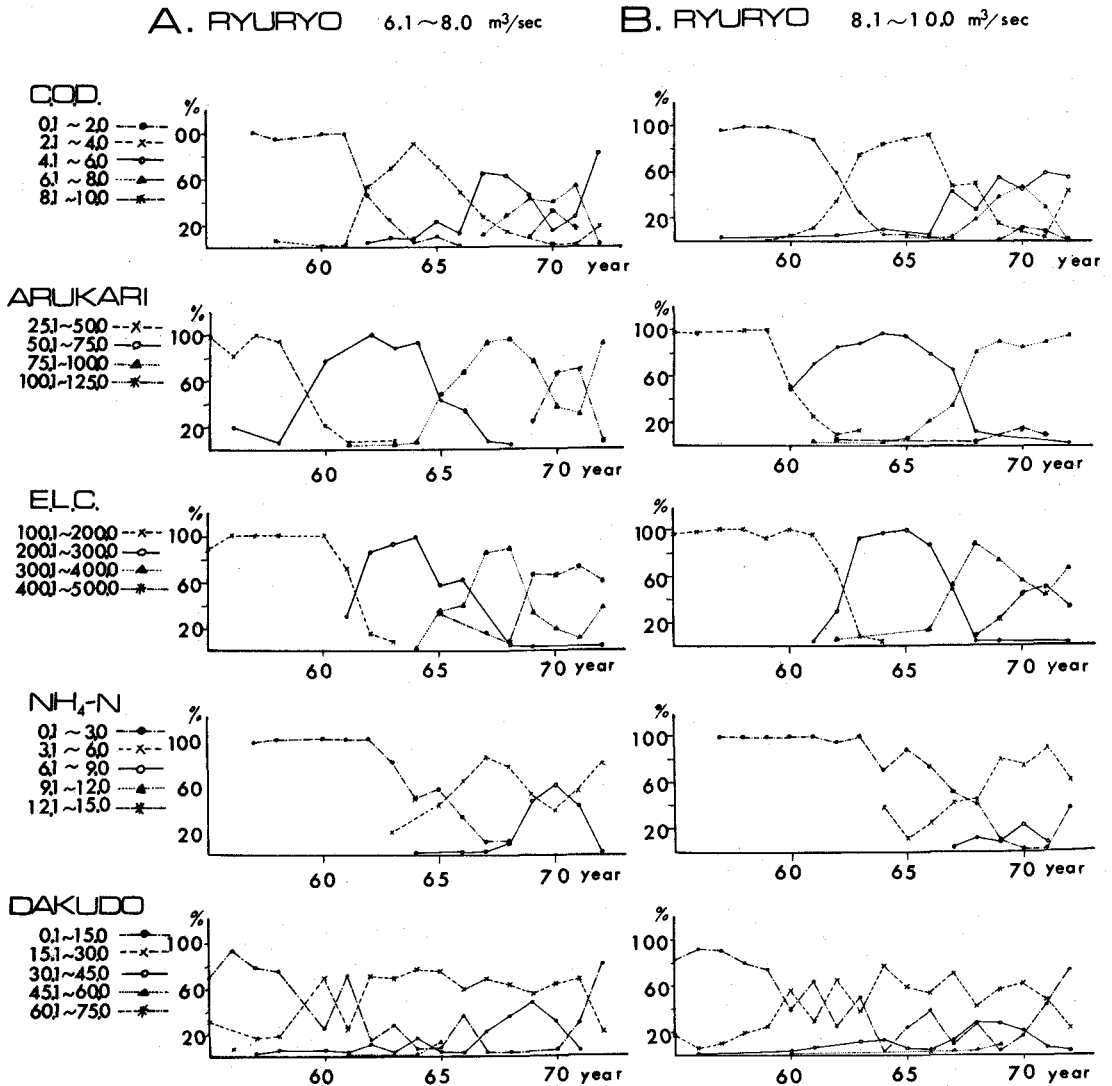


平均濁度は変動しており、特徴的な傾向をみることが出来ないが、64, 69年に極大をとり、72年に減少するというパターンは、図2-Aと同じである。

電気伝導度については、図2-Aと全く同じパターンを示し、流量階級別平均値は、66, 68年に極小となっている所や、65, 67, 71年に極大となっている所も、図2-Aの非超過確率経年変化曲線と、一致している。このようなパターンは、溶解性物質の指標であるアルカリ度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、も全く同じである。二つの曲線の傾向を比較すると流量の非超過確率20%の曲線は、水質の非超過確率10%の曲線に相当し以下同様に流量の非超過確率40%は、水質の非超過確率30%、さらに流量の非超過確率60%は、水質の非超過確率の50%、さらに同様に流量の非超過確率80%は、水質の非超過確率30%に相当することがわかる。このことは、図2-Aで求めた水質の非超過確率で発生する濃度は、ある流量範囲内に発生するものと考えても差しつかえないことを意味するものであり、さらにその逆も言える。例えば、低水流量（非超過確率25%）の水質は、ほぼ水質の非超過確率20%の濃度に相当することを示している。このことは、水質の解釈に、極めて有用な情報となりうると考えられる。CODについてもほぼこの傾向は同じであり、特に平水流量（非超過確率50%）以下の場合は、両曲線は一致しているが、流量の大きい範囲では、溶解性物質ほどの一致はみられない。

4. 一定流量巾における水質の発生頻度 次に一定流量巾での水質の分布がどのようになっているかを調べてみた。ここでは発生頻度の百分率で表現し、図-4に示した。この場合流量巾の決め方は前記の(3)で検討したように、極めてむづかしいが、ここでは、 $6.1 \sim 8.0\text{ m}^3/\text{sec}$ 、 $8.1 \sim 10.0\text{ m}^3/\text{sec}$ の二つの流量範囲で、検討を行った。図4-A、4-Bは、経年変化を示したものである。例えば、CODを見ると、61年迄は、A、B二つの流量範囲においても、 $2\text{ mg}/\ell$ 以下の濃度の発生頻度が、100%に近く、これ以上の濃度となることが極めてわずかであることがわかる。62年からは $2 \sim 4\text{ mg}/\ell$ となる場合がみられ、64年には、 $2\text{ mg}/\ell$ 以下となる頻度は0に近く、ほとんど発生しないことを示している。さらに70年には、 $4\text{ mg}/\ell$ 以下が現われていない。すなわち、経年的にみると、発生頻度の高い濃度は、年々高くなっていくのがわかるが、72年のみは、逆に

図-4 流量巾における水質の発生頻度：経年変化

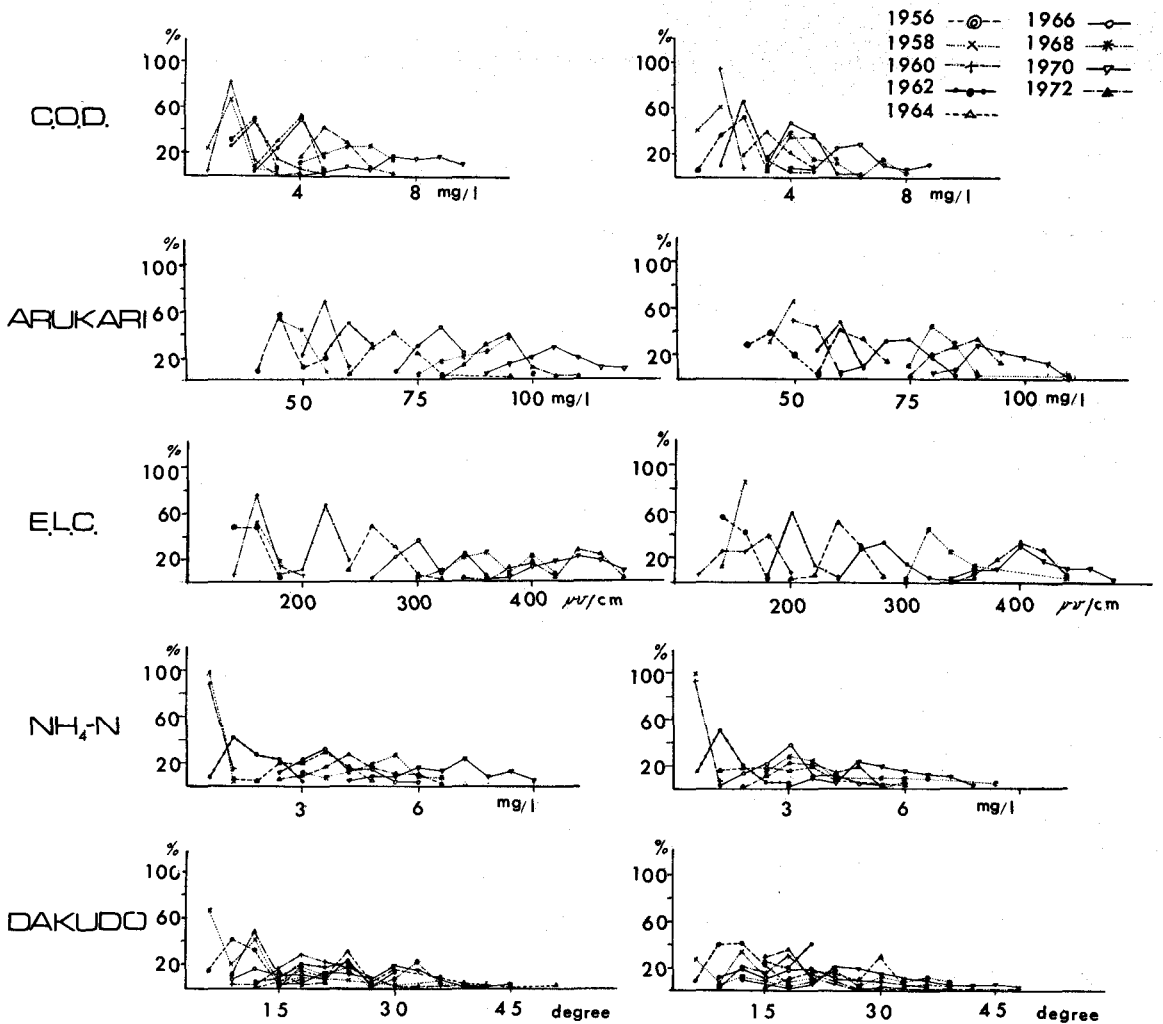


67~68年の水準にもどっているのが、特徴的である。溶解性物質については、濃度範囲のとり方を基準化出来ないで、水質毎に図のパターンは若干異なるが、ほぼ同じような傾向を示しており、中でもアルカリ度と電気伝導度とは、ほぼ同じ図と言うことが出来る。

濁度は、これらと異なっており、全体の傾向をみると、大きく64年迄、68年迄と、それ以降とに大別出来るが際立った経年変化は示されていない。

図4-C、4-Dは、図4-A、4-Bの別の表現であり、横軸に濃度、縦軸に発生頻度を示したものである。図4-DのCODで見ると、58年では0.8mg/l以下が40%、0.8~1.6mg/lが60%で、それ以上の濃度は観測されていないことを示すものである。同様に60年では、0.8~1.6mg/lが90%以上をしめている。ところが、70年になると、3.2~8.8mg/lに分布し、濃度範囲が広がっていることがわかる。

図-4 流量巾における水質の発生頻度：濃度変化
 C. RYURYO 6.1~8.0 m³/sec D. RYURYO 8.1 ~ 10.0 m³/sec



溶解性物質でみると、年毎に発生濃度のピークがあり、その分布は、ほぼ三角形分布をしておりそのピークが経年的に右に移動している。これは、年々濃度が高くなっていることを示すものである。

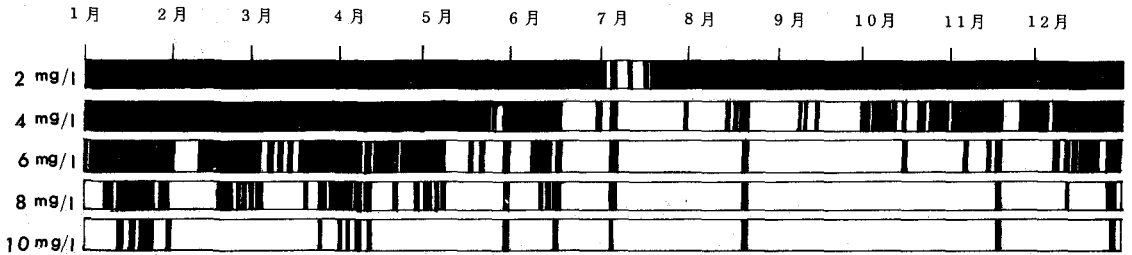
また電気伝導度をみると、58年、60年、62年、64年、66年、68年、70年のピークは、それぞれ160、220、260、300、360、440(各 $\mu\text{V}/\text{cm}$)となっている。

一方濁度のみは、このような傾向は認められず、各年ともほぼ同じパターンを示し、経年的変化は認められない。

5. 連による検討 平均値ないし、確率分布では、それぞれの観測値の発生情況はふれていないが、現実問題としては、ある水質がどのような時期に、どの程度の継続性をもって発生するのかが、重要になってくる。

例えば、水質の悪い状態が長期間続く時には、その間に河川内の生物相が完全に代ってしまうことすら考えられるからである。そこで一定水質濃度以上となる日が、どの程度継続するかについて、図-5に示した。これは1970年のCODの連の長さである。これによると、2mg/l以下となる時は、7月に4回生じ、その間の平均継続日数は、2.8日であった。4mg/lを基準にとると、6月~11月にかけて21回あり、その平均継続日数は5.5日である。同様に、6mg/lを基準にとると、それ以下となる日の平均継続日数は、8.6日となり、そ

図-5 1970年のCODの継続日数(黒色部分:超過日)



の継続日数は長くなっていることがわかる。表-1は連の長さをまとめたものであるが、基準を4mg/lとすると、61年迄は基準値を超える日は年5~8回にすぎず、さらにその継続日数は1~2日であるが、62年以降徐々にその回数と日数がのびてきている。また、標準偏差が大きいということは、長期間継続しているためにおきることであり、連の長さを示す指標として実際には大きな意味を持っている。この連の記録は、流量の連(一定流量以上になる日の継続日数の記録)と極めて高い逆の相関を示し、流量の少ない時期に水質が超過する日が続いていることがわかる。

4. 結語 以上簡単に結果と考察を行ってきたが、データ数にふりまわされて、研究が緒についたばかりであり、充分な成果が得られていないが結論を次にまとめてみる。

- ① 水質指標が溶解性物質に起因するか、浮遊性物質に起因するかによってその特徴が大きく異なる。
- ② 溶解性物質の場合は、水質の非超過確率と流量の非超過確率での平均濃度が対応している。
- ③ 一定流量巾における水質濃度の分布は、経年的に巾が広くなると共に、発生頻度のピークは年々増加している。
- ④ 水質濃度を4mg/lとし、これを超過する日の継続日数を求めると、年々回数と継続日数が増加していることが明らかとなり、その発生日は流量の低下時に多く発生することが明らかとなった。

5. 謝辞 本研究の基礎となったデータを提供戴いた東京都水道局の御関係者に感謝申し上げます。又この研究の一部は、文部省特定研究「環境汚染制御」の経費によった。

表-1 C O D の 継 続 日 数

基準濃度		2 mg / l						4 mg / l						6 mg / l						8 mg / l						10 mg / l					
年 度	回 数	以下		以上		回 数	以下		以上		回 数	以下		以上		回 数	以下		以上		回 数	以下		以上		回 数	以下		以上		
		平均	偏差	平均	偏差		平均	偏差	平均	偏差		平均	偏差	平均	偏差		平均	偏差	平均	偏差		平均	偏差	平均	偏差		平均	偏差	平均	偏差	平均
55	15	4.45	4.58	1.3	0.7	5	12.10	9.59	1.0	0	3	18.20	5.70	1.0	0.0	3	18.20	5.70	1.0	0.0	3	18.20	5.70	1.0	0.0	3	18.20	5.70	1.0	0.0	
56	23	2.90	2.64	1.5	0.9	11	5.95	3.85	1.6	0.8	9	7.20	5.16	1.3	0.4	7	9.05	5.85	1.0	0.0	5	12.10	4.39	1.0	0.0	5	12.10	4.39	1.0	0.0	
57	45	1.27	1.44	3.3	4.7	15	4.46	1.86	1.1	0.4	9	7.22	5.94	1.0	0.0	9	7.22	5.94	1.0	0.0	7	9.05	5.87	1.0	0.0	7	9.05	5.87	1.0	0.0	
58	45	1.40	1.29	2.0	2.7	13	5.10	4.43	1.3	0.5	11	5.98	4.42	1.2	0.4	7	9.03	7.52	1.3	0.5	5	12.10	10.45	1.0	0.0	5	12.10	10.45	1.0	0.0	
59	33	2.01	1.91	1.5	0.9	17	3.94	2.59	1.3	0.7	11	5.97	3.17	1.4	0.8	11	5.97	3.17	1.4	0.8	7	9.00	3.27	1.7	0.9	7	9.00	3.27	1.7	0.9	
60	36	1.92	2.38	1.1	0.3	12	6.00	4.34	1.0	0.0	11	6.02	4.32	1.0	0.0	11	6.02	4.32	1.0	0.0	7	9.08	8.01	1.0	0.0	7	9.08	8.01	1.0	0.0	
61	58	0.86	0.92	4.0	6.2	13	5.10	3.70	1.3	0.5	9	7.20	3.19	1.3	0.4	7	9.05	5.90	1.0	0.0	7	9.05	5.90	1.0	0.0	7	9.05	5.90	1.0	0.0	
62	47	5.1	7.5	10.3	28.8	53	10.8	17.7	2.3	2.5	11	6.00	3.48	1.0	0.0	5	12.10	3.57	1.0	0.0	5	12.10	3.57	1.0	0.0	5	12.10	3.57	1.0	0.0	
63	65	2.6	3.1	8.5	25.4	39	10.8	25.8	7.8	20.0	43	14.7	3.00	2.0	2.1	13	5.13	6.94	1.0	0.0	5	12.10	7.31	1.0	0.0	5	12.10	7.31	1.0	0.0	
64	29	1.7	0.9	2.28	3.43	48	9.0	11.9	6.2	13.3	40	14.5	3.01	3.8	3.6	18	3.96	5.56	1.1	0.3	8	9.05	8.41	1.0	0.0	8	9.05	8.41	1.0	0.0	
65	35	3.9	4.1	1.66	3.32	48	8.4	11.4	6.8	23.4	23	2.05	3.28	10.8	19.3	4.7	1.28	2.61	2.6	3.2	35	1.92	2.86	1.2	0.4	35	1.92	2.86	1.2	0.4	
66	47	2.6	1.9	1.28	3.02	72	7.3	6.6	2.9	5.3	30	2.17	2.06	2.6	4.2	16	4.39	3.08	1.8	1.0	13	5.10	2.95	1.3	0.5	13	5.10	2.95	1.3	0.5	
67	3	1.0	0.0	18.20	12.00	51	3.7	4.2	10.5	18.7	58	7.8	1.23	4.8	7.0	5.3	1.14	2.20	2.2	1.8	13	5.07	5.42	1.7	1.5	13	5.07	5.42	1.7	1.5	
68	17	2.5	1.4	3.84	6.57	62	5.5	6.9	6.4	21.2	59	8.2	1.18	4.1	10.2	4.3	1.40	2.21	2.8	5.1	17	3.80	4.71	3.0	2.9	17	3.80	4.71	3.0	2.9	
69	1	0.0	0.0	36.50	0.0	50	7.4	8.1	7.2	9.5	46	1.35	1.81	2.3	1.8	10	7.14	6.45	1.6	0.8	4	18.10	11.70	1.5	0.5	4	18.10	11.70	1.5	0.5	
70	9	2.8	1.3	7.08	8.53	43	5.5	6.7	11.3	29.1	53	8.6	1.33	5.3	7.8	5.5	1.05	1.81	2.7	2.7	31	2.16	2.49	1.3	1.0	31	2.16	2.49	1.3	1.0	
71	15	1.3	0.5	4.45	7.42	25	7.7	12.8	21.0	29.9	63	6.4	1.36	4.5	7.8	6.4	9.3	2.11	1.4	0.6	3	18.20	2.40	1.0	0.0	3	18.20	2.40	1.0	0.0	
72	9	2.5	2.1	7.12	7.16	79	4.7	6.0	4.6	6.1	37	1.77	2.06	1.6	0.9	19	3.56	4.48	1.1	0.3	17	3.97	4.85	1.1	0.3	17	3.97	4.85	1.1	0.3	