

1. 研究の目的

水質が時間的にどのような変化をするかということは、今まで必ずしも十分に研究されていたとはいえない。その理由としては、データが不備であったことと、第2に水質を決定する因子が多く、そのため水質値の変動がなにに起因するかを同定することが困難であった点にある。前回にも述べた様に、水質データとして、東京都及び川崎市水道局の業務資料を利用して、解析を行ってきたが、日単位の変化では、必ずしも水質の特性をおえないことから、昭和40年から6年間の降雨105例について、時間単位の濁度のハイドログラフを作製し、雨量、流量データとかさね合わせることで、水質（この場合濁度）の発生メカニズム、濁質の流送・運搬のメカニズムをあきらかにすることを目的として、研究を行いその成果の1部をここに報告する。本報告では、資料が存在しなかったために、濁度以外の水質については、解析を行なえなかったが、本考法論は他の水質指標にも適用出来るものと考えている。この研究により、日単位のデータの解釈が十分になること、水質の予測メカニズムを決定する際の参考になれば幸いである。

2. 使用したデータ

対象は、多摩川とし、調布取水堰（河口から13Km、流域面積1200Km²）上河原取水堰（河口から28Km、流域面積1040Km²）の地点での水質データを、前者について、東京都水道局、後者は川崎市水道局の御好意により提供して戴き利用した。降雨量については、気象庁の雨量月報により、上流部（青梅、氷川、小河内、五日市、小沢）中流部（立川・府中、日野、八王子）下流部（東京、羽田、田園調布）（但し1部観測所においては、年度により欠値である。）をとり、それぞれの平均値をそれぞれ上流・下流雨量とした。流量資料は、調布堰での東京都水道局の資料によった。

3. 対象降雨の特性とその分類

対象降雨は、日雨量30mm以上としたが、後述するように地点間に降雨量の差があるため、濁度の変化の大きい降雨は一応ほとんど取りあげた。これにより表に示したようにこの期間のほとんどすべての降雨をチェック出来たものと思う。この降雨の特性を表-2に示す。この雨について、ハイドログラフ、ハイエトグラフをえがき、その特性をあきらかにしたが、その中から降雨特性により3つに分類し解析を行った。①全流域均一的な降雨、②上流部から下流部にかけて、漸増するもの、③逆に漸減するもの。それぞれの対象降雨はそれぞれ16, 10, 17でありそれらについての解析結果を示す。

表-1 対象降雨数

年	対象降雨		年間雨量 mm	比率 %
	数	平均雨量		
40	16	1142	1753	65.2
41	16	1078	1935	55.7
42	16	514	1325	38.8
43	24	894	1974	45.3
44	19	593	1357	43.7
45	14	646	1163	55.6

4. 解 析

(1)全流域均一な降雨 流域全体で均一な降雨といってもその定義はいまいであるが一応の目安として、3地域の降雨量が、単純平均値の±10%に入るものを均一な降雨とみなした所、6年間で16例あった。この中から降雨特性、ハイドログラフを比較し降雨と濁質の流出特性を調べた。第1にいくつかのハイドログラフを比較してみると、共通のパターンがみとめられるものがいく組か認められた。例えば図-1に示した2つのハイドログラフにおいて、流量、降水量の絶対値に差があるが、単位降雨量当りの図（このハイドログラフが半対数紙上にプロットしてあるため、実際には、降水量、流量に差があり絶対値が異なるので平行移動したものである）はほぼ同じであると考えられる。ピーク濁度の大きさ、ピーク濁度に到達する迄の時間、上流から下流迄の流達時間については、図に示したように異なるが、そのパターンについては、きわめてよい再現性を示している。とくに下流での濁度が異常に大きいのは、有効降雨というか、先行流量の差によるものと考えられ、流量の差による掃流力がこのような濁度の差となったものと考えられる。しかし同じ

表 - 1 ハイドログラフの分類

番号	日 付	降 雨 量 mm				継続時間	前 日(調 布)		最 大 値		
		上 流	中 流	下 流	平 均		流 量	濁 度	流 量	濁度(上)	濁度(下)

I 均 一 な 降 雨

1	40. 3.17	43	42	43	43	14	5.0	20	14	60	180
2	40. 5. 3	53	60	58	57	9	4.8	32	51	1000	160
3	41. 1. 4	22	20	23	22	5	8.2	17	22	100	130
4	41. 2.27	69	65	68	67	15	4.2	24	56	200	600
5	41. 6.28	247	288	235	257	22	550.3	180	1850	2500	2400
6	41. 7. 1	66	59	58	61	10	215.6	100	250	350	350
7	42. 5.10	37	41	33	37	28	3.2	30	11	45	72
8	42. 7. 6	17	21	21	20	12	2.1	32	22	70	200
9	43. 3.11	10	14	14	13	7	3.6	20	12	38	80
10	43. 4.28	35	38	37	37	21	5.0	26	22	50	70
11	43. 5. 3	51	54	49	51	9	12.4	23	102	350	7000
12	43. 7. 2	42	44	42	43	16	26.4	31	80	220	1900
13	43.10.23	60	55	62	59	40	11.4	31	64	100	450
14	44. 6.21	39	40	41	40	12	11.8	30	58	80	180
15	45. 4.10	37	35	40	37	30	11.0	18	28	80	80
16	45. 6.19	25	24	21	23	9	57.2	84	75	120	300

II 上流から下流にかけ漸増する降雨

1	40. 5.30	20	58	77	52	30	76.2	72	128	230	220
2	40.11. 9	4	18	24	16	7	10.2	24	30	60	150
3	41. 2.20	11	29	34	25	12	1.7	20	14	50	80
4	42.11.30	3	9	14	9	10	9.4	23	16	20	80
5	43. 5.12	17	32	39	29	18	15.1	23	44	50	110
6	43. 5.19	29	33	60	41	24	12.6	16	56	35	100
7	43. 6.10	28	36	46	37	11	8.7	21	63	30	200
8	43. 6.15	32	41	58	44	12	3.3	21	32	48	100
9	43.12.12	28	38	42	36	17	43.7	65	86	600	150
10	44.11.15	12	27	36	25	8	8.1	24	52	45	180

III 上流から下流にかけ漸減する降雨

1	40. 6. 3	84	50	51	58	18	49.2	24	160	220	200
2	40. 8.22	150	76	83	103	18	156.3	4000	1200	2500	2400
3	40. 9.16	185	148	137	157	24	29.8	20	100	80	1000
4	41. 7.23	62	36	26	41	9	19.6	55	110	120	130
5	41. 8.22	108	37	21	55	17	20.3	12	145	700	700
6	41. 9.24	210	152	103	155	25	49.1	19	1250	2800	3000
7	42. 7. 9	64	62	9	45	26	7.8	23	122	1500	4000
8	42. 9.14	47	14	8	18	24	23.5	43	45	—	130
9	42. 9.21	54	51	41	48	25	43.4	46	96	270	500
10	42.10.27	111	82	77	90	27	13.1	25	190	1500	1000
11	43. 4.11	42	39	34	38	22	4.4	18	12	—	70
12	43. 7.27	252	57	17	109	78	8.3	12	290	1800	3000
13	44. 5.24	49	46	40	45	18	6.3	28	36	50	90
14	44. 7. 8	44	43	38	42	37	37.7	37	105	160	500
15	45. 5.10	24	17	11	17	20	18.2	36	50	200	380
16	45. 7. 5	102	71	29	68	23	55.5	22	330	1100	1700
17	45. 8.20	115	51	8	58	21	21.7	28	250	1600	1200

ようなハイドログラフにおいても、上流から下流へ1000の濁質の伝播が必ずしも一様でなく、下流部での濁質の増加開始時や、最大濁度発生時間は上流のそれよりも早くなっている例が多かった。これは濁質の発生が全流域均等でなく、下流部に集中しているためにおきたものと考えられるが、これだけのデータではその詳細は不明である。

これら16降雨について横軸に時間平均降雨量、縦軸に最大の流量濁度を取り両対数方眼紙にプロットしたものを図-2に示す。流量の場合については前日の流量を差し引いたものを使用した。これは基底流量分を差し引き降雨による純流出分と考えることになるが厳密には基底流量についての検討をしなければならない。濁度については、降雨前と最大降雨の差が大きいのので対数をとるとその差はほとんどあらわれないので絶対値で示した。

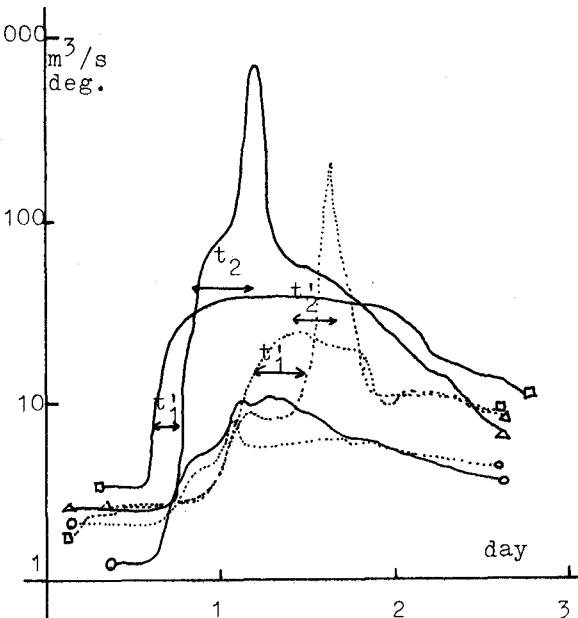


Fig-1 Hydrograph of Turbidity

Case I

表-2 到達時間

	降水量	最大流量	最大濁度		到達時間	
			上河原	調布	t1	t2
I-11	51.4	90	350	7000	3.5	5.0
I-12	42.5	54	220	1900	7.0	5.0
I-13 43-20	58.7	64	100	450	-	-

In Fig-1, 3 and 4

- runoff at Chofu
- turbidity at Kamigawara
- △ turbidity at Chofu

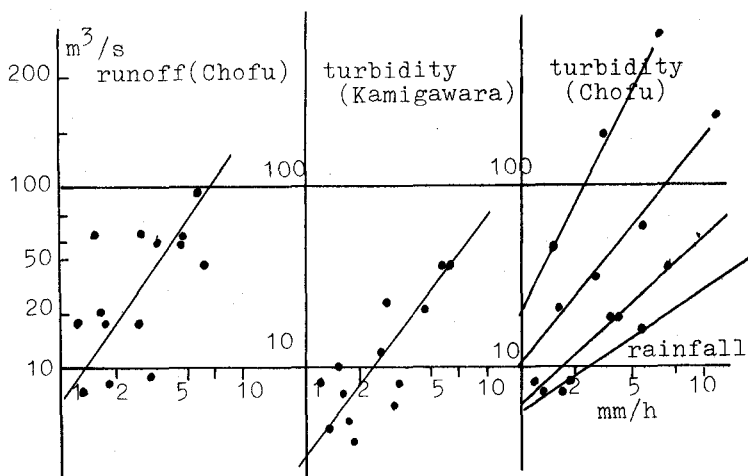


Fig-2 Relationship between rainfall and turbidity

流量でみると多くの降雨がほぼ同一直線上 $\log Q_{\max} = 1.46 \log RH + 0.79$ ($Q_{\max}$: 時間最大流量 m^3/sec , RH : 平均時間降雨量 mm/hr) にあるがいくつかの点がはずれる。例えば降雨番号 6 では、対象降雨前の降雨前の降雨のため前日流量が ($215 m^3/sec$) と大きく、その影響で最大の出かたが異なっていると思われる。降雨番号 13 は、降雨継続時間が 40 時間と長くそのため平均降雨量が小さいことと、降雨強度そのものが小さいことによると思われる。同じように、いくつかの降雨の特異な点にプロットされる理由があげられるが、その理由の意味や、どの程度きいているのかという定量的把握迄は行なえなかった。

上流の上河原地点の最大濁度については、流量よりも直線近似が出来る。 $(\log T_{\max} = 1.36 \log RH + 0.48)$ ($T_{\max}$: 時間最大濁度: 度) で示される。1 つだけはなれているのは $250 mm$ の降雨のあった異常出水で、濁度も 2000 をこえている場合であり、流出機構が、流量の段階によって異なることを示唆するものであろう。下流の調布堰についてみると図に示したように、いくつかのグループにわけられよう。A は図-1 に示したような異常なピーク濁度が発生するものである。図-1 では、流量と最大濁度との関係があきらかにされなかったが、この図で同じような関係があることがみとめられる。B グループは、ハイドログラフでこれが必ずしも明確な共通点はないが、降雨の絶対量が少なく、かなり集中して降水がある場合であり、上河原地点よりもとくに大きな濁度となっている。一方 C グループは逆に、上河原地点の濁度とほぼ同じ値を示している。D グループは、降雨による流量の増加があまり顕著でない場合で、流速がそれほど大きくなりえないために、濁度もそれほど大きくないものと思われる。

以上の考察から、同じような均一な雨であっても、降雨の特性、流出の状況等はかなり異なることを示しているが、同じようなグループならば、ある程度関係が認められることを示している。しかしながらここで直線関係があるといっても、その物理的意味については十分に説明することが出来ない。

ii) 上流から下流にかけて降雨量が漸増する場合: 例が少ないことと、降雨条件が多様であること等もありこれらのハイドログラフから一般論をいうわけにはいかないが、均一な降雨と比較するときわだった特徴がみられる。その第 1 は、濁度のハイドログラフの立ち上がり方が急で、1 時間以内で急激に大きくなりかつピークが発生することである。第 2 は、下流での濁度の急激な増加があるのに、上流の上河原では、ほとんど影響せず平坦な場合や増加しても、下流地点にくらべてきわめて小さいときが多い。第 3 は、降雨が下流部にかぎられ、多摩川の下流域が小さいことからあまり大きな流量が出ず、濁度そのものの絶対値は小さいにもかかわらず、ここには示さなかったが、日データによる COD の変化で、出水時に大きくなっているケースが多い。この理由として考えられるのは、下流部での濁質が、上流部のように土砂が中心であるのに比して勾配が小さくかつ、流量が小さいため、濁質分は無機質が少なく、ヘドロ状なものが流出していることが予測される。しかしながら、流量が大きくなることにより、稀釈効果もあり、COD や濁度の値が小さくなる。(1)(2)の原因としては下流域での出水のため流達時間が短かく、かつ降雨が下流に限られていることから出水による表面流出の範囲が限定されているためと思われる。このタイプの代表的なハイドログラフを図-3 に示す。

iii) 上流から下流にかけて降雨量が漸減する場合:

ii) のケースと逆であり、上流での流域面積が大きいことから、流量の増加は大きく、わずかな例外をのぞいて $100 m^3/sec$ をこえている。さらに濁質の上流から下流への伝播の過程があきらかにされており、最大

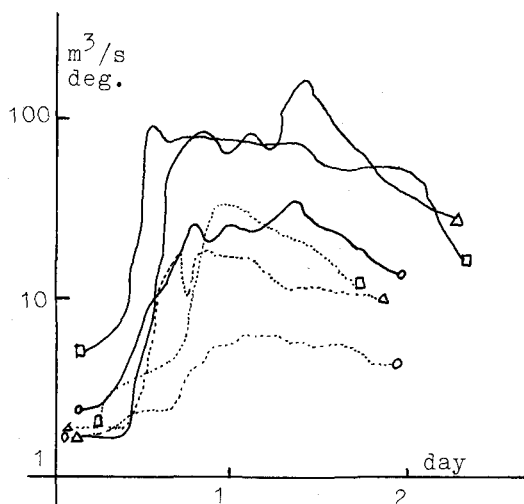


Fig-3 Hydrograph of Turbidity
Case II

濁度もわずかな例外をのぞいてほぼ同程度であり、かつハイドログラフの形もほとんど同じである。このことは、上流で発生した濁質の増加が上河原より下流部にそのまま伝播し、下流の濁質の増加はあまり認められないことを意味している。とくに降雨番号Ⅲ-5-6や(9,17)は、その絶対値は異なるがほぼ同じパターンであることがわかる。絶対値の大きさやピークの出る迄の時間を定量的に示すことは、降雨の特性・絶対量や上流下流の比、等によって異なり、定量的に表現することは今の所不可能である。

それ以外の降雨についても、ハイドログラフはいくつかのグループにわけられ前の2つの降雨の型でみられるよりも分類しやすい。

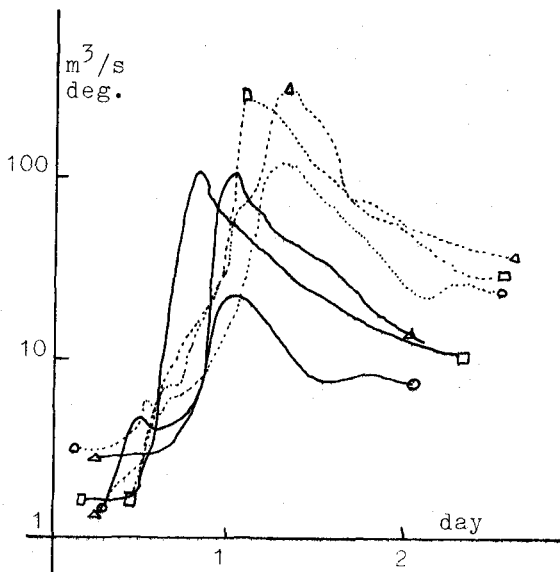


Fig-4 Hydrograph of Turbidity
Case III

このように上流から下流にかけて、濁質の伝播の認められるケースについて流達時間と区間内の平均流速を求めてみると表-3のように示される。上河原地点の濁度が3時間データなので、ピーク時については必ずしも妥当とはいえず、立ち上がり部の傾斜が上流下流部で平行している所の差と流達時間を考えた方がよい。これによると区間15Kmで平均流速は1.10 m/secとなる。この対象とした降雨に対し最大流量は96~1250 m³/secの範囲であるが平水量が10 m³/sec前後であることを考えると、いずれも大出水に相等していることと河床勾配が小さいことと、宿河原堰等の河川工作物によって流れが平均化されているために流達時間にそれほど大きな差は認められない。

表-3 到達時間

降雨番号	上昇部	ピーク
Ⅲ-5	5	5
Ⅲ-6	3	5
Ⅲ-9	5	6
Ⅲ-12	4.5	—
Ⅲ-14	3	3
Ⅲ-16	3	—
Ⅲ-17	3	6
平均(時間)	3.79	5.0
平均流速(m/sec)	1.10	0.83

ここに示した降雨について、最大流量と最大濁度を両対数方眼紙にプロットしたのが図-4である。両地点ともほぼ一直線上にならぶが大きくはずれる点もある。降雨番号12では上流で250mmをこす雨があり、下流では17mmと極端なアンバランスのため上流で濁質が洗い流されてきているが、流量は流達時間との関係から平均化されているため、大きくはずれているものと考えられる。

同様に14番の降雨については、前日流量が37 m³/secと大きく前回降雨の影響により濁質の流出機構が異なっていることによるためと思われる。

4. 結論と今後の課題

以上、105のハイドログラフを比較し、その再現性と特徴をあきらかにするために、いくつかのパターンにわけて分類を行ったのであるが、未だ十分とはいえないがある程度の結論がえられた。すなわち、降雨特性と流域内の平均降雨量の比率で分類することにより、同一分類の降雨による濁質の出水過程にかなり高い再現性が認められた。しかしながら同じ比率であっても、先行降雨や降雨量の絶対値等が異なることによりその濁質の発生機構が異なると見え、最大濁度、ハイドログラフが変化する。しかしながら特に異なるハイドログラフについてはその原因をかなりの程度迄説明することが出来た。105例で約5組、20例を同じ降雨とみなすことが出来、ハイドログラフの再現性が認められたがこれはあくまでも定性的であり、定量的に表現することは現段階では行なえていない。濁質発生過程のメカニズムについての経年度化は当然考えられるが、今回の時間ハイドログラフからはあきらかにすることが出来なかった。もう少し年度をとればあ

きらかにすることが出来るかもしれないが、比較出来るハイドログラフの組み合わせが限られていることから、定量的に求めることにかなりの限界があると予想される。

本報告では日データによるハイドログラフについてほとんどふれなかったが、この時間ハイドログラフをみるにつけ、日データの意味は如何なるものかについての定義が出来ず、大きな意味での先行降雨の状態を推定するのに限ってしまった。さらに今後は、濁度のみでなく有機物指標（例えばCOD）についても考察を行ってみたいと考えている。

6. 謝 辞

本研究のデータは既述した通り東京都水道局、川崎市水道局の業務資料であり、御便宜を賜ったことに深く感謝する次第です。なお本研究は、当研究室の研究活動の一環であり、田部和博君、大浜正俊君の作業による所が多く、本報告はそれを基にして発表者がめたものである。

本研究の1部は文部省特定研究「環境汚染制御」の経費によった。

☆市川新：水文学的手法による汚濁流出機構の解析 第18回水理講演会（1974）