

大戸川の観測について

中村 行雄

はじめに

河川の流送土砂には、掃流砂・浮流砂また平常時河床に存在しない微細土砂（ウォッシュ・ロード）が洪水時には多量に含まれている。このウォッシュ・ロードは、貯水池の濁りや堆砂、河川水の濁りに支配的影響を与えている。したがって、ウォッシュ・ロードの予測は、水量の確保と水質の保全上重要な課題であり、とくに貯水池における、濁水の長期化現象が社会的問題となっている。そのために、貯水池流入河川の上流域における微細土砂の生産・流出の調査・観測が、水理・水文学的方法による、微細土砂の流出解析が行われるようになってきた。しかし、降雨流出に比してウォッシュ・ロードの計測が困難なために、精度の高い観測資料の蓄積が極めて限られており、ウォッシュ・ロードの予測法に対する十分な検証がなされていない。そこで、当分野では旧河川災害研究部門の時代から、淀川水系大戸川流域（滋賀県）において、1966年以來、びわ湖流域水文観測特別事業の一環として、洪水時の流砂と河床変動に関する調査観測を行ってきた。1973年からは、とくにウォッシュ・ロードに注目して、水理・水文学的方法による解析を試み、流域各点における洪水・流砂観測を行ってきた。また、1975年から、黒津地点（水位観測点）において定時刻に、毎日1～2回の採水・水温・水位・天気を観測ならびに臨時観測を継続し、ウォッシュ・ロードの年次変化および季節変化など出水特性の検討し、1975年～1995年の20年間わたって観測を継続してきた。この観測で得られたデータからウォッシュ・ロードの挙動を考察する。



筆者近影

大戸川の概要

大戸川は、淀川水系瀬田川の支川であり、滋賀県信楽町多羅尾より発し、同町勅旨・黄瀬・大鳥居を経て田上郷に入り、田上山から流れ出る天神川を合し、大津市黒津町（南郷洗堰下流約900m）において瀬田川に合流する一級河川（図1）である。流域面積190km²であり、

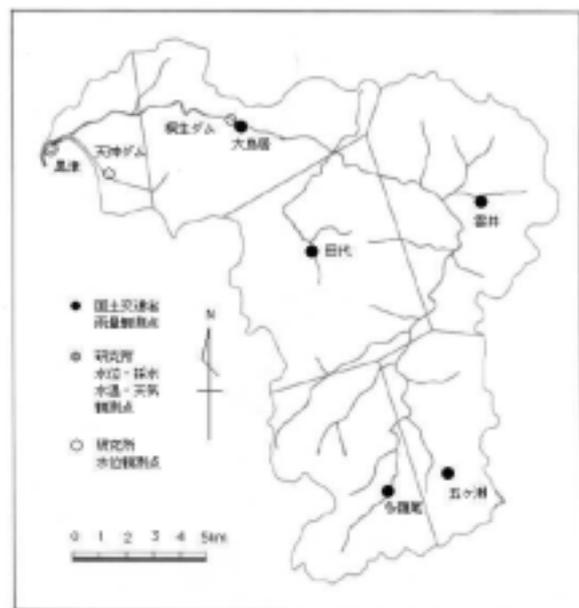


図 1 流域図

瀬田川流域の 63.2%を占めている。流域のほとんどは林地であり、その比率は 83.7% (158.7km²) を占める。流路延長は 37.6km におよび、平均こう配は 1/68 (下流こう配は 1/250) という急流河川である。

大戸川上流域の地質は、花崗岩が約 80%を占め、一部に秩父古生層、第三紀層および沖積層が分布している。とくに、田上・信楽地区では、裸地・禿しゃ地が広く分布していた。その深層風化が進んでいるため、1878 年より内務省直轄瀬田砂防として広範な山腹・渓流工事が行われ、生産・流出土砂の抑制が図られてきた。大戸川における裸地の面積比率を航空写真から読み取った結果、1963 年 5.5%、1970 年 4.5%、1975 年 1.1%と減少の傾向にある。

また、大戸川本川の綾井橋 (6km 地点) 下流には、床止めが 10 基設置されており、瀬田川本川と大戸川合流点では、大戸川からの流出土砂による堆積・閉塞を防止するため導流堤が 1966 年に設置され、瀬田川の右岸の引堤が行われた。しかし、大戸川から年平均 10 万 m³ の土砂が流出し、こう配の平坦な河口に一部が堆積する。大出水のあとでは、その堆積状況に応じて土砂の除去が行われている。また、大戸川下流部の床止め区間においても、砂州の除去が不定期に実施されている。

長年の砂防工事により、近年は流域の山地にも緑が目立つようになったが、現在でも所々に禿しゃ地が残っている。

大戸川流域の調査観測

1966 年より大戸川の調査観測は水災害研究部門・洪水災害分野 (旧河川災害研究部門) で開始され、観測で必要となる洪水観測車が配備された。

1) 調査は大戸川流域・信楽川流域の水越川筋・田代川筋の大鳥居地点・上流の旭橋地点・天神川筋・吉祥寺川筋・信楽川流域の田上山地を含む各地点を下見することから始められ、流域の特性を調査するために行われた。

とくに禿しゃ地の広く分布している田上山地の調査が行われ、天神川の流域の流域特性を把握するため水位観測点を設置、その最適の場所の選定を進め、天神川砂防堰堤 (写真 1) を選び、そこに当初石田式の簡易水位計一週間巻の水位計を設置した。大戸川本川については、桐生第一砂防堰堤に同型の水位計を設置した。また、水位を流量に換算するために上記二堰堤の模型を当研究所・宇治川水理実験所に製作し水理模型実験を行い両堰堤の水位 流量曲線を導き出した。



写真 1 天神川砂防堰堤

その後 1969 年に水位計 (小笠原計器製) を一ヶ月巻に切り替え、また、1992 年 4 月に内外エンジニアリング製の Water Memory (デジタル水位記録計) に切り替え観測を継続している。この水位計の特長はイ) 電源部に乾電池を使用し、かつ長期間の観測が可能ロ) データの回収は IC カードの交換のみ ハ) クオーツタイマーの使用で時間的に正

確な記録が可能 二) データの収録から整理・解析までコンピューター処理が出来る、と要った機器である。図 2 にそのサンプルを示す。

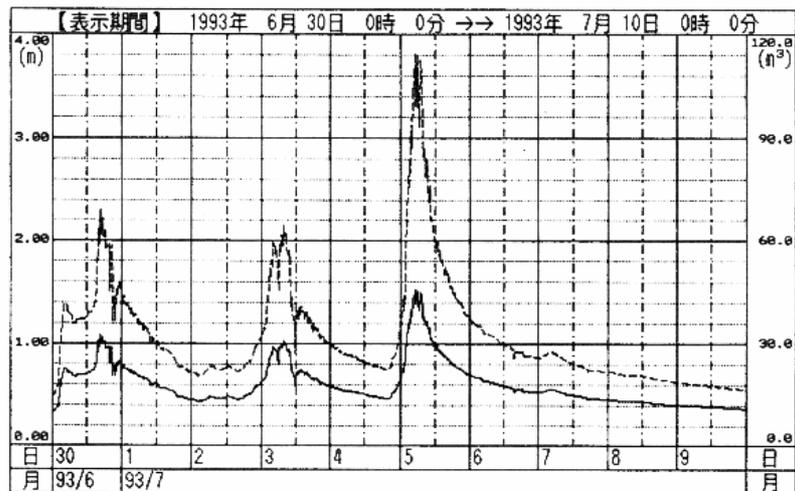


図 2 水位・流量記録をコンピューター表示した一例

2) 流域の砂礫の粒度構成を知るため、河道部においては(8ヶ所 23点)水中・水際、山地部においては、田上山および水越川の山地部と、禿しゃ地の多い

地域を選定し表層・中間・深層と土砂を採取し、研究所に持ち帰り土砂の篩い分け作業を行った。いずれのサンプルも平均粒径は1~5mmであった。

3) 流域の洪水観測のため、大戸川・瀬田川合流点から100mピッチ(13ヶ所)に左右両岸に量水標を設置し、大戸川河口部の洪水流の観測を行った。また、黒津量水標地点を中心に11測線にリング設置、5測線にタイルを埋設し、一洪水でどれだけ河床が変動するかといった測定を洪水通過後に行った。また、同時に洪水通過後量水標設置地点から、河口部および瀬田川本川の合流点下流(大戸川土砂流出の影響を受ける主として瀬田川左岸側を中心に)の測定を実施し、洪水痕跡や河床変動の実態を測定した。

また、洪水観測は大戸川本川河口から二つ目の稲津橋上(写真2)で行い、橋上よりクレーン付観測車で、電磁流速計・採水器(重さ30kgの錘付)・掃流砂の採砂装置を川に下ろし観測をした。水位および水深は重錘を橋の欄干より下ろし洪水時の横断形状を測定した。同時に、洪水の縦断形状は河口から13ヶ所左右両岸の量水標を読み取り測定を行う事により観測した。その結果は芦田らにより、京都大学防災研究所年報11号B(1968年)に、また年報13号B(1970年)に報告された。その1部として図3に1966年4月~1972年3月の間に流域で観測された土砂の粒度分布を示す。



写真2 稲津橋から上流を望む

大戸川においては洪水が夜間に発生することが多く、スタッフは夜を徹して観測を行なうといったケースが多々あった。こうした洪水観測に出動するために研究室では、ラジオの気象情報を聞き、また、台風情報を逐一入手し、天気図を作成して流域に降雨があるかないかの判断をして、観測におもむくことが多く、時には空振りの事もあった。こうした洪水観測は1972年まで継続して行った。

大戸川におけるウォシュ・ロードの観測

前述の観測の後 1970 年代からは、大戸川における流砂量とくに微細土砂に注目した観測が行われるようになった（村本ら、1973、1975、1977、1982ab、1983）。微細土砂は、ウォシュ・ロードとも呼ばれ、貯水池の濁りや堆砂、河川の濁りに支配的影響力を持つものである。この観測がおこなわれたのは、瀬田川下流宇治川にある天ヶ瀬ダムへの流入土砂量を推定する上で、同ダム集水面積（352km²）の 54% を占める大戸川流域における土砂生産の機構を把握することが重要であると考えられたためである。

ウォシュ・ロード関係の観測は、1975 年 4 月から 1996 年 12 月まで行われた。本文ではこの長期観測データを用いて、大戸川におけるウォシュ・ロードに関する考察を行う。

1) 観測内容の概要

観測を実施したのは瀬田川・大戸川合流点の上流 500 m ほどのところにある県道瀬田大石東線の黒津橋付近である。観測項目は、河川水の濃度・粒度分布・水温・水位・天気等である。観測はすべて人手によって行われ、地元在住の方に実際の作業を委託した。観測時刻は当初 6 時および 18 時の 1 日 2 回であったが、1973 年 3 月からは 6 時のみの 1 日 1 回とした。

2) 観測手法

河川水に含まれるウォシュ・ロードの濃度については、黒津橋上から、簡易採水ビン（1リットル）で採水を行い、採水した水を蒸発乾燥してその量を直示天秤で 0.1mg まで測定し mg/l 単位に換算した。ただしピーカーの温度差などの影響から、測定精度は 1mg 程度である。また、洪水時にも同様に簡易採水ビンでの観測をおこなった。水温は、採水時に簡易採水ビン内に水温計を入れ、0.5 単位で読み取った。水位は黒津量水塔にある量水標を読み取り、後日、国土交通省の流観資料によって、水位から流量に換算した。天気は採水時のもので、晴れ、曇り、雨、霧、雪と区別して入力した。

解析結果

1) 流量と降雨量の関係

大戸川に降った雨は黒津地点に到達するのに、約 1 時間かかる。まず、流域を雨量観測点を中心にテーゼン分割を行い、その比率は全流域を 100% として、黒津雨量観測点を 6.2%、大鳥居雨量観測点を 18.3%、田代雨量観測点を 23.5%、雲井雨量観測点を 23.0%、五ヶ瀬雨量観測点を 11.8%、多羅尾雨量観測点を 17.1% として面積雨量を算出した。

月間の面積雨量と黒津流量との関係は、1982 年 8 月は 422mm で $87 \times 10^6 \text{m}^3$ 、1985 年 6 月は 471mm で $52 \times 10^6 \text{m}^3$ 、1986 年 7 月は 409mm で $92 \times 10^6 \text{m}^3$ 、1990 年 9 月は 437mm で $44 \times 10^6 \text{m}^3$ 、1995 年 7 月は 59mm で $70 \times 10^6 \text{m}^3$ であった。1975 年 4 月～1995 年 12 月の間について図示すると図 4 のようである。何処の流域においても同様のことで、乾燥期に降った

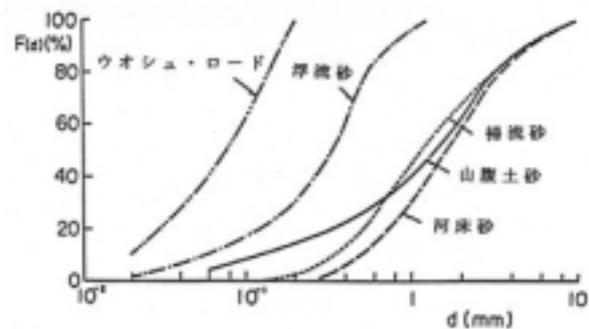


図 3 土砂の粒度分布（村本ら 1982）

雨が全部流出するとは考えられず、下層部に浸透する分表面流は減少する。また、地表が湿潤なときには雨量の流出が増大すると考えられる。大戸川流域の場合も同様に6月から9月にかけては、比較的流出量が多い。

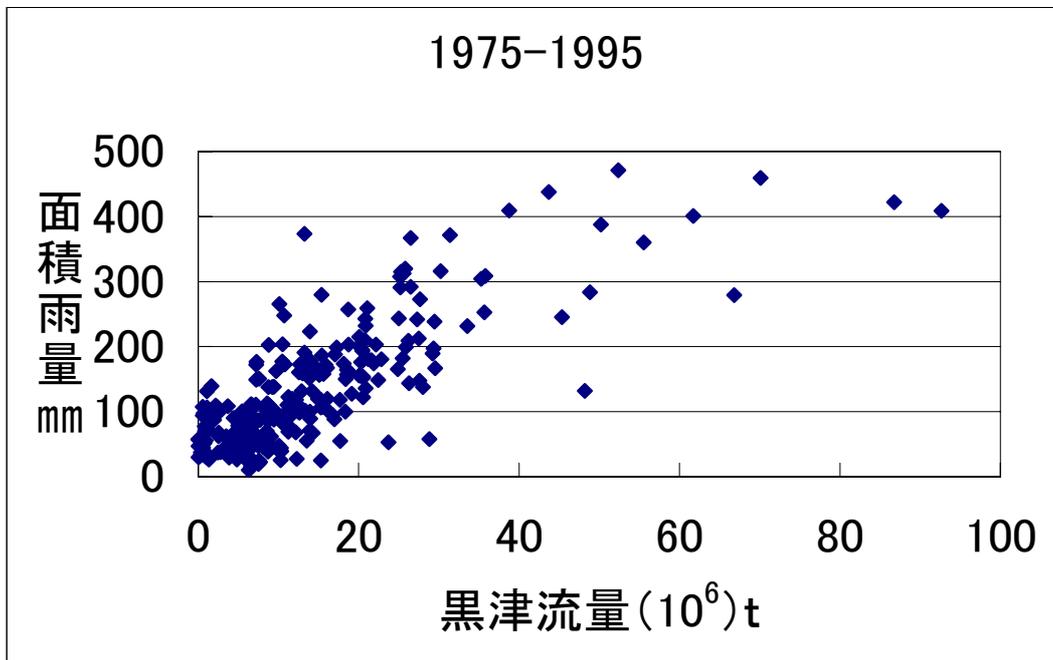


図 4 雨量と流量の関係 (1975.4 ~ 1995.12)

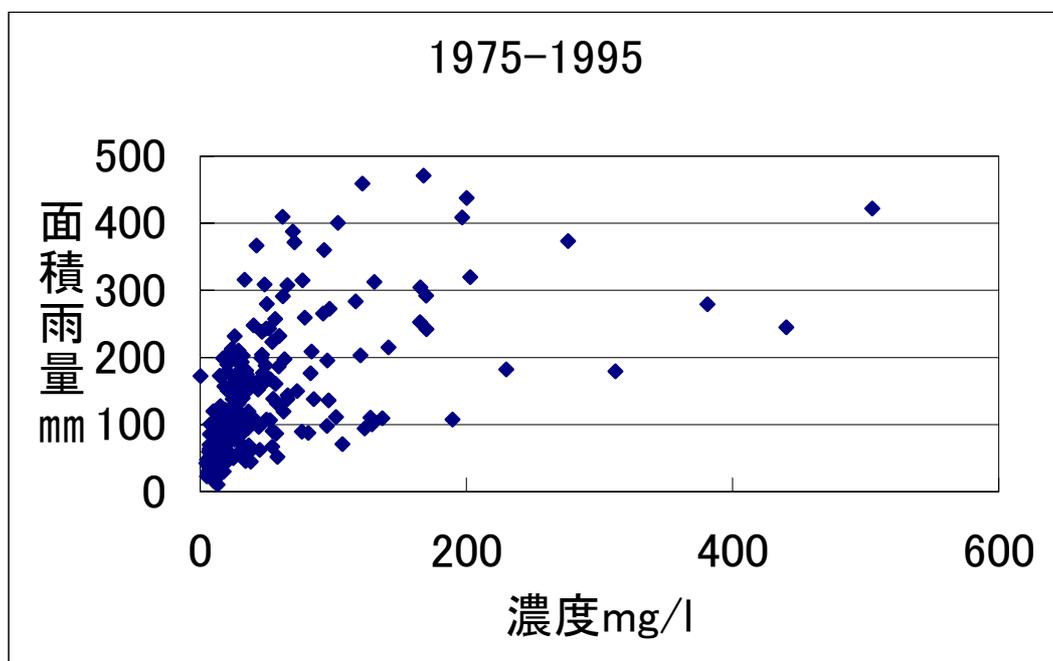


図 5 降雨量と濃度の関係 (1975.4 ~ 1995.12)

表 1 実測流砂量と降雨量の関係 (1975.4 ~ 1995.12)

年	実測全流出 wash load(t)	年雨量 mm	多い月	月最大雨量 mm	月流出量 (t)
1975.4 ~	16,912	1,628	7	245	19,960
1976	17,822	1,959	9	401	6,385
1977	6,990	1,288	6	259	1,654
1978	3,140	1,067	6	315	1,946
1979	10,684	1,466	6	312	3,348
1980	13,025	2,043	8	371	5,231
1981	5,384	1,424	7	191	1,006
1982	48,264	1,716	8	422	43,812
1983	6,782	1,554	4	291	1,683
1984	5,918	1,203	6	273	2,686
1985	14,627	1,714	6	471	8,789
1986	27,312	1,528	7	409	18,250
1987	5,590	1,336	2	316	2,014
1988	15,550	1,649	8	409	6,727
1989	11,464	1,926	9	360	5,177
1990	14,191	1,817	9	437	8,750
1991	8,305	1,758	6	309	2,193
1992	6,666	1,667	8	307	1,933
1993	36,103	1,952	7	279	25,468
1994	1,663	1,018	9	265	932
1995	9,759	1,658	7	459	6,673

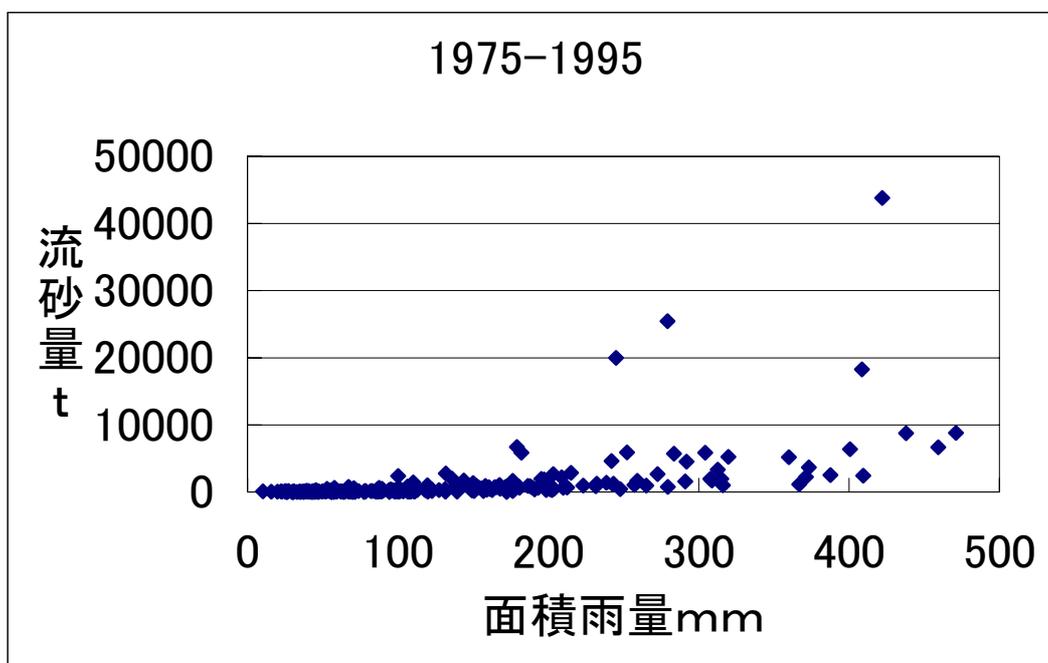


図 6 流砂量と降雨量の関係 (1975.4 ~ 1995.12)

2) 濃度と降雨量の関係

降雨量の多いときには、流域のウォシュ・ロードの濃度は比較的多く、平水時には黒津採水地点では 10 数 mg/l となる（図 5）。ウォシュ・ロードに関連する月単位の相関係数を求めると流域の面積雨量と濃度の関係は 0.649 という解析結果を得た。

3) 流砂量と降雨量の関係

流砂量が多いということは、当然の事ではあるが降雨の量も多く黒津流量も多くなる。1982 年では、月雨量が最も多い 8 月（422mm）には、流砂量の月流出量は 43,800t（表-1）と非常に多い。黒津地点における面積雨量と流砂量を図 6 に示す。両者の相関係数は 0.532 であった。

4) 流量、濃度と流砂量の関係

平水時は比較的低濃度であるが流量が $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度以上になると、流砂量（ウォシュ・ロード）が非常に多くなり、濃度も高くなる。1988 年 7 月 15～16 日、1993 年 9 月 16 日、1994 年 5 月 12～13 日、1995 年 6 月 26～27 日の洪水期間に、臨時観測を実施し、流量と濃度の関係を調べた（表 2）。 $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量のとき濃度 C は数百 mg/l 以上になることが判った。

1993 年 9 月 16 日 15:00 のとき流量 $145.7\text{m}^3/\text{s}$ 、濃度は $1,710\text{mg}/\text{l}$ であった。また、1994 年 5 月 12 日 16:00 のとき流量 $458.8\text{m}^3/\text{s}$ 、濃度は $2007\text{mg}/\text{l}$ と最大であった。ウォシュ・ロードの月単位の黒津流量と濃度の相関係数は、0.700 という解析結果を得た。

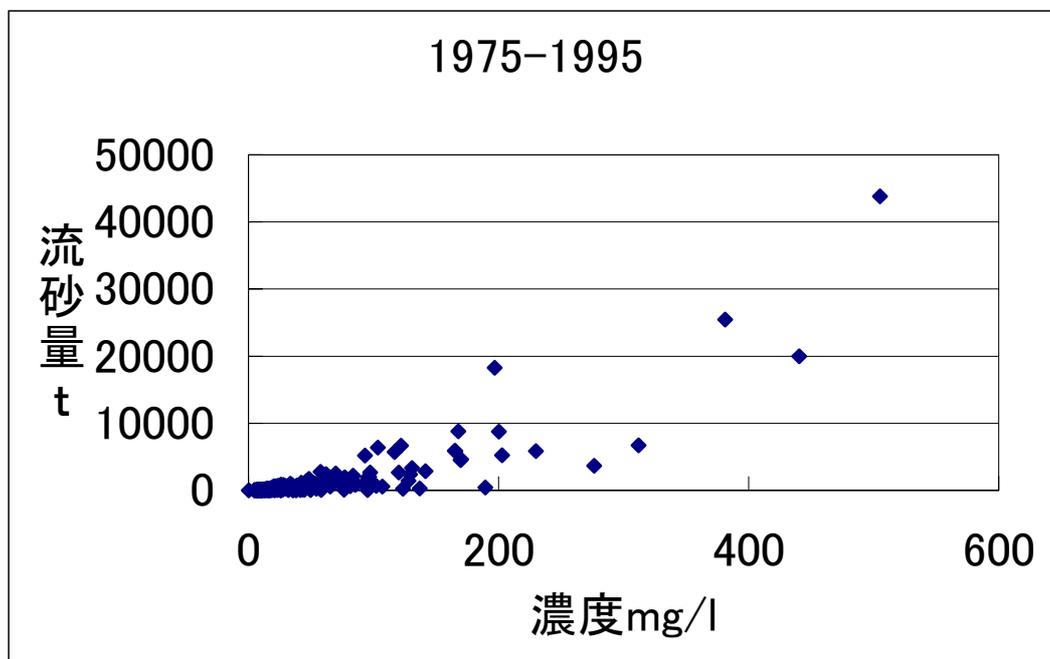


図 7 流砂量と濃度の関係（1975.4～1995.12）

月単位の平均濃度と流砂量を見ると（図 7）、月平均のウォシュ・ロード濃度と流砂量の相関係数は 0.819 となった。これを見るかぎり双方の相関は比較的良好な関係である。

表 2 黒津ウォシュ・ロード臨時観測

No.	Date	Time	Q(m ³ /s)	C(mg/l)	d ₅₀ μ	d=10 μ (%)	S
1	1988/7/15	9:00	85.8	181.0	8.3	57.3	8.63
2		10:00	105.5	239.0	9.5	51.6	3.21
3		11:00	143.0	287.0	8.1	61.6	2.20
4		12:00	174.8	611.0	7.7	64.2	6.99
5		13:00	170.3	830.0	11.0	48.5	9.86
6		14:00	149.1	610.0	6.1	74.0	4.27
7		15:00	137.0	431.0	4.5	89.1	2.73
8		16:00	129.2	301.0	9.5	51.0	1.94
9		17:00	97.1	232.0	5.8	72.9	6.54
10		18:00	87.4	182.0	6.2	78.2	5.70
11		19:00	78.2	145.0	4.0	100.0	2.53
12		20:00	73.8	143.0	8.0	57.0	6.32
13	7/16	6:00	133.1	276.0	7.3	70.0	4.02

No.	Date	Time	Q(m ³ /s)	C(mg/l)	d ₅₀ μ	d=10 μ (%)	S
1	1993/9/16	11:00	182.6	669.0	12.6	44.0	3.75
2		13:00	211.2	713.0	12.3	45.0	3.98
3		15:00	145.7	1710.0	11.6	46.0	4.30
4		17:00	100.6	298.0	13.7	40.0	3.58
5		18:00	85.8	238.0	12.5	45.0	4.38

o.	Date	Time	Q(m ³ /s)	C(mg/l)	d ₅₀ μ	d=10 μ (%)	S
1	1994/5/12	6:00	61.1	158.0	11.7	46.0	3.66
2		8:00	65.2	146.0	14.9	39.5	3.68
3		10:00	90.6	187.0	15.6	38.5	3.85
4		12:00	189.6	431.0	21.6	33.0	4.28
5		14:00	388.8	1061.0	39.6	20.5	4.99
6		16:00	458.8	2007.0	37.7	22.5	5.38
7		18:00	324.7	1518.0	36.2	22.0	5.33
8	5/13	6:00	90.6	146.3	-	-	-

No.	Date	Time	Q(m ³ /s)	C(mg/l)	d ₅₀ μ	d=10 μ (%)	S
1	1995/6/26	6:00	22.5	59.0	33.3	16.3	3.21
2		8:00	79.8	124.0	34.3	17.4	3.97
3		10:00	103.6	165.0	34.9	19.3	4.29
4		12:00	100.5	167.0	26.1	24.6	3.63
5	6/27	6:00	30.4	20.0	-	-	-

図 8 は、流量 Q と流砂量（ウォシュ・ロード）Qs の関係を月別に見ると 1975 年～1989 年では、流量と流砂量の間によい相関がある。村本ら（1982a, b）は流量の月別総量は、流砂量の月別総量の二乗に比例することを見出した。1990 年代の 6 年間（図 8(c)）では、1975 年～1989 年に比べてばらつきが大きい。これには、1993 年の冷夏長雨と 1994 年の大湯水が相次いで起こったことが反映されている。1993 年～1995 年の間に流量がかなり小さく、したがって流砂量も小さくなっている。

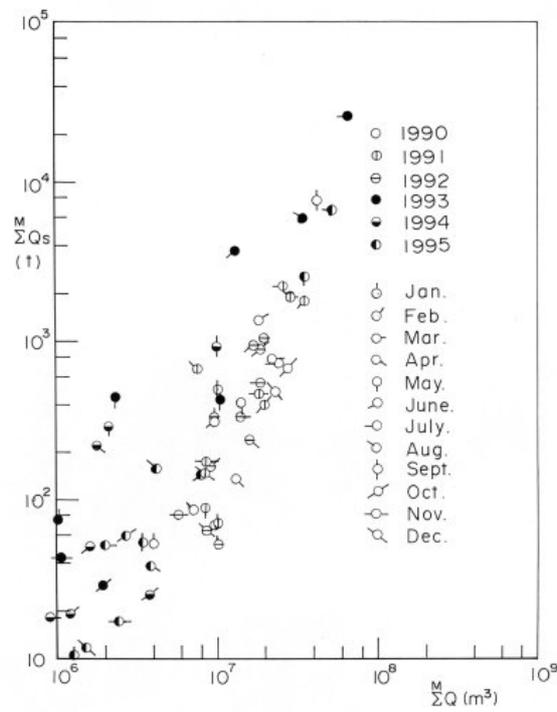
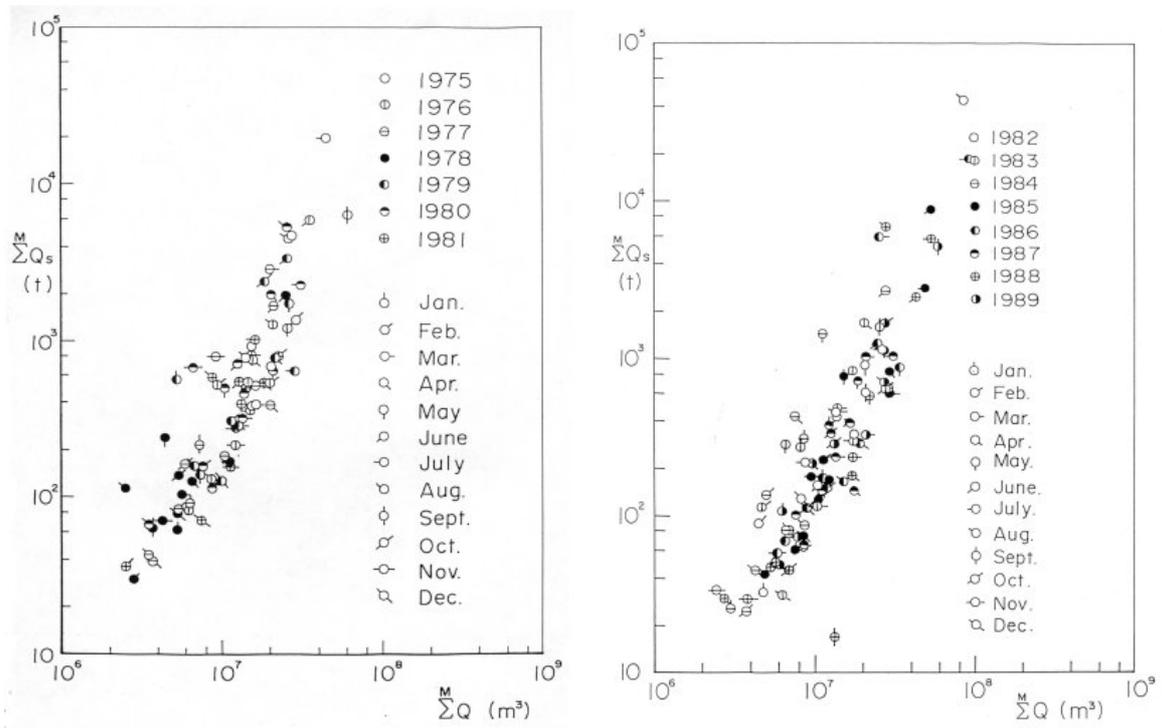


図 8 流量 Q と流砂量 (ウオシュ・ロード) Q_s の月別変化

5) 年間のウォッシュ・ロードと雨量・流量の関係

年間何 mm の雨が降ったらウォッシュ・ロードが何トン流出するかを示すと、1989 年 1,926mm で 11,464t であり、9 月出水では 360mm で 5,177t と比較的多くのウォッシュ・ロードを見た（表 1）。1993 年は、1,952mm の雨で 36,103t のウォッシュ・ロードがあった。特にこの年の 7 月には 279mm の雨で 25,468t というひととき大量のウォッシュ・ロードを観測した。渇水年の 1994 年は 1,018mm で 1,663t と非常に少なかった。

村本ら（1982b）は、1975 年 4 月から 1981 年 12 月の 7 年弱の間の毎日の流量とウォッシュ・ロード濃度の関係を調べた。流量段階別に濃度 C の生起頻度分布 F(C) を描き、F(C) の分布形がいずれの流量段階についても若干の歪をもっているが対数正規分布に近いことを示している。ここではその期間を含む 1975 年 4 月から 1995 年 12 月末までの 20 年余りの期間について同様の図を描いてみた（図 9）。14 年間のデータを追加しても村本ら（1982b）と同様のことが言える。

日単位の流量とウォッシュ・ロード濃度の関係をプロットすると図 10 のようであった。図 11 は、1975 年 4 月から 1995 年 12 月までの年流量 V と年間のウォッシュ・ロードの総量 Vs をプロットしたものである（1994 年のデータは $V=10^7$, $V_s=10^3$ のあたりにくるが図枠外にプロットされる）。村本ら（1982a,b）によれば $V_s \propto V^2$ という関係が指摘されており、14 年間のデータを追加したところおおむねその関係は維持されている。1993 年は特に大量のウォッシュ・ロードが生成されていたことが読み取れる。

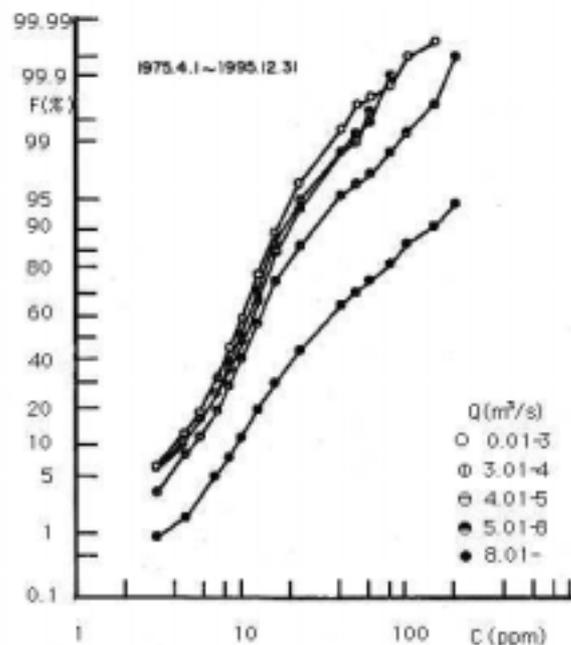


図 9 濃度の頻度分布図

図 12 は、黒津地点の年流出流量、年最大流量、年流出土砂量

（1975 年～1995 年）と、天ヶ瀬ダム年間堆砂量（1981 年～1995 年）を示したものである。図 13 には、天ヶ瀬ダムの累積堆砂量と年間堆砂量の年次変化が示されている。同ダムへの流入土砂量は、毎年 10 万 m^3 （計画流入量）と推測されていたが、近年流域内の山腹・溪流工事の結果、木々の繁茂をみ緑化が進むとともに、多くの砂防ダム建設で河道への土砂の流出は年々少なくなっているため、天ヶ瀬ダムへの年間堆砂量は年々減少の傾向にあるといっても過言でないと思われる。実際、1981 年から 1989 年までの 9 年間のデータから、年間堆砂量は 11.8 万 m^3 と推定されている（防災研究協会、1991）が、1990 年から 1999 年までの 10 年間の平均は 1.7 万 m^3 であり、かなり減少している。藤田ら（1999）も同様の解析を行っている。

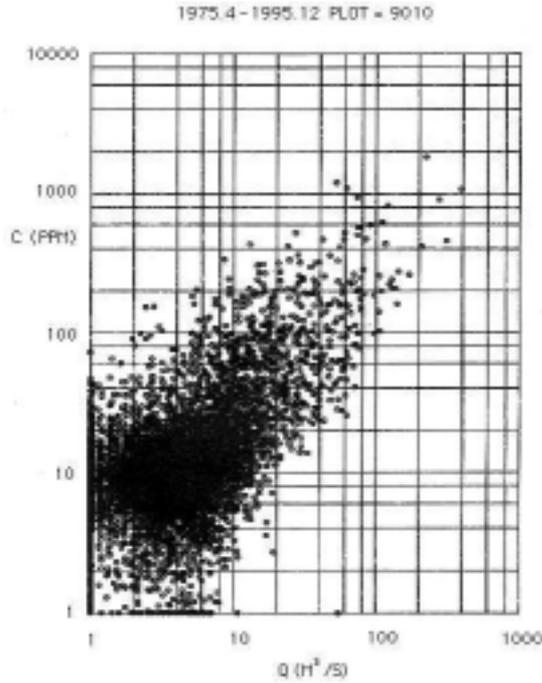


図 10 流量と濃度の関係

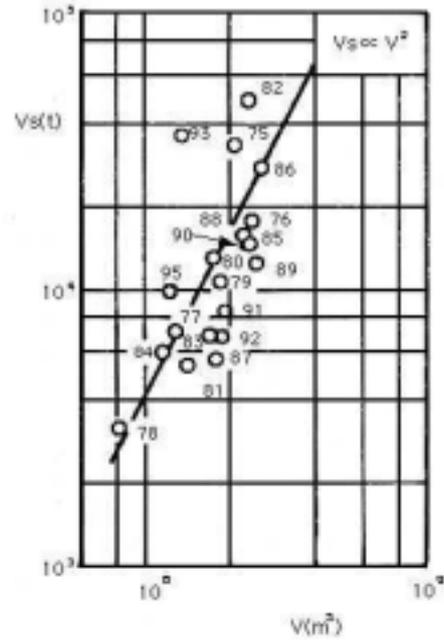


図 11 年流量とウオシュ・ロードの総量

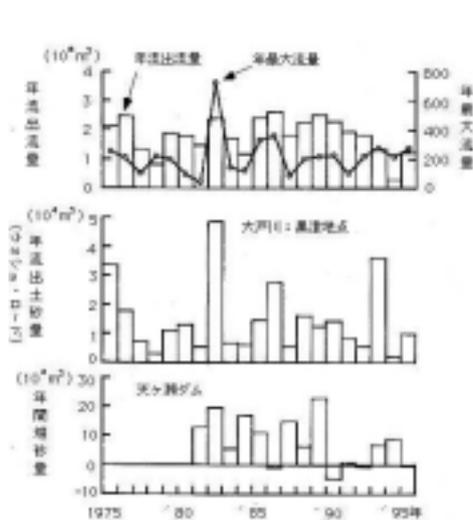


図 12 黒津地点の年流出流量・年最大流量
天ヶ瀬ダムの年間堆砂量 (1995)

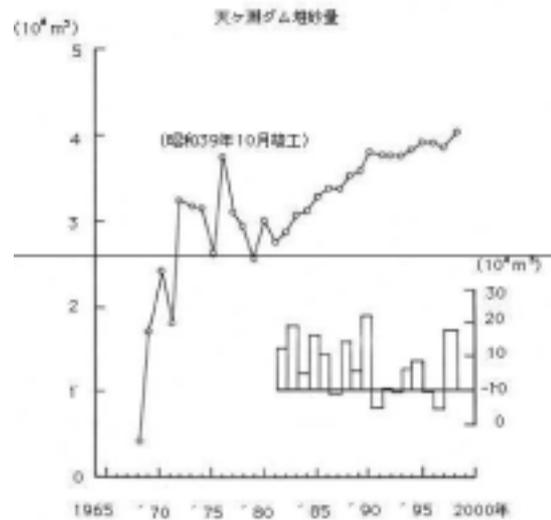


図 13 天ヶ瀬ダムの累積堆砂量と
年間堆砂量 (1998)

おわりに

本報告には、大戸川におけるウオシュ・ロードの挙動に関して、降雨量と流出流量・流砂について述べてきたのであるが、大戸川の山々も人々の努力により緑を取り戻し、河川も清涼な水を回復しつつある。今日まで観測を行うことが出来たのは、村本嘉雄名誉教授・寶 馨教授・立川康人助教授、その他諸先生方のご協力と大戸川流域の水理・水文データをご提供いただいた、国土交通省近畿整備局・琵琶湖工事事務所および淀川ダム統合管理事務所、大津市黒津町在住の片岡美江氏のお陰である。ここに記して心より感謝する次第です。

注： 本稿は「大戸川における長期ウォシュ・ロード観測について」中村行雄・寶 馨・立川康人・市川 温・牛山素行（2000）京都大学防災研究所年報、第 43 号 B-2、を引用・加筆したものである。

参考文献

- 芦田和男・村本嘉雄・今本博健・奈良井修二・上野鉄男（1970）：大戸川に関する調査研究、京都大学防災研究所年報、第 13 号、pp.187-197.
- 芦田和男・村本嘉雄・田中祐一郎・塩入淑史（1968）：大戸川における 2、3 の観測について、京都大学防災研究所年報、第 11 号 pp.267-280.
- 中村行雄・寶 馨・立川康人・市川 温・牛山素行（2000）：大戸川における長期ウォシュ・ロード観測について、京都大学防災研究所年報、第 43 号 B-2、pp.225-274.
- 藤田裕一郎（1999）：大戸川流域における微細砂の流出特性に関する検討、土木学会第 54 回年次講演会、pp.412-413.
- 防災研究協会（1991）：瀬田川・大戸川の合流点処理のに関する研究業務報告書、p.38.
- 村本嘉雄・河田恵昭・藤田裕一郎・中村行雄（1975）：ウォシュ・ロードに関する研究、京都大学防災研究所年報、第 18 号 B、pp.541-549.
- 村本嘉雄・藤田裕一郎・中村行雄（1977）：大戸川におけるウォシュ・ロードの年間変化、京都大学防災研究所年報、第 20 号 B-2、pp.233-241.
- 村本嘉雄・藤田裕一郎・中村行雄（1982）：大戸川のウォシュ・ロードに関する研究、京都大学防災研究所・水資源研究センター研究報告 2 号、pp.31-45.
- 村本嘉雄・藤田裕一郎・中村行雄（1982）：大戸川における濁りの季節変化、京都大学防災研究所年報、第 25 号 B-2、pp.375-387.
- 村本嘉雄・藤田裕一郎・中村行雄（1983）：大戸川における 1982 年 8 月洪水について、京都大学防災研究所年報、第 26 号 B-2、pp.151-163.
- 村本嘉雄・道上正規・下島栄一（1973）：大戸川における微細砂の流送過程について、京都大学防災研究所年報、第 16 号 B、pp.433-447.
- 村本嘉雄・道上正規・藤田裕一郎（1974）：天ヶ瀬貯水池の濁水に関する調査研究、京都大学防災研究所年報、第 17 号 B、pp.585-596.