

## (10) 土地利用と雨天時汚濁流出に関する一考察

### RELATION BETWEEN LAND USE AND THE POLLUTANT RUNOFF

松浦茂樹\*・谷本光司\*  
Shigeki MATSUURA\*, Koji TANIMOTO\*

ABSTRACT; Simultaneous measurements of river water quality were carried out in five small basins of the upper Tama river basin to investigate the relation between land use and pollutant runoff.

Two of the five basins are urbanized areas, one is agricultural area, and the other two are mountainous areas. The measurement was repeated in five different flood times at each measuring point and following results are obtained.

- 1) So-called first flush is often observed in urbanized areas.
- 2) The rainfall runoff finishes before the pollutant runoff does. This fact means that the amount of the particle pollutant on the river bed is not so large.
- 3) In the agricultural or mountainous areas, the pollutant runoff is so similar to the hydrograph that the first flush cannot be observed.
- 4) The specific peak of BOD in urbanized areas is 5.2 to 234 times as large as that in one of the mountainous areas. That in agricultural area is 1.0 to 5.7 times. That in another mountainous area is 0.1 to 0.4 times.
- 5) The specific peak of TN in urbanized areas is 1.0 to 76.7 times as large as that in one of the mountainous areas. That in agricultural area is 0.6 to 2.8 times.

KEYWORDS; Land use, Pollutant runoff, River water quality, Particle pollutant, Ratio of specific peak loads

#### 1. はじめに

河川の汚濁流出状況は晴天時と雨天時とで大きく異なる。雨天時には、晴天時に河床や流域（非点源）に堆積している汚濁物質が出水に伴って流送されるので、一時的に大量の汚濁負荷が河川および下流の閉鎖性水域に流出してくる。

晴天時と雨天時の汚濁負荷の量的関係に関する既往調査はいくつかある。たとえば霞ヶ浦に流入する山王川における調査では、年間を通してみると、晴天時汚濁負荷量と雨天時汚濁負荷量の比はほぼ1:1になるという結果が報告されている<sup>1)</sup>。また琵琶湖に流入する小河川流域では、1洪水で晴天時数年分にも達する汚濁負荷が流出することがあると報告されている<sup>2)</sup>。このように調査流域等により調査結果はまちまちであるが、いずれも雨天時の汚濁負荷量が大きいことを示している。したがって湖沼あるいは海域等の閉鎖性水域の汚濁防止、水質改善の観点からみれば、雨天時汚濁流出機構の解明はきわめて重要な問題といえる。

しかしながら雨天時の汚濁流出については、下水道幹線や小河川等を対象に近年、調査研究事例が増加してきているものの、また研究は遅れている。これは降雨前から降雨後までの連続観測という作業の困難さと、流域特性（地形・地質、土地利用等）や降雨特性（総降雨量、降雨強度、先行無降雨日数等）によって変化する雨天時汚濁流出機構の複雑さによるものである。

このような状況に鑑み、建設省土木研究所都市河川研究室では、多摩川上流域において1979年から1983

\* 建設省土木研究所 Public Works Research Institute Ministry of Construction

年の5ヶ年にわたって雨天時水質観測を実施し、河川の雨天時汚濁流出に関する貴重な資料を得た。ここでは、この調査に基づき、土地利用の相違が汚濁流出に与える影響を中心にして考察した結果を報告する。

## 2. 調査対象とした流域と出水

### 2.1 調査対象流域

本調査で対象とした多摩川流域の河川は、流域面積が約7 Km<sup>2</sup>から40 Km<sup>2</sup>にわたる4本の中小河川である。その位置は図1に、土地利用状況は表1に、流域の社会的指標は表2に示す。これらの4流域は互いに隣接しているため降雨条件は類似かほぼ同一とみなせる。

また平井川多西橋の3.841 Km<sup>2</sup>を除くと、流域面積も7.07~10.63 Km<sup>2</sup>と大差はないので、流域特性と汚濁流出機構との関係を検討する上できわめて好条件に恵まれていると判断している。なお平井川は上、下流の2地点で観測を行っており、解析の対象としたのは5流域である。

4河川の利用状況を見ると、青梅羽村福生都市下水路（以下都市下水路と呼ぶ）、下の川は宅地率が80%を越す都市化流域と評価される。平井川は多西橋、細尾地点とも山林が70%を越える山地流域である。谷地川は山地面積が5割強となっているが田畑の面積が約4割を占め、田畑の影響の強い田園河川である。

都市下水路と下の川の流域はほぼ類似の宅地率であるが、表2に見られるように流域内の家畜頭数や工業出荷額は都市下水路流域の方がはるかに大きい。また下水道普及率で見ると、都市下水路流域では8.5%であるのに対し、下の川流域では37.0%と高い。下の川流域の方が都市河川といっても下水道の整備が進み、雑排水の流入は少ない。なお下水道は合流式で整備されている。

### 2.2 調査対象汚濁物質項目と出水

筆者らは5回の雨天時水質多地点同時観測を実施した。ただし谷地川、平井川細尾では初めての2回は観測していない。分析の対象とした汚濁物質はBOD、COD、SS、TN、TPの5項目である。降雨観測は御岳、京浜工事々務所多摩川上流出張所（ともに建設省）の2ヶ所で行い（図1）、各降雨の波形をもとにティーセン法により各流域の降雨を求めた。多摩川上流出張所における5つの降雨波形を図2に、各流域における総降雨量、流量観測結果より逆算した流出率、ピーク流量を表3に示す。なお流出率の算定に当っては別途調査した晴天時流量を差し引いている。

降雨の流出率の面から5流域を比較すると、都市下水路では降雨特性による流出率の大きな変化は見られない。これに対して他の4流域では先行降雨、降雨強度等により流出率が変化する。変化の傾向は宅地流域

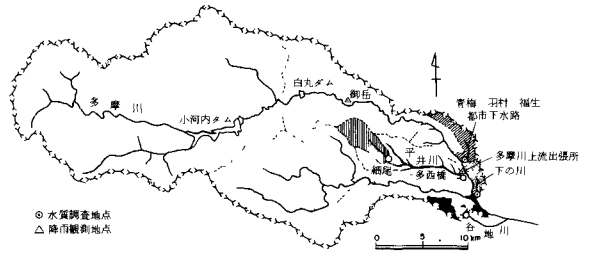


Fig. 1 Outline of the observed basin

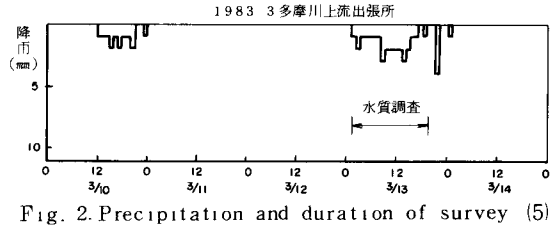
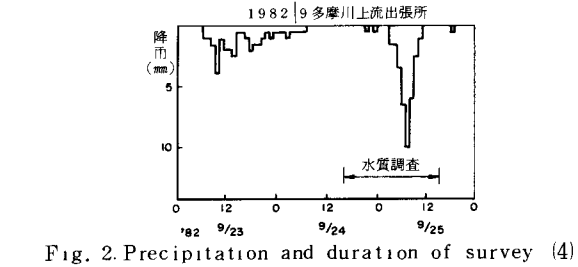
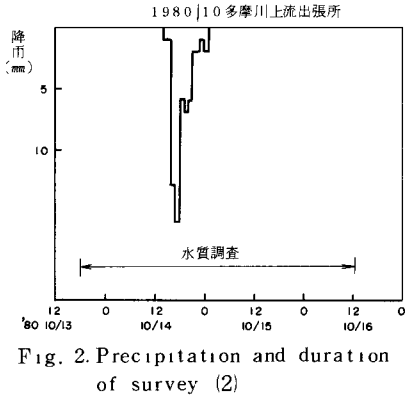
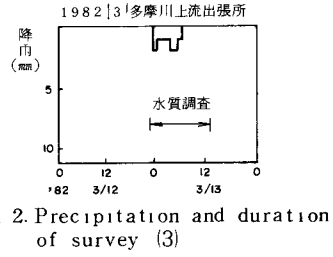
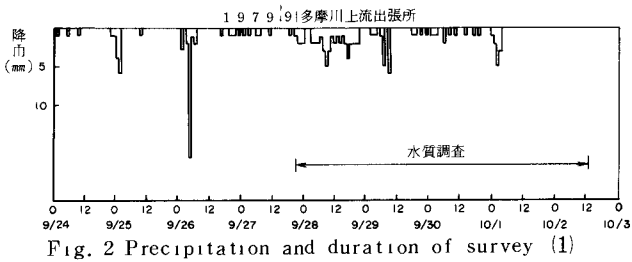
Table 1. Land use of the five small basins

観測地点	流域面積(Km <sup>2</sup> )	山林	田畑	河川	宅地(市街,住宅)
青梅羽村福生都市下水路	1063	62	41	18	879(3, 97)
下の川	728	11	32	122	835(6, 94)
谷地川	707	546	370	06	78(0,100)
平井川(多西橋)	3841	735	119	15	131(3, 97)
平井川(細尾)	1036	965	22	03	10(0,100)

Table 2. Factors concerned with pollutant runoff

流域	人口(人)	下水道普及率及人口(人)	家畜頭数			工業出荷額(百万円)
			牛(頭)	豚(頭)	鶏(羽)	
青梅、羽村、*福生都市下水路	22,915	1,956	406	1,936	23,290	127,520
下の川*	36,017	13,320	22	78	170	14,787
谷地川**	3,918	-	279	468	16,015	4,723
平井川多西橋*	28,848	-	30	40	1,727	13,854
平井川細尾**	586	-	5	8	77	367

注) \* : 54年度調査  
\*\* : 56年度調査



の下の川よりも、田園河川、山地河川である谷地川、平井川において強く現われている。

### 3. 雨天時汚濁流出

本章では、調査した5出水における各流域の汚濁流出状況を示し比較検討する。採水・分析により得られたデータは、濃度 (mg/l)、負荷量 (g/s) の両方についてそれぞれ整理を行っているが、下流の閉鎖性水域の水質汚濁という観点からは汚濁負荷総量がより重要な検討課題である。このことを考慮して、以下では負荷量の経時変化の図を示し検討する。

#### 3.1 1979. 9. 27~10. 2 出水と汚濁流出 (図3)

本出水は9. 24から約10日間継続した長雨で、総降雨量は120mm 強と大きい。水質調査は出水の中後半部に当たる9. 27~10. 2 に都市下水路、下の川、平井川多西橋地点の3ヶ所で実施した。

図3に示した9. 27~9. 30の期間は1~2mm/hrの小雨が観測された。3流域の雨水流出(流量)を見ると、宅地流域の都市下水路と下の川では小さなピークがいくつか現われている。これらは降雨の時間変化に対応したものである。これに対し山地流域の平井川多西橋地点では流量はなだらかな変化を見せ、降雨の時間変化に対する応答は鈍い。調査期間のピーク流量を流域面積で割った比流量 (m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>) で3流域を比較すると、都市下水路は0.33、下の川は0.26、平井川は0.44となり平井川の比流量が最も大きい(表3)。

汚濁負荷流出の波形は、3流域とも流量の波形とほぼ同様の変化を示しており、流域ごとの相違は見られ

Table 3 Outline of the five floods

出水年月		79 9 27	80 10 13	82 3 12	82 9 24	83 3 12
流域	$r$ (総降雨量)	123	57	10	34	32
	$f$ (流出率)	0.67	0.59	0.68	0.77	0.42
	$Q_p$ (ピーク流量)	3.5	1.25	3.0	1.53	1.43
	$Q_s$ (比流量)	0.33	1.18	0.28	1.53	0.40
	D (先行無降雨日数(日))	0	17	10日以上	0	1
都市下水路	$r$	12.3	5.7	1.0	3.4	3.2
	$f$	0.93	0.68	0.24	0.45	0.30
	$Q_p$	1.9	1.27	0.85	0.65	0.22
	$Q_s$	0.26	1.74	0.12	0.89	0.30
	D	0	17	10日以上	0	1
下の川	$r$	-	-	1.0	3.4	3.2
	$f$	-	-	0.03	0.25	0.24
	$Q_p$	-	-	0.06	0.20	0.73
	$Q_s$	-	-	0.01	0.28	0.10
	D	-	-	10日以上	0	1
谷地川	$r$	127.5	49.2	9.5	42.7	31.5
	$f$	1.10	0.34	0.06	0.48	0.13
	$Q_p$	1.68	1.02	0.64	1.87	1.73
	$Q_s$	0.44	0.27	0.02	0.49	0.05
	D	0	17	10日以上	0	1
平井川多西橋	$r$	-	-	9	5.3	3.1
	$f$	-	-	0.06	0.39	0.11
	$Q_p$	-	-	0.14	0.60	0.42
	$Q_s$	-	-	0.01	0.58	0.04
	D	-	-	10日以上	0	1

(注)  $Q_s$  (比流量) は  $Q_p$  (ピーク流量) を流域面積で除したものである。

ない。

### 3.2 1980. 10. 13 ~ 10. 14出水と汚濁流出

(図4)

本出水で水質観測したのは都市下水路、下の川、平井川多西橋地点の3ヶ所である。総降雨量は2日間で49mmから57mmとかなりあり、先行無降雨日数は17日と長い。

3流域の雨水流出を見ると、宅地流域の都市下水路、下の川は流量の立ち上がりが鋭敏で、降雨が終了するとすぐ流出が終了して晴天時流量に戻るという共通の特徴を示す。これに対し山地流域の平井川多西橋地点では流量の立ち上がりが鈍く、降雨終了後もだらだらと流出が継続する。ピーク流量は3流域とも10~12 m<sup>3</sup>/sであるが、流域面積で割った比流量で評価すると、表3にも示したように下の川が174 m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>と大きく、都市下水路は118 m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>、平井川は0.27 m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>ときわめて小さい。

次に汚濁流出を見よう。都市下水路と下の川の汚濁負荷流出波形はきわめて類似している。流量の立ち上がりに伴って汚濁負荷量も鋭敏な立ち上がりを示すが、雨水流出より先に汚濁流出が終了するとい

うのが両流域の汚濁流出の共通の特徴といつてよいだろう。汚濁負荷流出量は常に都市下水路の方が大きい。汚濁負荷量を流域面積で割った比負荷量 (g/s/Km<sup>2</sup>) のピーク値で見ると、BODでは都市下水路431、下の川329、CODではそれぞれ463、333、SSでは45.2、277、TNでは4.3、37、TPでは2.42、0.98となっている。このように都市下水路の方が大きいのは、下水道の普及率の違いも一因だろう。都市下水路のTNは雨水流出の前後(非洪水時)においても高い負荷量を示し、流域からの定常的な汚濁負荷供給が大きいことを示している。他の汚濁物質でもそのような傾向が見られる。平井川における汚濁負荷流出波形は流量波形とよく一致しており、降雨終了後も雨水流出が長く継続することに対応して汚濁負荷流出も

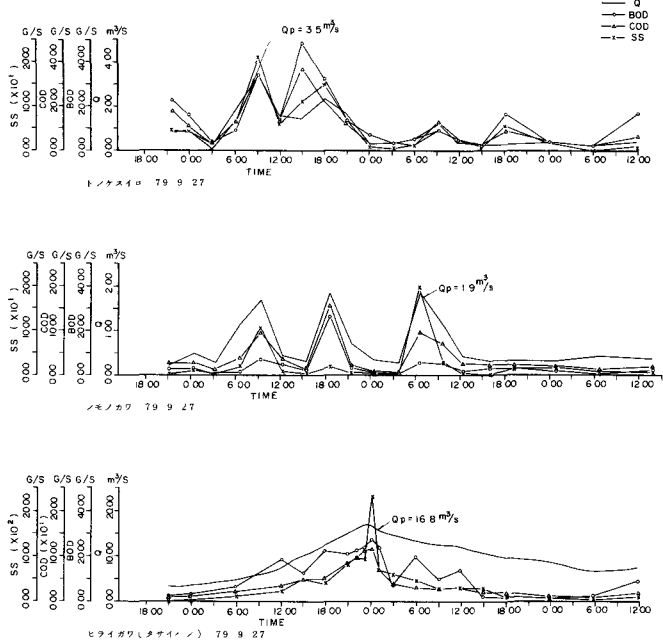


Fig. 3 (a) Hydrograph and polutgraph for BOD, COD, SS

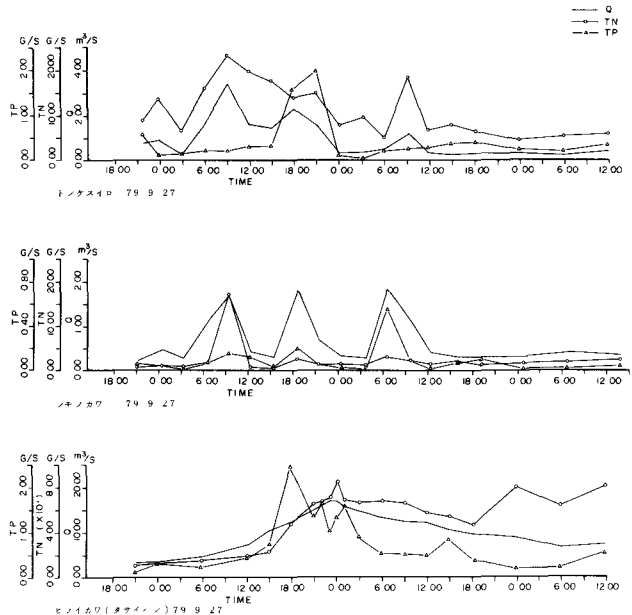


Fig. 3 (b) Hydrograph and polutgraph for TN, TP

継続している点が特徴的である。平井川のピーク値を都市下水路と比較すると、BODで $1/34$ 、CODで $1/17$ 、SSで $1/24$ 、TNで $1/72$ 、TPで $1/38$ となっている。

### 3.3 1982 3 12~3 13の出水と汚濁流出(図5)

本出水は先行無降雨日数が10日以上と長く、総降雨量は10mmと小さい。このため山地流域である平井川、田畑の多い谷地川では流量に顕著な変化が見られず、出水とはいえない状態である。かつ汚濁負荷量も小さい。しかしこのような小降雨であっても、宅地流域の都市下水路や下の川では雨水流出、汚濁負荷流出が観測される。以下はこの2流域の流出特性を比較検討する。

雨水流出を見ると、両者の流量波形に大きな違いはないが、ピーク流量は下の川が $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $0.12 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ )であるのに対し都市下水路が $3 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $0.28 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ )と大きい。雨水流出機構に違いがあるものと考えられる。汚濁負荷流出の状況も両流域で少し異なる。都市下水路について見ると、BOD、TN、TPの負荷量ピークは流量ピークよりも先に現れており、ファーストフラッシュと判断される。このファーストフラッシュに対応する流量はおよそ $2 \text{ m}^3/\text{s}$ である。SSはBODと流量とのそれぞれのピークに対応する2つのピークをもっている。またCODはSSとBODの中間的な波形を示している。次に下の川について見ると、すべての汚濁物質で明瞭なファーストフラッシュが現れている。このファーストフラッシュに対応する流量はおよそ $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ である。流量ピーク時( $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ )の汚濁負荷量はファーストフラッシュ時のそれよりも小さく、この程度の流量で掃流されるような河床堆積物の多くは出水初期に流送されたものと考えられる。下の川の比負荷量ピーク値を都市下水路と比較すると、BODで $1/11$ 、CODで $1/13$ 、SSで $1/10$ 、TNで $1/45$ 、TPで $1/15$ である。

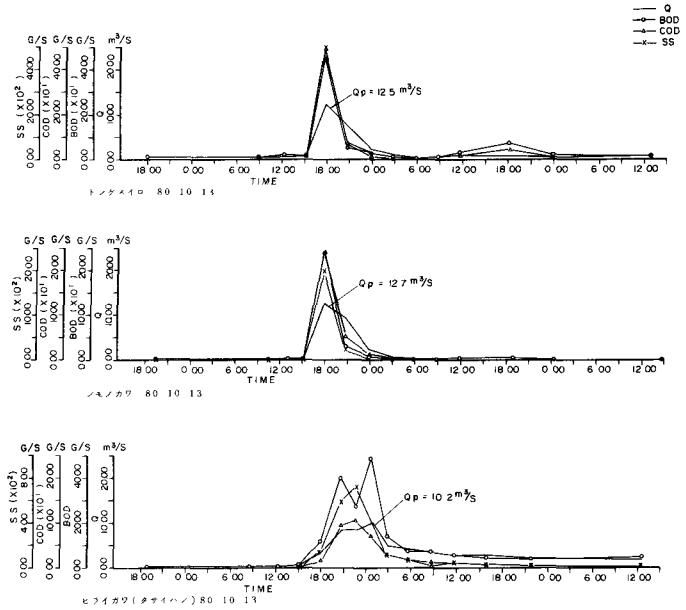


Fig. 4(a) Hydrograph and pollutant graph for BOD, COD, SS

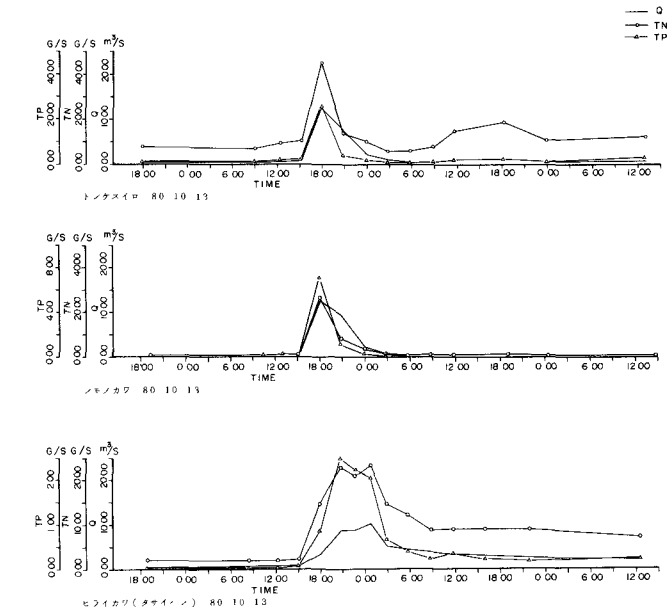


Fig. 4(b) Hydrograph and pollutant graph for TN, TP

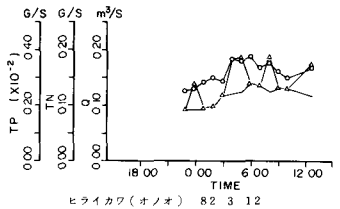
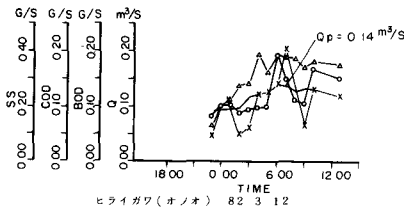
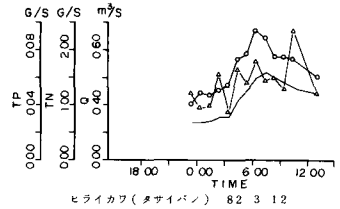
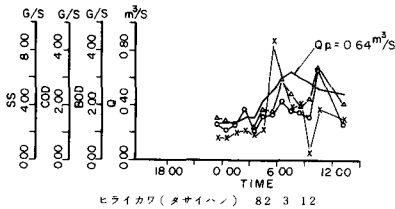
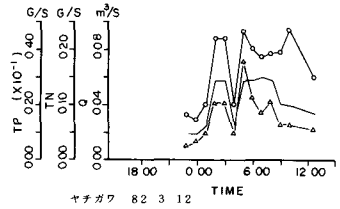
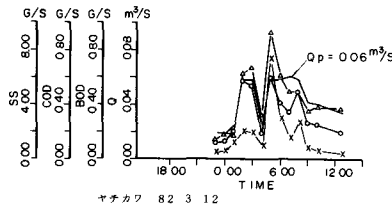
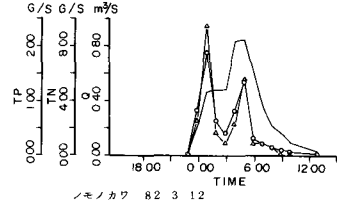
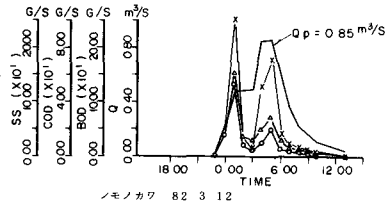
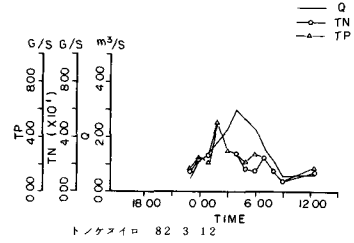
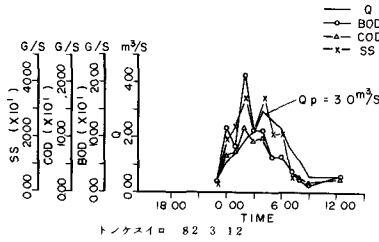


Fig. 5(a) Hydrograph and polutgraph for BOD, COD, SS

Fig. 5(b) Hydrograph and polutgraph for TN, TP

### 3.4 1982.9.24～9.25 の出水と汚濁流出 (図6)

本出水は調査前日にも総降雨量32mmの降雨があったことと、当日の総降雨量が比較的多かったために各流域で流出率が大きくなっている。雨水流出状況を見ると、都市下水路で流量の立ち上がり最も急で、平井川で最も緩やかになっている。降雨終了後の流量波形を比較すると、宅地流域では降雨終了後すぐに雨水流出も終了して晴天時流量に戻る。これに対し自然地域では降雨終了後も雨水流出が継続する。この傾向は山地流域になるほど顕著で、流域のほとんどが山林である平井川細尾地点では降雨終了後もしばらくはピーク流量が継続する。比流量のピーク値で5流域を比較すると、都市下水路1.53、下の川0.89、平井川細尾0.58、平井川西橋0.49、谷地川0.28 ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ )となる。

次に各流域における汚濁流出の状況について検討する。都市下水路流域では、BOD、TN、TPのピークが流量ピークよりも少し早く現れる。この汚濁ピークに対応する流量は約  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$  で、図5で見たファー

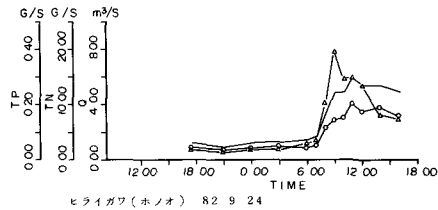
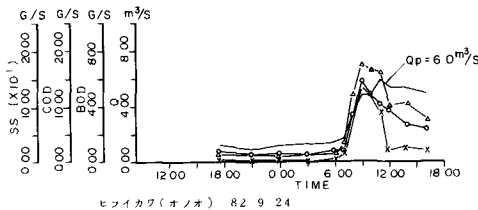
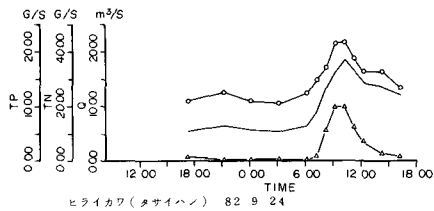
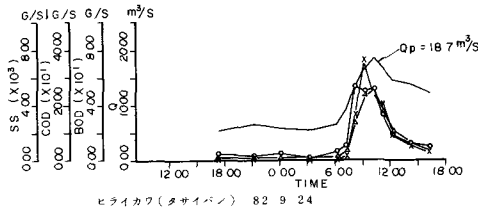
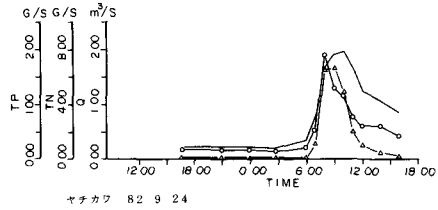
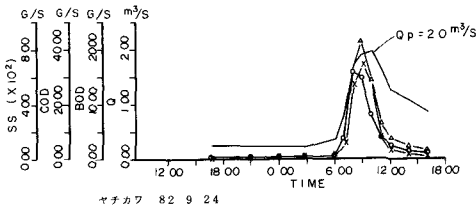
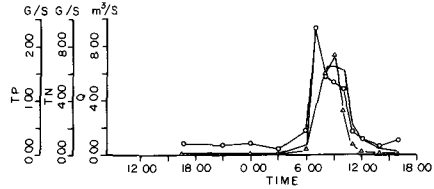
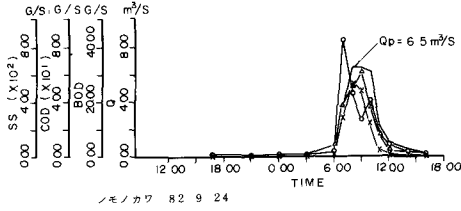
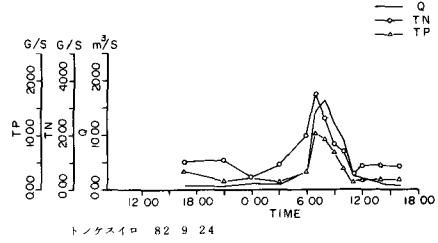
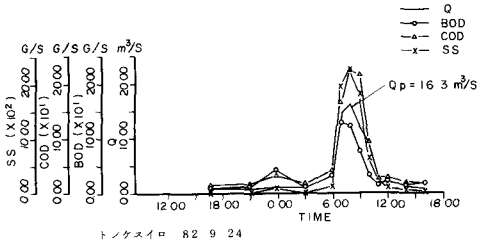


Fig. 6 (a) Hydrograph and pollutant graph for BOD, COD, SS

Fig. 6 (b) Hydrograph and pollutant graph for TN, TP

ストフラッシュ時の流量約  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  よりかなり大きい。COD、SSの汚濁流出波形は流量波形とよい一致を見せている。下の川では、BOD、TN、TPにファーストフラッシュが見られる。このファーストフラッシュに対応する流量は  $1 \sim 4 \text{ m}^3/\text{s}$  で図4で見た  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  より少し大きい。CODとSSの汚濁流出波形は流量波形とよい一致を示す。谷地川ではすべての汚濁物質が流量に対応した増加を示しているが、詳細に見るとBOD、TNのピークが流量ピークより若干ながら先に現れている。また流量ピークを過ぎた時点で宅地流域の河川と同様に汚濁負荷量が急激に減少し、雨水流出よりも早く汚濁流出が終了している。山地流域の平井川での汚濁流出状況は谷地川と類似している。細尾地点ではピーク流量が長時間継続しているが、その間に汚濁負荷量が徐々に減少しており、同一流量では河川水への汚濁物質の供給に限りがあることを推測させる。

宅地流域である都市下水路、田畑の多い谷地川、山地流域の平井川細尾地点のピーク比負荷量 ( $\text{g/s}/\text{Km}^2$ )

を見ると、BODで都市下水路1.9,谷地川2.2,平井川0.56,CODでそれぞれ20.9,6.1,1.7,SSで211,96,140,TNで32.9,10.7,0.97,TPで0.98,0.23,0.039となる。谷地川は流量が都市下水路の約 $\frac{1}{10}$ と小さいので濃度から見ると都市下水路よりも汚れた出水となっている。平井川はBOD、SS、TPの供給能力がきわめて小さく、TNは田畑と同程度の供給能力をもっていることがわかる。

### 3.5 1983. 3. 12 の出水と汚濁流出 (図7)

本出水では2日前と10日前にそれぞれ10mm前後の小降雨があったが、それを除くと先行無降雨日数は1ヶ月以上と長い。流域ごとの雨水流出状況の特性は、図3～6で見てきたことと同じである。山林、田畑等を流域にもつ河川では、降雨終了後も長期間出水が継続することを考慮して3月14日の12～13時にも流量観測と採水を実施しているが、図の洪水波形から見て雨水流出はさらに長期間継続するものと思われる。

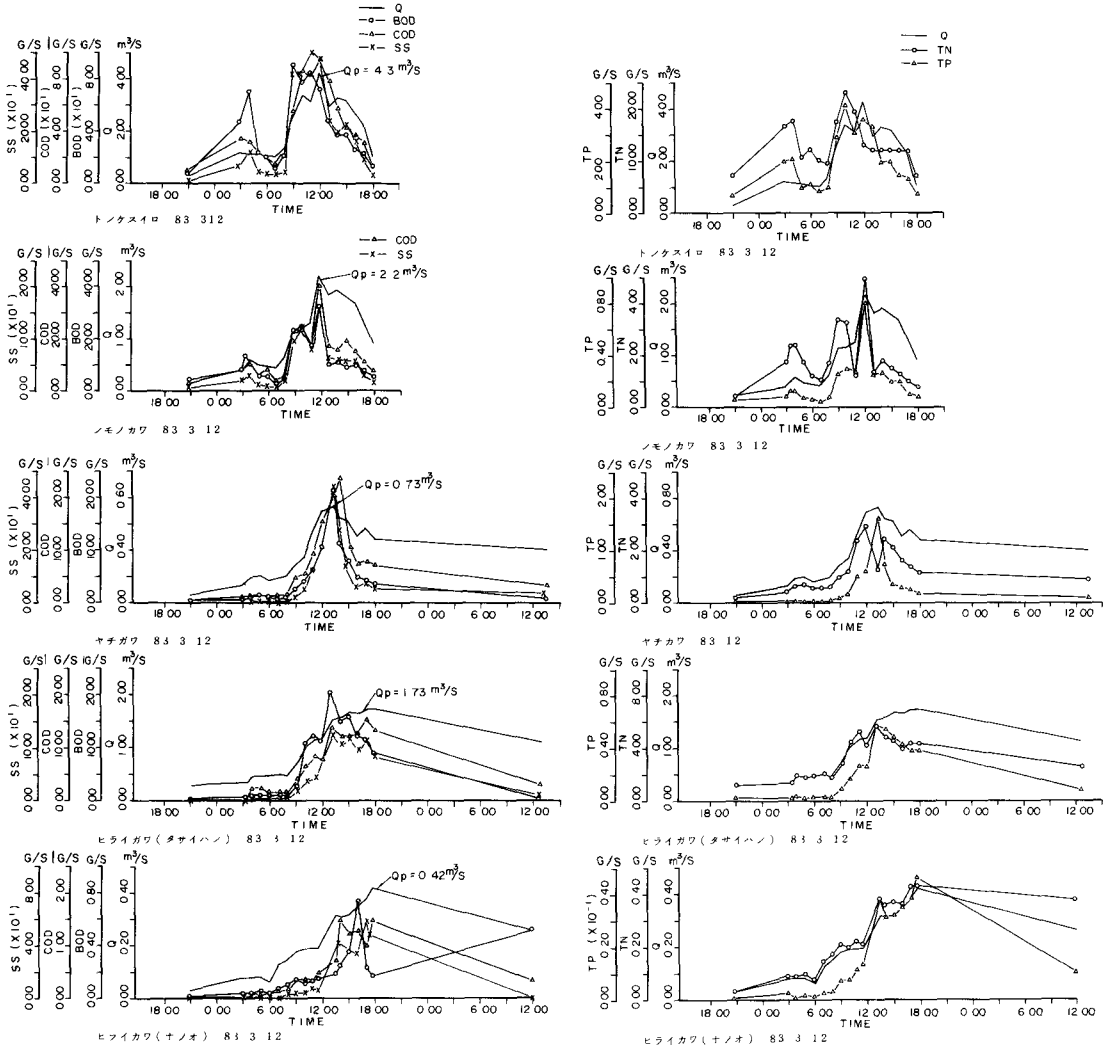


Fig. 7 (a) Hydrograph and pollutograph for BOD, COD, SS

Fig. 7 (b) Hydrograph and pollutograph for TN, TP



都市下水路流域の汚濁負荷流出を見ると、BODに明瞭なファーストフラッシュがあり、同時刻にSS、TN、TPも小さなピークを示している。これに対応する流量は $1\text{ m}^3/\text{s}$ で、1982年3月12日の出水で見た $2\text{ m}^3/\text{s}$ と近い値である。CODは流量ピーク時( $4.3\text{ m}^3/\text{s}$ )にピークを迎えているが、BODはそれよりかなり前にピークを迎えている。SSは流量よりも若干早くピークに達しているが、この理由はよく分からない。下の川では流量 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2\text{ m}^3/\text{s}$ に対応する3つの汚濁負荷流出のピークが見られる。これは図5で見た流量 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ でのファーストフラッシュ、図6で見た $1\sim 4\text{ m}^3/\text{s}$ でのファーストフラッシュと対応していると考えられる。図5に比べて汚濁負荷量が小さいのは、前日の小降雨の影響と考えられる。谷地川、平井川では汚濁負荷流出波形と流量波形がよく一致している。宅地流域の河川で見たファーストフラッシュは見られない。ただし山地を流れる平井川に比べて、田畑を流域にもつ谷地川の方が汚濁負荷流出が早く終了している。

## 4. 考 察

### 4.1 流域特性と汚濁流出

本調査では、流域のほとんどが宅地化されている都市下水路、下の川、山地流域を流れる平井川、田畑の多い谷地川を検討の対象としている。調査結果から見て、宅地流域を流れる河川と田畑、山地流域の河川では雨水流出の状況も全く異なり、汚濁流出についても大きな相違がある。調査結果をもとに以下に要点をとりまとめる。

#### イ) 雨水流出機構について

宅地流域では小さな降雨でも雨水流出が発生する。流量の降雨に対する応答は鋭敏で、降雨があるときに流量が立ち上がり、降雨が終了するとすぐ流量も減少して晴天時の状態に復する。特に都市下水路は鋭敏であって、先行降雨の影響はあまり受けない。ただし下の川では流出率等から見て先行降雨の影響を受けていると見られ、同じ宅地流域であっても都市下水路とは若干異なった流出機構をもっているようである。

田畑、山地流域では流量の降雨に対する応答が鈍く、降雨開始後の流量の立ち上がりは緩やかで、降雨終了後の流量低減には長時間を要す。このため先行降雨や総降雨量の影響を強く受ける。先行無降雨日数が長く降雨量が小さい場合には雨水流出が観測されない程である。また雨水流出率は宅地流域に比べてかなり小さい。

#### ロ) 汚濁流出機構について

宅地流域の汚濁流出の第1の特徴はファーストフラッシュ現象が見られることである。しかしすべての出水、すべての汚濁物質に見られるのではなく、全く見られない場合もある。またファーストフラッシュがあってもこれに対応する流量は出水ごとくに異なっている。

ファーストフラッシュが最もよく出ているのは、1982.3の総降雨量が10mmの小出水(図5(a),(b))であった。1983.3の出水(図7(a),(b))では、流量が増加しはじめてすぐに汚濁負荷量も小さなピークを示している。しかし、先行無降雨日数が1日と短いいためか、流量ピーク時の負荷量よりは小さい値となっている。1982.9の出水(図6(a),(b))では、BOD、T-N、T-Pは、流量ピークより少し早く負荷量ピークをむかえている。しかし、COD、SSは流量と同時に負荷量ピークをむかえており、ファーストフラッシュは認められなかった。

1982.3出水と同様に長期間の先行無降雨日数があった1980.10の出水(図4(a),(b))では、ファーストフラッシュをとらえられなかった。この出水では採水間隔を約3時間としていたため、ファーストフラッシュをとらえられなかった可能性も考えられる。しかし、降雨の前半に雨量ピークをむかえていることと、これに対応して流量が急激に立ち上がっている点から判断すると、ファーストフラッシュによる負荷量ピークと流量ピークに伴う負荷量ピークとが同時に現れたとも考えられる。なお1979.9出水は出水途中からのデータしかないので、ファーストフラッシュがあったかどうかはわからない。

このように汚濁流出はかなり複雑な機構となっていて、一概に定性化することはできない。しかし概略的に見て次のような機構となっているだろう。

晴天時、流域や河床には汚濁物質が堆積している。それらの粒径、比重はさまざまで、出水によってその粒径、比重に対応する掃流力に達すると流水中に供給される。したがって大出水の初期や小出水時には河床にある汚濁物質のうち比較的軽いものが掃流される。その後出水が継続して掃流力が増大すると、それに対応してより重い汚濁物質も洪水中に供給されるようになる。現象としてファーストフラッシュが観測されるかどうかは、河床に存在する汚濁物質の絶対量とその掃流力に対応する重さ（移動抵抗力）の分布、および出水中の掃流力増加のプロセスによると考えられる。

このように考えると、図5、図6、図7に見られるような出水ごとのファーストフラッシュに対応する流量の相違や、図7の下の川に見られるような一山の流量波形に対して3つの汚濁負荷ピークが現れるという現象を物理的に説明することが可能となる。BODが最も小洪水時にファーストフラッシュを生じやすいというのは、BODとして反応する汚濁物質が比重の小さい物質で、小出水時に流出するからだろう。

宅地流域の汚濁流出の第2の特徴は、雨水流出より先に汚濁流出が終了するという点である。この点は下水道ではより明瞭となっている。下水道では汚濁物質供給は有限と評価され、そのかなりがファーストフラッシュとして流出するといわれる<sup>3)</sup>。このため出水後期の水質が比較的良好で、時として晴天時水質よりも低濃度であるという現象が観測されている。その原因は出水初期に下水道管内の堆積物の多くが掃流されて、路床からの汚濁物質の供給が行われなくなったためと考えられている。宅地流域の都市河川でもこれと同様な現象が生じているかどうか各河川ごとに評価する必要があり、この評価によってファーストフラッシュの重みが異なってくる。ファーストフラッシュが仮にあって、総負荷量に占める割合が小さければ、下流の閉鎖性水域の水質保全という観点からは無視し得る。

先述したように雨水流出より先に汚濁流出が終了することは、その出水のピーク流量の掃流力に対応する汚濁物質は流出してしまっただけなのであろう。それ以上の流量時にさらに大きな汚濁負荷量の流出があるかどうかは、流域あるいは河床の汚濁物質堆積状況による。河川が下水道と異なるのは流域に多量の汚濁物質があることだが、宅地流域の場合、堆積負荷量に一定の限界があるかどうか、あるとしたらその限界が把握できるかどうかは今後の検討課題である。なお同じ宅地流域であっても、下水道の普及率が小さい都市下水路の方が汚濁負荷量は大きかった。

田園、山地流域からの汚濁流出の特徴は、汚濁負荷流出の波形が流量波形とよく一致する点である。宅地流域との対比で言えば、ファーストフラッシュが観測されないことも特徴といえよう。出水初期に河床付近で生じる物理現象はどの流域でも同じと考えられる。しかし、田園、山地流域の河川では、それが水質（濃度）の変化として明瞭には現れてこないのである。その理由としては、晴天時水質（濃度）が宅地流域の河川に比べて良好なために河床に堆積する汚濁物質量が少ないことと、流量の降雨に対する応答が鈍いため掃流力が急激には増加しないことが考えられる。

図5、図6では田園河川である谷地川は、雨水流出より先に汚濁流出が終了している。あるピーク流量に対して流出する汚濁物質には限界があり、現象からみて汚濁流出機構は基本的には宅地流域と変らないものと考えられる。山地河川である平井川では、汚濁物質の供給能力に明確な限界は見られず、出水量に応じて汚濁負荷の流出が継続している。図6の1982 9 24 出水の汚濁流出は雨水流出より先に終了していると思われる。山地流域の汚濁物質供給能力の有限性を示唆するデータである。しかしそれは調査結果の中でもただ一例のみであり、實際上、山地流域からの汚濁物質供給能力はほぼ無限と考えてよいであろう。

最後に、各流域からの汚濁負荷流出量の比較の一例として、出水ごとのBODとTNのピーク比負荷量の比率を表4.1、表4.2に示す。表では田園、山地流域の中で5回の出水全部のデータがそろっている平井川多西橋地点のピーク比負荷量を1とし、他の流域についてはそれとの比率を示している。

BODについて見ると、都市下水路、下の川では平井川の数倍から数十倍のピーク比負荷量が流出してい

Table 4.1 Ratio of specific peak load

流域	出水				
	79 9	80 10	82 3	82 9	83 3
都市下水路	656	341	2340	850	158
下の川	519	259	2160	409	825
谷地川	—	—	099	156	573
平井川多西橋	1	1	1	1	1
平井川細尾	—	—	022	040	013

注) 平井川多西橋のピーク比負荷量を1としている。他の流域のピーク比負荷量は、平井川多西橋流域のピーク比負荷量との比で表している。

Table 4.2 Ratio of specific peak load

流域	出水				
	79 9	80 10	82 3	82 9	83 3
都市下水路	101	712	76.7	291	147
下の川	109	606	173	113	463
谷地川	—	—	055	095	281
平井川多西橋	1	1	1	1	1
平井川細尾	—	—	030	086	029

る。比率が大きい1980. 10と1982. 3の出水はどちらも先行無降雨日数が高い場合である。田園河川の谷地川は出水ごとにピーク負荷量が大きく変動し、その範囲は平井川多西橋の数分の1から数倍である。変動の原因についてはよく分からない。平井川細尾地点では比負荷量は多西橋との比率で見ると0.0336～0.415とかなり小さい。比較的比率が大きい1982. 9出水は前日に降雨があったケースである。

TNの場合もBODとほぼ同じ傾向を示しているが、数値の変動巾がBODよりかなり少ない。1982. 3出水は先行無降雨日数が高いことと総降雨量が少ないことのために、田園、山地流域ではほとんど出水といえない状態であった。このデータを除くと、平井川多西橋を基準にした各流域の比負荷量の比率は、いずれの場合も1桁以内におさまっている。

#### 4.2 降雨特性と汚濁流出

雨水流出特性は宅地流域と田園、山地流域とで大きく異なるので、ここでは2つに分けて検討する。

##### イ) 宅地流域の場合

都市下水路の調査結果を見ると、雨水流出に対して先行降雨の影響はあまり見られず、降雨と流量がよく対応している。しかし汚濁流出は先行降雨の影響を受ける。先行無降雨日数が10日以上と長い図4と、前日に小降雨のあった図6を比較すると、流量規模がほぼ一致しているにもかかわらず、BOD、COD、TN、TPの負荷量はすべて図4の方が大きい。図3と図5についても同じことがいえる。

下の川では雨水流出において先行降雨の影響が見られるが、汚濁流出については都市下水路と同様のことがいえる。

##### ロ) 田園、山地流域の場合

田園、山地流域では降雨特性、とくに先行降雨によって雨水流出状況がかなり変化する。一方それに比べて汚濁負荷流出は流量と対応する。このことから、長期間無降雨が継続したあとの出水では雨水流出が少なく、したがって汚濁流出も少ない。先行降雨が大きい場合には雨水流出が大きく、これに伴って汚濁負荷量も大きくなる傾向がある。このように筆者らの調査では、先行降雨が汚濁流出に与える影響は、宅地流域と田園、山地流域とでは正反対の結果となっていた。

#### 5. おわりに

本報告は筆者らが多摩川流域で実施した雨天時水質多地点同時観測の結果に基づき、土地利用の相違が汚濁流出に与える影響を中心に、定性的に検討したものである。観測した降雨は5降雨と少ないが、都市地域、田園地域、山地地域と異なった流域の河川を比較しており、興味ある結果が得られたと考えている。

宅地流域の河川については、その特徴といえるファーストフラッシュ現象について考察を行った。流水のもつ掃流力、河床堆積物の掃流特性といった物理的な側面から、汚濁流出現象を説明する可能性を示すことができたと考えている。このファーストフラッシュについては、汚濁負荷量全体の中でどのような重みをもっているのか、きちんと整理する必要があると考えている。

田園、山地流域の河川については、汚濁負荷流出量が少ないこともあって従来から調査事例が宅地河川よりもさらに少ない。下流水域の水質保全といった観点から今後検討を進める必要がある。本調査では宅地流域の河川と比較考察することにより、いくつかの知見が得られた。田園河川と山地河川では汚濁流出機構

に相違があることが明らかとなった。

今後さらに観測データを収集するとともに、定量的な分析に進んでいきたい。なお各流域の定量的な比較は、BOD、TNに限ってピーク負荷量で比較したが、他の項目あるいは総負荷量については別途報告したい。

#### 参考文献

- 1) 建設省霞ヶ浦工事事務所、霞ヶ浦負荷量解析、昭和52年
- 2) 海老瀬 潜一、小河川の降雨時流出負荷量の算定と評価、環境技術Vol. 9, No. 4 (1980)
- 3) 日本下水道協会、雨天時における合流式および分流式下水道の改善に関する調査報告書、昭和54年3月