〈論 文〉

河川流出負荷量としての河床沈殿・堆積物量の評価

Estimation of River Sediments as Pollutant Loadings

海老瀬 潜一*, 相崎 守弘*, 大坪 國順*, 村岡 浩爾*
Senichi EBISE Morihiro AIZAKI Kuninori OTSUBO Koji MURAOKA

Abstract

The heavy pollutant loading is drained out from the urban area of Ishioka City in the watershed of River Sanno. The loading of particulate matter decreases in going down with sedimentation. The amount of decrease was estimated by our two means. The first is the means with loading budget of the lower reaches from the urban area and the second is by observation of sedimentation rate on artificial substrata in river bed. The river sediments are flushed out by storm event without much decrease by decomposition and therefore become major part of storm runoff loading. The transient storage of sediments in river bed does not mean true self-purification. Consequently, for estimation of exact river loading or evaluation of self-purification abilities in river it is necessary to reevaluate sediments as a part of river pollutant loading.

Sediment, River Mud, Runoff Loading, Self-Purification, Particulate Matter

1. 緒 言

一般に、河川の水質は一過性と言われるものの、河床に沈殿・堆積し、一時的に底質となる懸濁態物質の挙動を考慮すれば、流動と水質の関係はそう単純なものではない。そこには、河床での滞留時間、あるいは、底質中で密度の高い微生物群の分解を受ける機会となる接触時間が介在し、浄化率や流出率にも時間スケールを持たせた考慮が必要である。しかも、この現象は、晴天の継続する平常時の流出の場合と、降雨流出による異常時の流出の場合とでは、底質の様態が大きく異なることになる。したがって、河川に流入し、一旦、河床に沈殿・堆積し、降雨流出の流量増加時に流出する一部の物質も含めて、流入から流出までの変化を考慮した水質流出解析が必要となる。ここでは、懸濁態物質の河床への沈殿・堆積量を、一定区間の流出負荷量収支や人工付着板上の沈殿・堆積物量から算定し、流出負荷量としてのウェイトの評価を試みる。

2. 懸濁態物質の流出特性

流域内の「みずみち」あるいは側溝や排水管を通して河川に排出される懸濁態物質の挙動は、その流出形態や滞留時間を含めて、いまだ明らかな部分が多い。とくに、微細な土粒子を主とする無機物質だけでなく、付着藻類・ミズワタ・原生動物などから構成される河道内付着生物群現存量の増減、および、それらにトラップさ

れる懸濁態物質まで考慮すると、その挙動は複雑なものとなる。しかし、河道内で沈殿や抑留される懸濁態物質の flushing rate あるいは flushing time を明らかにすることは、見かけ上の自浄作用とも関係し、河道内での一定期間における物質収支の解明につながるとともに、懸濁態物質に吸着してその挙動をともにする微量物質の滞留時間との関連からも重要な課題である。

一方、懸濁態物質の負荷発生源と流出形態との関係を考察すると、点源ではほぼ定常的な流出形態と見なせるのに対して、面源では降雨を介した流出形態が中心となる。この降雨を入力として負荷を排出する地表面や屋根などの面源には、先行降雨によって流出しきれなかった「積み残し」負荷量に加えて、先行晴天期間に新たに付加される新生堆積物質が存在する。また、排水路や河道内には、先行降雨による出水時の増水期に流出しきれなかった「積み残し」負荷量と、減水期に水路内に堆積した「荷くずれ」負荷量に加えて、先行晴天期間の通常の流動状態でも生ずる沈殿堆積物質や、付着生物群の現存量が付加される。したがって、河川の一定区間において、流量や水質の変化の履歴をとどめる河道内の沈殿堆積物質の変化を調査することは、先述の懸濁態物質の滞留時間や河道内での物質収支の解明に必要なばかりでなく、流水に対する定期的な水質負荷量変化の調査を補完する意味からも有用なことである。

* 国立公害研究所水質土壌環境部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川 16-2 National Institute for Environmental Studies (16-2 Onogawa, Yatabe-machi, Tsukubagun, Ibaraki, Japan 305)

Table 1 River basin characteristics of R. Sanno.

watershed area (km ²)	river length (km)	slope of river bed (%)	forest area (ha)	paddy field (ha)	plowed field (ha)	others area (ha)	population numbers	cattle (head)	swine (head)
12.8	7.8	2.9	146	405	309	370	19,659 *	356 *	5,264 *

(*data at 1978)

3. 調査の概要

調査の対象とした河川は、茨城県石岡市の市街地を流下し、霞ヶ浦高浜入に流入する小河川で、流域面積が小さいにもかかわらず汚濁負荷量の大きな山王川である。山王川は、流域面積約12.8 Km²、流路延長約7.8 km、河床勾配2.9‰で、上流部に非用水型の工業団地と樹園地・水田からなる農耕地、中流部に石岡市の市街地と工場群、下流部に水田・畑地の農耕地を擁する流域である。石岡市街地は、下水道の幹線建設が進行中の段階で、市街地の生活排水や路面排水、中小規模の各種工場・事業所の排水、および、牛・豚の畜産排水などが山王川に排出されている。流域内水田の灌漑用水の大部分は、ポンプによる地下水の汲み上げに頼っており、その排水は受け入れているものの、本川からの直接取水はほとんどない状態である。このように、山王川流域では市街地部と田園地部を有し、汚濁負荷発生源としては、家庭雑排水と工

場排水などの点源（特定）汚濁負荷と、農耕地や路面・屋根などの面源（非特定）汚濁負荷で構成され、晴天時には前者のウェイトが大きく、降雨時には後者のウェイトが高い^{1),2),3)}。山王川の流域諸特性の一覧を Table 1 に示し、流域の概要を Fig. 1, 河川の縦断形状を Fig. 2 に示す。

調査は、流域内の土地利用形態を考慮して、流下方向に4地点を選び、毎週1回の流量・水質変化の定期観測、上流部を除き中・下流部3地点の河床に敷設したコンクリート製ブロック上の沈殿・堆積物量および付着生物量の隔週毎の定期観測とこれら同じ量の毎月1回の1週間量の観測、および、下流部2地点における隔週毎の底泥の採取・分析が定期調査である。これに、中・下流部3地点における、晴天時24時間の流量・水質の周日変化観測4回と、降雨時流出の流量・水質変化観測3回の不定期調査が加わる。なお、山王川の上流および最下流の2地点については、毎週1回の流量・水質変化の定期観測をこの調査に先立つ1年間に実施しているほか、その間に晴天時24時間の流量・水質変化の観測を3回行っている⁴⁾。ここでは、観測の地点および種類を追加した1979年6月から1980年5月までの1年間の観測結果を中心に、

Table 2 Water quality indicators and their analytical methods.

Item	Method
Flow	propeller-typed current meter
NH ₄ ⁺ -N	phenol-hypochlorite method
NO ₂ ⁻ -N	N-1-Naphthylendiamine-sulfanilamide method
NO ₃ ⁻ -N	reduction with hydrazine sulfate and phenoldisulfonic acid method
T-N, D T N	nitrification by oxidation with potassiumperoxodisulfate and method for NO ₃ ⁻ -N
PO ₄ ³⁻ -P	molybdate-blue method
T-P, D T P	decomposition to PO ₄ ³⁻ -P with potassiumperoxodisulfate and method for PO ₄ ³⁻ -P
D I P	decomposition with sulfuric acid and method for PO ₄ ³⁻ -P
Cl ⁻	mercuric thiocyanate method
T-COD, D-COD	alkali-potassium-permanganate method
S S	glassfiber filter method
Inorg-N	NH ₄ ⁺ -N + NO ₂ ⁻ -N + NO ₃ ⁻ -N
Org-N	T-N - Inorg-N
Org-P	T-P - D I P
P-COD	T-COD - D-COD
V S S	total residue - ignition residue
T O C, T O N	C H N coder method
P T N	T-N - D T N
P T P	T-P - D T P
Chl.-a	UNESCO/ SCOR method

Fig. 1 Observation points in R. Sanno.

Fig. 2 Longitudinal profile of R. Sanno.

Table 3 Diurnal pollutant load by weekly observation data during June 1979-May 1980.

		flow rate ($10^3 \text{ m}^3/\text{d}$)	$\text{NH}_4^+ \text{--N}$ (kg/d)	$\text{NO}_3^- \text{--N}$ (kg/d)	Inorg.-N (kg/d)	Org.-N (kg/d)	T-N (kg/d)	$\text{PO}_4^{3-} \text{--P}$ (kg/d)	Org.-P (kg/d)	T-P (kg/d)	Cl^- (kg/d)	SS (kg/d)	T-COD (kg/d)
St. ①	mean	6.5	3.8	23.2	36.2	15.1	51.2	2.0	6.1	8.3	264	316	14
(3.9km ²)	C.V.	0.81	0.70	0.94	0.97	2.41	1.12	1.92	5.73	4.67	0.60	5.81	5.12
St. ②	mean	13.7	13.5	35.1	55.2	19.0	74.1	6.1	4.2	10.9	438	273	129
(6.2km ²)	C.V.	0.64	0.46	0.58	0.44	0.99	0.49	0.52	1.30	0.75	0.35	2.67	1.15
St. ③	mean	37.6	41.6	54.0	109.5	68.3	177.7	18.6	18.1	38.8	1,045	1,280	469
(8.3km ²)	C.V.	0.37	0.56	0.64	0.42	0.66	0.40	0.37	0.74	0.44	0.29	1.75	0.65
St. ④	mean	40.5	37.3	51.4	101.2	53.3	154.6	13.1	11.1	25.1	1,005	1,009	359
(12.4km ²)	C.V.	0.51	0.42	0.90	0.55	1.05	0.58	0.35	1.16	0.63	0.32	1.40	0.64

() : watershed area

解析を進めることにする。測定項目と測定方法を

Table 2 に示す。懸濁態物質はろ過の際に 1μ のガラス繊維ろ紙上に残留する粒状物質で、メスシリンダー中ですぐ沈殿しない数百 μ の細砂までとする。

4. 水質負荷量調査による沈殿量の推定

(1) 定期調査

1979年6月から1980年5月まで毎週水曜日定時における52週間の各種水質負荷量の平均値と変動係数を、流下方向4地点について、**Table 3** に示す。注目すべき点は、石岡市街地直前の地点②、石岡市街地直後の地点③および霞ヶ浦高浜入への流出端近くの地点④（日の出橋）の平均値である。石岡市街地直後における流量および負荷量の増加と、その下流の地点④（日の出橋）におけるSS、T-COD、T-NおよびT-P負荷量が地点③（石岡市街地直後）のそれより減少している点である。これは、河口からの距離に対して4地点での水質負荷量の変化をプロットした**Fig. 3 (a), (b)**によって、さらに明らかとなる。とくに、**Fig. 3(b)**より、Total中に占める有機態成分の負荷量の地点③と地点④の間での減少が、SS負荷量の減少とともに注目される。地点③と

Fig. 3 (b)

地点④との間の2.85kmの区間において、有機物質の分解、河床付着生物群による栄養塩の取り込みや、その剥離流出などの水質変化は考えられる。しかし、少ないながら両地点間にも河川への流入負荷量が存在し、この区間での河川水の取水がないことを考え合せば、この減少量は河床への沈殿によるものと解することができる。なお、この区間の平均流速は $0.30 \sim 0.55 \text{ m/sec}$ 、流下時間は $120 \sim 160$ 分である。

しかし、各地点間にはおよそ30分前後の観測時刻のずれがあるため、正確を期すためには、周日変化を含めた24時間連続観測による両地点での日負荷量値とのチェックが必要である。

(2) 24時間調査結果

毎週1回の定期調査を行なっている間の、6月、7月、10月および2月に4回の24時間水質負荷量周日変化の調査を、地点①を除いた下流側の3地点で実施した。各地点で1時間毎25個の水質負荷量観測値より積算した日流量および日負荷量の平均値を**Table 4**に示す。さらに、流下方向3地点における水質負荷量の変化を**Fig. 4 (a),**

Fig. 3 (a) Variation of river pollutant load in going down by weekly observation data.

Table 4 Diurnal pollutant load by diurnal observation data.

observation points	flow rate ($10^3 \text{ m}^3/\text{d}$)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (kg/d)	$\text{NO}_2^- - \text{N}$ (kg/d)	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (kg/d)	Inorg.-N (kg/d)	Org.-N (kg/d)	T-N (kg/d)	D T N (kg/d)	P T N (kg/d)	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ (kg/d)
St. ②	13.3	10.5	5.0	34.5	50.0	22.5	72.5	(86.2)	(3.2)	3.1
St. ③	36.6	35.7	10.6	36.8	82.5	83.6	166.1	(142.9)	(30.3)	21.8
St. ④	40.5	37.3	9.2	53.7	103.4	49.9	153.4	(158.5)	(22.8)	20.4
observation points	D I P (kg/d)	Org.-P (kg/d)	T-P (kg/d)	D T P (kg/d)	P T P (kg/d)	Cl^- (kg/d)	S S (kg/d)	T-COD (kg/d)	D-COD (kg/d)	P-COD (kg/d)
St. ②	3.4	2.3	5.7	(3.4)	(2.2)	468	127	78	56	22
St. ③	22.4	12.9	35.3	(18.5)	(10.2)	1,134	920	378	228	155
St. ④	21.1	9.2	30.3	(17.0)	(9.8)	1,167	672	326	227	99

() : by two observation data

Fig. 4 (a) Variation of river pollutant load in going down by four diurnal observation data.

Fig. 4 (b)

(b)に示す。これらより、地点②と地点③の間の市街地区間で大幅な負荷量が入った後、地点③と地点④の農耕地の区間において、SSをはじめT-COD、T-N、T-Pとも負荷量の減少が確認された。とくに、Fig. 4 (b)より、懸濁態成分かつ有機態成分の減少が顕著であることも確認され、これらの減少が沈殿によるとの推定も支持されることになる。この懸濁態成分の減少は、4回の調査のうちの10月と2月の24時間調査において、CODのほかにN、PについてもTotal量と溶存態のTotal量について分析を行なっているため、その差としての懸濁態の、Total量としての変化も評価できる。10月と2月の2回調査の平均値による流下に伴う水質負荷量変化を示したものがFig. 5 (a), (b), (c)である。内容的には、10月の調査は、100 mmを超える豪雨の4日後でかなりの高流量時にあたり、2月の調査は、長期間継続した晴天期間の低流量時に実施したものである。10月の場合は、出水の通減期ながら依然として流量が高レベルにあり、最下流地点④のSS負荷量が石岡市街地下流地点③のそれを上回っていたけれども、他の懸濁態成分の負荷量は全て地点④が地点③に比べてかなりの減少を示していた。しかし、低流量時の2月の場合は、SSを含めた全ての懸濁態成分の負荷量が、市街地下流からの流下に伴って減少していた。

このように晴天時には、市街地から河川に排出された高負荷量の一部は、2.85 kmの流下過程において沈殿・堆積し、降雨などの高流量時に浮上して流出することになる。この懸濁態物質の河道内における沈殿・堆積および浮上・流出の過程は、河道内に敷設した人工付着板上のSSの変化としても捉えることができる。

5. 人工附着板調査による沈殿量の観測と評価

(1) 観測結果

河道内に敷設した人工附着板による調査は、河床附着生物や河床沈殿・堆積物の現存量変化の把握のために利用できるほか、その量の大きさと構成内容が敷設期間の流量変化や水質変化の履歴をとどめているために、毎週1回の定期負荷量観測の観測間隔の粗さを埋める有力な手段ともなりうる。調査は、1979年5月末より1980年5月末までの1年間、下流側の3地点の河床に、長さ20cm、幅10cm、厚さ5cmのコンクリート製ブロックを2個ずつ

Fig. 5 (a) Variation of river pollutant load in going down by two diurnal observation data.

Fig. 5 (b)

Fig. 5 (c)

敷設して、定期負荷量観測と併行して2週間毎に回収し、附着物あるいは沈殿・堆積物の現存量を定量した。測定項目は、SS, VSS, COD, Chl. -a, C, H, N量である。また、4週間に1回の頻度で1週間敷設した人工附着板についても、同様の測定を行なっている。

2週間間隔の場合のSSおよびVSSの現存量変化を示したものがFig. 6 (a), (b), (c)である。また、4週間に1度実施した1週間間隔の場合のSSおよびVSSの現存量変化を示したものがFig. 7 (a), (b), (c)である。Chl. -a などの変化から附着藻類の現存量変化や増殖速度を知ることができるが⁵⁾、ここでは、附着生物も含めた沈殿・堆積物のSS (乾燥重量), VSSおよびCODの変化から現象を捉え、Fig. 6~7 から全体的な傾向として以下のことが言える。

- (i) 河床における沈殿・堆積物の現存量変化は、晴天期間の流入物質によるものと降雨時流出による流入物質によるものに加えて、降雨量との対応から流量増加に伴う剥離あるいは浮上流出など降雨時流出の影響が大きい。
- (ii) 降雨時流出のない場合と降雨時流出の影響が無視できる場合、敷設時間に比例的な沈殿・堆積物を生じる。
- (iii) 小降雨の場合、流域地表面から河川に流入する懸濁態物質の量はさほど多くなく、排水路・側溝の沈殿・堆積物の流入が中心で、河道内では新たに流入した懸濁態物質に加えて、沈殿・堆積物の剥離あるいは浮上流出が顕著である。
- (iv) 降雨強度・降雨量がともに大きな場合、河道内での流量増加に伴う掃流作用によって沈殿・堆積物の流出量が大きなだけでなく、降雨によって流域地表面から河川に流入する懸濁態物質の量もさらに大きいため、流量減少期にその一部が河道内に沈殿・堆積して、晴天時の数倍あるいはそれ以上の量に達する。

また、流下方向の3地点での比較では、市街地下流の地点③、最下流の地点④、市街地上流の地点②の順に前記3水質項目とも小さくなる傾向が見られる。しかし、VSSとCODは、市街地上流の地点②が最下流の地点④を上回っていて、沈殿・堆積物の構成内容に差違が認められ、流況や流入負荷の量および内容構成を反映した結果ともなっている。

1日当りの沈殿・堆積物の量は、2週間敷設したものが1週間敷設したものより、SSをはじめとする全測定項目で大きな値となる傾向がある。この理由の1つとしては、附着生物量の増殖量あるいは現存量の違いと、これにトラップされる懸濁態物質の量の違いをあげることができるが、期間内の降雨の影響がかなり大きい。

この河道内の沈殿・堆積物の現存量変化は、降雨時流出の影響が大きいため、観測結果の解析では降雨時流出の影響のある場合と、影響がないかあるいは無視できる場合とに分ける必要がある。これは、1年間の全観測値の平均値と、降雨時流出の影響のない場合の平均値に分けて示すとより一層明らかなものとなる³⁾。地点ごとに、2週間の場合と1週間の場合に分けて、2サンプルの平均値について1日当りの量として示したものがTable 5である。敷設期間に降雨時流出のある場合は、土粒子を主とした多量の沈殿・堆積物を生ずることが多いため、SSがかなり大きな値となっており、降雨時流出の影響の無視できる場合の数倍となっている。また、降雨強度

をはじめとする降雨パターンの違いによって、河道への流入懸濁態物質質量や、河道内の沈殿・堆積物の流出にかなりの差違があつて、これらの値もバラツキが見られた。

(2) 沈殿・堆積物の評価

河川の流下に伴う流出負荷量の顕著な減少は、懸濁態物質の沈殿によるところが大きい⁶⁾と考えられるため、人工付着板上の沈殿・堆積物より推定される河道内沈殿・堆積物量との比較検討を行なうことにする。また、河道内沈殿・堆積物量の推定ができれば、正確な河川の流出負荷量の算定、あるいは、河川への流入負荷量の推定も可能となる。

Fig. 6 (a) Variations of SS and VSS on artificial substrata for two weeks.

Fig. 7 (b)

Fig. 6 (c)

Fig. 7 (a) Variations of SS and VSS on artificial substrata for a week.

Fig. 6 (b)

Fig. 7 (c)

Table 5 Components of sediments on artificial substrata.

observation point	period of observation	SS ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)		VSS ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)		COD ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)		Chl.-a ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)		TOC ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)		TON ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	
St. ②	for a week	6.0	11.3	1.85	1.61	7.2	4.8	2.4	2.1	0.82	5.88	0.118	0.719
	for two weeks	10.8	14.3	3.74	2.36	15.8	6.2	4.4	4.7	2.18	1.63	0.330	0.231
St. ③	for a week	13.3	31.1	3.20	4.18	10.1	17.1	5.8	11.8	1.84	2.18	0.272	0.307
	for two weeks	16.8	22.9	6.24	3.17	18.8	10.8	8.3	6.6	3.36	2.10	0.478	0.299
St. ④	for a week	7.5	11.2	0.82	2.04	3.9	3.1	5.4	3.4	0.37	2.53	0.053	0.322
	for two weeks	6.1	12.2	1.03	1.38	5.1	4.7	4.8	7.6	0.48	3.27	0.074	0.414

right ; the cases in which rain events have no effect on.

left ; the cases in which rain events have not a little effect on.

まず、途中からの負荷が無視できる流下方向の2地点間での負荷量収支からの沈殿量の推定値と、降雨時流出の影響のない場合の人工付着板上での沈殿・堆積物量の平均値に基づく推定値との比較を行なう。市街地下流の地点③と最下流の地点④の両地点間における平均的な沈殿量は、両地点での人工付着板上の沈殿・堆積物量で代表できるものとする。両地点での降雨時流出の影響のない場合における人工付着板上の単位面積・単位時間当りの沈殿・堆積量を、両地点間の河床面積 ($4.0\text{m} \times 2,850\text{m}$) に乗じてこの河川区間の沈殿量を推定した。Table 5 の1週間観測値と2週間観測値の両方を用いて計算し、その結果を上・下流側2地点の範囲の形で表す。この推定値と、晴天時24時間負荷量観測(4回)や毎週1回定時負荷量観測(52回)による両地点間での懸濁態物質の負荷量減少値をTable 6に示す。

SSに関しては、一部に降雨時流出のデータを含む毎

週1回定時負荷量観測による負荷量の減少値が最も大きく、4回のうち1回の観測が豪雨後の影響の残存していた晴天時24時間負荷量観測による負荷量の減少値が次いで大きく、人工付着板による沈殿量の推定値が最も小さい。しかも、市街地下流地点③の人工付着板による沈殿量の推定値は、負荷量観測による負荷量の減少値より少し小さい程度であるが、最下流地点④でのそれは、負荷量減少値の1/3程度と小さい。T-CODあるいはP-CODについては、人工付着板による沈殿量の推定値と、負荷量観測による負荷量の減少値とかなり良い一致を示している。T-NあるいはPTNについては、人工付着板による推定値は、負荷量減少値に比べてかなり小さな値となっている。

人工付着板による沈殿量の推定値は、負荷量観測による負荷量減少値との相対的な大きさの関係から、市街地下流地点③の方の適合度が良く、最下流地点④の方がか

Table 6 Sedimentation rate in lower reaches from Ishioka urban area

method of estimation	observation data	SS (kg/d)	T-COD (kg/d)	T-N (PTN) (kg/d)	T-OC (kg/d)
loading budget	with 52 weekly * data	270	110	23 (18)	—
	with four diurnal data	248	52	13 (8)	—
sediment observation	for a week	68 — 148	46 — 114	0.6 — 3.1	4.2 — 21
	for two weeks	86 — 194	57 — 217	0.8 — 5.4	5.5 — 38

*: estimated by 52 weekly data

なり小さいことから、市街地からの晴天時負荷量の多くは、市街地下流地点③の付近で沈殿してしまうことが推測できる。また、人工付着板上の沈殿・堆積物量には、付着藻類をはじめとする付着微生物群も含まれるため、その沈殿・堆積物におけるウェイトを明らかにしておく必要がある。付着微生物群は、一時的に高い密度を示すことがあるが、降雨時流出の影響もあり、SS量としてのウェイトは小さいが、P-COD, PTN, PTP などのウェイトはそれより大きいと推定される。それでも高々数十%のオーダーであり、増殖と剥離の平衡的な状態が2週間前後で出現するため、上記の結果を大幅に狂わせるものではない。したがって、市街地下流の2地点間での流出負荷量の減少は、そのほとんどが懸濁態物質の沈殿による減少として説明し得ることが確認できた。

この人工付着板による沈殿量の推定値を用いると、市街地部から大量の負荷が流入する市街地上流地点②と市街地下流地点③の市街地区間、および、その上流の最上流地点①と市街地上流地点②の上流区間での沈殿量がわ

かるため、各区間の上・下流側観測地点での負荷量の差を考慮すれば、各区間での流入負荷量をかなり精度よくおさえることが可能となる。

上流区間は、流下距離 2.46 km、河床面積 $2.4 \text{ m} \times 2,460 \text{ m}$ のコンクリート三面張り水路となっており、途中からの流入負荷量がほとんど無視できる区間である。したがって、この上流区間も、市街地下流の区間と同様に、SS, PTN, PTP などの負荷量は減少し、人工付着板による沈殿量の推定値は、SS, PTN ともその減少量にほぼ一致する結果となる。なお、この区間での平均流速は $0.15 \sim 0.25 \text{ m/sec}$ 、平均流下時間は $70 \sim 115$ 分である。

これに対して市街地区間 ($2.4 \text{ m} \times 1,725 \text{ m}$) では、市街地部から多量の負荷が流入するため、この区間での負荷量の増加量に対して、SS では $7 \sim 9 \%$ 、P-COD では $31 \sim 59 \%$ 、PTN では $4 \sim 7 \%$ の人工付着板による沈殿量の推定値となる。したがって、この市街地区間での正確な流入負荷量の推定には、懸濁態物質の沈殿によ

Fig. 8 Variation of VSS in surface layer of river sediments by weekly data.

る減少量を割増補正する必要がある。ちなみに、この区間での平均流速は $0.25 \sim 0.55 \text{ m/sec}$ 、平均流下時間は $50 \sim 105$ 分である。

この河床に沈殿した懸濁態物質は、一部微生物による分解作用を受けて減少するが、そのほとんどが比較的短期間のうちに降雨時流出によって、流出してしまう。このことは、人工付着板上での沈殿・堆積物の長期間の挙動のほか、次節で述べる河床底質の経時変化からも明らかである。このように、流入した負荷のうち、懸濁態成分の河床に沈殿したものは、晴天時の河川流出負荷量の表面に現われずに、降雨時流出負荷量の潜在負荷としてのポテンシャルを高める結果となっていることに留意する必要がある。

6. 河床底質の変化

市街地下流区間の2地点で実施した柱状サンプルによる河床底質の隔週ごとの調査では、底泥の表面から $0 \sim 3 \text{ cm}$ 、 $3 \sim 8 \text{ cm}$ 、 $8 \sim 12 \text{ cm}$ と3つの層に分けて、VSS、比重、含水比、pH、ORP、平均粒径等を測定し、その経時変化を検討した。最も注目される底質表層部の $0 \sim 3 \text{ cm}$ のうちでも、その表面近くは浮泥で、比重が $2.2 \sim 2.4$ と小さく、VSS(%) が大きくて、有機態成分の比率の高いことを示していた。

底質の場合は、人工付着板上の沈殿・堆積物の場合とは異なって、付着板の更新のように初期条件の設定ができないため、経時変化を追跡することになる。したがって、時間経過に伴う堆積状況の変化より、その期間内での沈殿・浮上現象あるいは流況の変化を推測することになる。Fig. 8 は、2地点における底泥表層部 ($0 \sim 3 \text{ cm}$) のVSSの変化を示したものである。図より明らかなように、大きな降雨時流出の後ではVSSが大きく変化することがわかり、降雨時流出の影響の大きさが理解できる。また、晴天あるいは小降雨の日が継続する場合には、有機物質の沈殿量が増加する傾向も認められる。両地点における底泥表層部の性質の違いは明らかであり、市街地下流地点③では、最下流地点④の値(平均値 3.3%)のほぼ3倍の値(平均値 9.5%)となっており、浮泥層の厚さも大きい。これらの傾向は、人工付着板上の沈殿・堆積物の場合と似たものである。しかし、人工付着板上の沈殿・堆積物は、底泥のVSSより平均で約10%高い比率となっている。これは、底泥の $0 \sim 3 \text{ cm}$ とかなり厚い層を対象としたために、土粒子などの含有率が多いことによっていと考えられる。ちなみに、人工付着板上の沈殿・堆積物の厚さは大きくてもせいぜい 1 cm 前後であった。

この底質調査を実施した市街地下流区間は、市街地上流区間や市街地区間のコンクリート水路とは異なって、

床固めされた直線水路となっている。この区間で調査した2年間に、河床底泥の長期的な堆積傾向は認められず、沈殿・堆積現象はほぼ平衡状態が継続していると推測される。したがって、先述のように、懸濁態物質の河床での沈殿は、一時的な経過現象であり、実質的には、一部が微生物の分解を受けるものの、降雨時流出によって流出しまうと考えられる^{7), 8)}。

7. 結 論

河川の流出物質のうち懸濁態物質の挙動に注目して、流出負荷量と沈殿・堆積物量の関係を検討した。晴天時に主として点源から排出され、河川に流入した懸濁態物質は、緩流部を中心に河床に沈殿・堆積する。降雨時にも面源から懸濁態物質の河川への流入があり、流量逓減期に河床に沈殿・堆積する。両者の懸濁態物質の量や構成内容は異なっており、これに河道形態と水理条件が絡むため、沈殿・堆積物量変化の定量的解析の一般化は困難である。したがって、市街地河川の山王川を対象に、3つの河川区間での負荷収支と人工付着板による沈殿・堆積物量を組み合わせることによって、流入負荷量、流出負荷量および沈殿・堆積量の関係を明らかにすることができた。晴天時における懸濁態物質の沈殿・堆積量は、河川流出負荷量に対するウェイトが大きいだけでなく、河川への流入負荷量の算定への影響が大きいことが判明した。

この懸濁態物質の流下に伴う河床への沈殿による晴天時負荷量の減少は、これまで河川の自浄作用あるいは自浄効果として片付けられてきた。しかし、河床の沈殿・堆積物は、累加して降雨時流出の潜在負荷としてのポテンシャルを高める結果となっている。この事実、降雨時流出の前半部、とくに first flush 時の高負荷現象における流出懸濁態物質の組成比の一致から確認できる^{7), 8)}。したがって、河川への流入負荷量、河床での沈殿・堆積物量および降雨時流出負荷量の三者の関係を考慮して、真の流出率・流達率の算定を行なうべく、これまでの見かけ上の流出率・流達率の定義を根本的に見直す必要がある。単に沈殿のみでは一時的な見かけ上の負荷量の減少であって、沈殿後の河床表面における高密度の微生物群による分解を受ける機会や時間があってはじめて、浄化率が考慮されるべきである。

それには、河川の一定区間での負荷収支の精度の高い観測や人工付着板による沈殿・堆積物量観測が有効な手段となる。精度の高い流入負荷量や流出負荷量の算定、あるいは、流出率・流達率の算定は、公共水域への影響の度合を知ったり、負荷発生源対策を実施する前の基本的な第一歩である。本研究は、一部、文部省科学研究費一般研究(C) (課題番号 56550380) の補助を受けた。

(原稿受理：昭和57年9月14日)

— 引 用 文 献 —

- 1) 海老瀬潜一, 村岡浩爾, 大坪国順 (1980) 小河川における総流出負荷量の観測と評価, 第24回水理講演会論文集, 161 - 166。
- 2) 海老瀬潜一, 村岡浩爾, 相崎守弘, 大坪国順 (1980) 中小河川における期間総流出負荷量の変化とその評価, 第8回環境問題シンポジウム講演論文集, 118 - 123。
- 3) 海老瀬潜一 (1981) 霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価, 国立公害研究所研究報告, 第21号, 1 - 130。
- 4) 津野洋, 村岡浩爾, 細見正明 (1979) 山王川流出汚濁負荷量に関する研究, 国立公害研究所報告, 第6号, 45 - 53。
- 5) 相崎守弘 (1982) 有機汚濁河川における付着微生物群集の季節変化, 第16回水質汚濁学会講演集, 258 - 259。
- 6) 小倉光夫, 岡敬一 (1980) 河川水中の懸濁物質による浄化機能について, 土木学会第35回年次学術講演会講演概要集第2部, 782 - 783。
- 7) 海老瀬潜一, 宗宮功, 大楽尚史 (1979), (1980) 市街地河川流達負荷量変化と河床付着性生物群(1), (2), 用水と廃水, 20, 1447 - 1459; 21, 183 - 191。
- 8) 海老瀬潜一, 宗宮功, 平野良雄, 安達伸光 (1979) 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。

新

刊

紹

介

木羽 敏泰, 長島 弘三, 山県 登, 綿拔 邦彦 編

「環境分析の手伝と評価」

ここ数年, 環境試料の分析法に関する著書がかなりの数出版されている。しかしながら, 大気, 水, 生体試料等, 対象別にあつかわれてきたように思う。

本書は, 文部省科学研究費補助金の中で, 昭和52年度より開始した環境科学特別研究の一部として「環境分析データの記載法の標準化の研究」をテーマとして発足した研究班(代表者: 木羽敏泰前金沢大学理学部教授)の成果を中心にまとめられたものである。

構成は, 第1章: 試料の取扱いと前処理, 第2章: 一般分析法, 第3章: 特殊な分析法, 第4章: 標準試料, 第5章: 分析データの評価よりなっており, 各項目ごとに21名の班員が得意な分野を担当執筆している。

第1章では大気粉じん, 水, 岩石鉱物, 土壌, 生物試料の取扱い方法と前処理方法が解説的に記されている。特に, 底質, 土壌, 生物試料の分解容器としてのテフロン気密分解容器の使用は, 分解時間等の短縮, 取扱いの簡便さ等利点が多いと思われる。第2章では有害金属元素を中心に, 銅, 亜鉛, 水銀, カドミウム, ヒ素, クロ

ム, セレンの前処理法を含め主として原子吸光法, 吸光光度法に重点がおかれて記されている。第3章では, 同位体希釈質量分析法, 誘導結合プラズマ発光分析法, 機器光量子放射化分析法, 蛍光X線分析法, 放射化分析法と一般のルーチン分析にはあまり用いられない方法について概説されている。第4章では標準試料について, その定義, 環境分析における必要性等が記されている。第5章では分析データの評価として, データの処理と所内管理及び分析値のクロスチェックについて, 実例と共に紹介されている。

以上, 本書を簡単に紹介したが, 内容的には各項目ごとに充実しており, 環境分析に携わる人々の良い伴侶となろう。ただし, 有機汚染物質についてはほとんど触れていないので, 表題は「無機成分の環境分析の手法と評価」と読まれるべきであろう。

(東京大学出版会, A 5 版, 250 頁, 定価 3, 400 円)

(紹介者: 国立公害研究所 計測技術部 大 槻 晃)