

河川水質の日データおよび時間データの統計的性質

東京大学工学部 市川 新
兵庫県住宅都市部 村田 昌彦

1. 研究の目的: 水質データは数多く収集されるようになってきたが、その解釈や解析は、ほとんど行なわれていない。これは水質データを決定する要因が多く、その条件が同じような状態での水質データの収集を行うことが困難なために、1つの水質情報とよえるにすぎないからである。それ故、収集された水質データは、データ集に印刷されるか、単に管理ノートに記載されたままか、コンピューターに記録された状態にあるのが多い。本研究では、水質の特性とあきらかにするために、自動監視装置で測定されたデータを解析し、水質データ解析の方法論を模索せんとするものである。又、このような研究を通じて、今後のデータ収集計画を構築していきたい。

2. 解析に用いた資料: 東京都公害局では、1972年以來、都内河川に自動監視装置を設置し、水質のモニタリングを行っている。測定ヶ所は都内全域で29ヶ所で、多摩川流域では14ヶ所で、支川や取水堰で行なっている。測定項目は、共通項目と特殊項目に分かれている。共通項目は、水温・pH・浊度・DO・電導度・塩素イオン6項目で、懸濁物の塩素イオン以外はすべての地点で、観測されている。特殊項目は、COD、クロム・シアアン等であり、1ヶ所地点で行なわれているにすぎない。

測定は電極法で、1分おきに観測室(調査地点で20℃の恒温室)の自動記録用紙に打英されるが、記録用紙が長いことと、その振巾のとり方が大きく、変動が小さいため、読みとりにくい。このデータは10分おきに、テレメーターで都庁の中央監視室におくられ、そこで1時間分のデータから最大・最小・平均値を計算され、日報としてプリントされる。この平均値を1ヶ月分集めて、最大・最小・平均値を求めたのが月報であり、これとまとめて、年報が作製されている。一般に公表されているのは、この年報であるが、毎日の平均値が印刷されている。この10分間のデータは、磁気テープに残されている。1ヶ月29地点で磁気テープ一本分である。このテープの記録装置が旧式なため、現在多くの所で使用されている計算機と直接利用出来ない。本研究では、このテープを2回変換して、以下の計算を行った。

本研究では、多摩川水系11地点のデータのうち、羽村(玉川上水取水地点)野川I(多摩川合流点から8.8km上流の調布市調布ヶ丘3丁目)野川II(多摩川合流点1km上流の世田谷区鎌田1丁目)の3地点について、考察を行った。羽村は汚染のない自然に近いバックデータであり、野川は、汚染河川の代表である。野川で2ヶ所選んだが、その区間に仙川が流入しており、両者の水質には相関は認めにくい。又、対象としたのは、1978年1月・8月・11月の3ヶ月である。この月の降水量はそれぞれ、28mm、26mm、65mmであり、11月の場合には13日に31mmの降雨があり、それ以外はまとめて降雨の少ない期間といえよう。

なお同地点の流量は、測定されていないが、東京都土木研究所や当研究室で実測したデータと基にして解析するが、11月についてしか、データはない。

3. 日変動: 図1は1週間分($6 \times 24 \text{ 時} \times 7 \text{ 日}$)1008コのデータをプロットしたものである。プロットの区間を1区間にしたのは、区変化を考慮したのと、定期交換が約1区間に1回あるので、その影響をみるためであるが、最大の理由は30日分のデータと一度にみられるようにするためである。定期交換は、電極の洗浄と、午分析による電極測定値の更正を行うものである。この図-1からみると、電極洗浄後3-4日は、ほぼ同じ水質の変動パターンを示しているが、そのあと感度が低下している。それ故定期交換の頻度を、週1回から2回に上げることで、測定結果の信頼度が上がるものと思われる。なお、降雨日の変動もかなり明確にみとめることも出来る。

DOの日間変動をみると、朝6時から7時頃まで最低であるが、その頃から急激に増加しはじめ、12-13時に最大となる。1月でいうと最大8mg/lとなるが夏には飽和度130-150%の値がみとれる。一方羽村では、

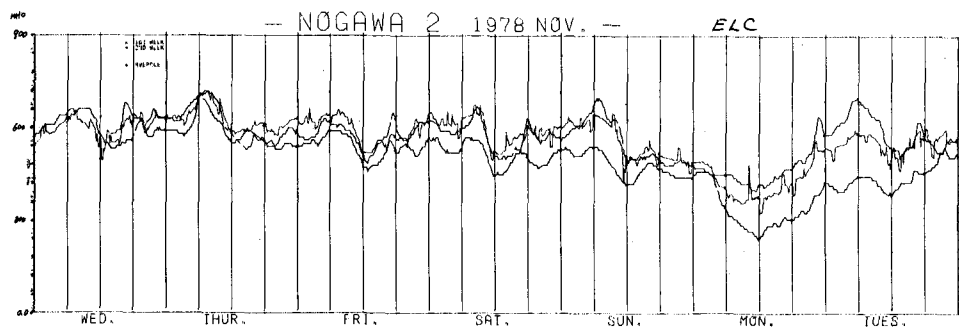
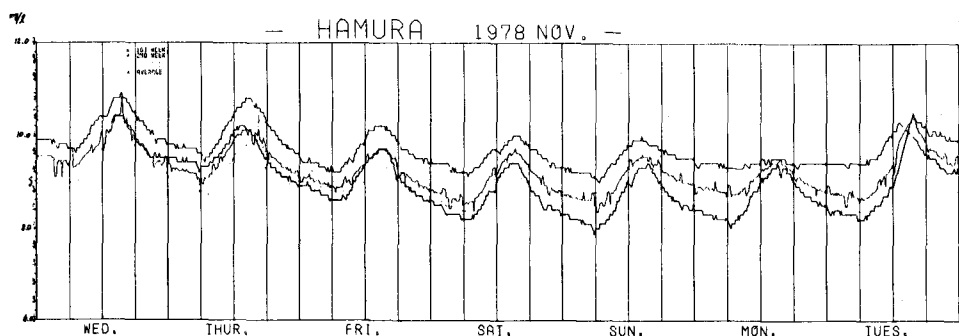
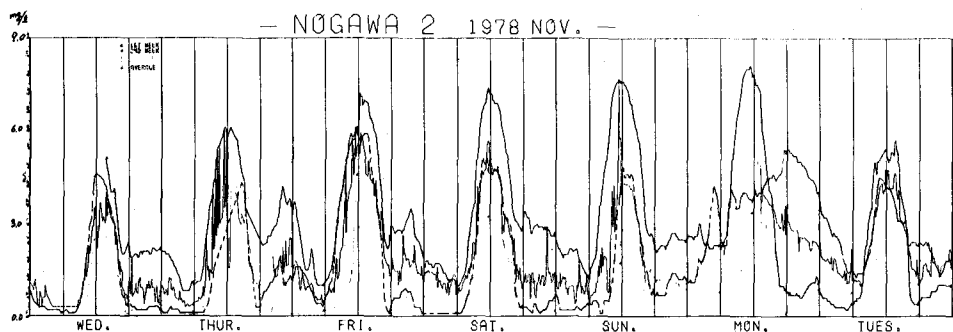
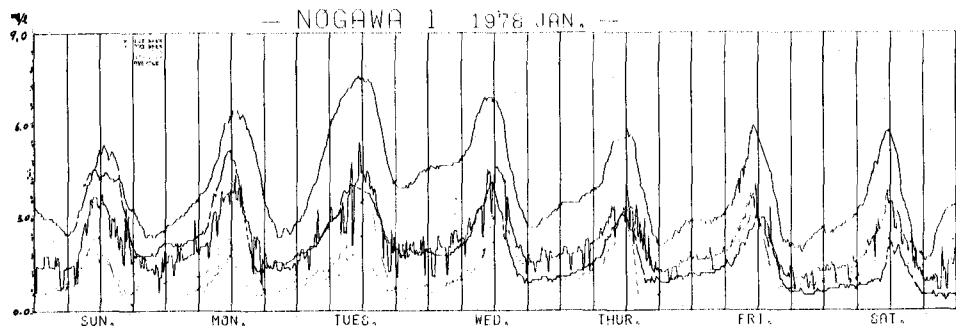


図1. 氷量データの日変動

最低値が $4 \sim 5 \text{ mg/l}$ であり、野川と同じく晝間に DO の増加が認められる。とくに8月には飽和度が 130% 近くになっており、この事からこの DO 変化は光合成作用によるものと推定される。しかし、光合成作用とするにはいくつかの疑問点が生ずる。第1点は、羽村地突のピークが $14 \sim 15$ 時にあり、通常の光合成反応に基づくピーク到達時間より $2 \sim 3$ 時間おくれている事である。第2点は、とくに野川地突の表流水中には、クロロフィル a 量をかためて少ない事である。第1点については、光合成反応の場が河川ではなく、上流の小河内ダムの内部で行なわれているのではないかと考えられる。しかし距離が 32 km あり、ここに到達時間は、流速 2 m/sec としても4時間かかり、かつ発電機と通ってくるので、過飽和の状態が維持されるかと考えられ、これだけの理由と考える事に若干無理がある。第2点については、後で詳述するが、野川I地突での流水中のクロロフィル量は、 30 mg/l 程度であり、これによるものだけでは説明がつかない。野川では15時から30分程度、急激に減少し、 0.5 mg/l となっているが、降雨時にはこの減少の仕方はかためて緩慢である。なお pH は、 DO 変動に対応する形で上昇し 8.5 程度になるが、野川の11月についてみると、ほとんど変化していない。

電導度は溶解性物質の指標であり、かつ電極で精度よく測定されるものであり、自動監視システムの中核となる項目である。排水が流入しているが、その量が少なくなったため、電導度は変動が大きく、その瞬間毎の水質を示していると考えられる。羽村では、汚染がなつたために、 $90 \sim 110 \mu\text{S/cm}$ であるが、野川では、 $600 \sim 900 \mu\text{S/cm}$ とをかためて大きな値となっている。そして、その値は、時間毎に変動している。全体としてみると、野川Iで、正月3ヶ日は、他の週に較べて低い値となっているが、これは家庭や事業所の両方で日常的な活動が行なわず、流出汚染物が少なかったためと思われる。しかし同じ期間の野川IIでは、他の週とほとんど差は生じていない。

塩素イオンは測定値の信頼性が、電導度に較べると小さくといわれているが、全体の傾向は、電導度と同じようなパターンとし、最大 300 mg/l が記録されている。野川Iでは、正月の影響が認められたので、先に述べた電導度の特性は、測定上のミスとは考えられない。塩素イオンを電導度に換算すると 1 mg/l は $0.356 \mu\text{S/cm}$ に対応する。塩素イオンは、生活排水の指標といわれているので、塩素イオン換算分を生活系とし、これと電導度の差を非生活系のものとみなして、図に示した所、ほぼ一定となっており変化しなかった。

4. 平均値による日変動。毎日の変動パターンは、日により、週により変化しているので、同時刻のデータと1ヶ月平均して、図に示した。欠測値は除いて平均を行つた。前に述べたように、定期点検の期間が1週間あり、電極感度が劣化しているので、これと総平均化する事は若干乱暴であるが、日変動の第1近似の意味で求めたものである。このようにしてみると、水質の日変動がみえらふとなる。 DO については、既に出べたように日中の光合成作用による急激な上昇と、15時に降の急激な減少がよみとれ、最大値は野川で12時、羽村で15時となっている。この増加のパターンは、 pH とほぼ、同じパターンを示している。このパターンは、月によってその絶対値は異なるが、ほぼ同じパターンを示している。但し野川では、1月・11月については、 pH はほとんど変化していないが、羽村では、この3ヶ月ともほぼ同じ値をとっている。なお注意すべき事は、羽村では奥多摩湖の影響があり、8月の水温がピークで $12 \sim 13^\circ\text{C}$ であり、11月の方が大いぐうであり、それが DO 等の水質に大きな影響を与えている。

電導度は、羽村では、日中の変化はほとんど認められないが、野川ではかなり大きな変動をしている。いずれにせよ午前中は低く、午後3時頃最大となり、6時頃一過小な値となり、夜再び濃度が上昇している。前にも述べたように、電導度は汚染の指標となるなら、日中大きくなる筈で、活動の低い夜に大きな値となる事は、あまり考えられない。なおこのパターンは、塩素イオンもほとんど同じであり、両者の相関が大きい事がわかる。

4. 流量。流量は全測点で測定されているが、野川Iの11月には時間毎の流量が求められているので、これを利用して解析を行う。東京郡土木研究所では水位と測定し $Q = 12672(H - 0.003)^2$ (Q : 流量 m^3/sec , H : 水位 m) で換算したものである。このデータとみると11月の降水日と除くとほぼ一定のパターンとし、これは、秋田の実測した結果と一致していた。すなわち、午前9時半頃に最低で、それから急激に水位が上昇し、

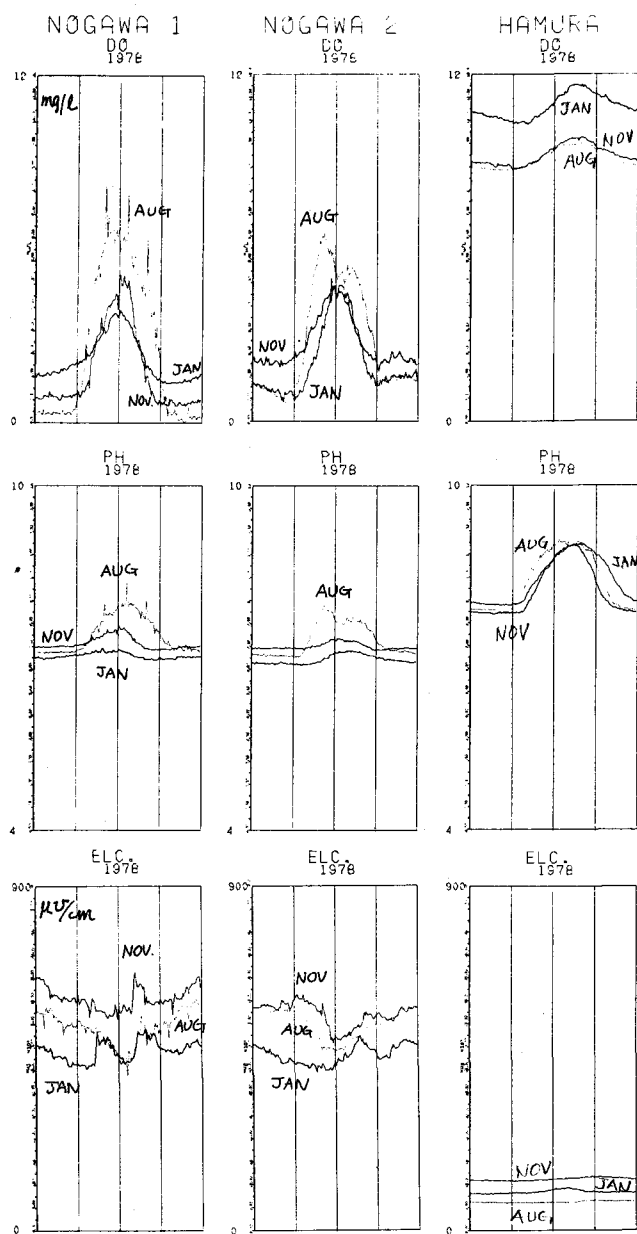


図2 日間変動の月別平均値

も同様である。

DOについてみると、1月11日は18時から朝6時迄一定であり、12時と頂点とした対象の三角形となっている。夜の酸素量と基底量とし、昼間の増加分を、光合成その他の増加量とすると、1月は38.4kg、11月には、64.8kgの酸素が増加している事になる。8月については、9時から15時迄ほぼ一定の台形とみなせる。このときの増加量は、136.8kgと1月の約4倍となっている。電導度についてみると、午前9時頃最低で、14時迄ほぼ直線的に増加し、14～15時にピークがあり、18時迄減少し、夜中ほぼ一定で、24時と再び午前9時頃まで単調に減少している。このパターンは、月により最大となる時刻、絶対値については、差があるが、基本的なパターンはか

11時迄のわずか1時間半の間に流量は約60%増加し、その後減少してゐる。このパターンは、上水道や下水道の水利用のパターンに比べると約2時間ほどおくれてゐる。この地域の上水道(三鷹・調布)の配水量のパターンは、教科書通りであり、ここに示した図とは異なっており、その理由はおもむくにする事は出来なかつた。図には、野川1・2における、実測値と示したが、2地点ともほぼ同じパターンを示してゐた。なお、11月には降雨があつたが、流量の増加は3～6時間であり、すぐに無降水日のパターンに復してゐた。この流域の出水パターンも市街地型で、流域内での貯留はほとんどない事がわかつた。

この流量パターンを用いて、負荷量と求め、これを図に示した。水位測定は各時刻の定時に行なわれてゐるが、自動記録の欠測値が多いため、10分ずらし、各時刻の10分のデータを用いて、負荷量を計算した。なお、ここで1月・8月についても11月の流量と基にして負荷量と計算したものである。流量のパターンは同じで絶対値が異なると考えられるので、図の絶対値でなく、変化のパターンを読みとってもらいたい。

負荷量の計算は次式である。

$$\text{負荷量(kg/時)} = 3.6 \times \text{濃度(mg/L)} \times \text{流量(m}^3/\text{分)}$$

図中の単位は、時間当りの負荷量とkgで示したものである。但し電導度は、(μV/cm)に流量をかけたものであり、単位は意味がないが、パターンは重要である。温度

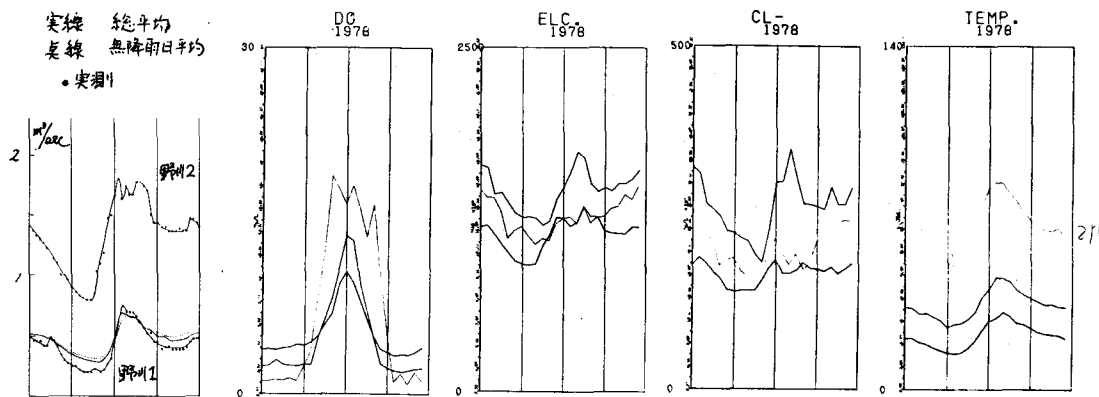


図3 流量の時間変動

図4 負荷量の時間変動 (単位 ㎫/時): 野川(1) 地長:

めらな。このパターンは、塩素イオンについても同様な事がいえる。温度の負荷量はあまり意味がないが、河川のもうエネルギーの時間変化とみなす事が出来るが、そのパターンは、ほとんど一定であるのが興味深い。

5. 時間データの確率分布: 1日の水質がどのような値をとっているかを見るため、観測された1日のデータ/44コ(欠測値は除外する)を順序数に並びかえて、図5に示すように、対数確率紙上にプロットした。プロットは、トマスプロットである。ここでは10%おきの値のみをプロットしてある。DOについてみると、羽村では、直線近似(対数正規分布)出来るが、野川では、月により分布形が異なっている。1月は、ほぼ直線と近似出来るが、8月は逆S字形となっている。これは図2にも示したように、夜の高濃度から、日中の高濃度へと急激に増加・減少するため、その間のデータが少ない事による。11月は、1月と8月の中間形を示している。この図は、図2に示した月間平均値の図であるが、日毎にどのような分布を示しているかとあきらかにするため、図6に、日毎の確率分布とプロットし、これを、 $\log(DO)$ 。ここには野川1の1月のデータしか示さなかったが、3日の雪の日にDOが大なる値となっているが、10日から、約2週間、日毎の変動はあまり認められない。1月の初旬が大なる値となっているのは、正月のためと考えられる。

電導度についても、図5と同じよう図を作製したが、羽村のDOと同じような分布形を示していた。参考に図7に、毎日の確率分布を示しておく。

1月上旬は、正月と雪で低濃度である。

6: 時間間断採水データの評価
水質の日間変動が大きいため、何時どのような採水を行うべきかが問題となる。建設省の河川砂防技術基準では、1日4回の採水を行う事を原則としているが、この原則がどのような意味をもつのかを検討してみる。

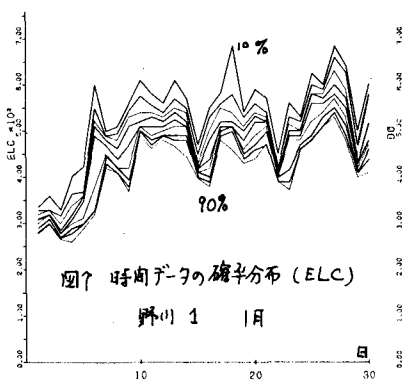


図7 時間データの確率分布 (ELC)
野川1 1月

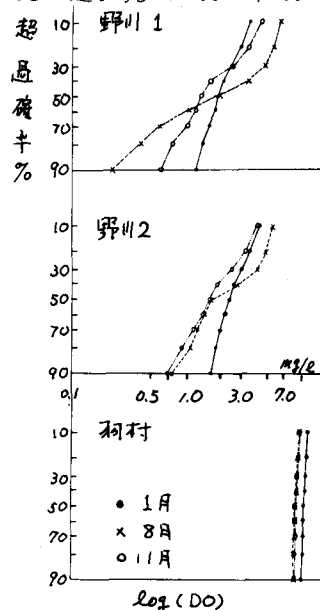


図5 時間データの確率分布

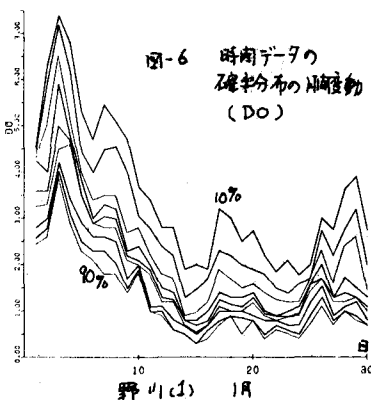


図6 時間データの確率分布の時間変動 (DO)
野川(1) 1月

図7は、横軸に日間データの平均値をとり縦軸に、6時間おきの4つのデータの平均値をとり、プロットしたものである。データは夜0時から6時間おきにとったが、8月についてのみ、3時から6時間おきの値をあわせて示し図中に印で示した。図中の実線は、平均値から10%のずれを示したものである。DOについて

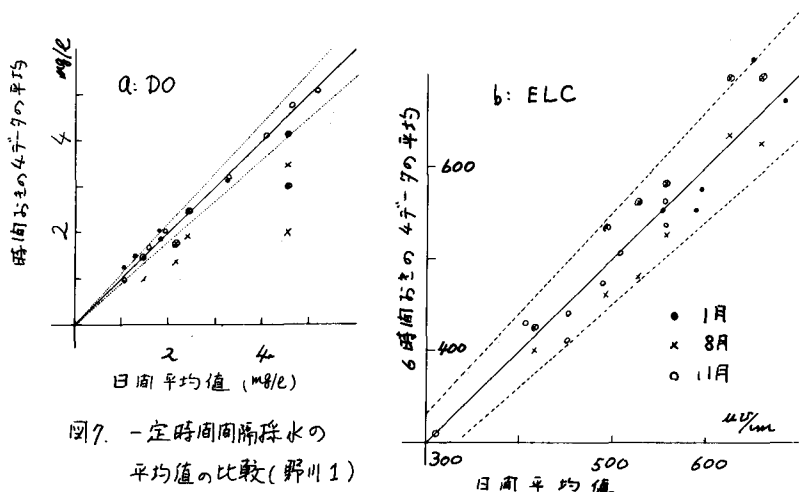


図7. 一定時間間隔採水の平均値の比較(野川1)

ていえば、8月を除けば、1日4回のデータで、ほぼ、日中の全平均値を示すことがわかるが、8月のように、日変動の大きな河川では、4つの平均は、その地先の代表値とはなりにくことを示している。ただ同じ4回の採水でも3時から採水と4時行方により、半表値に近づくことが示されている。一方電導度についてみると、図7bに示したように、日間平均値の10%の範囲内にある事がわかる。

7. 定時採水のデータの検討: 水質データのとり方として、浄水場、下水処理場では、定時採水を毎日行っている事が多く、このデータに基づいてその地先の水質と検討する事が多い。この定時調査からえられる情報などのようなものであるかと検討してみる。ここでは、1ヶ月定時採水を行ったときの30ヶのデータを図8にトーマスプロットしたものである。定時として、ここでは、9時から3時間おきにとっている。羽村では、採水時刻に関係なくほぼ同じ分布を示しかつその値は、図5に示した時間データの分布と一致していた。この事は定時採水が、その地先の代表的な水質を示している。図8は、野川1地先のデータであるが、これによると、採水時間により、変動が大きい。DOの場合は当然日中高く、夜低値となっている。午前9時の場合は、少し大き目の値となっており、15時頃が、ほぼ中央の値となっている。図8の●印は、図5に示した分布形であるが、15時の採水データの分布が、時間データの分布形ともあわせて近い形となっている。この事は、15時の定時採水の資料からえられる各種の統計値は、その月の代表値であるだけでなく、日変動を含めた時間データの代表値とも示す事がわかる。図面の関係で電導度は示さなかったが、電導度の場合は、DOのような時間変動はなく、同じように15時の値が、日変動の分布形に一致していた。

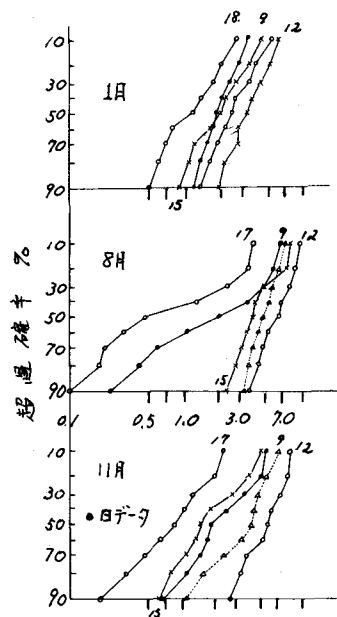


図8 定時採水の分布(DO)

これらの事から、羽村のように非汚染型の河川では、極端に言えば、何時調査しても、いくつかの平均と比べ、ほぼ平均的な値がえられるが、野川の場合のような、汚染河川では、採水時間が極めて重要である事を示している。

8. 結語: ここには、一部の地先でかつ1時期しかとり上げなかったが、それでも23万コのデータとなる。これから得られる情報は限りなくあり、今後検討を加えていきたいが、今回の報告で、自動監視データの有用性が少しでもあきらかになれば幸いである。

本研究の資料を提供して戴いた、東京都公害局、計算及び図面作成として戴いた東大横山道彦技官に感謝する。