

1. 研究の目的と対象

水質が流量に因依して決定されることは、論をまたなうが、その両者を対比させた研究はきわめて少ない。流出機構についていえば、発生活濁量と流出汚濁量を1対1に対比させるというきわめて、簡単なモデルが使用されており、両者が一致しない場合には、流出率・減衰率という考え方を導入しているにすぎない^①。しかしながらこれは、両者の関係が線型であることを示すものである。実際には、必ずしも線型であるとはみえず、非線型となっている場合が多い。

とはいえ、線型でなるとすると、それに換るメカニズムかどのようなものであるかを指定することは、きわめて困難であり、未だ提果も行なわれていないのが実情である。その理由の1つは、降雨に対して水質監視の体制がとられていないこと、水質の分析に労力と費用を要することがあげられよう。本研究は、東京の多摩川を例にとり、その最下流の調布堰（流域面積約1100 km²）における流量と水質分析の日データを基にして、流出機構をあきらかにしようとするものである。本研究に使用したデータは、いずれも東京都水道局から提供して戴いたもので、ここに厚く謝意を述べたものである。

多摩川の概況については、既に^{②③④}したので参照されたい。対象年は、1970～72年の3ヶ年である。

2. 水質の確率分布

①流況表：365日の日データから流況表を複製し3ヶ年及び3年間の平均を表-1に示した。この水質の流況表を他河川・他地点のそれと比較したうが、他の資料の入手が困難なため行っていない。水文学で使用されるような、比流量などし、人口当りの汚濁量の計算を行なうことにより、より多くの情報を与えられると思われるが、現在の所行っていない。汚濁の場合、流域全面積よりも、市街地面積

表-1 水質の流況表（多摩川調布堰）

	流量	濃度	pH	アルカリ度	COD	電導度	NH ₄ -N	溶存酸素	浮遊物質	COD負荷	電導度負荷	NH ₄ -N負荷
	m ³ /sec	度		mg/l	mg/l	μV/cm	mg/l	度・m ³ /日	ton/日	kgm/日	μV/cm ² /日	ton/日
豊 47	19.12	23.0	7.0	88.0	18.0	404	4.3	35.44	103.36	22.37	489.9	4.31
水 46	15.18	25.0	7.1	106.0	28.0	460	5.9	24.42	96.54	21.85	458.1	3.96
45	16.95	33.0	7.1	99.0	28.0	418	5.9	37.05	101.25	23.31	441.6	4.39
平均	17.08	27.0	7.06	97.67	24.67	427.3	5.37	32.30	100.37	22.50	463.2	4.22
平 47	11.75	15.0	7.0	78.0	15.0	358	3.0	15.29	80.37	15.42	362.0	2.99
水 46	8.88	18.0	7.0	92.0	22.0	406	4.3	14.18	71.41	17.16	313.7	3.34
45	10.91	25.0	7.0	82.0	21.0	360	3.9	20.27	76.83	19.15	336.7	3.72
平均	10.52	19.3	7.00	84.00	19.33	374.7	3.73	16.60	76.20	17.23	337.5	3.35
低 47	8.46	12.0	7.0	63.0	13.0	288	1.8	9.05	62.31	11.59	283.2	2.18
水 46	6.64	13.0	7.0	70.0	15.0	333	2.4	9.60	60.22	14.38	259.2	2.75
45	7.74	18.0	7.0	65.0	15.0	294	2.2	13.80	64.24	16.36	277.5	3.03
平均	7.61	14.3	7.00	66.0	14.33	305.0	2.13	10.80	62.23	14.13	273.3	2.65
湯 47	4.27	7.9	6.9	41.0	8.1	176	0.50	3.12	37.59	7.22	168.4	1.40
水 46	4.22	8.0	6.9	45.0	7.9	186	0.62	4.51	41.02	9.07	170.2	1.85
45	5.46	7.3	6.9	36.0	7.9	173	0.82	7.15	50.44	10.97	212.4	2.24
平均	4.65	7.73	6.90	40.67	7.97	178.3	0.65	4.90	43.00	9.10	183.7	1.83

宅地面積等が有効な指標と考えられるが、その資料が完備されていないことによる。

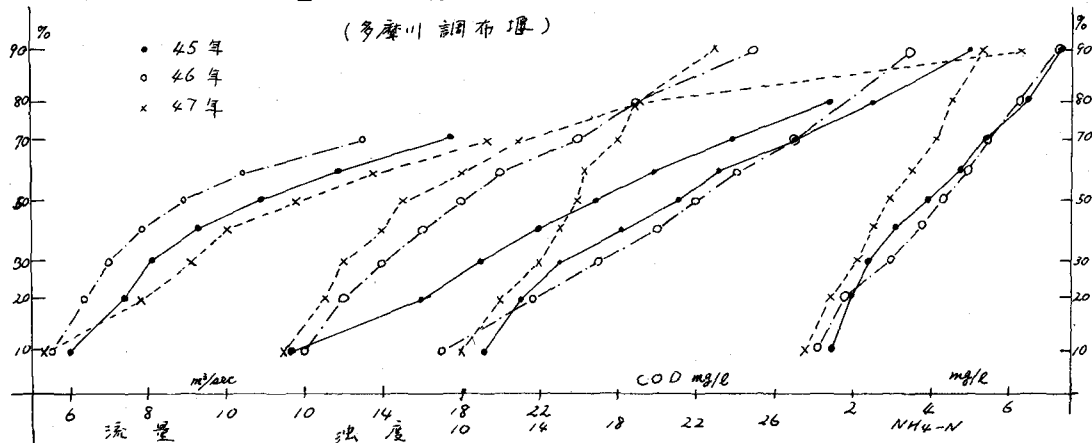
流量の流況曲線の経年変化は、降雨の変動にともなう変動と考えられる。現在のように、市街化・工業化の進行に伴う流域内の地表面の条件が変化したり、河川工作物の変化・下水道の普及等変化の原因となる要因もあるが、短期間では、その影響は小さいと考えられよう。しかしながら、汚染の場合、降雨という統計量の他に発生量という人為的な要因があるため、その変動を単純に降雨による変動とみなすわけにはいかない。たとえば、汚染物に対しても、統計的なバラツキも当然含まれており、両者の分離が必要であるが、現在の所その試みは行なえていない。例えば、CODについてみると、47年の各数値は、濁水時を除くと、45、46年よりも小さな値となっており、この減少が、流量の変動・発生汚染量の減少、処理システムの普及によるものかあきらかにすることが出来ない。平水の場合についてみると、34年の平均流量に対し、47年が1.12倍と大きいことが、濃度の低下の一因とも考えられる。COD負荷量は、34年平均に対し、47年は、0.89と、絶対量を減少していることからみると単なる流量増加にともなう希釈でのみ説明出来ない。

流況表に示された流量と濃度の積とすると負荷量が求められる。これと負荷量の流況表と対比させてみる。もし、流量の増加に伴い、汚染濃度が増加するとすると、両者は一致するが、逆に流量増加に対応して、濃度が低下するとときには、両者は大きくへたれる。濃度の47年の濁水の場合 $(2911/3119) = (\text{計算負荷量} / \text{流況表負荷量}; \text{以下同様の記述をする}) = 0.933$ とかなりの程度とみるが、45年について同じ条件で比較すると $(13445/7765) = 0.482$ と大きく異なっていることがわかる。すなわち、45年と47年の汚染発生メカニズムが異なることが推定される。NH₄-Nについてみるとこの関係がより明らかとなる。すなわち、47年の濁水は $(0.184/1404) = 0.131$ 、45年が $(0.387/2237) = 0.173$ とこの2年の間には大きな差は認められないが、濃度の流出メカニズムと大きく異なることがわかる。

②確率分布：水質・流量の確率分布を正規確率紙にプロットしたものを、図-1に示した。多摩川上流部の採水調査から求めた確率分布では、経年的に汚染が進行している傾向がはっきり示された^③が、この場合47年が最もきれいであるという、逆の結果がえられている。47年の流量の分布は、45年の

図-1 水質の確率分布

(多摩川 調布 堰)



それとあまり大きな差がなつことから、発生量、つまり流出量が減少しているのではないかと推論される。ただ、濃度の超過確率 90% 値が他の年に比して異常に大きいことも特徴の一つである。

濃度分布をみると、COD と $\text{NH}_4\text{-N}$ はほぼ正規分布とみなして差支えなからう。(COD について) えば、46、47 年は正規分布であるが、45 年は、2本の直線に近似出来るので、2つのピークをもつ分布と推定される。46、47 年は正規分布といえるが、標準偏差が大きく異なる。46 年は大きな標準偏差であり、他の水文現象の分布から判断すると対数正規分布に近い分布とも思われる。というのは、濃度の順序数に並べたとき、上位 10~20 が特に大きな値となっていることを考えてのことである。図-1 のプロットが、非超過確率 10% (36.5 番目) であり、対数分布に近い所がプロットされているためである。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は、いずれも正規分布と考えて差支えなからう。とくに、45、46 年の分布はほとんど差が認められない。

濃度は、正規分布とは認めがたい。分布型は、流量のそれとかなり似たものである。45 年は一見正規分布に近いが、標準偏差は大きい。47 年の場合の分布はかなり広範囲にわたっている。

3. 流出図 (ハイドログラフ)

日単位のハイドログラフを、図-2 に示す。これは、45 年 1 月 28 日と約 3 日間無降雨が継続した後、84 mm の集中降雨が発生したときのものである。降雨前の流量は約 $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、降雨前日は、 $62 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、降雨に伴う最大流量は、1 月 31 日の $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。このときの減衰率は、2 日間が 0.45 で、その後 0.85 となっている。濃度は流量の増加に伴って 15 から 1000 (度) となり、減衰率は流量に比べ小さく 0.20 であった。3~4 日で、もとの濃度に回復している。濃度の負荷でみると両者の積であるため、ピークの発生はとくに大きい。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は濃度とは逆に、流量の増加にともなって、濃度は減少している。31 日に濃度が減少していったため、この日だけ負荷が大きくなっているが、その他はほぼ一定となっている。COD は、濃度ほど極端ではないが、流量のピークに応じて濃度が増加している。減衰の仕方は濃度とほとんど変わったため、濃度でいえば、1 日で降雨前にもどっている。

この 3 つの水質指標をみると、流出機構がそれぞれ異なることがわかる。濃度の基となるのは浮遊物であり、さらに無機物と有機物にわけられる。降雨前の濃度と COD の比が、その両者の比と考えると、降雨の流出の際には、有機物より無機物の流出が大きいことがわかる。それは、土砂礫の流出と推定される。この無機物の流出は、流量が減少しはじめると急速に低下する。それは、流量の減少にともなう、流速が低下し、掃流力、侵蝕力が減少するためと考えられる。一方有機物は、減衰がさらに早い。これは、有機物の流出源が、管路等であり無機物に比して限定されていることによると思われる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は、この結果からみると、浮遊物という形態で存在するよりも溶解性物質として存在していることが推測される。それ故、流域内での蓄積される量が限られており、負荷量がほぼ一定となっているものと思われる。なお降雨日の $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が降雨前のそれとほとんどかわらないのは、初期流出水にそれだけ含まれているのか、分析の筒間からくる誤差なのか、これだけでは、不明である。溶解性物質量を表す指標の一つである電導度も $\text{NH}_4\text{-N}$ と同じハイドログラフがえられている。図-2 に示したハイドログラフが一般的なのか、あるいは、同じような降雨条件の際に、再現性が認められるのかと、いくつかのハイドログラフと比較して検討を行った。図-3a、b はその一部である。

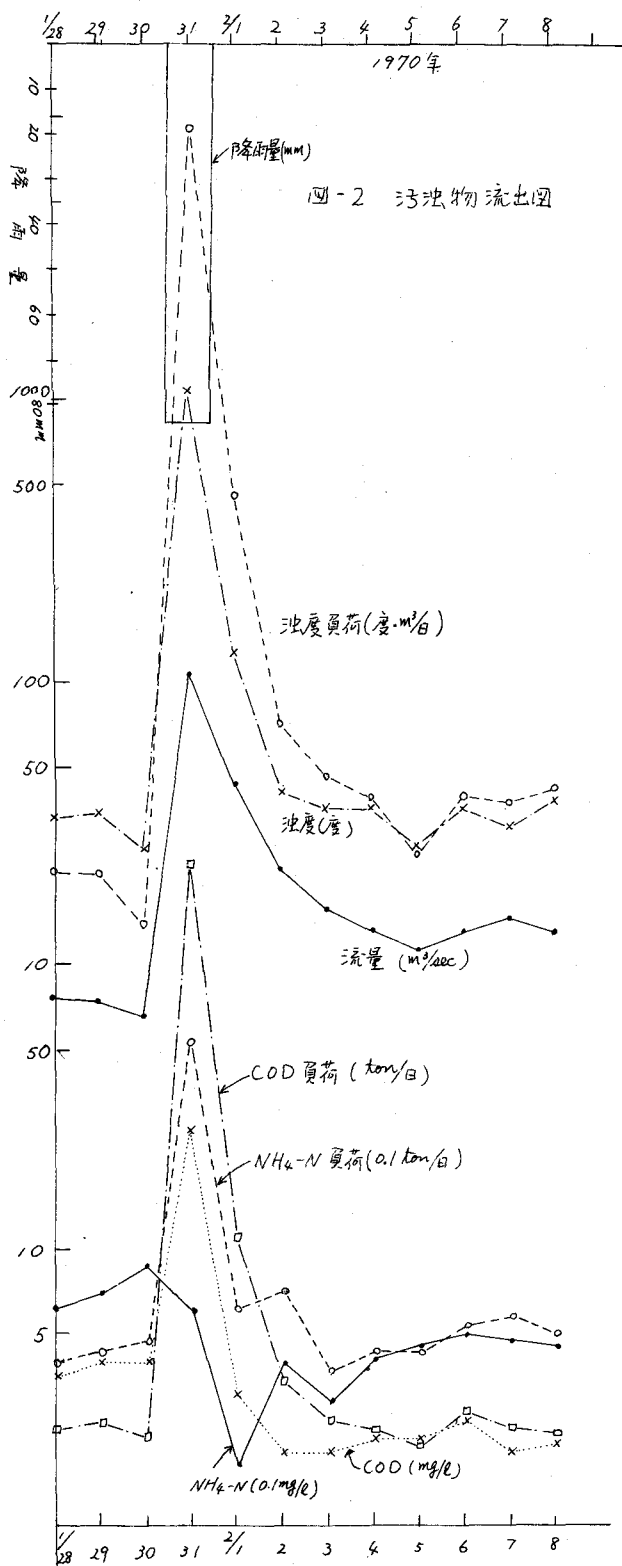


図-2 汚濁物流出図

図に流量と濃度のハイドログラフを示した。a図は、45年1月のハイドログラフと減衰状態が同じようなパターンを示すものを集めたものである。47年12月の場合は、45年1月の場合と同じく流量が $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ とをわめて少ない日が続いたあと、集中的降雨があった場合であり、濃度の流出過程もほぼ同一とみなせる。45年8月の場合は、19日から降雨が始まり連日増加し22日に62mmの降雨があり上った場合である。そのため、流量の増加は、ゆるやかであるが、濃度の流出は、必ずしもそれに対応せず、流量のピークとなる22日に急に、700度となっている。その後の減衰は、前の2つとほとんど変わりない。よれ故、濃度の流出については、かなり再現性があるのではないかと推定される。なお濃度の減衰率は、次に示す通りである。

表-2 減衰率

	700128	700819	721221
流量	0.45	0.45	0.45
濃度	0.20	0.30	0.10
COD	0.08	0.30	0.02

図3-bは、a図に比較して、減衰が小さな場合で、降雨量の小さな中規模な洪水か、降雨前数日に降雨があり、一たんピークが減衰した後に、再び洪水が発生した場合である。この場合濃度のピークの発生期間がa図に比して長かったり、流量のピークとが一致してないが、流出パターンは、かなり同一とみなすことができる。

濃度とCODでは、その減衰のしかたはあまり似た曲線となっている。

4. 考察と今後の課題

水質の分布がある程度あきらかにすることから出たので、基準としてどのレベルを考えるべきかの根拠が与えられるであろうし、水質調査の解析情報量が大幅に増加されたものとする。しかし、水質分布の経年変化や、他地区との比較のための比流量的な指標の導入が必要であろう。

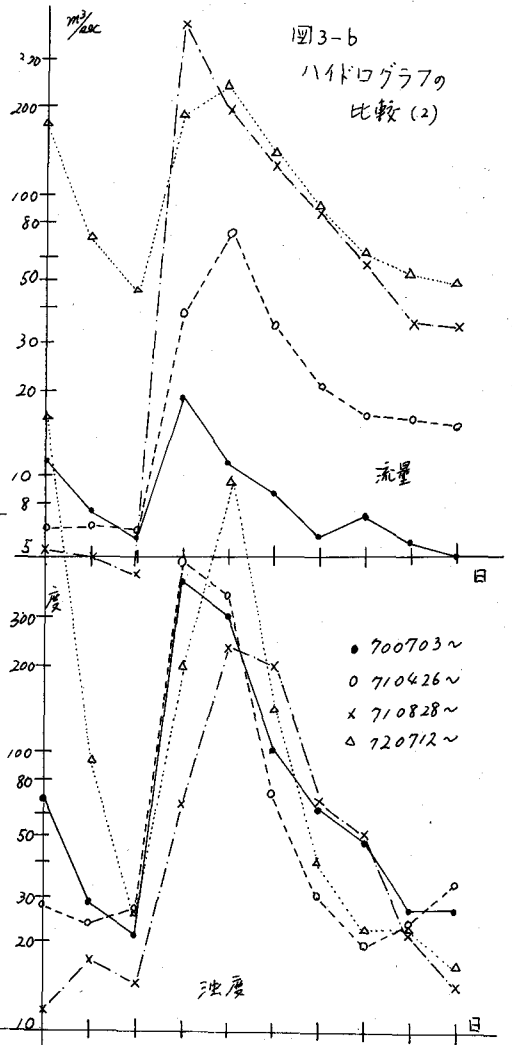
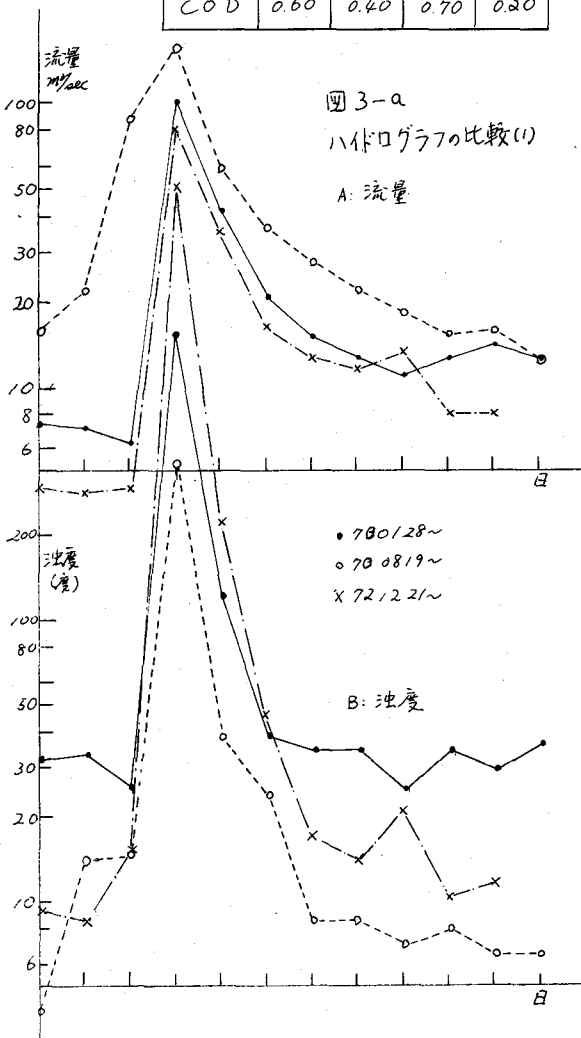
水質の発生機構の解明を目的として、ハイドログラフの作製とその解釈を行ってきた。もし発生量が一定なら流量(降雨量)によって流出量がきまってくる筈であるが、流量と濃度の関係は、あきらかにすることが出来なかった。これにあきらかにするためには、先行降雨の評価や、合理的な流出

係数の導入等の問題と解決せねばならないで

表-3

減衰率(2)

	700703	710426	710828	720712
流量	0.70	0.70	0.60	0.60
濃度	0.60	0.30	0.50	0.20
COD	0.60	0.40	0.70	0.20



あろう。今回は、日データでハイドログラフと作製した、時間流量、時間水質のデータの整備を行なう。出水時の汚濁発生機構を明らかにする必要がある。今回のグラフからも、強度（無機物）COD（有機物） $\text{NH}_4\text{-N}$ （溶解性物質）の流出特性が明らかとなったと考える。

水質の減衰曲線に注目すると、かなり再現性がよく、ハイドログラフの分類が可能と考えられる。さらに多くのハイドログラフの作製と、その検討が必要であらう。このハイドログラフから、流域内の貯溜の突進と明らかにするモデルが組み立てられれば、大きな収穫となる。

5. 謝辞

本研究の資料を提供して戴った東京都水道局、計算を行った東大技官横山道子氏にここに厚く御礼申し上げます。本研究の一部は、文部省特定研究「環境汚染制御」の研究費により行った。計算は、東大大型計算センターで行った。併せて謝意を述べるものである。

6. 参考文献

- ①松本他「阿武隈川流域における負荷発生と汚染メカニズム」下水協誌 vol. 10, No. 112 (1973)
- ②市川新「水質汚染定量化の現状」計測自動制御学会シンポ (1973)
- ③市川他「多摩川における水質把握の現況とその解析」(1973) 土木学会 環境問題シンポ。
- ④市川新「水科学研究試論」土木学会衛生工学シンポ (1973)