

水質データの収集とその解析手法に関する研究
Study on the Methodology of the River Water Quality Analysis

東京大学工学部 正員 市川 新

1. はじめに

水質が注目されたのは古いが、その取り扱い方に様々な歴史過程が存在する。日本において、水質分析が行なわれたのは、明治初年で、東京の玉川上水の検査が嚆矢をなすものであろう。その後も水道局を中心として、水源対策、給水の水質の調査が行なわれてきた。一方、湖沼を中心とする陸水学が水質の現象解析と分析化学の1部として行なわれてきた。河川水質についても、戦前に小林・菅原・倉地等の研究がある。しかしながら、1960年の高度成長期になり、水質汚濁が進行してくると、水質が重要となり、多くの政府機関研究所・大学等で、調査が行なわれた。その後公害対策基本法に基づき、環境基準さらには、排水基準が定められた。それを監視するために、水質の監視制度がたてられ、今日にきているのが実情である。

本論文は、これらの水質データが、環境の何をあらわしていて、それがどのように利用されているのか、又、このシステムを改良改善すべき方向はどのようなものであるかと、比較的資料の多い多摩川（東京）を例にして考えていくこととする。

2. 水質管理の目標とデータ群

水質管理の目標は様々である。その主なものを次に示す。

- ①環境基準および排水基準の監視：実測を通して、基準値をこえているかどうかをみる。
 - ②特定物質の挙動追跡：例えば病原菌の追跡、必要薬品量決定のための資料
 - ③環境基準見直し等の基礎資料の収集：新たな排水源的設が考えられたときの将来水質の予測も含める。
 - ④水系内の水質の理論的解明：例えば Streeter Phelps のモデルの適用とそのパラメーターの同定
- その他いろいろあり、またこれらの因子が相互に関連している場合がある。
- これに対する水質データは、現在次のように考えられる。
- ①自動監視装置：建設省、各都道府県の公害関連部局で行っているもの。
 - ②時間データの収集：水道局の薬品量決定のために1時間ないし3時間間隔で、原水（表流水）の1～2項目の水質の調査を行っている。多摩川では、東京・川崎の両水道局で濁度の時間データをとっている⁽¹⁾
 - ③日データの収集：水道局が行うもので、かなり広範囲の水質データがえられている。玉川浄水場では、水温・濁度、PH、アルカリ度、電導度、アンモニア、過マンガン酸カリ消費量、ABS、BODである。
 - ④月1～2回の調査：水質年表・水質年鑑・公害局等の事業年報にのせられるもので、水質項目は多い。
 - ⑤特定プロジェクトによるデータ収集：大学等の研究機関で行うものが多い。
 - ⑥年1～2回の調査：特定事業場の排水調査。

水質データの分類も数多くあるが一応、この程度に分類してみる。これを水質管理目標に対比させると、表-1のようになろう。これをみてわかるように両者が渾然としている。表-1 水質管理目標と水質データ

著者の研究の目標は④ないし③であるが、自分で調査すると、データは⑥程度しか行えない。③ないし①のデータをかりて、その解析の精度を深めることをしている。例えば、多摩川の流入地点の中で主要な排水地点の一勢の調査を行ない、汚濁物質収支図⁽²⁾をつくるが、このパターンは、調査日の季節・水源条件等により異なり、これを詳しく解析することは出来ない。そこで、排水条件の再現性をあきらかにするために、日データを借用している。今回は、さらに、①の自動監視装置のデータを利用して、水質データの持つ意味を考えてみたい。

水質管理目標	水質データ
①	① ② ④ ⑥
②	② ③ ⑥
③	④ ⑤
④	⑤ ⑥

3. 日データによる水質データの検証

調布堰における水質データの各種の代表値については既に発表⁽³⁾⁽⁴⁾しているが、ここでは、調布堰より約7 km上流にある砧地点のデータを紹介する。砧地点の約2.2 km上流に農業用水の取水堰(1974年の洪水時に爆破の対象となった宿河原用水があり、その後ほとんど排水の流入のない比較的流速の大きい地点である。1978年7月の低水流量時(8.8 l m³/sec)は、0.60 m³/secの流速であり、調布堰の流況とかなり異なっている。又、この7 km区間に、多摩川の主要汚濁源の1つであり野川が流入しており水質的にもきわめて異なっている。表-2と図-1に2点の水質を対比して示す。

表-2 本川水質の比較

東京都水道局資料から計算で求めた (mg/L)

	アンモニア性窒素				C O D			
	砧 本 流		調 布 堰		砧 本 流		調 布 堰	
	平 均	中 央 値	平 均	中 央 値	平 均	中 央 値	平 均	中 央 値
1972	1.66	1.40	3.11	3.00	3.05	2.53	5.47	4.05
1971	2.19	1.30	4.28	4.40	3.03	2.78	5.52	5.57
1970	2.05	1.50	4.22	4.00	2.71	2.53	5.86	5.32
1969	1.21	0.96	3.28	3.00	2.31	2.03	4.35	3.87
1968	1.43	1.23	4.13	2.72	2.21	1.95	5.37	4.30
1967	1.70	1.28	6.35	6.55	2.07	1.90	5.64	5.19
1966	1.50	1.30	2.91	2.22	1.37	1.24	4.12	3.19
1965	0.73	0.55	4.89	3.25	1.79	1.19	5.13	3.70

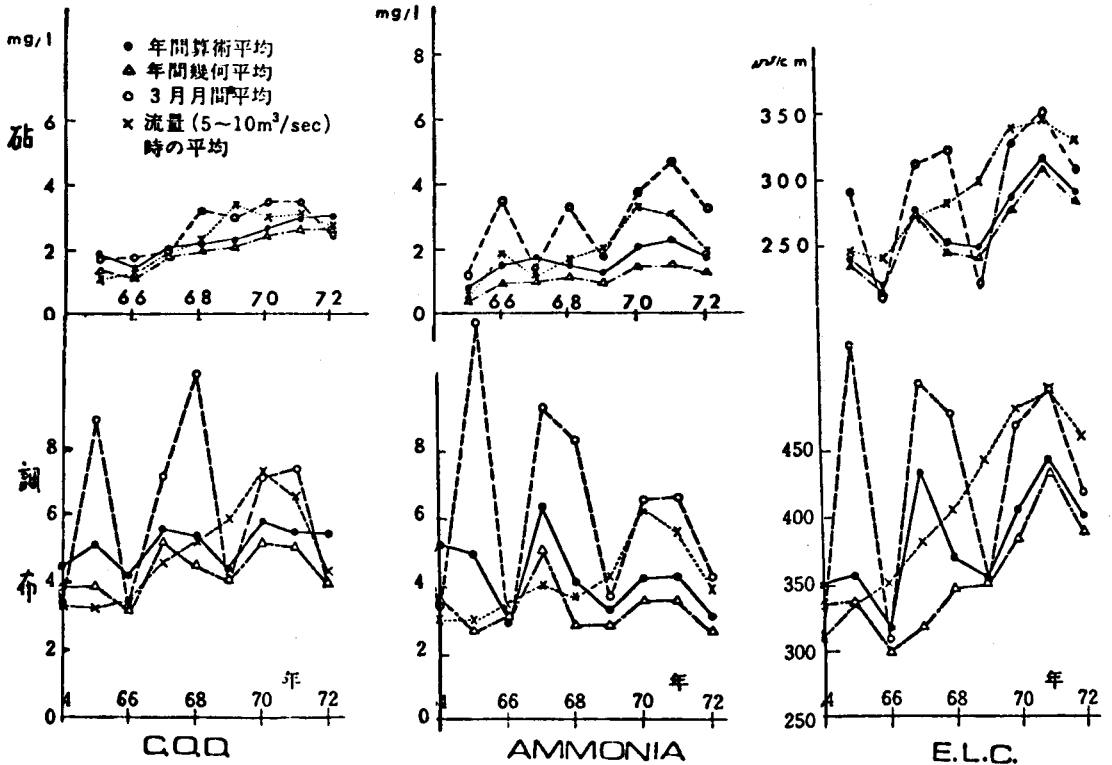


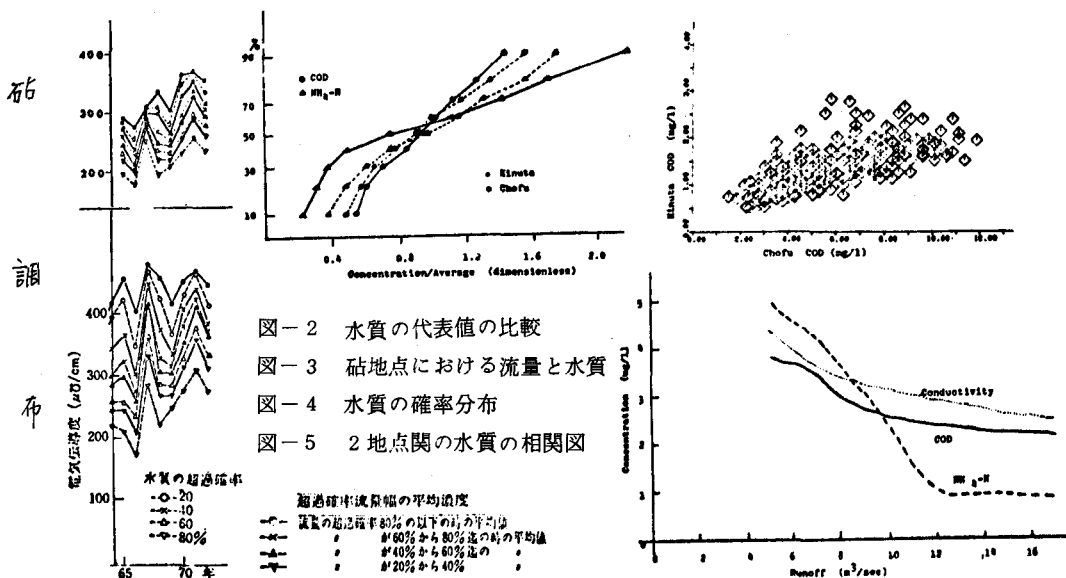
図-1 多摩川における地点の水質の経年変化-砧地点と調布堰-

これによると、アンモニア性窒素は、どの指標をとっても大きな差があり、上流の砧地点では下流の2ないし、6分の1になっている。これは、野川および、下流域の人口集中地区からの雑排水の流入が大きいためと考えられる。CODについても、2ないし3分の1であるが、調布堰の方が、高濃度安定型であるが、砧地点では、この1967年から5年で約50%濃度が増加している事がわかる。この増加のパターンは、調布堰におけると同様に、一定流量区間の平均水質と、水質の超過確率が対応していることが、図-2からわかる。図-3は、流量と、水質の関係と図示したものである。これは、水質を 0.2 mg/l きざみ、流量を $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ きざみで区分けして、水質と流量の対応するマトリックスの中に発生する回数と求め、その中央値をプロットしたものである。この図も、調布堰と同じように、 $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下の場合には、水質は流量に対して負の相関をしていることがわかる。なおCODについては、 $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ 近くなると、流量の増加と共に濃度が大きくなっている。これは、流量の増加と共に浮遊性の有機物が流入してくるためと思われる。このような傾向は、調布堰でもあったが、砧地点の方が $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ という平水流量に近い値で示されている事と、この図では示していないが、大流量時の高濃度の発生回数も多い。

図-4は、水質データの確率分布を示したものである、縦軸は、累積確率（非超過確率）を示し横軸は、平均値に対する比率という無次元量を取り、調布堰と砧地点の両方を示した。このような手法による無次元化が妥当なのか十分検討はしていないが、これによると、CODは、ほぼ直線となり、正規分布となる事が示されている。2地点を較べてみると、砧地点の方が変動が小さい事がわかる。一方アンモニア性窒素は上に凸の曲線で、直線近似は行いにくく、かつ変動が大きい事がわかる。両地点を比較すると、砧地点の方が変動が大きい。これは、アンモニア性窒素の硝化反応が水温に左右されるという季節性によるものである。この年の1月と7月の平均値はそれぞれ、 $4.13, 0.47 \text{ mg/l}$ であった。

以上2地点を較べると、流況、汚濁の流入状態は異なっても、2地点はほぼ同じパターンを示している。それ故、調布堰で考察した結果とほぼ同じパターンを示しているといえよう。但し、砧地点の方が、濃度が低いために、その変化量はあまり明瞭には出ていない。

図-5は、2地点間の水質をX・Y両軸にプロットしたものである。ここでは、調布堰の流量が $30 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下の時の値をプロットしたものである。この図からみると両者に一応の相関関係があるように見えるが、プロットされた点が巾広く分布しており、1対1の対応は認められない。この事は、CODにせよ、 $\text{NH}_4\text{-N}$ にせよ、どちらも同じような傾向を示している。



4. 自動監視装置のデータ

東京都では、昭和46年以来、主要河川に自動連続水質監視装置を設置している。現在東京全域で29地点をかぞえ、多摩川では、11地点がおかれている。多摩川といっても、すべて支川であり、本川は、羽村・調布堰という、取水地点での水質である、ここで紹介するデータは、左岸側のもっとも人口の集中している、野川のデータである。上流地点は、調布市調布ヶ丘3-61の榎橋上流約200mの地点で、下流部は、世田谷区鎌田1-10の地点で、上流地点から、8.2km下流にある。なお、この地点の0.7km下流が、多摩川への合流点である。この2点間に仙川という大きな支川が流入している。

この地点で、ポンプで取水し、水槽に入れ、そこで、いくつかの電極により水質が測定されている。溶存酸素のように測定に際し、対電極に一定の流速を与えねばならないものに対しては、槽内を攪拌させて測定している。なお、濁度の測定は別に行なわれている。検査項目は、水温、PH、溶存酸素、濁度、塩素イオン・電気伝導度が、共通で、その他ORP、シアン、TOC等を測定している地点がある。これらのデータは、測定点でチャート上に自動記録される。記録紙のスピードは、48cm/日で1分毎に全項目がうたれ、ほぼ連続した線がえられている。このチャートは月1回とりかえられて、都庁の方に保管されている。これと同時に、10分おきに、全水質項目の測定結果と、都庁のセンターに電送され、この値はそのままMT上に記録され、各時間毎に、6コのデータの最大、最小、平均値をうち出し、時報がつくられる。又、この毎時の平均値を1日分集めて、その最大、最小、平均値を出したものが、日報とよばれ、それを1ヶ月分まとめたものが月報である。これが、年1回公害局から、年報として発表されている。なお流量のデータはない。

このデータの精度を確保するために、週1回定期点検が行なわれ、その他異常発生に対し、手分析によりチェックを行いデータの精度の向上がはかられている。それ故、個々の数値の信頼性はまだまだしめられていないが、そのパターンは、十分信頼出来るものと考ええる。このようなメンテナンス、停電、故障等により欠測値があったり、初期降雨期に、データがスケールオーバーしてしまい欠測となる事がある、今年1月及び8月の欠測値は、地点により異なるが、MT上すなわち1日144コのデータのうち20~40の範囲であった。このデータは全東京の自動監視装置のデータが集まり、月に600ftのテープ1本に集録されている。このシステムが出来た、昭和46年に設置された計算機により作製されているテープを直接取り扱う事はほとんど不可能なため、それを解析するためには、2段階のテープ変換を行なわねばならない。

本研究では、このデータの中から、1978年1月のデータを用いた。この月は、1月3日に雪が降った他は天候が安定しており、降雨時の異常性がみとめられなかったと思われたので、選定したものである。この水質データを、曜日毎に4週間プロットし、その値の平均値(欠測値はのぞく)をあわせてプロットした。図6-aは、電導度の月曜日の例である。この図から、正月休みの水質が大巾に改善され、2週・3週目から汚濁されている事がわかる。しかしながら、金曜日(この年は1月6日)は、すでに正月休みの影響はきえて、4週間ともそれ程大きな差はみとめられなかった。日によって大きな差があるが、4週間と平均すると、ほぼ、代表的な時間変動が求められる。これを、同様に求めた溶存酸素曲線とあわせて、図6-bに示した。電気伝導度は、溶解性物質の指標であり、その水質の変動を直接表示するものといわれている。これによると、午前中がひくく、午後4時ごろから大きくなり、夜間にも大きな値となる。とくに、午後10~11時頃に大きな値を示すことがある。この電導度の内容をみるため、図6-cに、塩素イオンとの関係を示した。水中の塩素イオンはすべてNaClとすると、塩素イオン1当量は存在は、電導度126.4 $\mu\Omega/cm$ に相当する。そこで〔電導度-356 $\times$ 塩素イオン〕の残差を示した。これは、両方のデータの比較の意味と、生活廃水と、それ以外の排水を区分しようとするものである。勿論、理論的に、塩素イオンすべてが生活排水から出るわけでもなく、逆に生活排水中にも電導度を高くする他の物質も多いので、この差がすべて、非生活系排水というのは、危険である。しかしながら、1つの目安なり、パターンとして、この残差をみる事は出来よう。この図によると、早朝と午後2時ごろが高い値となっている。それ故この時間帯の電気伝導度の増加は、非生活系のものによると推定される。

図6-bに溶存酸素の時間変動を示した。溶存酸素は、流入水中の値、流入水中のBOD、流路における消費及び、流入等のいろいろな因子の総合的結果であり、その数値はトータルなものである。夜間は $2\text{ mg}/\ell$ 前後で、12時～14時頃のピークで18時頃に再び、 $2\text{ mg}/\ell$ 前後となっている、ピークの値は、日により、曜

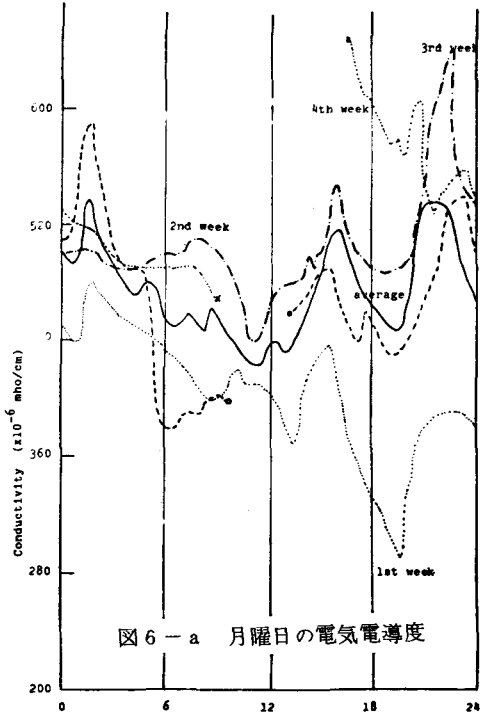


図6-a 月曜日の電気電導度

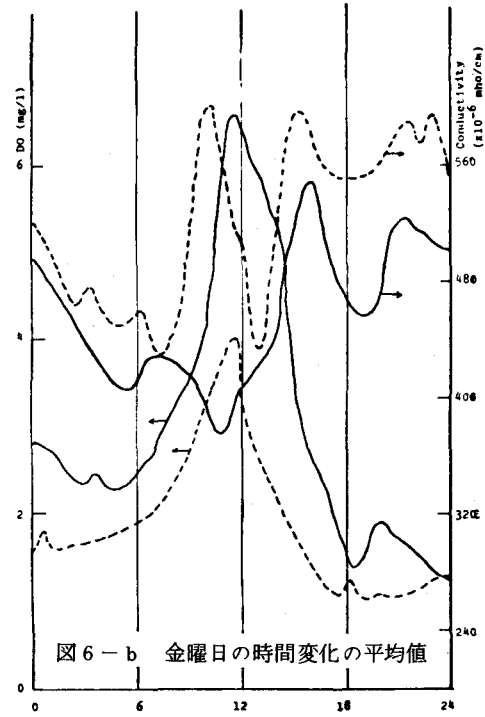


図6-b 金曜日の時間変化の平均値

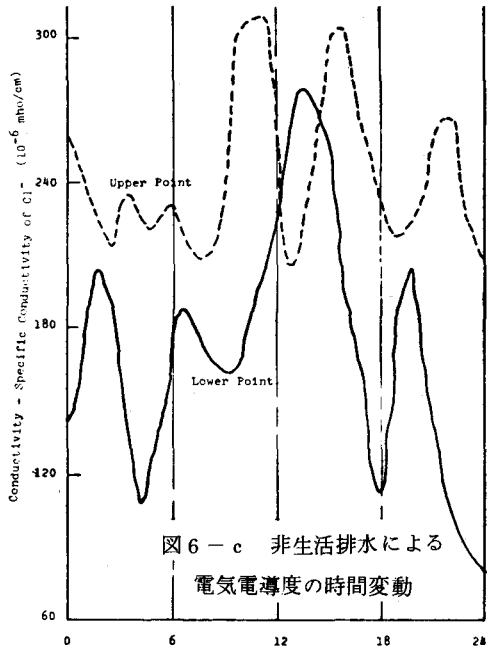


図6-c 非生活排水による
電気電導度の時間変動

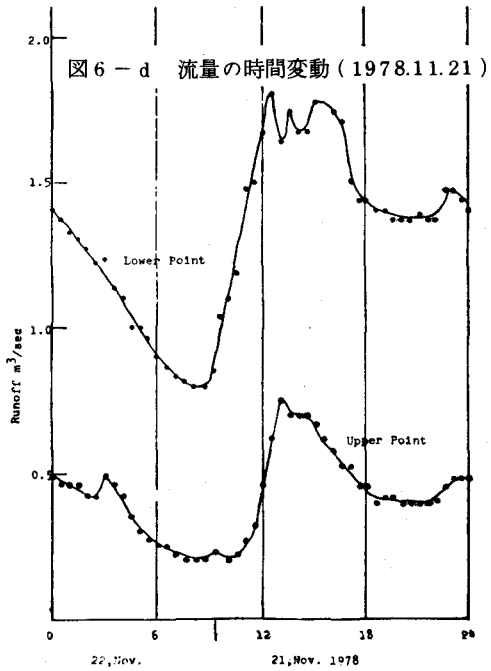


図6-d 流量の時間変動 (1978.11.21)

図-6 野川下流部の水質の時間変化

日により異なるが、ピークの発生時間には差がない。午前6時頃から徐々に増加しはじめ、9時～10時から急激に溶存酸素が増加しはじめる。このパターンは、光合成反応のさかんな湖沼の溶存酸素曲線に近い値を示しているが、この地点は、河川の流速が 80 cm/sec （流量 $1.9\text{ m}^3/\text{sec}$ のとき）と早く、かつ水質が、BOD $10\sim 20\text{ mg/l}$ であり、河床も、緑藻よりもSpherotilusのような薄茶色ないし灰褐色の水ワタ状の生物相であり、クロロフィルaに代表されるような、藻類はほとんどみられず $4\sim 6\text{ mg/l}$ も溶存酸素が増加する原因を単に光合成による酸素増加という事は、今後十分検討せねばならないと思われる。例えばPHは日間7.0～7.2でほぼ一定の値と示している。

図6-dは、この地点の流量パターンである。前に述べた通り、流量のデータがないので、ここに示した1月の流量変動はわからない。図6-dは1978年11月20～21日におけるデータである、この調査日の前3日間は降雨がなく、流量が比較的定常となっていた時期である。これによると、最低となるのは、午前9時から9時半であり、10時から11時にかけて、急激に増加する。水位にして、この1時間で 5.5 cm 上昇し、流量は $1.1\text{ m}^3/\text{sec}$ から $1.5\text{ m}^3/\text{sec}$ になっている。12時から14時にかけて、流量はピークを形成し、徐々に減少し、午前7時頃まで減少をつづけている。この日が、特異な日かもしれないが、同時に調査した野川の上流地点でもほぼ同じようなパターンを示していたことと、急に生活パターンがかわると思えないので絶対値はともかくとして、この地点の流量変動のパターンを示していると思われる。この流量変動は、下水処理場、上水道の配水地の流量パターンと較べると、最低となる時間、急激に流量が増加する時間、ピーク発生時は2～4時間の差が生じている。都会の新しい生活パターンを示しているのか、今後の検討を必要とする。

なお、この流量、電導度、溶存酸素の3つのパターンをみると、相互に関連しているように見え、これらの物理的組合わせによって、現象が説明づけられるようにみえる。例えば、溶存酸素の増加は、流量の増加と共に大きくなり、電導度にみられるような、汚濁物質の増加と、流量の減少により、低下するとも考えられる、このようなモデルが、どの程度正しいか、今後多くの調査を行ってあきらかにしていかなければならない。

この論文集には誌面の関係で、ほんの少しのデータしか示せなかったが、すでに述べたように、多くの情報があり、それぞれが別々の情報を提供している、野川上流部の水質は、下流部とほぼ同じパターンを示しているが、羽村は大きく異なっている。この地点の中は、小河内ダムからの放流水で、汚染源が少ないため、ダムの水が、その放流量に応じて流れてくるため、特異なパターンを示している。例えば、電導度は日中ほぼ $100\text{ }\mu\text{S/cm}$ 前後でほぼ一定であり、溶存酸素は、過飽和のときが多く、午前10時頃から増加しはじめ、16時がピークとなっている。

5. 考察と今後の課題

現在水質データは豊富であり、その1つ1つは、特殊な誤りさえなければ、正しく一つの環境の側面を示すものであろう。しかしながら、そのデータなり、表わされた環境が、全体の中でどのような位置づけにあるかをあきらかにしなければならない。そうでないと、えられた結果から誤った結論をひき出すおそれが出てくる。本研究は、そのような目的で行なわれた。水質データの統計的性質や、地点間の比較等について、多くの情報がえられたが、時間変動をみると、日データは、何を表わしているのかを考え直さざるをえなくなってしまう。救いとすれば、その絶対値はともかくとして、水質変動のパターンがほぼ一定であるから、日データとくに定時に採水されたデータは、統計的に十分意味のあるものであることがあきらかにされたと考える。水質データは、多くの情報をもつ故、今後とも、実際河川におけるモデル化を行い、現象の解明につとめねばならない。本研究を行うにあたり、資料の提供をうけた、東京都水道局、同公害局に、多大の感謝と申し上げる次第である。

(1)市川新：水理講演会（1976） (2)市川新環境問題シンポ（1978）

(3)原沢英夫他：環境問題シンポ（1978） (4)市川新他：水道協会誌（1976）

(5)東京都公害局：事業概要