

懸濁性物質の沈降性および 粒度構成からみた 河川の降雨時物質流出

奥川 光治* 天野 智順**

1. はじめに

河川における汚濁物質の流出機構を解明することは湖沼や内海、沿岸域における富栄養化現象の解明にとって重要な課題である。とくに、降雨時における河川の汚濁負荷量は1回の降雨で晴天時の年間負荷量に匹敵するような場合があり、その重要性が指摘されてきた¹⁾。しかし、その大部分は懸濁性物質であり停滞性水域に流入した場合、比較的速やかに沈殿除去されるものである。

たとえば、森田ら²⁾は洪水時における湖沼河口部および流入河川の水質調査結果から、洪水時に流出した粒子性負荷量の約7割が洪水の流出が終わる以前に沈降したこと、また5日後に湖内に残存している量は河川から流入した総量の3～4%に過ぎないことを報告している。また、福島ら³⁾は湖沼流入河川、背水域、湾奥部における水質および沈殿量の観測結果から、降雨時では流入する栄養塩のうち約40%のものが湾奥部までにトラップされることや、懸濁物の消失がおもに背水域で生じていることを述べている。いずれにしても、降雨時に流出した河川の汚濁物質が停滞性水域に流入した場合、短期間のうちに相当量沈殿除去されることを示している。

もちろん長期的な観点からすると、懸濁性物質は沈殿して底泥を形成し上層水の水質に影響するのでその重要性はいうまでもないが、水質への直接的な影響という短期的な観点からすると、懸濁性物質を一括して把握すると過大評価していることになる。したがって、沈降性あるいはそれと関連の深い粒度構成の観点から懸濁性物質を

分画して評価することが必要である。

湖沼に流入する懸濁性物質の沈降性に着目した研究としては前述した森田らの研究、福島らの研究などがある。また降雨時の河川におけるSS、CODの粒度構成の変化を取り扱った研究としては海老瀬ら⁴⁾による研究がある。

本研究では、懸濁性物質を沈降性および粒度構成の観点から評価することを目的として、河川における降雨時の物質流出に関する調査を実施したので、ここに報告する。

2. 調査概要

調査地点は図1に示すように、富山県射水郡を流下する下条川の新宿屋橋である。新宿屋橋より上流の流域は表層地質として、新第三系の泥岩層および第四系の礫層、砂泥互層などがみられる丘陵部となっており、また農業用の溜池も多くみられる。表1に示すように流域面積は26.6km²であり、土地利用状況は山林66.8%、田畑17.8%、集落2.3%である。流域人口は約2,000人である。調査は1984年11月1～5日(調査8411)、1985年4月11～15日(調査8504)、1985年10月16～19日(調査8510)および1985年11月28～29日(調査8511)の4回の降雨時に実施しているが、本稿では調査8411と調査8504について報告する。採水間隔は降雨初期で1～2時間、流量逓減期で3～4時間から2日程度とした。調査項目は降水量、流量、pH、電気伝導率、塩素イオン、濁度、懸濁性物質(SS)、COD、リン(P)、鉄(Fe)および懸濁性物質の沈降速

* Koji Okugawa, 富山県立技術短期大学衛生工学科講師 〒939-03 富山県射水郡小杉町黒河, Sanitary Engineering Department, Toyama Prefectural College of Technology, Kurokawa, Kosugi-machi, Imizu-gun, Toyama-ken 939-03 Japan

** Norimasa Amano, 富山県立技術短期大学衛生工学科助手

表1 下条川流域概況

面積の単位: km², (): 流域面積に占める割合 (%)

流域面積	山 林	田	畑	集 落	工 場	その他	人 口	牛	ニワトリ
26.6	17.77 (66.8)	4.16 (15.6)	0.60 (2.3)	0.60 (2.3)	0.0075 (0.0)	3.46 (13.0)	2,019人	61頭	5,010羽

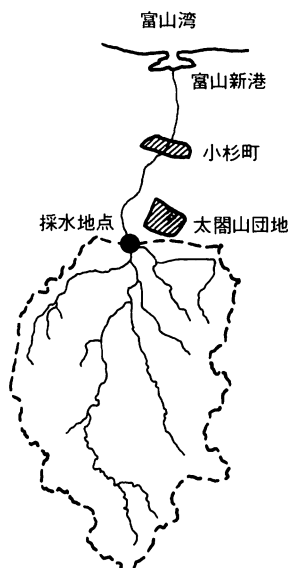


図1 下条川流域略図

度である。SS, COD, P, Feについては Total 試料とともに74 μmおよび、25 μmフルイ、0.45 μmメンブランフィルターのろ液も分析に供した。沈降速度はアンドレアゼンビベットを使用して測定した。測定方法および分析方法は表2に示す。

3. 調査結果および考察

3.1 降雨時物質流出の時間変化

表3に2回の調査における降雨の状況を示す。調査8411では先行無降雨時間は39時間であり、先行降雨量は28.0mmである。調査8504では先行無降雨日数は7日間であり、先行降雨量14.0mmである。いずれも調査8510, 8511と比較して先行降雨量が少ないのが特徴である⁵⁾。図2には調査8411における降雨量、流量およびSS, COD, P各濃度の時間変化を示す。調査8411では降雨は11月1日22:00～11月2日12:00に34.5mm記録されている。最大降雨強度は5mm/時であり変動は大きい。流量は降雨の変動に伴い、11月2日2:00に小さなピークを示した後10:00に最大ピーク(4.86m³/秒)を示し、以後減少している。水質濃度についてはSS, COD, P各項目とも、また図には示していないがFeについても、

表2 測定方法および分析方法

項 目	方 法
降 水 量	転倒マス型雨量計
流 量	水位-流量曲線
水 温	携帯用水質チェッカー
pH	比色 pH 計
電気伝導率	携帯用水質チェッカー
塩素イオン	硝酸銀法
濁 度	積分球式濁度計
SS	ろ過(メンブランフィルター)法
C O D	2クロム酸カリウムによる方法
P	硫酸分解後、モリブデン青(アスコルビン酸)法
Fe	1,10-フェナントロリン法
沈 降 速 度	アンドレアゼンビベットによる方法

表3 降雨の状況

項 目	調査8411	調査8504
先行無降雨時間	39時間	7日間
先行降雨量 (mm)	28.0	14.0
降雨時間	11/1 22:00 ～11/2 12:00	4/11 18:00 ～4/12 16:00
降雨継続時間 (h)	14	22
調査期間中の降雨量 (mm)	34.5	43.5
最大降雨強度 (mm/h)	5.0	3.5

表4 最大流量および最大濃度

項 目	調査8411	調査8504
最大流量 (m ³ /秒)	4.86	5.32
最大SS濃度 (mg/ℓ)	180.0	276.5
最大COD濃度 (mg/ℓ)	29.9	49.9
最大P濃度 (μg P/ℓ)	489	400
最大Fe濃度 (mg/ℓ)	4.84	4.42

first flush 現象により11月2日0:00～2:00に第1ピークを示し、流量ピークの10:00に第2ピークを示す。各項目の最大濃度は表4にまとめて示す。図3には懸濁性物質の沈降速度累積分布の一例を示す。図中の曲線は沈降速度分布が次式で近似できるとして求めた理論曲線である。

$$y = \frac{k}{1 + \exp(a - bx)} + 1 - k$$

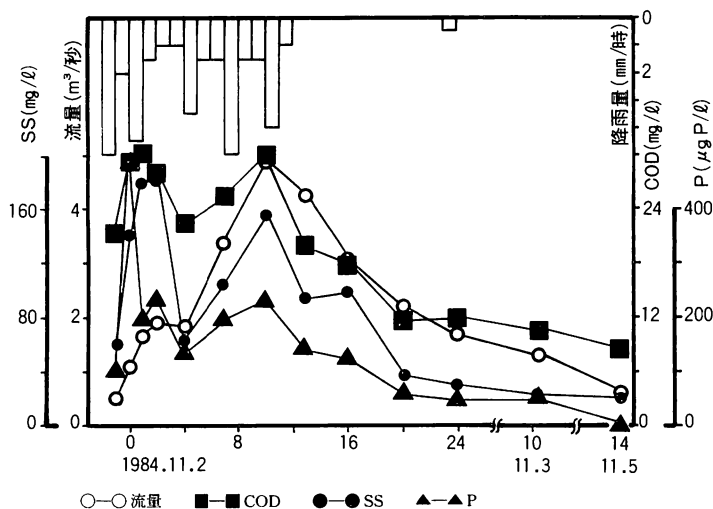


図2 降雨、流量および水質の時間変化（調査8411）

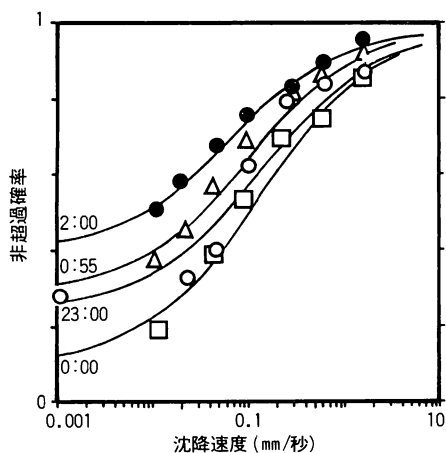


図3 懸濁性物質の沈降速度分布

ここに、 $x = \log_{10} v$, v : 沈降速度 (mm/秒), $y = C_t/C_0$, C_0 , C_t : 沈降速度測定における初期濁度および時間 t 後の濁度, a, b, k : 定数である。沈降速度 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1.0 (mm/秒) で懸濁性物質を分画するとき、各分画の割合はこの理論曲線を用いて求めることができる。すなわち、各沈降速度に対する非超過確率 C_t/C_0 を理論曲線から求めればそれぞれの差が各分画の割合となる。図4にはこのようにして求めた各分画の割合の時間変化を示す。沈降速度の大きい粒子についてみると、流出初期の SS 濃度のピーク時においてその割合が増加している。流出初期を除くと、流量、SS 濃度と各分画の割合の関係は明確ではなく、一定範囲で変動を示して

いる。図5には調査8411における SS, 懸濁性 COD (P-COD), 懸濁性 P (P-P) 各項目の粒度構成の時間変化を示す。11月2日16:00に各項目とも粒径 $74 \mu\text{m}$ 以上の粒子の割合が急増しているが、特異値として除外して考える。粒径 $25 \mu\text{m}$ 以上の粒子の割合の変動についてみると、SSでは流出初期から流量ピーク後まで漸増の傾向にあり、流量速減期の11月2日20:00以後減少の傾向にある。P-CODでは2つの濃度ピーク付近で増大している。P-Pでは濃度の第1ピークでの増加が著しい。また、懸濁性 Fe (P-Fe) では明瞭ではないが2つの濃度ピーク付近で増加がみられる。以上のように

沈降速度による分画の場合でも、粒径による分画の場合でも、流出初期において沈降速度の大きい分画あるいは粒径の大きい分画の割合が増加することが認められる。

一方、調査8504の調査結果は図6, 7, 8に示す。降雨は4月11日18:00～4月12日16:00に43.5mm記録されており、最大降雨強度は3.5mm/時である。流量は4月12日3:10に第1ピーク ($4.35 \text{ m}^3/\text{秒}$) を、12:10に第2ピーク ($5.32 \text{ m}^3/\text{秒}$) を示している。水質濃度についてはここでも各項目とも first flush 現象が認められ、4月11日22:15に最大ピークがみられる。調査8504における各水質の最大濃度も表4に示す。図7は調査8411と同様に理論曲線を用いて懸濁性物質を沈降速度により分画した場合における各分画の割合の時間変化を示したものである。調査8504でも沈降速度の大きい粒子の割合は流出初

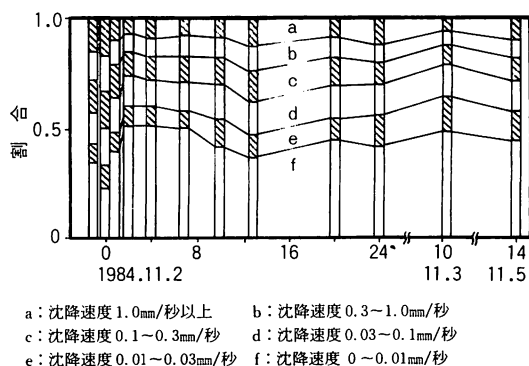


図4 沈降速度により懸濁性物質を分画した場合における各分画の割合の時間変化（調査8411）

期のSS濃度のピーク時において増加している。なお、この場合も流出初期を除くと、流量、SS濃度と各分画の割合との関係は明確ではなく一定範囲で変動を示している。図8は調査8504におけるSS、P-COD、P-P各項目の粒度構成の時間変化を示したものである。粒径 $25\mu\text{m}$ 以上の粒子の割合の変動についてみると、SS、P-COD、P-Pではここでも流出初期の4月11日22:15の濃度ピーク時に増加しているのがわかる。このように調査8504でも流出初期において、沈降速度の大きい分画あるいは粒径の大きい分画の割合が増加することが認められる。しかし、その後の調査⁵⁾によると、流出初期

において沈降速度の小さい分画あるいは粒径の小さい分画の割合が増加するという逆の傾向が認められることもある。これには先行降雨の状況や降雨流出期間中のSS濃度レベルの大小が関連していると考えられる。なお、

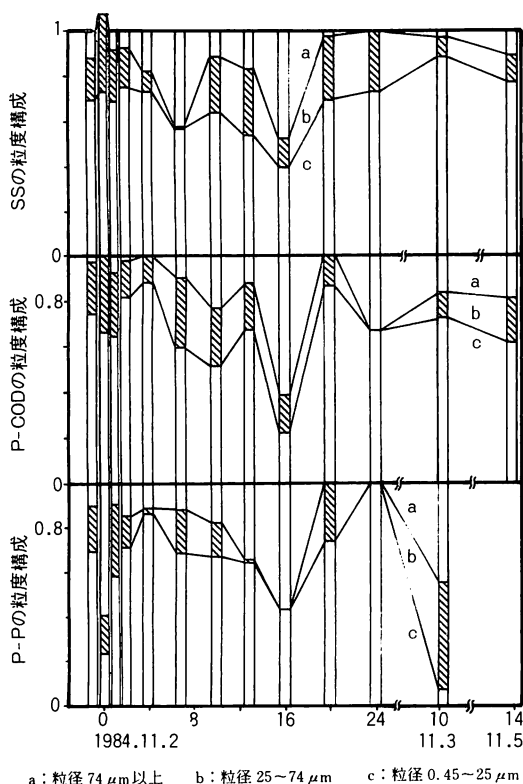


図5 粒度構成の時間変化 (調査8411)

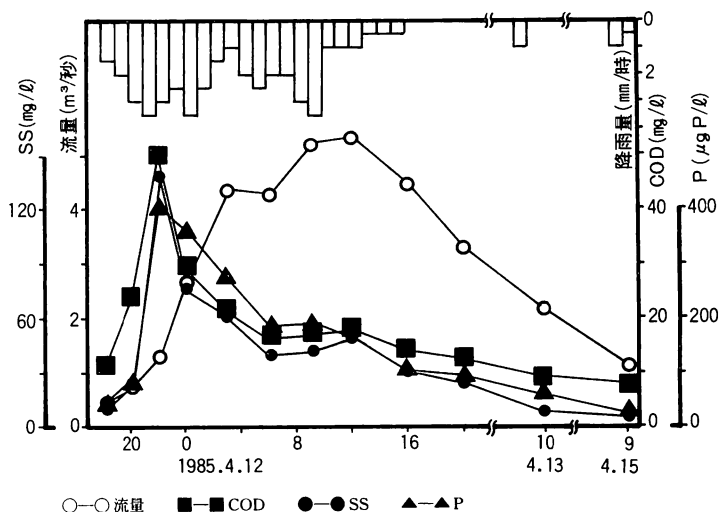


図6 降雨、流量および水質の時間変化 (調査8504)

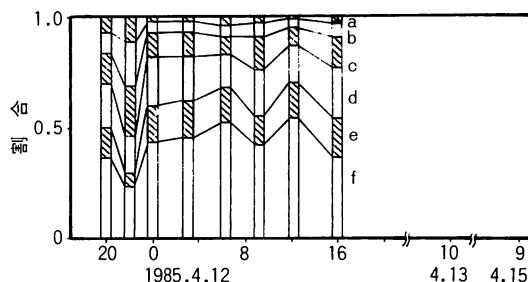
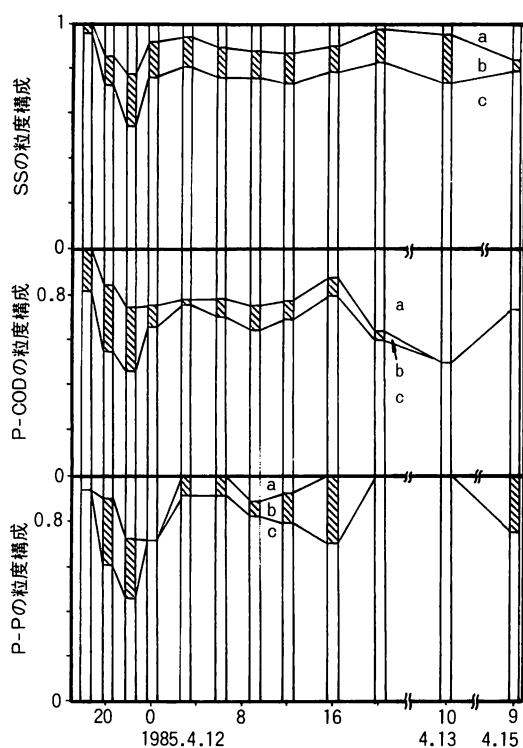


図7 沈降速度により懸濁性物質を分画した場合における各分画の割合の時間変化 (調査8504)

調査8411, 8504では表3, 4にみられるように先行降雨量が少なく、最大SS濃度が大きくなっている。

3.2 沈降性からみた負荷量

つぎに、懸濁性物質の沈降性について評価する。そのために、懸濁性物質の沈降速度により分画した場合の各分画の割合でTotalのSS濃度を割り振り、各分画のSS濃度を求める。それをもとに降雨流出期間における各分画のSS負荷量を求めたのが表5, 6である。調査8411における総SS負荷量は 27.6 t であり、そのうち沈降速度が 0.03 mm/秒 (2.59 m/日)以上の粒子の割合は 46.7% , 0.1 mm/秒 (8.64 m/日)以上の粒子の割合は 31.9% である。調査8504における総SS負荷量は 35.0 t であり、そのうち 0.03 mm/秒 以上の粒子の割合は 41.6% , 0.1 mm/秒 以上の粒子の割合は 21.8% である。したがって、流出物質が停滞性水域に流入した場合、総SS負荷量の 41.6



a: 粒径 74 μm 以上 b: 粒径 25~74 μm c: 粒径 0.45~25 μm

図8 粒度構成の時間変化 (調査8504)

~46.7%が1日で2~3 m, 21.8~31.9%が1日で8~9 m沈殿除去されるといえる。

3.3 粒度構成および沈降性からみた負荷量

表7, 8は各水質を粒径により分画した場合の各分画の濃度に基づいて, 降雨流出期間における各分画の負荷量を求めたものである。調査8411における各水質の総負荷量はSS 27.7 t, COD 6.18 t, P 43.1 kg, Fe 845 kgであり, COD, P, Feにおいて懸濁性成分(粒径0.45 μm 以上)が占める割合はそれぞれ51.4%, 84.5%, 98.1%

である。また, 懸濁性成分中で粒径25 μm 以上の粒子が占める割合はSS 39.7%, COD 41.1%, P 35.9%, Fe 39.7%である。同様に, 調査8504における各水質の総負荷量はSS 36.8 t (欠測データの影響で沈降速度により分画した場合に対して算出した総負荷量と異なっている), COD 7.94 t, P 74.9 kg, Fe 1,100 kgであり, そのうち懸濁性成分の割合はCOD 50.5%, P 77.3%, Fe 97.9%である。懸濁性成分中での粒径25 μm 以上の粒子の割合はSS 24.5%, COD 33.3%, P 17.5%, Fe 26.6%である。以上考察を進めてきた水質の粒度構成から沈降性について評価するため, 前述の沈降速度により懸濁性成分を分画しSS負荷量を算出した場合と比較する。図9は調査8411におけるSS負荷量の沈降速度分布を表5から作成したものである。粒径25 μm 以上のSS負荷量の割合は39.7%であるので, 対応する沈降速度は図から0.053 mm/秒である。同様に, 調査8504では粒径25 μm 以上のSS負荷量の割合は24.5%であり, 対応する沈降速度は0.094 mm/秒である。これらを24時間での沈降水深に換算するとそれぞれ4.58 m, 8.12 mとなる。したがって, 降雨流出期間における流出物質が停滞性水域に流入した場合, SSでは24.5~39.7%が1日で4.58~8.12 m以上沈殿除去されることになる。他の水質についても同様の

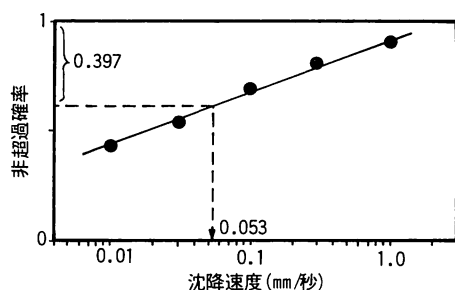


図9 SS負荷量の沈降速度分布 (調査8411)

表5 降雨流出期間におけるSS負荷量 (沈降速度による分画)

(期間 1984年11月1日 23:00~11月3日 10:30)

沈降速度 (mm/秒)	0~0.01	0.01~0.03	0.03~0.1	0.1~0.3	0.3~1.0	1.0~	計
SS負荷量 (kg)	11,683	3,045	4,101	3,456	2,610	2,737	27,632
(%)	42.3	11.0	14.8	12.5	9.5	9.9	100.0

表6 降雨流出期間におけるSS負荷量 (沈降速度による分画)

(期間 1985年4月11日 20:15~4月13日 10:00)

沈降速度 (mm/秒)	0~0.01	0.01~0.03	0.03~0.1	0.1~0.3	0.3~1.0	1.0~	計
SS負荷量 (kg)	14,918	5,470	6,936	4,334	2,217	1,090	34,965
(%)	42.7	15.6	19.8	12.4	6.3	3.1	100.0

表 7 降雨流出期間における負荷量 (粒径による分画)

(期間 1984年11月 1日 23:00~11月 3日 10:30)

粒 径 (μm)	~74	74~25	25~0.45	(P)	0.45~0	計
SS 負荷量 (kg)	5,620	5,377	16,690	27,690	—	—
(%)	20.3	19.4	60.3	100.0	—	—
COD 負荷量 (kg)	639.0	667.2	1,871	3,177	3,007	6,184
(%)	20.1	21.0	58.9	100.0	—	—
(%)	10.3	10.8	30.3	51.4	48.6	100.0
P 負荷量 (kg)	8.606	4.497	23.32	36.42	6.67	43.08
(%)	23.6	12.3	64.0	100.0	—	—
(%)	20.0	10.4	54.1	84.5	15.5	100.0
Fe 負荷量 (kg)	140.7	188.4	499.6	828.7	16.4	845.1
(%)	17.0	22.7	60.3	100.0	—	—
(%)	16.6	22.3	59.1	98.1	1.9	100.0

注) (P): 懸濁性成分

表 8 降雨流出期間における負荷量 (粒径による分画)

(期間 1985年 4月11日 18:20~4月13日 10:00)

粒 径 (μm)	~74	74~25	25~0.45	(P)	0.45~0	計
SS 負荷量 (kg)	3,614	5,411	27,760	36,780	—	—
(%)	9.8	14.7	75.5	100.0	—	—
COD 負荷量 (kg)	983.9	354.2	2,672	4,010	3,932	7,942
(%)	24.5	8.8	66.6	100.0	—	—
(%)	12.4	4.5	33.6	50.5	49.5	100.0
P 負荷量 (kg)	4.665	5.449	47.82	57.93	16.98	74.91
(%)	8.1	9.4	82.5	100.0	—	—
(%)	6.2	7.3	63.8	77.3	22.7	100.0
Fe 負荷量 (kg)	86.71	199.4	790.2	1,076	22.60	1,099
(%)	8.1	18.5	73.4	100.0	—	—
(%)	7.9	18.1	71.9	97.9	2.1	100.0

注) (P): 懸濁性成分

沈降速度をもっているとすれば、COD では33.3~41.1%, P では17.5~35.9%, Fe では26.6~39.7%が1日で4.58~8.12m以上沈殿除去されることになる。

4. おわりに

本研究では降雨時における河川の物質流出に関する調査を、懸濁性物質の沈降性および粒度構成に注目して実施した。調査8411および調査8504の2回の調査結果から得られた結論を要約すると、

- 1) SS, COD, P, Fe 各 Total 濃度について first flush 現象が認められる。
- 2) 懸濁性成分のうち沈降速度の大きい分画あるいは粒径の大きい分画の割合は、流出初期に増加する傾向にある (ただし、先行降雨の状況や SS 濃度の大小

小などにより違った傾向となることもある⁵⁾)。

- 3) 懸濁性成分を沈降速度により分画し、沈降性について評価した。降雨流出期間における各分画の SS 負荷量は表 5, 6 のとおりである。
- 4) 懸濁性成分を粒径でも分画し粒度構成について評価した。さらに、沈降性についても検討した。降雨流出期間における各分画の負荷量 (粒径による分画の場合) は表 7, 8 のとおりである。
- 5) 降雨流出期間における流出物質が停滞性水域に流入した場合、SS で24.5~39.7%, COD で33.3~41.1%, P で17.5~35.9%, Fe で26.6~39.7%が1日で4.58~8.12m以上沈殿除去されることになる。

以上のように降雨時における河川の汚濁物質を一括し

て把えと、短期的には過大評価することになるので、沈降性の観点から分画して評価する必要がある。

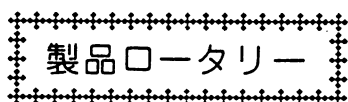
なお、調査・研究の遂行にあたり、1985年本学卒業生の堀、松井、水上、吉田4氏の協力を得た。記して謝意を表したい。

—参考文献—

- 1) 海老瀬潜一，宗宮 功，平野良雄：小河川における晴天時流出負荷量と降雨時流出負荷量，土木学会第34回年次学術講演会講演概要集2，385～386（1979）。
- 2) 森田弘昭，山田幸男，安中徳二：洪水時に湖に流入する粒子性栄養塩の挙動，水質汚濁研究，8（4）233

～238（1985）。

- 3) 福島武彦，相崎守弘，海老瀬潜一：河口域の降雨時流入物質の挙動，国立公害研究所報告，第96号，13～27（1986）。
- 4) 海老瀬潜一，宗宮 功，平野良雄，安達伸光：降雨流出過程における流出物質の挙動，第7回環境問題シンポジウム講演論文集，124～131（1979）。
- 5) 奥川光治，天野智順：懸濁性物質の沈降性からみた河川の降雨時物質流出（その2），第21回水質汚濁学会講演集，169～170（1987）。



高層集合住宅向けゴミ収集システム バックポーター

清水建設㈱と新明和工業㈱は、高層集合住宅向けゴミ収集システム「バックポーター」を共同開発した。

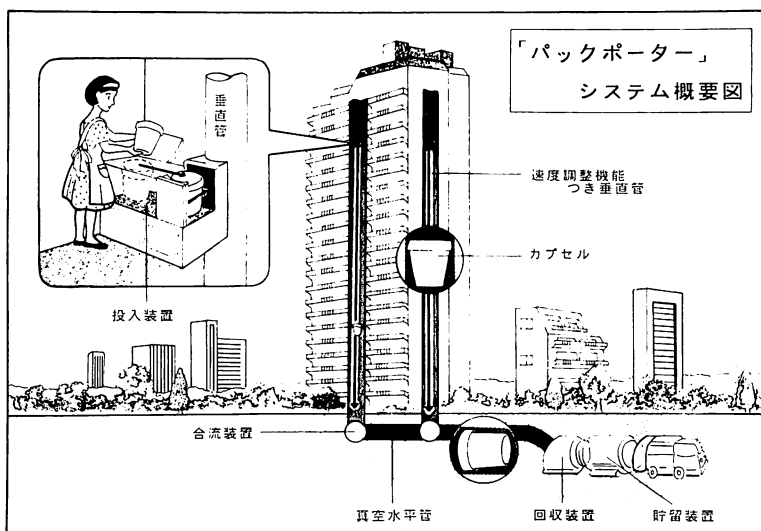
今回、開発された「バックポーター」は、各家庭がシステム専用の紙カプセル（直径19.5cm，高さ25cm，容量5ℓ，業務用アイスクリーム容器の形状）をゴミ箱代わりに使い，このカプセルが満杯になった時点で，ふたをしてそのまま各階共有（または各戸専用）の投入装置に置くだけで，カプセルが管路を通り自動的に収集されるシステムである。カプセルは，ふたに外れ止めが施されており，かたくずれせず耐水性もあるので，通常，家庭で発生するほとんどのゴミを収納できる。

システムの主要機器は，投入装置，速度調整機能付き

垂直管，合流装置，真空水平管，回収装置，貯留装置などから構成され，これらの機器の組合わせを変えることにより，建物用途に応じた最適なシステムが提供される。

■特 長

- * 曜日や時刻の制約なしに，各階で手軽にゴミを捨てることができる。
- * カプセルを投入装置に置くだけでゴミを回収するので，各階（各住戸）でのゴミの滞留や飛散がない。このため，汚れ・悪臭の発生が防止でき，衛生的で快適な居住環境が得られる。
- * 対象となるゴミは生ゴミ・紙くず・ビン・カンなど幅広いゴミ処理が可能



清水建設㈱/〒104 東京都中央区京橋2-16-1 ☎03(535)4111(代)