

雄物川の汚濁負荷量と自浄作用

羽 田 守 夫

Pollutant and Self Purification in the Omono River.

MORIO HANEDA

(昭和49年10月31日受理)

1. 緒 言

河川の水質は、流域を取巻く自然環境や人間活動等の結果として具現されるものと考えることができる。従って、流域の人口、工業出荷額や地質等の数値からある程度河川の水質を推測することは可能であり、又推測された水質から河川の持つ、自浄能力をも推察できるであろう。

本稿では、雄物川流域に於る発生負荷、流出負荷及び実測負荷から雄物川の自浄作用を評価を試み、入手できる統計資料等からどの程度実情に合った数値が得られるかの検討を行った。

2. 汚濁負荷量

2.1 発生負荷量

雄物川は、全長149km、流域面積約4,500km²の大河である。建設省では、水質観測点として上流から八木(01)、雄物川橋(02)、藤木上橋(03)、大曲橋(04)、長野(05)、岳見橋(06)、刈和野橋(07)、椿川(08)及び新屋(09)の9地点を定めており、本稿でもこの9地点の昭和47年の水質と流量データを基として考察した。

なお、各点の位置等については、図-1に示す通りである。

汚濁源としては、人間、家畜、と畜及び工場の4種を選んだ。発生負荷量は、原単位法により求めた。使用した各種別汚濁原単位は表-1に示した。また工場による発生負荷量は、環境庁の水質調査に基づく全国平均の工

表1 汚濁負荷原単位(BOD)

人	一般家庭排水	31 g / 人日
	し 尿	13 g / 人日
家畜	牛	640 g / 頭日
	豚	200 g / 頭日
と畜	牛, 馬	6 kg / 頭日
	豚	2 kg / 頭日

業出荷額当りの業種別原単位を使用して求めた。各地点毎の総発生負荷量は、表-4に示す通りである。

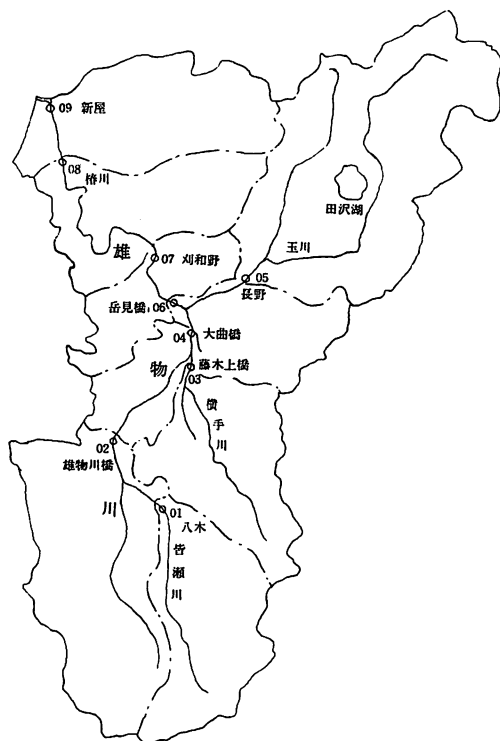


図1 雄物川流域

表2 流出率

家庭排水	下水道施設地区	0.3
	下水道未設地区	0.2
し 尿	し尿処理対象地区	実態
	非対象地区	0
家 畜	牛	0.1
	豚	0.7
と 畜		0.7

昭和50年2月

表3 汚濁源の一例

		排水量(t/日)	BOD(ppm)
し 尿 処 理 場	O市	2,500	86.3
	O町	600	79.0
	Y市	2,000	72.5
	Y市第1	1,060	96.3
	〃第2	575	37.1
と 畜 場	O市	1,220	511
	H市	25	743
	Y市	70	21.1
	Y市	73	235

2・2 流出負荷量

流域に於る発生負荷量は、その全てが河川に流出するとは限らない。従ってその流出する割合—流出率を仮定して流出負荷量を求めた。流出率は全て一率のものではなく、地域別、発生源別に考慮し、建設省で採用している値を基準にして定めた。これを表一2に示す。なお、

人間、と畜及び工場の中で、実態の判明しているものについては、実態調査のデータをを基に算出した。その例を表一3に示す。以上より求めた各地点毎の総流出負荷量は表一4に示す通りである。

2・3 実測負荷量

実測負荷量は、実際の水質調査のデータから算出した。ただし水質調査回数は非常に少なく、そのデータのみから年間の負荷量を推定するには危険が大きいため、以下の4種の方法で負荷量を求め、その最大値と最小値を除いた中2つの平均値を実測負荷量と考えた。

イ) 水質調査結果から水質と流量の関係式を求め、この式を用いて毎日の水質を推定し負荷量を算出する。
ロ) 調査した月の水質がその月を通じ一定と仮定して求める。
ハ) ロ)に加えて水質観測日流量がその月を通じ一定と仮定して求める。

ニ) 水質調査の平均水質と年平均流量から求める。

以上から求めた実測負荷量は、表一5に示した。

3. 自浄作用

3・1 自浄作用の理論

河川の自浄作用は、物理的、化学的及び生物学的浄化

表4 発生及び流出負荷量

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	総和(指数)
総人口(人)	31,643	85,086	81,680	38,488	47,369	58,897	20,101	23,247	60,891	447,402(100)
一次産業	10,349	23,389	21,943	10,955	14,072	20,060	7,371	8,836	6,410	123,445(28)
二次〃	2,807	6,743	4,406	2,387	4,288	3,776	1,168	1,458	5,609	32,642(7)
三次〃	3,932	14,754	16,320	7,418	8,233	9,626	2,668	3,044	16,462	82,457(18)
人口密度(人/km ²)	56.2	122.3	185.9	203.7	41.3	168.9	80.7	53.5	154.9	100.3
総面積(km ²)	562.73	695.86	439.27	188.90	1,146.52	348.79	248.94	434.75	393.17	4,457.93(100)
田 (ha)	2,655	8,613	9,915	4,928	6,084	10,972	3,247	4,307	2,874	53,595(12)
畑 (ha)	1,275	2,074	1,778	851	1,204	1,482	871	933	518	10,991(2)
宅地 (ha)	332	836	878	444	575	1,762	276	292	591	4,986(1)
山林 (ha)	2,541	6,162	4,337	2,247	5,893	1,999	5,563	5,484	2,783	37,009(8)
肉牛(頭)	1,566	2,133	1,149	563	1,773	1,217	1,027	1,665	1,151	12,244
乳牛(頭)	330	560	429	210	562	749	250	334	486	3,910
豚(頭)	2,220	10,221	12,387	4,980	2,690	4,635	497	732	1,451	39,813
専業所数(—)	318	273	195	105	173	135	26	22	140	1,387
従業者数(人)	1,484	4,070	2,252	1,216	2,181	1,871	545	444	3,008	17,017(4)
原料使用額(万円)	99,024	627,638	200,572	167,011	307,466	231,746	65,439	43,843	1,069,523	2,812,262
製造品出荷額(〃)	179,302	415,101	368,646	302,020	528,461	477,698	121,041	103,959	1,566,539	5,062,767
発生負荷(kgBOD/日)	341.6	12,752	7,867	3,919	4,632	6,054	2,076	2,511	4,020	47,220
流出負荷(kgBOD/日)	886	6,286	3,111	2,205	1,354	2,456	468	417	1,120	18,320
流出率(—)	0.259	0.493	0.395	0.563	0.292	0.406	0.225	0.166	0.278	0.388

表5 実測負荷量

	01	02	03	04	05	06	07	08	09
実測平均BOD (ppm)	1.96	1.68	2.36	2.35	1.19	1.67	1.44	1.16	1.50
実測負荷量 (BODt/日)	4.02	13.47	29.7	21.19	115.7	35.41	31.60	24.55	29.89
実測時平均流量 (m³/sec)	18.2	71.2	9.35	75.0	209.0	282.3	213.4	240.3	246.8
平均流量 (m³/sec)	22.3	95.0	13.5	105.0	123.0	223.7	255.4	255.6	278.7
計算平均BOD (ppm)	2.086	1.641	2.546	2.336	1.089	1.832	1.432	1.112	1.241
最大水深 (m)	—	2.07	—	2.50 ^レ	—	3.00 ^レ	3.49	3.01	—
河床標高 (m)	—	42.05	—	18.2	—	—	0.57	-0.12	—
河床勾配 (%)	—	—	—	1.06	—	—	0.96	0.018	—
平均流速 (m/sec)	1.16 ^レ	1.05	1.00 ^レ	0.94	0.85 ^レ	0.76 ^レ	0.57	0.67	0.62 ^レ
掃流刀 τ_0 (kg/m·sec²)	—	13.54	—	10.19	—	6.27	3.35	4.87	—
マサツ速度 U^* (m/sec)	—	0.116	—	0.101	—	0.079	0.058	0.070	—
再藤気係数 k_2 (1/日)	—	0.7155	—	0.4760	—	0.2851	0.1645	0.2462	0.2054
流下距離 (km)	—	16.8	4.9	22.5	13.7	6.3	12.0	37.7	10.5
流下時間 (日)	—	0.177	0.0567	0.263	0.186	0.0868	0.214	0.709	0.189

レ：推定値

作用により行なわれ、BOD浄化反応のアナロジーとして次のように考えられている。

$$\frac{dL}{dt} = -K_d \cdot L$$

$$L = L_0 \cdot 10^{-k_d \cdot t} \dots \dots \dots (1)$$

ここで L : 残存する BOD

L_0 : 最終 BOD

k_d : 脱酸素反応係数

t : 時間

k_d は、脱酸素反応係数そのもので、生物化学的自浄作用の強さに関係し、 k_d 値が大きい程自浄作用も強い。が、実河川のBODの時間的变化は、脱酸素反応のみによるものではなく、汚濁物質の希釈、沈殿や浮上も影響を与える。従ってBODの変化の原因が何であってもそれらの原因によるBODの変化は一括して次式のように表わされる。

$$\frac{dL}{dt} = -K_0 \cdot L$$

$$L = L_0 \cdot 10^{-k_0 \cdot t} \dots \dots \dots (2)$$

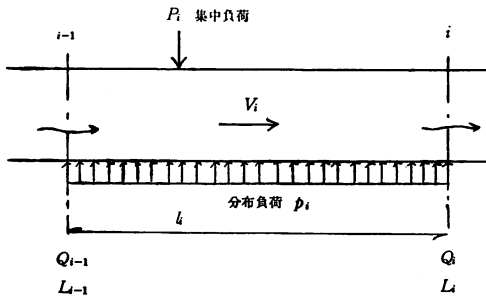
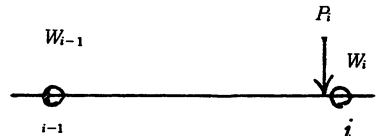


図2 K_0, K_d のモデル

ここで k_0 : 自浄係数

k_0 は、生物化学的自浄作用並びにその他の自浄作用を同時に考慮した係数で、河川内で認められるBOD変化を総括的に表わす。

(1) 下流端で流入する場合



(2) 上流端で流入する場合

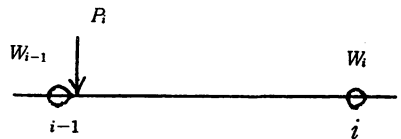


図3 α のモデル

3.2 河川の水質モデル

(1) k_0 及び k_d 値

図-2に示すように、距離 l_i 離れた河川内の2地点 $i-1$ と i を考え、それぞれの流量を Q_{i-1}, Q_i , BODを L_{i-1}, L_i , 流速を V_i とし、2地点間に集中負荷として P_i , 分布負荷として p_i の負荷が流入するものとする、下流側 i 地点に於る BOD L_i と負荷量 $Q_i L_i$ は次式で表わされる。

表6 自浄作用係数

区 間	k_0 (1/日)		k_d (1/日)		α (-)	
	発生	流出	発生	流出	発生	流出
01~02	0.611	0.600	-2.92	-2.94	0.51	-0.55
02~04	2.22	2.22	-0.478	-0.478	0.23	-0.16
04~06	2.66	2.57	-0.100	-0.165	-0.14	-0.46
06~07	0.502	0.500	0.233	0.231	0.17	0.12
07~08	0.156	0.155	0.155	0.155	0.29	0.24
08~09	-0.248	-0.252	-0.447	-0.452	-0.05	-0.17

$$L_i = L_{i-1} \cdot 10^{-k_0 \cdot t_i} + \Sigma \frac{P_i}{Q_i} \cdot 10^{-k_0 \cdot t_i} + \Sigma \frac{p_i}{Q_i \cdot t_i} \cdot \frac{V_i}{k_0} (1 - 10^{k_0 \cdot t_i}) \dots \dots \dots (3)$$

$$Q_i L_i = Q_{i-1} \cdot L_{i-1} \cdot 10^{-k_d \cdot t_i} + \Sigma P_i \cdot 10^{-k_d \cdot t_i} + \Sigma \frac{p_i}{l_i} \cdot \frac{V_i}{k_d} (1 - 10^{-k_d \cdot t_i}) \dots \dots \dots (4)$$

ここで $t_i \cdot t_i'$: 流下時間

(2) α 値

α は、自然減衰率と呼び、BOD浄化反応とは無関係に河川の2地点で流出負荷量がどれだけ減少したかを示す係数である。図-3に示すように、 $i-1$ 及び i の2地点の流出負荷量をそれぞれ W_{i-1} 及び W_i とし途中で負荷流入がないものとするれば、次式が得られる。

$$W_i = W_{i-1} (1 - \alpha) \dots \dots \dots (5)$$

流入負荷がある場合、これが i 地点で流入する場合と $i-1$ 地点で流入する場合とに分け、それぞれの自然減衰率を α_1 及び α_2 とすると次のようになる。

$$W_i = P_i + W_{i-1} (1 - \alpha_1)$$

$$\alpha_1 = 1 - (W_i - P_i) / W_{i-1} \dots \dots \dots (6)$$

$$W_i = (W_{i-1} + P_i) (1 - \alpha_2)$$

$$\alpha_2 = 1 - W_i / (W_{i-1} + P_i) \dots \dots \dots (7)$$

実際の自然減衰率は次のように定義した。

$$\alpha = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 \dots \dots \dots (8)$$

4. 結果と考察

4.1 汚濁負荷量

雄物川流域は、表-4に示すように人口密度が平均で約100(人/km²)と少なく、事業所もあまりなく、畜産の面でも飼育頭数の少ない経済的發展の遅れた地域と言える。従って発生負荷量は絶対値として少なく、その中で家畜、家庭排水及び工場排水によるものはそれぞれ20, 18及び10t/日であった。又発生負荷量の比較的大きい市町村は、湯沢市、大曲市及び横手市であった。

流出負荷量は、流出率を仮定して求めたが、実測値との間にはかなりの差が認められた。この原因としては、イ)発生負荷量の推定の妥当性、ロ)流出率の妥当性、ハ)自然汚濁負荷量を入れていないこと、ニ)実測負荷量の推定に当たってのデータ不足等が考えられる。が、流域面積がかなり広がる下流地点の06, 07, 08地点等ではほぼ妥当な値が得られたものと言えよう。

4.2 自浄作用

得られた発生負荷量、流出負荷量及び実測負荷量を基に、自浄係数 k_0 、脱酸素反応係数 k_d 及び自然減衰率 α を発生負荷、流出負荷別に各地点間毎に求めた。その結果を表-6に示す。

α と k_d については、06-07及び07-08区間を除いてほぼ一の値が得られたが、これは負荷量推定の際の誤差や流域面積が小さいための誤差の積み重なりによるものと考えられる。又 k_d は、河川内の自浄作用の中で脱酸素反応によるもののみを表わすが、この分離が計算の上ではかなり難しいことを示すものとも考えられる。 k_0 については、最終区間を除いて十の値が得られた。上流域で k_0 値が大きいことは、希釈等による物理的作用による自浄作用が強く表われていることを示すものと思われる。 k_0 についても、流入負荷の少ない06-07及び07-08区間で得られたが値はほぼ妥当なものと考えられる。

5. 結 言

雄物川流域について統計資料と実測データから発生、流出及び実測負荷量を求め自浄作用の検討を行なった。結果を要約すると次の通りである。

- 1) 雄物川流域は、発生負荷量が少ない割に実測負荷量が大きく、自然汚濁量がかかり含まれる可能性がある。
- 2) 本方法では河川の自浄作用の中で、脱酸素反応のみによる部分を分離することには困難が多く、 k_0 で自浄能力を示す方に妥当性があると考えられる。
- 3) 雄物川については $k_0 = 0.15 \sim 0.50$ (1/日) が得られた。

謝 辞

本稿の計算の一部については遠藤隆、佐藤一夫両君の援助を得た。ここに記して謝意を表します。又、資料を提供して頂いた建設省秋田工事事務所、湯沢工事事務所及び秋田県庁各課の関係諸氏に感謝致します。

参考文献

- 1) Yoshikazu SAWARAGI, Saburo IKEDA, "Some Problems on Methodology of Environmental

- Pollution Control and Applications." Faculty of Engineering, Kyoto University, pp. 1~29.
- 2) Hiroyuki TAMURA, "A Discrete Dynamic Model with Distributed Transport Delays and Its Hierarchical Optimization for Preserving Stream Quality." CUED/B-Control/TR58, Univ. of CAMBRIDGE (1973).
 - 3) 松本順一郎他「阿武隈川水系に於る負荷発生と汚染メカニズムの現象解析」下水道協会誌 Vol.10, No. 112, pp. 2~13 (1973).
 - 4) 建設省都市局下水道部「流域別下水道整備総合計画指針」
 - 5) 秋田県「秋田県勢要覧」
 - 6) 秋田県総務部統計課「秋田県の工業」