第24回水理講演会論文集　1980年２月

河川における雨天時水質の挙動について

On the characteristics of water quality in a river on a rainy day

建設省土木研究所　正　員　浅　野　富　夫
建設省土木研究所　正　員　馬　場　洋　二
建設省土木研究所　学生員　伊　藤　雄　二
建設省土木研究所　　綿　貫　克　彦

１．はじめに

河川における水質問題は，近年における都市的生産活動の活発化あるいは環境意識の高まりとともに，その重要性を増しつつあり，晴天時及び雨天時における河川水質の挙動が実測あるいはシミュレーションなどにより検討されてきた。たとえば，長期にわたる定時観測に基づく新田（多摩川）[1]，羽田（雄物川）[2]，山口・吉川（淀川など）[3]などの研究，また個々の出水を対象とした短時間間隔の観測に基づくものとしては，まず大河川を対象とした村本・道上・下島（宇治川左支川大戸川）[4]，市川（多摩川）[5]，西本・山田（桂川）[6]，綾・岩佐・松尾（Ｎ川）[7]，宮永・安芸・秋元・斉藤（Ｈ貯水池）[8),9]，高尾（鶴見川）[10]及び小河川を対象とした山守・山口・綿貫（多摩川左支川谷沢川）[11]，海老瀬・宗宮・平野・安達（琵琶湖へ流入する小河川）[12]などの研究により，水質変動の時間的・場所的特性あるいは流量との関係などが明らかにされてきた。

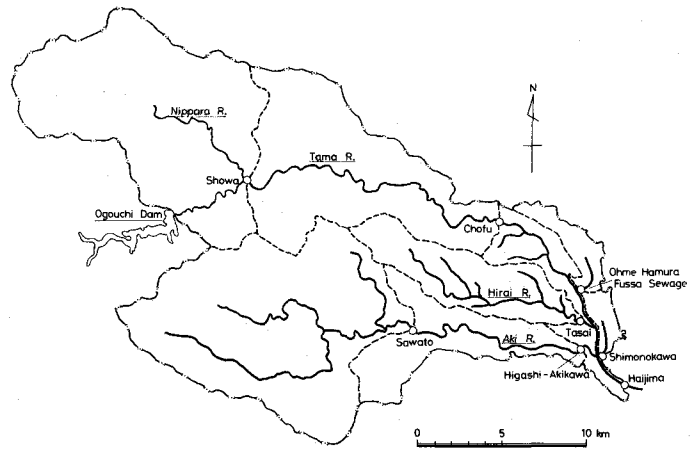
しかしながら，雨天時観測そのものの困難性により観測例そのものが少なく，また河川・流域の特性及び降雨条件（降雨前晴天日数，降雨強度，継続時間，総降雨量など）により河川水質の挙動は異なり，普遍的モデルの作成にあたっては多くの困難性を伴う場合が多い。このような状況に鑑み，本報告は，多摩川上流域における観測結果を示し，モデル作成に供するとともに，若干の考察を行ったものである。

２．観測地点及び観測方法

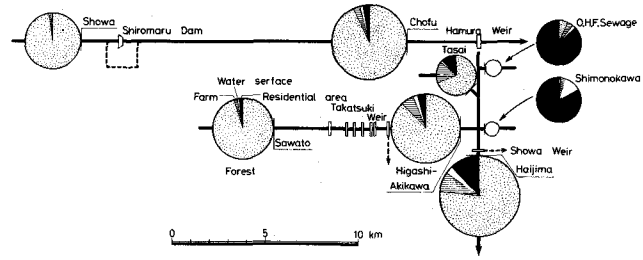
観測は，台風7916号出水（昭和54年９月28日～30日）を対象とした多点同時計測であって，図－１に示されるように，多摩川本川昭和橋，同調布橋，同拝島橋，平井川多西橋，秋川沢戸橋，同東秋川橋，青梅・羽村・福生都市下水路下流端及び下の川下流端の８箇所で実施された。

なお，本出水は規模が小さかったため，多摩川本川小河内ダムからは放流されず，また羽村堰では全量が取水されており，さらに対象とした河川区間には発電用ダム及び種々の用水堰が設置され，観測地点間の関係は図－２のようになる。

各観測地点を支配している流域の土地利用構成は図－２の円グラフの



図－１



図－２

ようであって，昭和橋，沢戸橋では山林が，調布橋では山林・宅地が，多西橋，東秋川橋では山林・田畑が，また青梅・羽村・福生都市下水路下流端，下の川下流端では宅地が，それぞれ，主な土地利用形態となっている。

観測時における採水間隔は，おおむね3時間とし，とくに流量ピーク時付近においては1時間間隔とし，いずれも橋上より採水を行うとともに，SS（分析方法（以下同じ）JISK0102-10），BOD5（JISK0102-16），COD（JISK0102-13），T-N（下水試験法），NH_4-N（下水試験法），NO_2-N（下水試験法），NO_3-N（下水試験法）及びT-P（JISK0102-27）について観測している。

一方，流量は，多西橋，沢戸橋，青梅・羽村・福生都市下水路下流端及び下の川下流端では発電型プロペラ式流速計あるいは電磁流速計により実測し，昭和橋では直下流の東京都交通局白丸ダムの流入量より推測し，調布橋，東秋川橋（東秋留橋）では水位・流量曲線より算定している。また，拝島橋流量は，昭和堰取水量と残流域からの流量とが等しいものと仮定し，上流4河川流量の合計とした。

3．観測結果

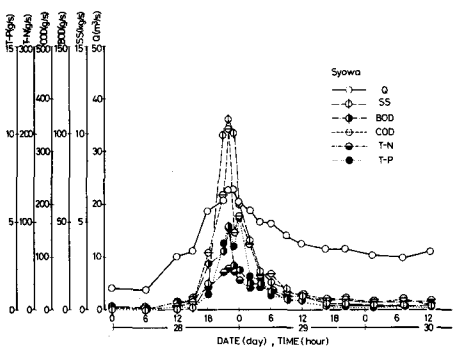
(1) 負荷量の時間的特性

ボルート・グラフの一例として，多摩川本川昭和橋及び調布橋における負荷量・時間曲線を示すと，それぞれ，図－3(a)及び(b)のようになる。図において，負荷量の最大値は，昭和橋におけるT-Pを除き，いずれも流量が最大となる時刻よりも若干早く，またほぼ同時刻に発生していることが知られ，汚濁物質の移流速度は洪水波の伝播速度に一致することが確認される。さらに，負荷量が最大値に到達してからの逓減は下流側の調布橋における場合の方がゆるやかになるとともに，このような傾向は流量の逓減特性と極めてよく一致しており，負荷量の特性が流量によってある程度記述されることを示すものといえよう。

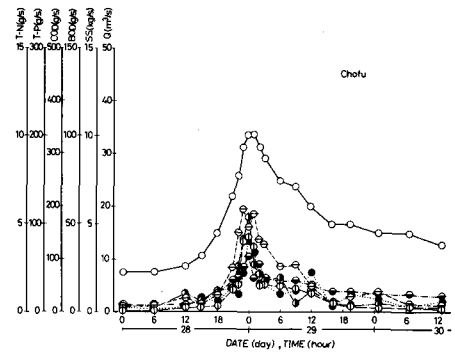
負荷量の特性を水質項目ごとに検討すると次のようになる。まず，SSの負荷量は調布橋における値の方がかなり小さく，この程度の流量では，昭和橋と調布橋との間において，相対的にみて，白丸ダムなどによりSSが河床に沈積したものと推測される。このような傾向はCODについてもほぼ同様であって，対象とした地域においては懸濁態のCODが主となるようである。また，SS及びCODが流量の増減に対して極めて鋭敏に増減するのに対し，T-Nは流量とほぼ同程度の変動をし，BOD_5あるいはT-Pはこれらの中間的な変動を示している。とくに，T-Nは流量逓減時においても最大負荷量の 1/3 程度の値が持続され，T-Nの流出負荷量の算定にあたっては，流量逓減時における負荷量も極めて重要となり，出水後長期間にわたる観測が必要であることが知られる。

(2) 負荷量と流量との関係

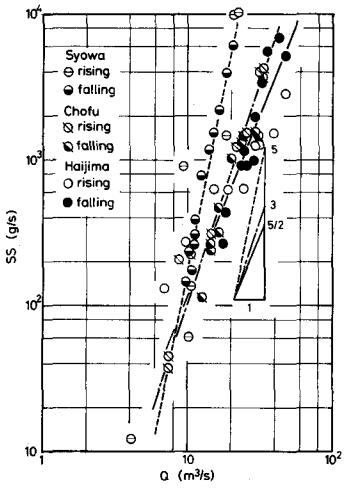
負荷量Lと流量Qとの関係を，SS及びCODについて，それぞれ，上・下流の観測値を対応させて示すと，図－4及び5のようになる。いずれの図も，(a)は多摩川の昭和橋，調布橋及び拝島橋における観測値を，(b)は秋川の沢戸橋，東秋川橋及び下流多摩川の拝島橋における観測値を，さらに(c)は平井川の多西橋及び下流



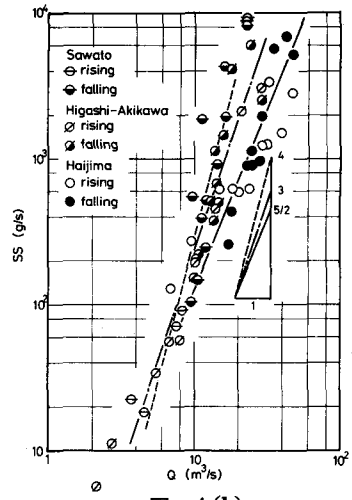
図－3 (a)



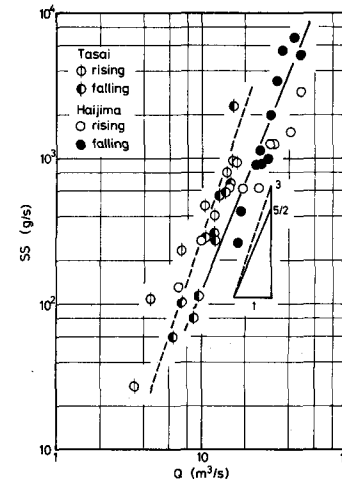
図－3 (b)



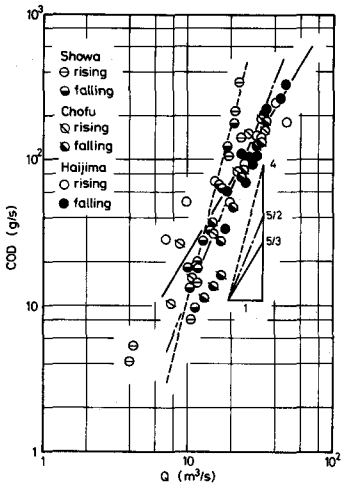
図－4 (a)



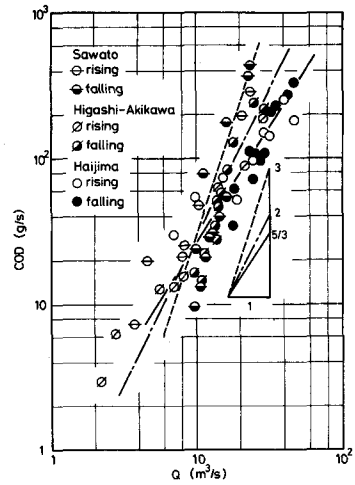
図－4 (b)



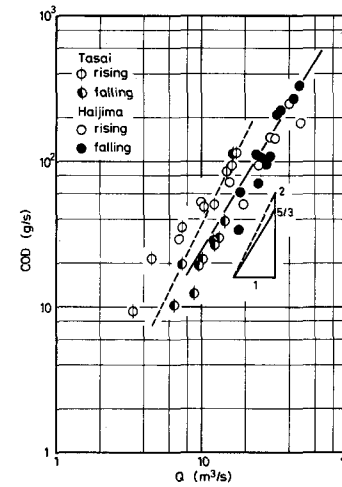
図－4 (c)



図－5 (a)



図－5 (b)



図－5 (c)

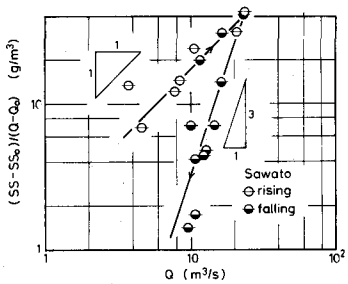
多摩川の拝島橋における観測値を示したものであって，図より次のことが知られる。

まず，SSに関する図－4について検討すると，いずれの観測地点についても，SSと流量Qとは両対数紙上で直線関係にあり，負荷量Lに関する

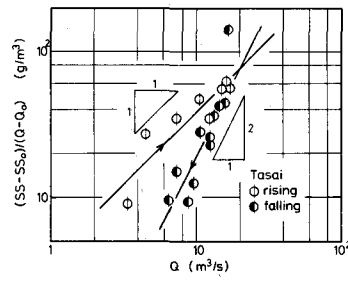
$$L \sim Q^n \quad \cdots\cdots (1)$$

の妥当性が確かめられる。ただし，指数nは，都市下水路における $n = 2$[13]あるいは淀川における $n = 2 \sim 2.5$[3]より大きいようであるが，桂川における $n = 4.2$[6]と比較した場合過大ともいえない。さらに，詳細にみると，指数nは，いずれにおいても上流部における $n = 3 \sim 5$ から下流部における $n = 5/2$ 程度へと減少しており，SSの流送特性には河川条件も大きく関与していることがうかがわれる。なお，SSとQとに関するnのこのような減少特性は，上・下流における掃流力の特性からも説明され，河川における一般的な特性と考えられる。

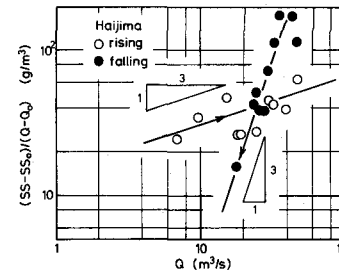
さらに，図－5はCODについてSSと同様に示したものであって，CODについても式(1)の有効性が確かめられるとともに，指数nはSSの場合と同様の特性をもつことが知られる。ただし，指数nの値は，いずれにおいても，SSの場合よりは若干小さく，流量Qの変動に対して，CODはSSほど鋭敏でないようである。



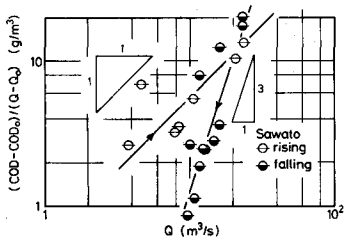
図－6 (a)



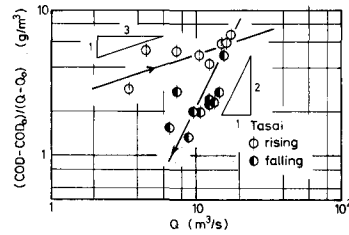
図－6 (b)



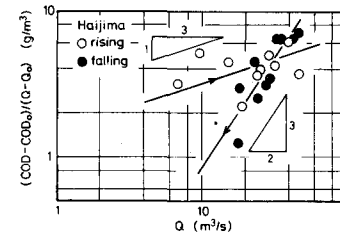
図－6 (c)



図－7 (a)



図－7 (b)



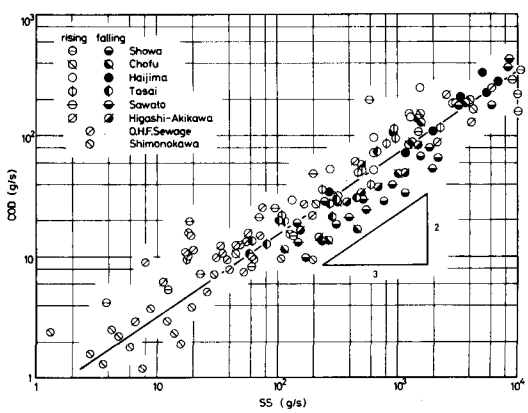
図－7 (c)

一般に，負荷量Lと流量Qとの関係は，図－4及び5のように表示した場合，右まわりのループを描くとされているが[14]，図－4あるいは5ではあまり明確でない。そこで，基底流量Q_0あるいは基底負荷量L_0を用いた表示法により検討を加えると次のようになる。ここでは，一般に用いられている次式

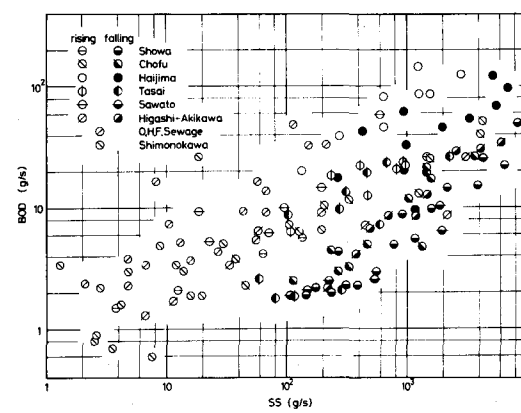
$$L \sim Q^n(Q - Q_0) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$(L - L_0) \sim Q^n(Q - Q_0) \quad \cdots\cdots (3)$$

のうち，$Q = Q_0$のとき$L = 0$とならない式(3)の表示法を採用し，SS及びCODについて図示すると，それぞれ，図－6及び図－7のようになる。いずれにおいても，(a)及び(b)は上流部の例として秋川沢戸橋及び平井川多西橋の結果を，また(c)は下流部の例として多摩川拝島橋の結果を示したものであって，流量上昇期と下降期とでは異なる特性をもつことが知られる。すなわち，流量上昇期における負荷量は下降期に較べ大きな値をとりながら増加し，下降期における負荷量は上昇期に較べ急激に減少する傾向をもっている。このように式(3)あるいは(2)の指数nが流量上昇期と下降期とでは異なるという事実は，負荷量が図－6及び7に示された矢印の向きに変化するというループ特性をよく説明しており，式(2)の比例定数を流量上昇期と下降期とで変



図－8 (a)



図－8 (b)

える方法[15]よりも妥当性をもっていると考えられる。ただし，指数nの値は，式(1)の場合と同様に，観測地点によって異なり，流量上昇期・下降期のいずれの場合にも下流ほど小さくなっている。

(3) 負荷量間の関係

図－3及び4，5あるいは6，7においてみられたように，多摩川上流域を対象とした場合，SSとCODとの特性は比較的によく一致しており，SSとCODとの間には高い相関があるものと推測される。そこで，SSとCODとの関係を8箇所すべての観測値について図示すると図－8(a)のようになる。図において，流量上昇期にはCODが大きく下降期には小さくなるというループ特性がみられているものの，CODとSSとは両対数紙上で直線的関係にあり，CODはSSのほぼ $2/3$ 乗に比例するという特性が知られる。なお，低負荷量時においては観測値のばらつきが大きいが，これは低濃度による観測誤差によるものであろう。

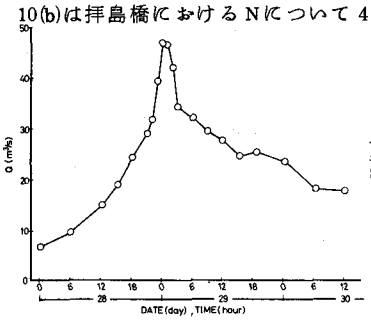
一方，図－8(b)はSSとBOD_5との関係をCODの場合と同様に示したものであって，図－8(a)に較べ観測値は大きくばらついており，BOD_5の特性はSSのみによっては説明されないものと推測される。

(4) 流出負荷量の時間的特性

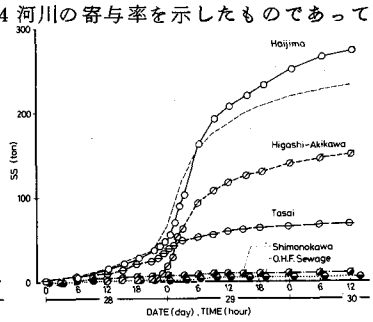
図－9は，流出負荷量の時間的特性を平井川，秋川，青梅・羽村・福生都市下水路及び下の川の合流前後で検討したものであって，これら観測点間の距離は最大で6.6kmと短く，時間的遅れは無視して差し支えないものと考えられる。なお，本出水においては，東京都水道局羽村堰で多摩川本川のほぼ全量が取水されていたため，合流前本川流量は考慮していない。

図における破線は合流前における4河川の負荷量の和であり，BOD_5を除き，合流前後の流出負荷量は流量ピーク時直後までのいずれの時刻においてもほぼ等しく，合流点付近における汚濁負荷の河床からの巻き上がりあるいは死水域からの離脱と河床への沈積とのバランスは流量逓減時にくずれるものと推測される。また，SSは，流量ピーク時付近において流出負荷量が急激に増加し，流量減少後比較的短時間のうちに一定量に達する傾向を示すのに対し，T-Nは，流量ピーク時においても顕著な増加を示さないものの，流量減少中も直線的に増加することが確かめられる。さらに，BOD_5の増加は他のものに較べ若干早く発生しており，降雨による流出の早い青梅・羽村・福生都市下水路の影響とみなされる。

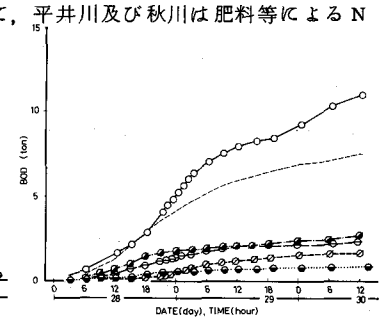
一方，図－9において，T-Nのみが合流後減少しているが，これは，図－10(a)にみられるように，主としてNO_3-Nの沈積によるものであって，Nの河川内蓄積がNO_3-Nの形で行われることが知られる。また，図－10(b)は拝島橋におけるNについて4河川の寄与率を示したものであって，平井川及び秋川は肥料等によるN



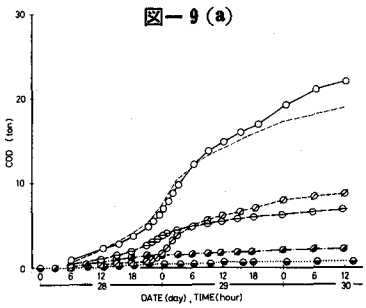
図－9 (a)



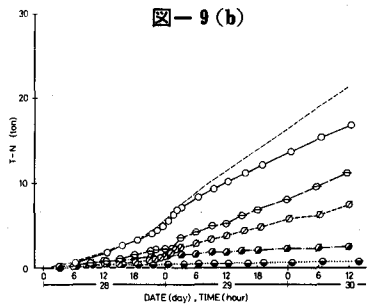
図－9 (b)



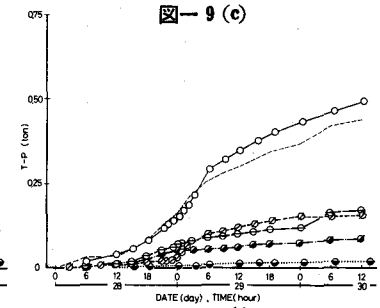
図－9 (c)



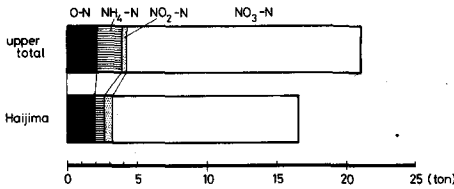
図－9 (d)



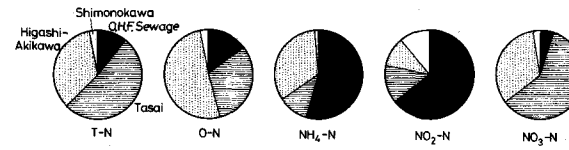
図－9 (e)



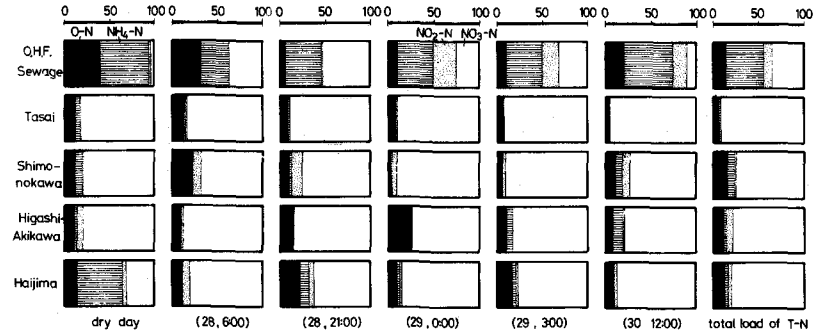
図－9 (f)



図—10 (a)



図—10 (b)



図—10 (c)

の流出が多いのに対し，青梅・羽村・福生都市下水路は家庭下水に起因するNの流出が多いことが明らかとなる。さらに，図－10(c)は，各河川におけるNの構成比を示すとともに，晴天時と比較したものであって，青梅・羽村・福生都市下水路は，出水初期においてNO_3-Nが多く流出し，出水後に晴天時の構成比に近づくのに対し，平井川，秋川及び下の川におけるNの構成比は晴天時とあまり変わらず，また拝島橋における雨天時の構成比は流出負荷量の多い平井川及び秋川に大きく支配されていることがうかがわれる。

4．おわりに

本報告は，観測後充分な解析を行えないまま，結果の紹介にその重点を置いてまとめたため，検討不足の点も多い。今後これらについて検討を加えるとともに，雨天時における水質観測を繰り返し，流域指標（土地利用，人口など）と流出負荷量とを関連づけていきたいと考えている。

最後に，本観測をすすめるにあたり，東京都交通局電気部発電課及び関東地方建設局京浜工事事務所の御協力を得たことを付記し，ここに深甚なる感謝の意を表します。また，本報告のとりまとめにあたって種々の御教示を戴いた土木研究所の中村栄一，益倉克成，吉川勝秀，山守隆の諸氏に感謝致します。

参　考　文　献

1）新田：東工大学報，20，1-96，1961.
2）羽田：論文報告集，265，73-81，1977.
3）山口・吉川：土研報告，151，89-41，1978.
4）村本・道上・下島：京大防災研年報，16B，433-447，1973.
5）市川・第19回水講，139-144，1975.
6）西本・山田：第32回年講，Ⅱ-327，1977，第33回年講，Ⅱ-165，1978，第34回年講，Ⅱ-192，1979.
7）綾・岩佐・松尾：第22回水講，131-138，1978.
8）宮永・安芸・秋元・斉藤：第22回水講，119-124，1978，第23回水講，107-112，1979.
9）宮永・安芸：第7回環境シンポ，110-117，1979.
10）高尾：公害研究，8-3，66-72，1979.
11）山守・山口・綿貫：第32回年講，Ⅱ-326，1977.
12）海老瀬・宗宮・平野・安達：第7回環境シンポ，124-131，1979.
13）土木研究所：土研資料，1019，1975.
14）Graf: Hydraulics of Sediment Transport, McGraw-Hill, 1971.
15）中村：第7回環境シンポ，118-123，1979.