

多摩川の流量・水質の構造解析

東京大学 ○市川 新・原沢英夫

①はじめに： 最近、確率水文統計学に代表されるように数々の手法が、河川の実態把握に用いられるようになり、その有効性に関して多くの研究がなされているが、水量・水質にしても、その実測が、精神的、技術的、システムの困難なことと、これらの現象が複雑で、多々の因子の影響の仕方が対象とする事象ごとに異なるため、これらの数学的手法の有効性の検証が十分であるとはいいがたい。

本研究においては、東京・多摩川における各種の水文資料の入手が可能となったので、これらのデータを用いて、データの統計的性質をあきらかにし、かつ、従来開発されている手法による検証を行っていきたい。しかしながら、現在のところ、データバンクの作製に手間どっていることと、研究が緒についたところなので十分な成果は得られていないが、研究成果の一部をここに報告する。

②対象河川とデータ： 多摩川の流域は図1に示すように、流域面積1200Km²、流路延長120Kmの一級河川である。

用いたデータは表1に示すように、各機関で測定されている流量・水質の日データである。測定されている水質は、濁度・PH・アルカリ度・COD・アンモニア性窒素(NH₄-N)・電導度である。

小河内・羽村は多摩川上流で都市化の影響を受けていない所、石原は中流で、ここ10年間に急速に都市化された地域からの流れを受けている所である。小河内では、昭和32年以降ダムで貯水され、羽村では江戸時代以来、上水道として取水されており、流量は人為的な影響をうけている。調布堰は下流で、流域内の推定人口は180万人をしめるといわれており、各種の排水が流入している。この地点の表流水が、大正7年以来上水道水源として利用されてきたが、昭和45年9月に水質汚濁のため取水停止され今日に及んでいる。なお、この地点は、取水堰が防潮堤をかねており湛水部の水質資料である。 ①環境庁(1975)

③月代表値による解析： 表1に示したような膨大な日データが存在するが、それを直接扱うことが困難であるため、最初に月単位でデータを取扱うことにする。

図2に年間変動をみるために、1972年の小河内地点の流量・調布堰地点の水質について、月平均値と超過確率値(紙面の関係上、30・70%のみを記した。なお、超過確率30%値とは1ヶ月30(又は28、31)個の日データを順序数に並びかえ、上から30%(9番目)をとったものである。)をプロットした



図1 多摩川流域

	地 点	流域面積	河口からの 距 離	期 間	年 数	機 関
流 量	小 河 内	263 Km ²	92 Km	1924~1972	49	東京都水道局
	羽 村	488	54	1919~1972	54	〃
	石 原	1040	28	1952~1972	21	建 設 省
	調 布 堰	1190	13	1946~1972	27	東京都水道局
水 質	砧	—	21	1970~1972	3	〃
	調 布 堰	—	13	1955~1972	18	〃

表1
観測地点とデータ

ものである。この図の3本の曲線を比較してみると、流量と濁度は夏期が大きく、冬期が低い値となっているが、超過確率70%曲線でみると、年変化はほとんど認められない。平均値の場合は、冬期は30~70%の中間にあり、50%（中央値に相当する）に近いことがわかるが、夏期には30%値をこえていることがあり、季節によりデータの分布が異なることがわかる。ここで示されたように、代表値毎に、その位置づけが異なるので、1つの代表値をとって比較出来る範囲が限定されており、経年変動等についてデータの比較を行なう場合には、データの統計的性質をあきらかにする必要があると思われる。

一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$ については、流量・濁度とは逆に、夏期が低く、冬期が高いパターンになっている。冬期に比べて、夏期に低い値を示しているのは、流量による希釈効果の他に、夏期の高温時に硝化反応が進行することも考えられる。CODについて

も、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と同じように、冬期に高く夏低い傾向を示すが、7月、9月では流量変動と似たパターンを示し、その平均値は超過確率値30%を大きく上まわっている。

図2において、平均値、超過確率値30・70%値を示したので、大略、日データの月間分布が類推できるが、これをさらに詳しくみるために、図3に月平均値、超過確率値（10~90%）を、流量・水質ともに変動の大きい9月、比較的変動の小さい1月について、対数正規確率紙にプロットした。まず、1月についてみると、濁度を除く指標では、累積分布曲線はほぼ直線と考えられ、その傾きが小さいことから標準偏差も小さいことがわかり、平均値は30~70%値の間にある。このことは、このような時期の流量、COD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の測定値は、若干の変動があるにしても大きな差はなく、数個の測定値から、分布等の推定が可能であることを示している。濁度は、超過確率20~10%、さらにそれ以上の値に対して大きな値をとり横にねている。そのため、平均値が超過確率20%に近い値となっていることがわかる。一方、9月についてみると、指標ごとに差はあるが、1月に比べれば、直線とはいいがたい。CODについてみると、ここで示した区間において、直線近似も可能と思われるが、平均値は超過確率15%近くになっている。流量の増加時、すなわち初期降雨時のCODの日変化では1~3日間程度高濃度になることがあり、その尖頭濃度により平均値が大巾に増加することがすでに示されているが、ここでもそれと同じ傾向を示している。図に示した期間、9月、12月のCODの最大値は、それぞれ633、380mg/lであった。

以上の検討から、月平均値のみでは、流量・水質の変動を適切に表現しきれない場合もあり、こうした平均値の欠点は、超過確率値を補助的な指標として用いることにより、ある程度カバーできると考えられる。

図2で示した年間変動が、一般性をもつかを検討するために図4に、調布堰地点の流量・COD・ $\text{NH}_4\text{-N}$ の月平均値、超過確率70%値を18年間プロットした。図2でみたような、各指標ごとの年間変動が毎年くりかえされているが、こまかくみると、各年の月最大値・最小値、その発生する月、観測値の巾等に変動が大きく、指標ごとにもかなりの差がみられる。COD・ $\text{NH}_4\text{-N}$ では、月平均値でみると、ともに

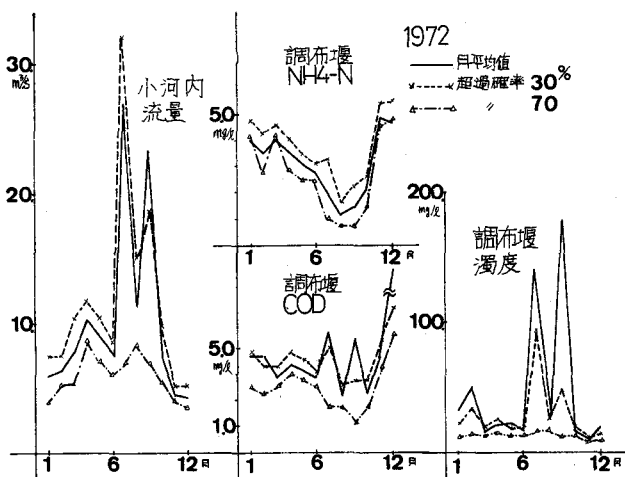


図3 流量・水質の年間変動

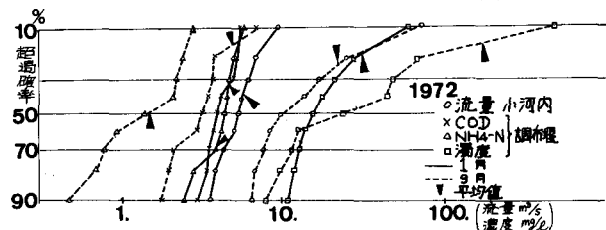


図4 累積分布曲線

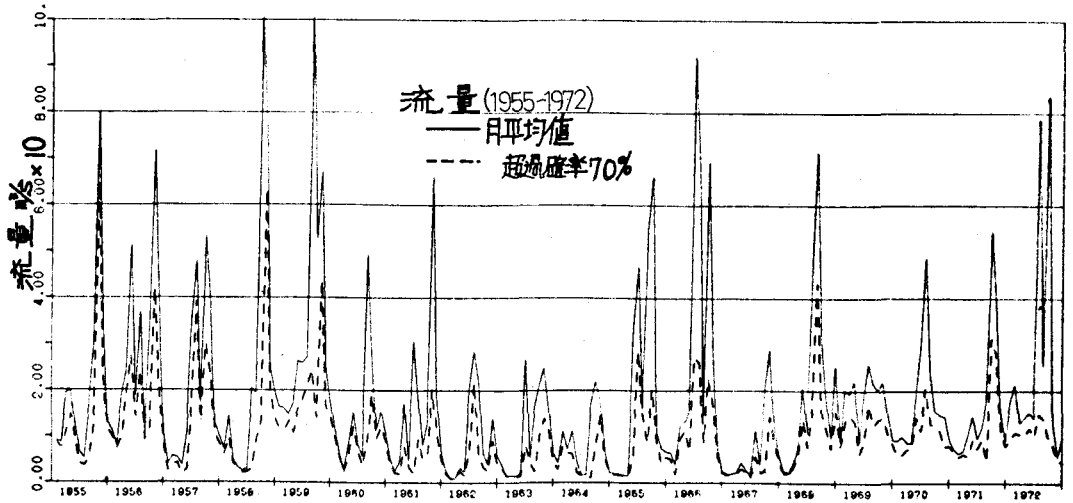


図4-1 調布堰地点流量の経年変化

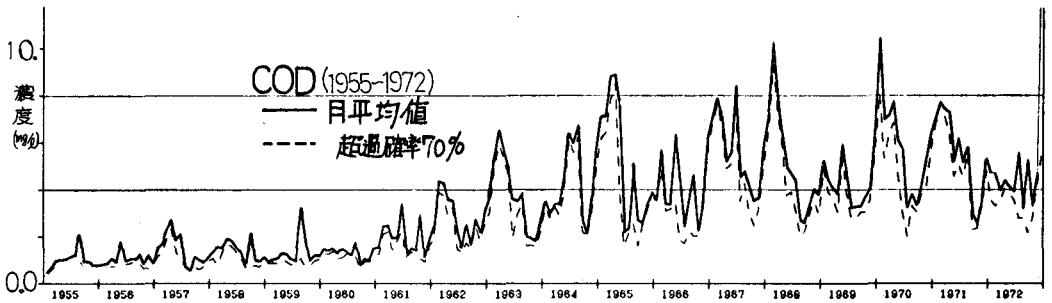


図4-2 調布堰地点CODの経年変化

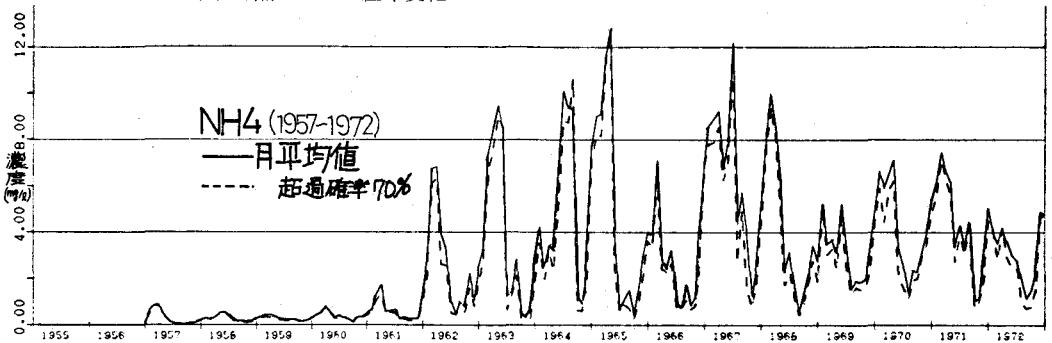


図4-3 調布堰地点NH₄の経年変化

1960年以降、各年の月最大値と月最小値の差が増大しており、各年の月最大値は1965年まで上昇し、それ以降、月最大値はバラついており、一定の傾向はみられない。月最大値の生じる月も一定していない。各年の月最小値も、月最大値とほぼ同様な変化を示している。

超過確率70%値でみると、NH₄-Nでは、ほぼ平均値と同じパターンを示し、その差も小さいが、CODでは、パターンが異なる場合がある。例えば、1966年9月のように、月平均値が急激に増加するときにも超過確率70%値はそれに対応して増加しないことがある。こうした特徴は、全期間をどうしてみられ、いずれも夏期であり、出水の影響と思われる。

流量では、月平均値、超過確率70%値による年間の変動パターンはいずれも年毎に異なっている。しか

しながら、月平均値・超過確率70%値の差でみると夏期では大きく冬期では小さいという共通した特徴が各年でみられる。

図5に、年毎の変化をみるため、CODについて1956年以降、1年おきに1月・9月の累積分布曲線を示す。1月では、累積分布曲線が年毎に右に移行し、1970年が最大となり、1972年では逆に減少している。曲線の傾きは年毎に緩くなり、分布も正規分布からはずれてくる。このような1月の分布の変化は、対象期間を1年間とした場合の累積分布曲線の変化^②に対応している。また、図には平均値の位置も示してあり、ばらついているが、ほぼ超過確率30～70%の範囲にある。②市川：水道協会証1976)

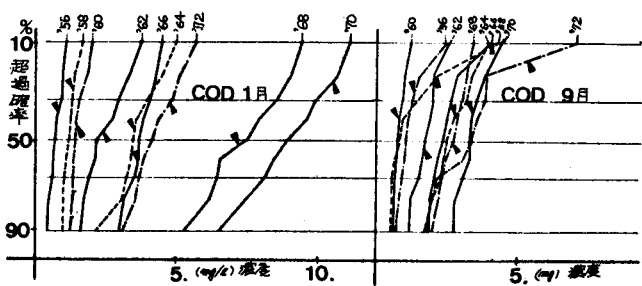


図5 COD(1月、9月)の変化

この図から、1月のCODの日データは各年ごとに異なる母集団に属しており、いずれの代表値をとっても長期変動(トレンド)が存在することがわかる。

一方、9月については累積分布曲線の位置が毎年移動しているが、1月の場合のように1970年まで増加するといった傾向はみられない。分布曲線の傾きは、各年でほとんど変化がないが、図3でみられたように超過確率20%点前後で曲線が折れており、平均値に相当する超過確率値が高くなっている年がある。これは、9月の流量の変動に対応するものと考えられるがその定量的な因果関係は今後検討していきたい。

④無降雨期間の流量・水質； ③での検討から、1月の水質の分布がほぼ正規分布に近似できることがわかった。その理由として、1月の流量が安定しており変動が少ないことがあげられる。しかし、1月にも降雨があり、降雨時に高濃度が発生する例もあり、「1月」という暦上での機械的な区分では、年により極値を含むことがあり分布形も異なることがわかった。そこで、流量の変動要因を消すために、降雨のない期間について水質の変動を考えてみることにする。無降雨期間として、観測地点東京の無降雨日が、30日以上継続する期間と定義すると、対象期間1955年から1972年までの18年間に5回の例がみられ、表2に詳細を示している。この無降雨期間はいずれも冬期である。この期間の累積分布曲線は以上のことから1月

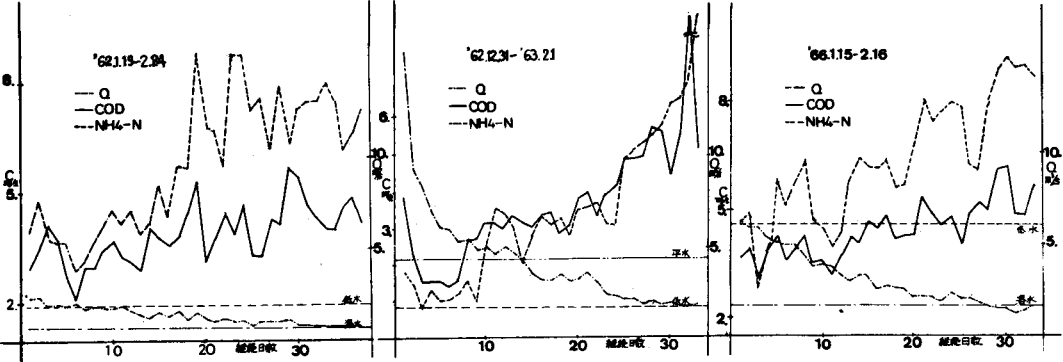


図-6 無降雨期間の流量の水質の変動

表2 無降雨期間の流量・水質の平均値と標準偏差 ()内は標準偏差 (mg/l)

ケース	期 間	日 数	流 量 (m³/sec)	C O D	NH ₄ -N
1	1956.1.21.10~	38	6.86 (1.76)	0.99 (0.27)	0.24 (0.30)
2	1962.1.19~	37	1.50 (1.34)	4.08 (0.74)	6.24 (1.50)
3	1962.1.23.1~	33	3.14 (1.18)	4.14 (1.67)	4.03 (1.80)
4	1966.1.15~	33	2.57 (0.86)	4.69 (0.82)	6.80 (1.58)
5	1969.1.2.8~	54	7.14 (1.66)	8.13 (2.22)	6.23 (1.25)

表3 流量と水質の相関係数

ケース	C O D	N H ₄	濁 度	アルカリ度	電 導 度
1	-0.387	-0.853	-0.424	-0.009	-0.652
2	-0.313	-0.069	-0.021	-0.012	-0.003
3	-0.704	-0.800	-0.202	-0.810	-0.779
4	-0.805	-0.810	0.606	-0.900	-0.753
5	-0.508	-0.578	0.072	-0.747	-0.517

のそれに近いことは当然であるが、その日変動をみるために図6に3例について日変化を示した。

まず、流量についてみると、同じ無降雨期間といっても様でなく、ケース2では、30日以上ほぼ全期間 $2\text{ m}^3/\text{sec}$ 以下で、一定の巾の中で分布しているが、ケース3では極めてゆるやかに減衰している。この減衰部は、この期間の前日ないし前々日の降雨の影響のみでなく、その前年の流況の影響が出てきているものと考えられる。図4でみたように、同じ超過確率70%（低水流量は超過確率75%に相当する。）の値が、年毎に異なることが、無降雨期間における流量に影響を与えているものである。なお、無降雨期間の初めの7日間を除いた部分における流量・水質の平均値、標準偏差及び相関係数を表2,3に示す。

水質についてみると、各ケースについて、流量の減衰部に相当する7~10日間は低濃度であるが、流量が安定した2週間位から、濃度の急上昇がみられる。この濃度の増加はCOD・NH₄-Nの両方にみられる。相関係数はこうした流量と水質の関係を示す1指標であり、ケース3,4では濁度以外の水質は流量とかなり負の相関が高いことを示している。また、ケース2の場合のような流量が極めて安定した時では相関はほとんどなく、水質データの変動が大きいが、これは下水処理場、工場、屎尿処理場の排水源からの流出が安定していないという人為的影響なのか、水質指標のもつ変動要因（noise）なのか、これだけのデータではあきらかではないが、今後検討すべき課題と思われる。

⑤自己相関係数：以上 指標、代表値、期間、地点等について、日データの統計的性質が異なることをみてきたが、次にそれぞれの自己相関係数をとって比較検討する。図7-1は、月間平均値によるものであるが、年周期が顕著であること、地点間にそれほど差がみとめられないことが示されている。図7-2は、非超過確率でみると1年という周期性が平坦化し、11~13ヶ月となっているが、興味深いのは図3で、年変動が顕著にみとめられなかった超過確率70%値による自己相関係数も他の代表値と同様12ヶ月の周期がみられることである。図7-3は、小河内ダム使用前後について比較したものであるが、有意な差はみとめられなかった。図8は、水質についてみたのであるが、水質には長期傾向があるので、生のデータでは、周期性は出てこないが、そのデータの前後1ヶ年の平均値をとると、流量のそれに近いパターンが出てくる。とくにCODがもっとも流量に似た図となっているが、NH₄-Nでいえば、年周期が明確には出ていない。又、濁度については他の指標と異なる傾向を示している。図8は、日データから365日1年め移動平均を引いたものであるが、スケールの差はあるが月間平均値とほぼ同様なパターンを示している。図9は、無降雨期間について示したが、指標、時期地点によって変化が多く、一般的傾向はみとめられない。

⑥おわりに； 以上、膨大な資料をもとにデータの統計的性質をみてきたが、予想通り、これらの現象が複雑で、構造はあきらかでないが、これらのデータの持つ意味が、おぼろげにあきらかになりつつあるというのが実情で、今後とも研究を進めていきたい。

図7-1 地点別月平均値による自己相関係数

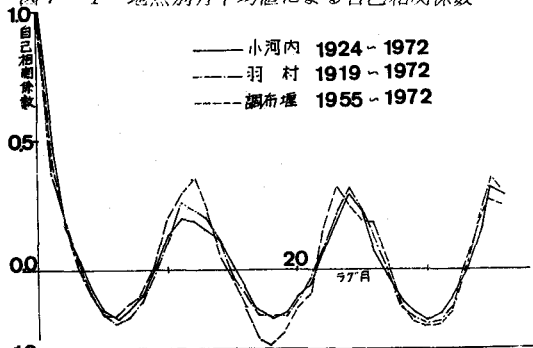


図7-2 月超過確率30.70%による自己相関係数

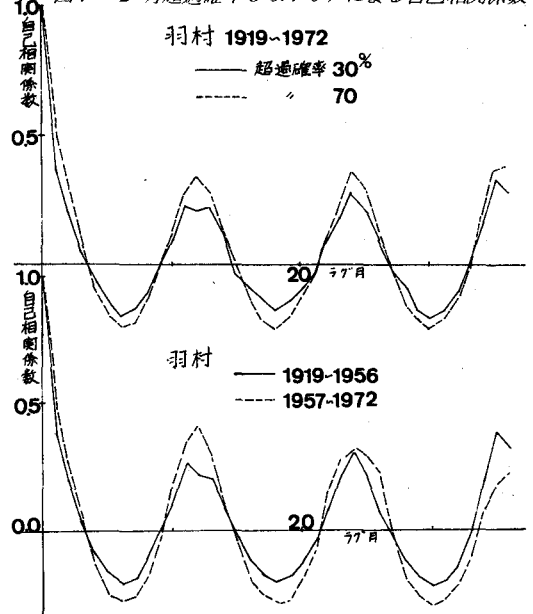


図8-1 調布堰地奥 流量の自己相関係数

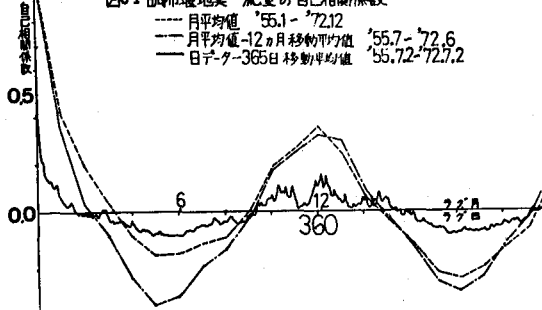


図7-3 期間別月平均値による自己相関係数

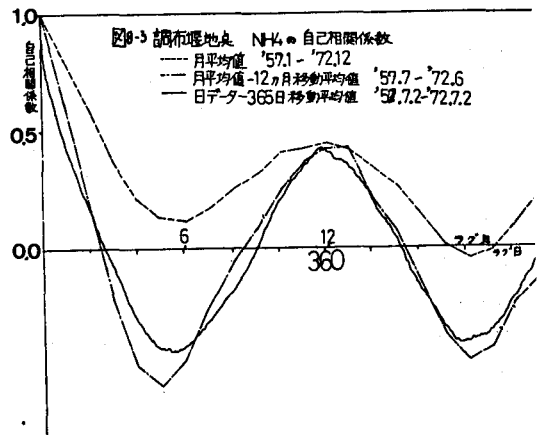


図8-2 調布堰地奥 CODの自己相関係数

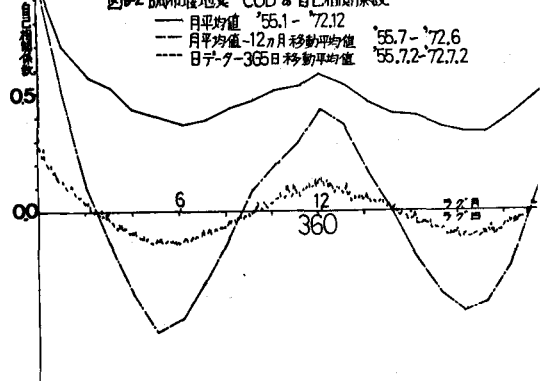
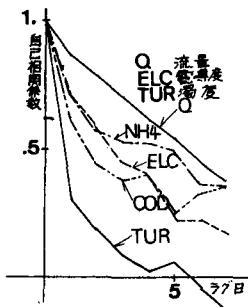
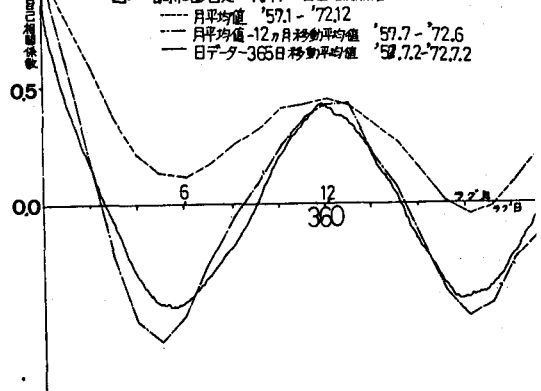
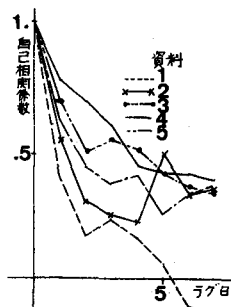


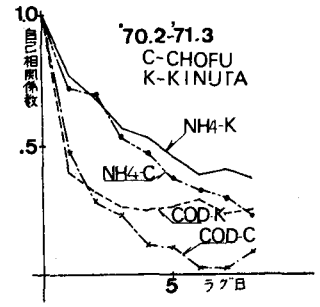
図8-3 調布堰地奥 NH4の自己相関係数



①無降雨ケース③



②COD



③調布及び砧地点

図9 日データによる自己相関係数