



Title	河床付着生物膜による河川水質変化
Author(s)	井上, 隆信; 海老瀬, 潜一
Description	第1回衛生工学シンポジウム (平成5年11月17日 (水) -18日 (木) 北海道大学学術交流会館) . 9 都市・水・室内等の環境 . 9-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 1, 359-364
Issue Date	1993-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7481
Type	departmental bulletin paper
File Information	1-9-6_p359-364.pdf



9 - 6

河床附着生物膜による河川水質変化

井上隆信, 海老瀬潜一 (国立環境研究所水圏環境部)

1. はじめに

河川流下過程で水質は、物理的・化学的・生物的な様々な要因によって変化を受けている。物理的变化としては、希釈・拡散・吸着・懸濁物質の沈降等、化学的变化としては、凝集・酸化・還元作用等、生物的变化としては、有機物質の微生物分解・脱窒菌による脱窒・藻類による栄養塩の取り込み・底生動物の摂食等がある。河川への汚濁物質流入直後では、希釈・拡散・吸着・沈降等の物理的变化が大きい、十分な時間を流下した後では生物的变化が重要となる。特に、日本に数多く存在する水深が浅くて、河床が礫で覆われている河川では、河床附着生物膜が水質の変化に与える影響は大きいと考えられる。

河床附着生物膜は、河川水質によってその生物相が異なる。水質汚濁が進んだ河川においては、*Sphaerotilus sp.*のような細菌が主体の生物膜が形成される。このような場合は、細菌による有機物質の分解や脱窒が生物膜と河川水との間の物質移動の主過程となる。しかし、人為的な水質汚濁が進んでいない河川では、河床附着藻類が主体の生物膜が形成されるため、藻類の増殖・剥離が物質移動の主過程となる。富栄養化の要因物質である窒素・りんに着目すると、河床附着生物膜は、増殖時に河川水中から栄養塩を取り込み、逆に、剥離によって河川水中へ栄養塩を流出させる生態システム中の栄養塩貯蔵体ということができる。この経路で、栄養塩の取り込みは溶存態で、剥離流出は懸濁態で行われており、河床附着生物膜に栄養塩が取り込まれることによって、栄養塩の形態変化が生じている。また、低流量時に河床附着生物膜が増殖する過程で取り込んだ栄養塩を、高流量時に剥離が生じるまでの間、生物膜として一時貯留しておき、下流への栄養塩の流下に時間遅れをもたらしている。このように、河床附着生物膜は、河川生態システムの中で重要な位置を占めており、河川水質とも密接に関連している。

本研究では、増殖時の河川水中の溶存態栄養塩の取り込みと流量増大時の懸濁態栄養塩の剥離流出に着目し、河床附着生物膜の現存量変化モデル式の構築を行い、河床附着生物膜による河川水質変化を定量的に評価した。

2. 調査の概要

調査は、図1に示す茨城県中央部を西から東へと流れる湊沼川の中流部のSt. 2とSt. 6において実施した。湊沼川は、笠間市国見山に源を発し、末流近くで湊沼・那珂川を経て太平洋に注ぐ、全長が46km、調査地点最下流端のSt. 6までの流域面積が142km²の河川であり、

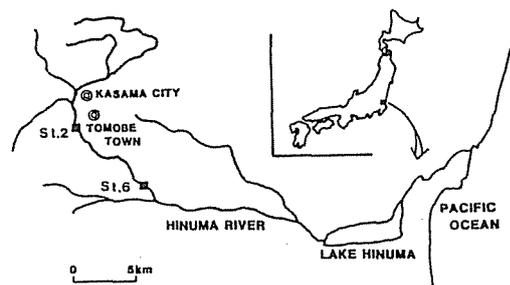


図1 調査流域の概要

日本に数多く存在する水深が浅く、河床が礫で覆われている河川の代表例として選定した。調査は、原則として週に一度の頻度の毎週調査と各季節毎に3週間程度の毎日調査を実施した。毎週調査は、長期間の河床附着生物膜の現存量変化と河川流下過程の水質変化を求めることを目的として、1987年9月から1990年3月まで実施した。毎日調査は、流量安定時の河床附着生物膜の増殖過程での変化を定量することを主な目的として、1990年春季から1991年冬季まで各季節毎に4回行い、前半は毎日、後半は調査間隔を延ばして実施した。

水質は炭素、窒素、りんを中心に一般水質項目について分析を行った。調査地点における調査時の平均流量および水質成分の平均濃度を表1に示す。BODは $2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下と都市部の汚濁した

河川に比べると低い。栄養塩は、窒素が全窒素で $1.5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と高いのが特徴的である。窒素の大部分は硝酸態窒素であった。りん酸態りんの濃度は $0.01\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と低く、N/P比は溶存態で表示すると79、全窒素と全りんを示すと20となり、通常の藻類のN/P比に比べてりんが少なく、りん制限の状態になっていると考えられる。

河床附着生物膜の採取は、素焼きタイルの人工附着板を用いた。素焼きタイルの河床への設置に際しては、流量増大時に流失しないように、 10cm 角の素焼きタイル6枚を 30cm 角で厚さ 10cm のコンクリート板に固定し、河床面とタイル面が同じ高さになるようにした。洪水時には水深が 2m を超える時もあったが、そのような場合でもタイルの破損が一部見られたものの、コンクリート板ごと流されることはなかった。人工の附着板を河床に設置した場合、最初に糸状細菌が附着し始めその後に藻類が増殖するために、河床附着藻類が増殖し始めるまでにラグタイムが存在する。しかし、後に述べるように、降雨に伴う剥離が生じた後の附着面には細菌が残存しており、河床附着藻類の増殖はすぐに可能となる。本研究では、河床附着生物膜の現存量変化の評価を目的としているので、増殖と剥離を繰り返し周囲の環境に十分馴染み、周囲の礫と同様の生物膜が附着するまで夏季で1ヵ月以上、冬季で2ヵ月以上河床に設置した附着板から試料を採取した。河床附着生物膜は、乾燥重量・炭素・窒素・りん・Chl-a・従属栄養細菌の測定を行った。

3. 河床附着生物膜の組成比と現存量変化

表2は、毎日調査時の河床附着生物膜の組成比の平均値をりんを1として示した。C:N:P比は、 $46:7.4:1$ となり、 $(\text{CH}_2\text{O})_{100}(\text{NH}_3)_{10}\text{H}_3\text{PO}_4$ で表される植物プランクトンの示性式から求められるレッドフィールド比の $41:7.2:1$ に非常に近い値となり、河床附着生物膜は藻類が中心として形成されていることがわかる。しかし、乾燥重量に対して炭素が15%と生物体に比べて低くなった。これは、河床附着生物膜中にトラップされたシルトや粘土のような無機物質も含まれているためである。このため、河床附着生物膜中の藻類の働きが中心と考えられる河川水質と河床附着生物膜との相互作用を正確に評価する際の基礎となる河床附着生物膜の現存量を表現する指標としては、乾燥重量より炭素量を用いるほうが妥当であると考えられる。

河床附着生物膜中の炭素量と従属栄養細菌数との関係を図2に示した。剥離が生じた後の現存量が少ない場合にも従属栄養細菌は $10^6\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ 程度存在しており、降雨に伴う流量増大時にも剥離せずに附着面に残る細菌が多数存在している。河床附着生物膜炭素量が $5\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ までは、炭素量が増加すると細菌数も多くなるが、それより炭素量が多くなっても細菌数の増加は見られず、最大で $10^8\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ 程度であった。増殖や剥離を繰り返している現場の礫では、降雨に伴う流量増大時の剥離後にも細菌が付

表1 調査地点の流量と水質濃度

	St. 2	St. 6
Flow ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	3.4	4.1
BOD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1.8	1.8
T-COD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	3.6	3.7
P-COD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1.6	1.6
D-COD ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	2.0	2.1
TOC ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	2.8	2.8
POC ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1.5	1.5
DOC ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1.3	1.3
T-N ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1.3	1.6
P-N ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0.16	0.16
D-N ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	1.2	1.4
T-P ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0.081	0.078
P-P ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0.064	0.060
D-P ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0.017	0.018
PO ₄ -P ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	0.009	0.010
Chl-a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	2.7	2.6
SS ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	33	33

表2 河床附着生物膜の組成比

	D. W. :	C :	N :	P :	Chl-a
St. 2	370	45	7.3	1	0.35
St. 6	270	45	7.3	1	0.32

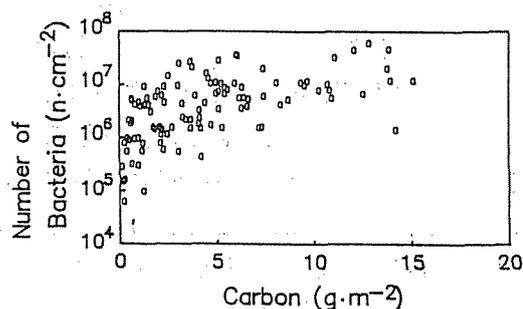


図2 生物膜中の炭素量と従属栄養細菌数の関係

着面に残っているため、光が十分届くようになればすぐに河床付着生物膜（藻類）は増加することが可能であると考えられる。

毎週調査期間中の河床付着生物膜炭素量の変化を図3に示した。2年半の調査期間中、St. 2とSt. 6とで少しの違いはあるが、同様な一年をサイクルとした変化が見られた。すなわち10月中旬から河床付着生物膜現存量は多くなり、11月から12月初旬に最大に達した。その後減少し、1月から3月の冬季は現存量の少ない状態が続いた。4月から9月の間は増加傾向が見られるものの、増加と減少を繰り返し現存量は低く抑えられ、 $10\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ を超えることはなかった。現存量の最大値は1988年12月のSt. 6で $30\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。この地域では、4月から10月頃までは降水量が多く、冬季の降水量は少なかった。このため、春から夏にかけては、平均気温は高く、河床付着生物膜の増殖には適していると考えられるが、生物膜を剥離させるような降雨が頻繁にあるため、生物膜の単調な増加が繰り返し剥離によって抑止される現象が見られる。また、降雨が少ない冬季には、逆に水温が低く河床付着生物膜の増殖に十分でないために、現存量が少ない状態が続いた。一年間のうち高い現存量を維持し得るのは、降雨が少なく流量が安定し、また、水温の低下がまだ著しくない11月から12月に限られたと考えられる。

4. 河床付着生物膜の剥離

河床付着生物膜の剥離は、剥離のメカニズムから降雨に伴う流量増大時に生じる剥離と、流量安定時に生物膜現存量が増加し続けることで内部に光が届かなくなり付着力が弱くなることによって生じる剥離とに分けることができる。濁沼川では11月から1月の

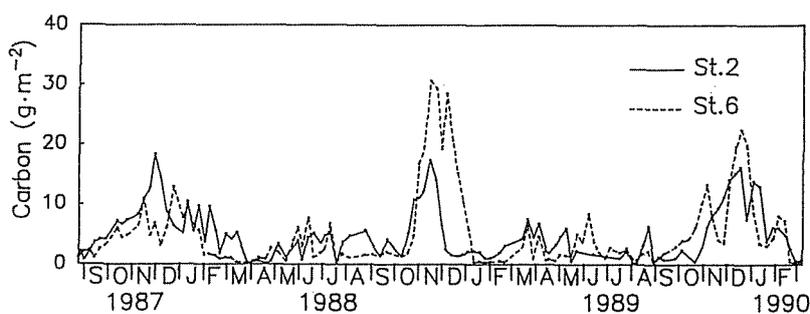


図3 河床付着生物膜炭素量の変化

降雨の少ない時期を除いては、降雨に伴う流量増大時に河床付着生物膜は剥離しているものと考えられる。

図4は、前回調査日から当該調査日までの積算降雨量と河床付着生物膜乾燥重量との関係について示した。積算降雨量の増加とともに河床付着生物膜現存量が減少する傾向が見られる。降雨量が20mmを超えると河床付着生物膜現存量の最大値が減少し、60mmを超えると乾燥重量は $30\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 以下となった。このことは、20mm以上の降雨があれば、河床付着生物膜の剥離が生じるような流出が

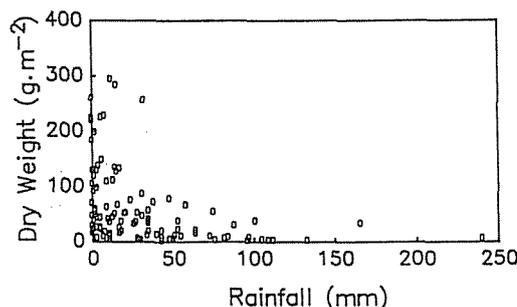


図4 積算降雨量と生物膜現存量の関係

起こっていること、降雨量が多くなれば剥離せずに残存する生物膜現存量が少なくなることを示しており、降雨量が河床付着生物膜の剥離の重要な要因である。図5は、調査期間中について、縦軸に

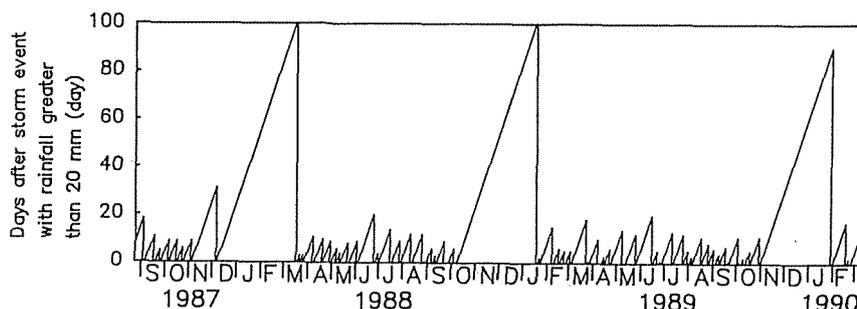


図5 20mm以上の降雨後の経過日数の変化

前回20mm以上の降雨があつてからの経過日数を示した。3カ年とも10月頃からほぼ100日間、20mm以上の降雨のない期間が続いている。この時期は、図3に示したように河床付着生物膜現存量が多い時期に対応している。また、この期間の始まりは、1987年が12月初旬と遅く、1988年が10月初旬と早かった。水温が高いほど河床付着生物膜の増殖速度が速いので、これが河床付着生物膜現存量の最大値が1987年で小さく、1988年で大きい原因になっていると考えられる。3月から10月の間は、20mm以上の降雨のない期間が20日間以上続くことはなかった。このために、河床付着生物膜の現存量は低く抑えられていると考えられる。このように、降雨に伴う流量増大時の剥離は、増殖とともに河床付着生物膜現存量の変化を支配している重要な要因である。

5. 河床付着生物膜による河川水質変化の定量評価

河床付着生物膜による河川水質変化の定量評価を行うため、生物膜の現存量変化モデル式の構築を行った。河床付着生物膜の増殖は藻類による生物的变化であり、降雨に伴う流量増大時の剥離は流れの掃流力による物理的变化であるため、一つの関数形でのモデル化は困難であると考えられる。そのため、増殖と降雨に伴う剥離を、それぞれ独立にモデル式で表すこととした。河床付着生物膜現存量変化モデル式は、増殖モデル式と降雨に伴う流量増大時の剥離モデル式の2つの式で構成し、毎日調査の結果をもとにパラメータを決定した。以下にモデル式を整理して示す。

河床付着生物膜増殖モデル式

$$\frac{dC}{dt} = (0.39 \cdot T_w + 2.3) \cdot \frac{I_0}{2.0 + I_0} \cdot \frac{P}{0.006 + P} \cdot \frac{C}{11 + C} - (0.002 \cdot T_w + 0.06) \cdot C - E \cdot C$$

ここで、

$$T_w = 0.837 \cdot T_a + 2.76$$

$$I_0 = I_s \cdot \exp\left\{-\left(0.18 + 0.11 \cdot SS\right) \cdot h\right\}$$

$$I_s = \left(7.6 \cdot \sin\left(2\pi \cdot D_v \cdot 365^{-1}\right) + 18.9\right) \cdot \left(S + 0.29 \cdot \left(S_m - S\right)\right) \cdot S_m^{-1}$$

$$S_m = 2.4 \cdot \sin\left(2\pi \cdot D_v \cdot 365^{-1}\right) + 12.2$$

C : 河床付着生物膜炭素量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$), t : 時間 (d), T_w : 水温 ($^{\circ}\text{C}$),

I_0 : 河床面での日射量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$),

P : リン酸態りん濃度 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) [St. 2: 0.009 St. 6: 0.010],

T_a : 日平均気温 ($^{\circ}\text{C}$), I_s : 水表面での日射量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$),

SS : 懸濁物質濃度 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) [St. 2: $SS_{\text{St.2}} = 5.89 \cdot Q^{0.90}$ St. 6: $SS_{\text{St.6}} = 3.39 \cdot Q^{0.94}$],

h : 水深 (m) [St. 2: $h_{\text{St.2}} = 0.183 \cdot Q^{0.58}$ St. 6: $h_{\text{St.6}} = 0.110 \cdot Q^{0.78}$],

Q : 日平均流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) [St. 2: タンクモデル St. 6: $Q_{\text{St.6}} = 1.33 \cdot Q_{\text{St.2}}$],

D_v : 春分の日からの日数 (d), S : 日照時間 (hr), S_m : 可照時間 (hr),

E : 減少係数 (d^{-1})

$$D < 50$$

$$E = 0$$

$$50 \leq D < 90$$

$$E = 0.002 \cdot (D - 50)$$

$$90 \leq D$$

$$E = 0.002 \cdot (90 - 50) = 0.8$$

D : 降雨に伴う剥離後の日数

河床付着生物膜剥離モデル式

$$\text{St. 2: } C_{\text{St.2}} = 8.8 \cdot Q^{-0.80}$$

$$\text{St. 6: } C_{\text{St.6}} = 4.0 \cdot Q^{-0.51}$$

このモデル式を用いて、1987年4月から1992年3月までの5年間のシミュレーションを行った。シミュレーションには、流域の中心に位置する笠間市の気象データを用いた。20mm程度の降雨で河床付着生物膜の剥離が生じているため、この降雨に対応する $0.18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の生物膜直上流速の増加があると河床付着生物膜の剥離が生じる可能性があるとした。増殖モデル式を用いて、一日後の河床付着生物膜現存量をRunge-Kutta法で時間刻みを0.1日として求めた。剥離が生じる可能性のある場合は、剥離モデル式を用いて剥離後の河床付着生物膜現存量を求め、この現存量が増殖モデル式で求めた現存量より小さければこの値まで剥離するとした。

増殖モデル式は、増殖・呼吸・減少の項から成り立っている。このうち、減少の項は、降雨に伴う剥離が50日以上生じない冬季以外はゼロとなる。このため、減少と増殖・呼吸に分けて考え、前者を減少量、後者を増加量と称した。増殖モデル式による変化が生じる日(t日)は、減少量 $C_e(\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1})$ を、

$$C_e = (C_t + C_{t-1})/2$$
の近似式で計算して求めた。増加量 $C_g(\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1})$ は、

$$C_g = C_t - C_{t-1} - C_e$$
として求めた。降雨に伴う剥離が生じる日(t日)は、剥離量 $C_r(\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1})$ を、

$$C_r = C_{t-1} - C_t$$
として求めた。

表3は、5年間の増加量・減少量・剥離量を単位面積当たりの炭素量として、一年間の値と、増殖と降雨に伴う剥離の盛んな上半期(4~9月)と、降雨に伴う剥離が少ない下半期(10~3月)に分けた値について、降雨量とともに示した。

河床付着生物膜の年間増加量は、年間降水量との相関が見られた。St. 2、St. 6のどちらも、5年間のうちで降水量の最も多かった1989年度が増加量が最少となり、降水量の一番少なかった1987年度が増加量が最多となった。降水量が多いと流量増大時の剥離のために河床付着生物膜現存量の少ない状態が続くこと、日平均流量が多くなって水深が深くなるために、河床面での日射量が少なくなることによって増殖速度が小さくなること等が影響していると考えられる。河床付着生物膜の年間増加量は年間降雨量が1.6倍になると約半分となった。

上半期は下半期に比べて河床付着生物膜の増加量はどの年も多くなった。年間増加量が最大であった1987年度は上半期が下半期の約3倍となった。しかし、年間増加量が最低であった1989年度は上半期と下半

表3 河床付着生物膜の増加量・剥離量・減少量

	St. 2			St. 6			降雨量 (mm)
	増加量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	減少量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	剥離量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	増加量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	減少量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	剥離量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	
1987. 4-1988. 3	195	34	161	207	38	168	1056
1988. 4-1989. 3	109	25	52	120	28	91	1534
1989. 4-1990. 3	94	22	71	111	25	86	1690
1990. 4-1991. 3	174	6	170	187	7	180	1393
1991. 4-1992. 3	140	18	122	147	21	126	1570
1987. 4-1987. 9	141	0	139	147	0	145	671
1988. 4-1988. 9	67	0	68	73	0	74	1140
1989. 4-1989. 9	50	0	50	59	0	59	1227
1990. 4-1990. 9	139	0	141	146	0	147	754
1991. 4-1991. 9	104	0	105	105	0	106	936
1987. 10-1988. 3	54	34	22	60	38	23	385
1988. 10-1989. 3	41	25	14	47	28	17	394
1989. 10-1990. 3	45	22	21	51	25	27	463
1990. 10-1991. 3	36	6	29	41	7	33	639
1991. 10-1992. 3	37	18	16	42	21	20	634

少ない年で、上半期はSt. 2、St. 6とも2倍の降雨量で増加量は約1/3になり、降水量の影響が大きくなった。しかし、下半期の増加量も降水量の多い年が少なくなっているが、水温が低いと増殖速度が小さくなるため年度の違いによる差は小さくなった。

河床付着生物膜の現存量変化モデル式を用い、モデル区間を考えて、河床付着生物膜による河川流下過程の水質変化の定量評価を行った。河床付着生物膜現存量変化モデル式では、その算定方法から河床付着生物膜の増加が生じている日と剥離が生じている日に分けることができる。このため、増加日と剥離日に分けて、河床付着生物膜による栄養塩の取り込み量、剥離量の評価が可能となる。一日の河川流出負荷量は、 $L=a_L \cdot Q^b$ 式によって流量より推定した。河床付着生物膜による栄養塩取り込み・剥離流出量は、河床付着生物膜現存量変化モデル式を用いて計算した増加量・剥離量を用いて、表2に示した平均組成より推定した。

モデル区間は、濁沼川の調査区間と同様の川幅10m、河床を生物膜が付着できる礫で占める比率を50%とし、全長10kmの河川を考えた。このモデル区間の上流端の水質を $L=a_L \cdot Q^b$ 式を用いて推定したSt. 2における水質値とし、下流端までの変化を河床付着生物膜現存量変化のシミュレーションを行った5年間について推定した。

表4は、河床付着生物膜の栄養塩取り込み量についての算定結果を、年間の値と上半期と下半期に分けて示した。5年間の平均値では一年のうち、河床付着生物膜による増加が生じる日は325日で、80%となった。年間平均で見ると、9日間で増殖した河床付着生物膜が1日で剥離流出していることとなる。上半期と下半期に分けて見ると、河床付着生物膜の増加が生じた日は、上半期は155日、下半期は170日となり、それぞれ、85%、94%であり、上半期は6.5日に一度剥離が生じていることとなる。河床付着生物膜の一日当たりの取り込み量は、上半期に多く、下半期に少なくなっている。上流端における負荷量と比較すると、りんは上半期で16%、下半期で9.0%、年間平均で13%が河床付着生物膜に取り込まれており、窒素は溶存態の流出負荷量が多いため、上流端負荷量のうち上半期で1.3%、下半期で0.83%、年間平均で1.1%が河床付着生物膜に取り込まれている結果となる。

表4 河床付着生物膜増加による栄養塩取り込み量

河床付着生物膜の剥離によって流出する栄養塩について表5に示した。上流端の負荷量に占める河床付着生物膜剥離流出負荷量の比率は、年間平均でりんの3.4%に比べて窒素で15%と、取り込みの比率とは逆に窒素で高い値となった。これは、りんは流出負荷量に占める懸濁態の比率が高いのに対して窒素は溶存態の比率が高いためである。

この結果、河床付着生物膜と河川水の間物質移動による河川流下過程の栄養塩の水質変化は、りんは流量安定時の溶存態栄養塩の取り込み、窒素は降雨に伴う流量増大時の懸濁態栄養塩の剥離流出が大きくなった。

	年平均	上半期	下半期
平均河床付着生物膜剥離日数(日)	40	28	12
りん(剥離日平均)			
河床付着生物膜剥離量(kg・日 ⁻¹)	3.3	4.0	1.8
上流端の懸濁態流出負荷量(kg・日 ⁻¹)	97	100	84
上流端負荷量に対する剥離比率(%)	3.4	4.0	2.1
窒素(剥離日平均)			
河床付着生物膜剥離量(kg・日 ⁻¹)	24	28	13
上流端の懸濁態流出負荷量(kg・日 ⁻¹)	160	170	140
上流端負荷量に対する剥離比率(%)	15	16	9.3

表5 河床付着生物膜剥離による栄養塩流出量

	年平均	上半期	下半期
平均河床付着生物膜剥離日数(日)	40	28	12
りん(剥離日平均)			
河床付着生物膜剥離量(kg・日 ⁻¹)	3.3	4.0	1.8
上流端の懸濁態流出負荷量(kg・日 ⁻¹)	97	100	84
上流端負荷量に対する剥離比率(%)	3.4	4.0	2.1
窒素(剥離日平均)			
河床付着生物膜剥離量(kg・日 ⁻¹)	24	28	13
上流端の懸濁態流出負荷量(kg・日 ⁻¹)	160	170	140
上流端負荷量に対する剥離比率(%)	15	16	9.3