

国立公害研究所研究報告 第50号

Research Report from the National Institute for Environmental Studies, Japan, No.50, 1984.

陸水域の富栄養化防止に関する総合研究（I）

Comprehensive Studies on the Eutrophication Control of Freshwaters

霞ヶ浦流入負荷量の算定とその評価

Estimation of Input Loading of Lake Kasumigaura

昭和55～57年度 特別研究報告

1980—1982

相崎守弘・赤羽政亮・安部喜也・岩田 敏
海老瀬潜一・串田克則・村岡浩爾

Morihiro AIZAKI, Masaaki AKAHANE, Yosinari AMBE, Satoshi IWATA
Senichi EBISE, Katsunori KUSHIDA, Kohji MURAOKA

環境庁 国立公害研究所

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

序

湖沼の富栄養化を研究するための基礎データとして流入する栄養塩の総量、流出する量及び湖沼中に停留、沈殿する量を見積る必要がある。しかしながら、対象とする湖沼が広い面積を占めている場合にはこのようなことでも容易ではない。本報は霞ヶ浦についてこの第一の項目、すなわち流入する栄養塩量の推定にかんするものである。

さて、湖への流入源としては、降水、河川、養殖魚の飼料として人為的に投入されるものの残量、及び地下水と沿岸の耕地より直接に流入するものがある。このうちで地下水よりの流入量は微々たるものである。また水田、畑地などで湖水を直接使用した後湖に戻る水の中に含まれる量は調査及び推定が困難であるので、これは実施していない。

雨水中に既に相当量の窒素やリンが含まれていることがわかった。しかしこれは流入量の中では余り大きな割合でない。つぎに降雨直後の増水時、河川によって持込まれる栄養塩量はたんに流入量から晴天時の値を用いて推定した量の3割ないし5割増しとなる。これは河川の側岸や河底に付着、沈殿しているものを増水時に押し流すことによるものと考えられる。そこで雨水時には晴天時とは異なる形式の推定式を用いるべきで、その式を提案している。

霞ヶ浦では養殖漁業が盛んである。この場合に魚の成長時にその体内に蓄積される量以上の栄養塩が飼料の内に含まれる。この過剰分が魚から排せつされたり、残渣となって湖水中にとりこまれることになる。

霞ヶ浦の物質収支の大まかな見積りは既に村岡によって昭和57年6月の研究発表会で発表した。今回の研究はその後の調査を含んでおり前回の推定を精密化したものである。

この研究は1980～1982年度の特別研究「陸水域の富栄養化防止に関する総合研究」の一環として実施したものである。この総合研究の過程において得られた知見は大であるので別冊としてそれぞれまとめたものである。研究の全般と、この流入負荷の調査が総合研究全体の中において占める意義などに関しては国立公害研究所研究報告第57号に述べてある。

ここでは霞ヶ浦についてのみ論じたがこの研究の方法は他の湖水についても利用できる。またこの報告に含まれる知見は広く応用できると信じている。この方面の研究者よりご批判を賜われれば甚だ幸いである。

1984年1月23日

国立公害研究所

所長 近藤次郎

目 次

1. 霞ヶ浦流域における大気中からの栄養塩の降水量及びその経年変動について	1
安部喜也	
2. 霞ヶ浦沿岸地下水の水理挙動	11
村岡浩爾・岩田 敏	
3. 霞ヶ浦沿岸地下水の水質特性	21
村岡浩爾・岩田 敏	
4. 霞ヶ浦流入河川による総流入負荷量の評価	41
海老瀬潜一	
5. 降雨時流出負荷量の算定モデル	59
海老瀬潜一	
6. 流域内土地利用形態別流出負荷量原単位の解析	89
海老瀬潜一	
7. コイの小割式養殖業からの栄養塩負荷	103
相崎守弘・串田克則・赤羽政亮	
8. 霞ヶ浦流入河川調査の水質データ	119
海老瀬潜一	

CONTENTS

1. Fallout Nutrients Supply in the Watershed of Lake Kasumigaura	1
Yoshinari AMBE	
2. Hydraulic Behavior of Groundwater in the Lakeside Area of the Kasumigaura	11
Kohji MURAOKA and Satoshi IWATA	
3. Characterization of Groundwater Quality in the Lakeside Area of the Kasumigaura	21
Kohji MURAOKA and Satoshi IWATA	
4. Estimation of Total Pollutant Loading by All Influent Rivers into Lake Kasumigaura	41
Senichi EBISE	
5. Regression Models for Estimation of Storm Runoff Loading	59
Senichi EBISE	
6. Analysis on Basic Unit of Runoff Loading Classified by Land Use in River Basin	89
Senichi EBISE	
7. Nutrients Loading from Carp Culture in Floating Nets in Lake Kasumigaura	103
Morihiro AIZAKI, Katsunori KUSHIDA, and Masaaki AKAHANE	
8. Water Quality Data of Influent Rivers into Lake Kasumigaura	119
Senichi EBISE	

1. 霞ヶ浦流域における大気中からの栄養塩 の降下量及びその経年変動について

Fallout Nutrients Supply in the Watershed of Lake Kasumigaura

安部喜也¹

Yoshinari AMBE¹

Abstract

To estimate the amounts of nutrients entering in the lake from the atmosphere, the concentrations of total-P, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ were determined for the fallout samples collected at NIES monthly in the period from June 1977 to July 1983. The amounts of fallout nutrients per area per month were calculated as shown in table 1. Assuming that these values can be applied for the whole area of the surface of Lake Kasumigaura, the yearly amounts of fallouts of total phosphorus and total inorganic nitrogen were estimated as 6 ton/year and 175 ton/year respectively,

These values are nearly comparable to those of the major rivers flowing into the lake.

The secular variation of the fallout of total nitrogen showed a remarkable trend of increase during this period. This fact is considered to have any relation with atmospheric pollution.

1. まえがき

窒素やリンなどの栄養塩が霞ヶ浦に入る経路の一つとして、大気中から降水や降下物とともに直接湖沼水面に降下するものが挙げられる。この量は湖水への負荷量全体からみれば必ずしも高いものではない¹⁾が、無視してよいものではない。さらに、流域の地表に落下して、他の供給源からの栄養塩とともに河川を通じて流入するものもある。こうした大気に由来する栄養塩の量を見積っておくことは、水域の栄養塩収支を議論するに当たって基本的な項目の一つとなる。

1. 国立公害研究所 計測技術部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Chemistry and Physics Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

かかる観点から数年前から大気降下物中の栄養塩の測定を継続して行っており、その一部については既に報告し、霞ヶ浦流域全体への栄養塩供給量についておよその見積もりを得た^{2,3)}。本稿では引き続き行った測定結果を付け加えて整理するとともに、経年的な変動について解析を試みた。

2. サンプリング

国立公害研究所研究棟屋上（地上約10m）に直径23cmのガラス製ロートとガラスビンを組み合わせた採取装置2基を設置し、降水と降下物を一緒にして採取するシステムを1977年6月から開始した。本報告書では1983年7月までの測定結果をまとめた。毎月月初めに新しいビンを設定し、月末に1か月分として採取し分析を行った。サンプリング間隔は基本的には30又は31日であるが、時によって若干の長短が生じた場合もある。その場合月間降水量は30日に標準化した。

ロートには昆虫や大形の固形物が混入するのを防ぐため、直径3cmほどの磁製ルツボのフタを置き、フタとロート壁面のすき間から水が流れ込む様にした。またロートの壁面に付着した降下物はサンプリング時に30mlほどの蒸留水で洗浄して、採水ビンに流し込んだ。

並置した2個の採水ビンには、試水の変質及び損失を防ぐため、あらかじめ一方には1N硫酸20mlを入れて、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の分析に用い、他のビンには1N水酸化ナトリウム溶液20mlを加えておき、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の測定に用いた。よく振り混ぜた試料の一部を採りリンの分析に、また放置した上澄液の一部を採り窒素の測定にそれぞれ用いた。

試料ビン中に降下してから分析までの期間における変化については、特に $\text{NH}_4\text{-N}$ の場合に濃度によって多少の誤差が生じることも考えられたが、本研究では降水量の大まかな値を知ることとで、この影響を無視することにした。

また試水量とロートの面積とから月間の降水量を求めたが、この値はサンプリング期間における蒸発による誤差と、洗浄水による誤差とを含むものである。

3. 分析操作

栄養塩として分析した項目は、Total $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の4種であり、それぞれ以下の方法により、いずれもオートアナライザー（Technicon社製）を用いて定量した¹⁾。

i) Total $\text{PO}_4\text{-P}$

けんたく物を含んだ試水100mlを石英ガラス製試験管に入れて、1,200Wの紫外線を3時間照射して含まれている有機物を分解した後 Murphy, J & Riley, J. P.の方法を用いて測定した。

ii) $\text{NH}_4\text{-N}$

Solorzano, L.の方法でフェノールの代わりにサリチル酸ナトリウムを用いた改良法によった。

iii) $\text{NO}_2\text{-N}$

Bendschneider, K. & Robinson, R. J.の方法を用いた。

iv) $\text{NO}_3\text{-N}$

銅-カドミウムカラムを用いて還元するE. D. Woodらの方法の改良法を用いて、 $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ を NO_2 の形で測定し、 NO_2 の分を差し引いて求めた。

V) Total - N

以上の測定値より

$(\text{NH}_4 - \text{N}) + (\text{NO}_2 - \text{N}) + (\text{NO}_3 - \text{N})$ をここでTotal - Nと表すが、有機態のNは含んでいない。

4. 結果と考察

4.1 単位面積当たりの月間栄養塩降下量の月変動

各月ごとに採取した降下物中の栄養塩濃度と各月の降水量とから単位面積当たりの月間栄養塩降

表 1 単位面積当たり月間栄養塩降下量
Table 1 Monthly Amounts of Fallout Nutrients at NIES, Tsukuba

		(normalized value)					
		Total $\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	Total-N	
1977	June	3.04 (3.04)	77.9 (77.9)	0.64 (0.64)	13.6 (13.6)	92.1 (92.1)	
	July	1.48 (1.43)	66.3 (64.2)	1.11 (1.07)	27.1 (26.2)	94.5 (91.5)	
	Aug.	3.27 (3.16)	77.5 (75.5)	1.19 (1.15)	18.7 (18.1)	97.4 (94.3)	
	Sept.	0.48 (0.48)	39.3 (39.3)	2.86 (2.86)	17.6 (17.6)	59.8 (59.8)	
	Oct.	0.88 (0.83)	16.2 (15.2)	1.47 (1.38)	8.1 (7.6)	25.8 (24.2)	
	Nov.	4.33 (4.48)	38.5 (39.8)	0.84 (0.87)	14.6 (15.1)	53.9 (55.8)	
	Dec.	1.23 (1.32)	20.0 (21.4)	0.14 (0.15)	9.1 (9.8)	29.2 (31.3)	
	1978	Jan.	2.25 (1.99)	30.7 (27.1)	1.13 (1.10)	14.1 (12.4)	45.9 (40.5)
		Feb.	3.40 (3.52)	25.0 (25.9)	22.53 (23.31)	18.3 (18.9)	65.8 (68.1)
		Mar.	4.72 (4.72)	56.2 (56.2)	1.15 (1.15)	25.8 (25.8)	83.2 (83.2)
		Apr.	6.91 (6.69)	60.9 (58.9)	0.85 (0.82)	26.5 (25.7)	88.3 (85.5)
		May	4.30 (4.30)	65.9 (65.9)	0.80 (0.80)	33.4 (33.4)	100.1 (100.1)
June		3.44 (3.33)	43.6 (42.2)	0.72 (0.70)	29.6 (28.7)	73.9 (71.5)	
July		2.46 (2.46)	14.1 (14.1)	0.51 (0.51)	16.0 (16.0)	30.6 (30.6)	
Aug.		4.54 (4.44)	3.5 (3.4)	0.11 (0.11)	0.98 (0.95)	4.6 (4.5)	
Sept.		4.23 (4.23)	66.7 (66.7)	1.31 (1.31)	47.6 (47.6)	115.6 (115.6)	
Oct.		3.19 (3.09)	36.3 (35.1)	0.94 (0.91)	27.1 (26.2)	64.4 (62.3)	
Nov.		3.24 (3.24)	6.8 (6.8)	0.59 (0.59)	15.7 (15.7)	23.1 (23.1)	
Dec.		3.24 (3.60)	26.9 (29.9)	1.56 (1.73)	10.4 (11.6)	38.9 (43.2)	
1979	Jan.	3.48 (2.98)	7.6 (6.5)	0.47 (0.40)	24.5 (21.0)	32.6 (27.9)	
	Feb.	1.31 (1.19)	50.5 (45.9)	0.30 (0.27)	41.9 (38.1)	92.7 (84.3)	
	Mar.	1.59 (1.83)	44.8 (51.7)	0.53 (0.61)	22.2 (25.6)	67.5 (77.9)	
	Apr.	2.35 (2.27)	1.13 (1.09)	0.28 (0.27)	92.0 (89.0)	93.4 (90.4)	
	May	1.84 (1.84)	3.34 (3.34)	0.50 (0.50)	97.2 (97.2)	101.0 (101.0)	
	June	3.43 (3.22)	2.59 (2.43)	33.3 (31.2)	27.4 (25.7)	63.3 (59.3)	
	July	2.38 (2.46)	59.6 (61.7)	15.2 (15.7)	68.5 (70.9)	143.3 (148.2)	
	Aug.	3.17 (3.07)	45.8 (44.3)	0.14 (0.14)	73.9 (71.5)	119.8 (115.9)	
	Sept.	1.79 (1.73)	79.7 (77.1)	0.30 (0.29)	106.4 (103.0)	186.4 (180.4)	
	Oct.	0.67 (0.65)	60.0 (58.1)	0.45 (0.44)	75.2 (72.8)	151.6 (146.7)	
	Nov.	0.94 (0.94)	51.3 (51.3)	0.31 (0.31)	66.5 (66.5)	118.1 (118.1)	
	Dec.	1.48 (1.64)	31.6 (35.1)	0.08 (0.09)	41.2 (45.8)	72.9 (81.0)	

安部喜也

表 1 (つづき)

Table 1 (continued)

		(normalized value)				
		Total PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Total-N
1980	Jan.	1.20 (1.03)	32.6 (27.9)	0.15 (0.13)	39.1 (33.5)	71.8 (61.5)
	Feb.	1.56 (1.67)	18.9 (20.3)	19.0 (20.4)	5.76 (6.17)	43.7 (46.8)
	Mar.	1.79 (1.68)	66.9 (62.7)	3.28 (3.08)	62.4 (58.5)	132.6 (124.3)
	Apr.	3.05 (3.16)	55.4 (57.3)	1.58 (1.63)	39.9 (41.3)	96.8 (100.1)
	May	6.19 (6.19)	67.2 (67.2)	64.5 (64.5)	34.1 (34.1)	165.9 (165.9)
	June	2.45 (2.37)	53.5 (51.7)	21.8 (21.1)	42.4 (40.9)	117.8 (114.0)
	July	0.90 (0.87)	58.0 (56.1)	0.36 (0.35)	100.4 (97.2)	158.8 (153.7)
	Aug.	1.90 (1.84)	51.2 (49.5)	0.19 (0.18)	36.4 (35.2)	87.8 (85.3)
	Sept.	4.21 (4.07)	33.9 (32.8)	19.1 (18.5)	30.5 (29.5)	86.4 (83.6)
	Oct.	0.96 (0.96)	34.1 (34.1)	1.92 (1.92)	24.7 (24.7)	60.7 (60.7)
	Nov.	10.44 (10.10)	36.4 (35.2)	1.86 (1.80)	21.3 (20.6)	59.6 (57.7)
	Dec.	11.17 (13.40)	47.9 (57.5)	8.40 (10.1)	18.1 (21.7)	74.8 (89.8)
1981	Jan.	- (-)	- (-)	0.32 (0.28)	5.12 (4.52)	5.5 (4.9)
	Feb.	1.89 (1.89)	20.0 (20.0)	1.41 (1.41)	15.3 (15.3)	36.6 (36.6)
	Mar.	2.51 (2.60)	52.4 (54.2)	0.11 (0.11)	104.1 (107.7)	156.2 (161.6)
	Apr.	2.70 (2.70)	65.3 (65.3)	0.14 > (0.14 >)	89.6 (89.6)	154.8 (154.8)
	May	2.02 (1.89)	45.4 (42.6)	0.13 > (0.12 >)	79.0 (74.1)	124.7 (116.9)
	June	1.67 (1.67)	73.3 (73.3)	1.67 (1.67)	76.8 (76.8)	141.0 (141.0)
	July	2.54 (2.54)	5.8 (5.8)	0.05 > (0.05 >)	64.03 (64.03)	70.1 (70.1)
	Aug.	2.29 (2.22)	1.0 (1.0)	0.10 > (0.10 >)	56.68 (54.85)	58.2 (56.3)
	Sept.	2.11 (2.11)	2.6 (2.6)	0.13 (0.13)	53.72 (53.72)	56.8 (56.8)
	Oct.	3.01 (2.74)	57.5 (52.3)	1.64 (1.49)	29.87 (27.15)	90.4 (82.2)
	Nov.	1.48 (1.64)	24.2 (26.9)	2.60 (2.89)	15.58 (17.31)	42.5 (47.2)
	Dec.	1.11 (1.19)	4.5 (4.8)	0.31 (0.33)	5.58 (5.98)	10.4 (11.1)
1982	Jan.	1.89 (1.62)	20.0 (17.1)	0.84 (0.72)	17.05 (14.61)	37.8 (32.4)
	Feb.	2.30 (2.38)	21.8 (22.6)	0.12 (0.12)	28.85 (29.84)	51.9 (53.7)
	Mar.	3.95 (3.39)	60.2 (51.6)	0.06 > (0.05 >)	75.93 (65.1)	136.3 (116.8)
	Apr.	2.81 (3.51)	78.0 (97.5)	0.21 (0.26)	63.96 (79.9)	142.5 (178.1)
	May	4.77 (4.62)	61.1 (59.1)	0.11 (0.11)	77.92 (75.4)	138.8 (134.3)
	June	3.93 (3.93)	64.8 (64.8)	1.91 (1.91)	38.61 (38.6)	105.4 (105.4)
	July	2.10 (2.03)	87.9 (85.1)	0.19 (0.18)	88.05 (85.2)	175.7 (170.0)
	Aug.	1.97 (2.04)	42.3 (43.8)	0.07 (0.07)	50.95 (52.7)	93.4 (96.6)
	Sept.	0.61 (0.57)	52.2 (48.9)	0.31 (0.29)	52.80 (49.5)	104.4 (97.9)
	Oct.	1.14 (1.14)	47.2 (47.2)	20.7 (20.7)	15.59 (15.6)	82.9 (82.9)
	Nov.	0.52 (0.52)	53.3 (53.3)	1.30 (1.30)	21.97 (22.0)	78.0 (78.0)
	Dec.	4.20 (4.67)	42.5 (47.2)	0.03 > (0.03 >)	27.16 (30.2)	69.8 (77.6)
1983	Jan.	1.23 (1.05)	27.3 (23.4)	0.03 > (0.03 >)	28.00 (24.0)	55.3 (47.4)
	Feb.	1.59 (1.70)	32.9 (35.3)	(18.5?) (19.8?)	24.64 (26.4)	76.3 (81.8)
	Mar.	2.07 (2.14)	58.6 (60.6)	1.46 (1.51)	40.99 (42.4)	101.3 (104.8)
	Apr.	4.75 (4.32)	118.8 (108.0)	0.25 (0.23)	99.00 (90.0)	217.5 (197.7)
	May	3.19 (3.19)	67.6 (67.6)	0.07 (0.07)	64.52 (64.5)	132.2 (132.2)
	June	3.76 (3.76)	125.3 (125.3)	2.51 (2.51)	72.32 (72.3)	200.5 (200.5)
	July	3.06 (2.96)	141.0 (136.5)	2.12 (2.05)	69.56 (67.3)	213.9 (207.0)

(mgP/m²·month)

(mgN/ m²·month)

(mgN/m²·month)

(mgN/m²·month)

(mgN/m²·month)

下量を求めた。1977年6月から1983年7月までの値を表1に示す。これはドライフォールアウトと降水によるものとを合わせたものであって、1か月間に単位面積に降下したリンと無機態窒素の全量に相当する。カッコの中にはサンプリング期間を30日とした場合の値である。測定期間内で降水が皆無であった月はなく、いずれも溶液の形で測定を行った。ただし、1981年1月のTotal-Pについては、降水量が極端に少なく、また測定濃度値が異常に高かったこと、試料水の状態から分析上の問題もあったと考えられるので、異常値として取り除いた。測定した溶液の濃度としては降水量が著しく少ない場合に現れた極端な高濃度を別にすると、Total-Pは0.1mgP/l以下、Total-Nは2.0mgN/l以下で、若干の例外を別にするとTotal-Nの1/2~1/3がNH₄-NでNO₂-Nは時にNO₃-Nと同じオーダーになることもあるが、ほとんどの場合NO₃-Nの1/30程度でありしかも変動が大きかった。溶液中の栄養塩濃度と降水量の間には前報³⁾のごとく逆の関係がほぼ認められたが、降雨中に含まれるものとドライフォールアウトによるものとの割合のばらつきに従って、必ずしも明確な反比例の関係が成り立つわけではない。

面積当たりの月間降下量の各月ごとの6年間の平均値とその変動係数を表2に示す。Total-Pについては、平均的には11、12、1月と4、5、6月の2回の時期に高い傾向がある。しかし前者は変動が大きく図1~4に示すごとく、必ずしも季節的な特徴としては明確でない。一方、春季の高い値と引き続く近い値は、おおむね各年に認められ、花粉の発生などの生物活動との関連が推定される。

一方Total-Nは春から夏に高く、秋から冬にかけて低い傾向を示した。3月~8月の平均114mgN/m²・month 9月~2月の平均が66mgN/m²・monthと約2倍の値を示した。特に2月から3月にかけての急増は顕著で、ほぼすべての年においてみられた。この上昇は、NO₃-Nにおいてもみられるが特にNH₄-Nにおいて著しかった。一方NO₃-Nについては9月から10月にかけての急激な減少が特徴的にみられた。N化合物のこうした春季、夏季における降下量の増大は生物活動の増大、気温の上昇等による大気中の存在量の増加と同時に降水量との関係が挙げられる。図5、6に降水量とTotal-N、Total-Pそれぞれの関係を示す。

このようにPと比べてNの方が降水量との関係が高いことは前報にも示したが、それぞれの由来あるいは降下プロセスの違いを反映するものと考えられる。すなわちPについては、ドライフォールアウトによる降下量の寄与が大きく、N化合物については、気相から雨滴への取り込みによるものが多いと推定される。

4.2 栄養塩降下量の経年変動

図7~12に各成分ごとの年平均単位面積当たりの月間降下量の1977年から1983年までの経年変動の状態を示した。1977年と1983年は測定月数が12か月未満なので点線で示した。

Total-Pについては2.0mgP/m²・monthと4.0mgP/m²・monthの間を変動して、特別な変化の傾向が認められないのに対して、Total-NあるいはNH₄-N、NO₃-Nはいずれも変動をしながらもこの6年間に1.5~2倍程度増加している傾向を示した。NO₂-Nについては一定の変化傾向

表 2 単位面積当たりの月間栄養塩降下量の6か年における平均と変動係数
 Table 2 Averages and coefficients of variations of monthly fallout of nutrients per unit area in Tsukuba

		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	mean	
Total-P	mean	5.0	2.1	2.7	3.8	3.4	3.0	2.1	2.9	2.2	1.5	3.5	4.1	3.0	mgP/m ² · month
	C. V. (%)	144	33	41	37	53	23	33	28	68	60	91	109		
NH ₄ -N	mean	20	28	56	65	51	53	53	36	44	40	36	33	43	mgN/m ² · month
	C. V. (%)	39	34	8	52	45	74	87	72	55	35	44	52		
NO ₂ -N	mean	0.4	9.0	1.1	0.6	11	9.9	2.9	0.5	4.0	4.5	1.3	2.2	4.0	mgN/m ² · month
	C. V. (%)	100	111	91	83	218	131	186	100	170	164	69	159		
NO ₃ -N	mean	16	22	54	69	63	43	61	39	51	29	26	21	41	mgN/m ² · month
	C. V. (%)	69	45	52	38	37	51	44	62	55	72	69	67		
Total-N	mean	36	62	112	135	125	112	126	75	99	77	63	56	90	mgN/m ² · month
	C. V. (%)	49	28	25	33	18	39	47	48	42	49	46	55		

— 9 —

法
器
研
究

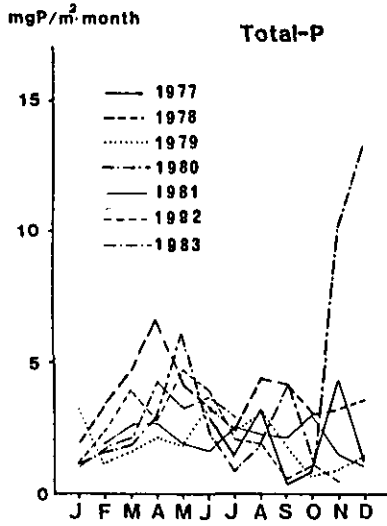


図 1 各年における Total-P 降水量の季節変動
 Fig. 1 Seasonal variations of the amounts of Total-P in the fallout in each year

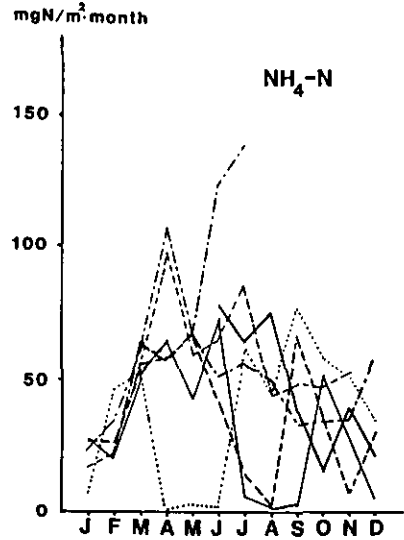


図 2 各年における NH₄-N 降水量の季節変動
 Fig. 2 Seasonal variations of the amounts of NH₄-N in the fallout in each year

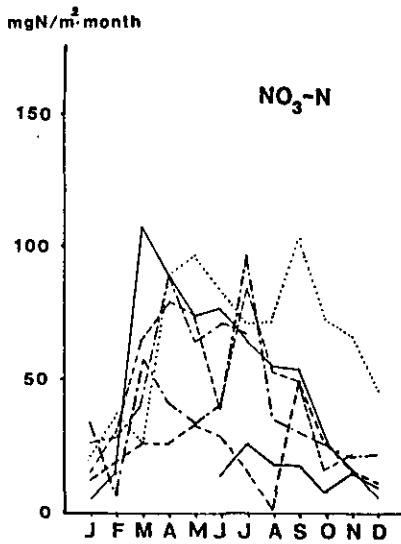


図 3 各年における NO₃-N 降水量の季節変動
 Fig. 3 Seasonal variations of the amounts of NO₃-N in the fallout in each year

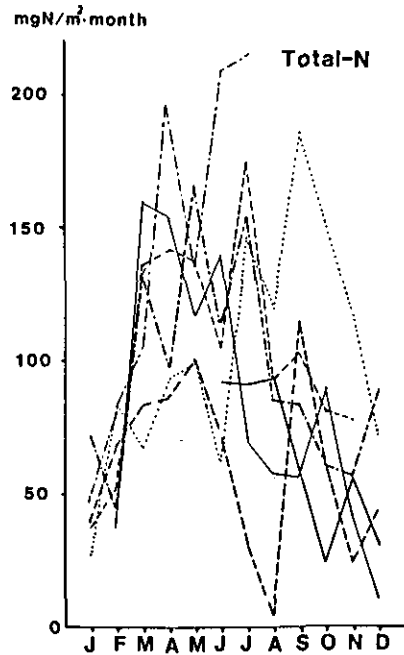


図 4 各年における Total-N 降水量の季節変動
 Fig. 4 Seasonal variations of the amounts of Total-N in the fallout in each year

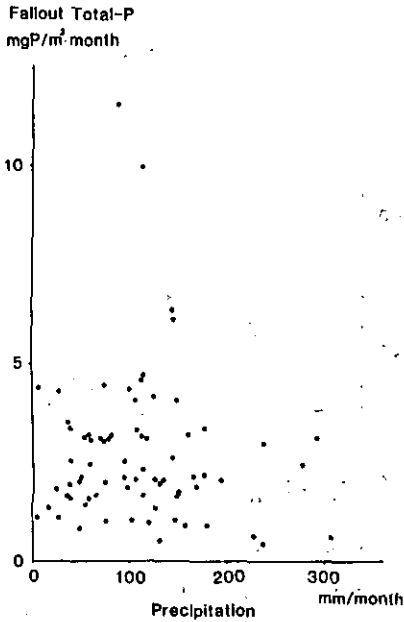


図 5 月降水量と月間降下量 (Total-P)
Fig. 5 Monthly precipitation and monthly amount of Total-P in the fallout

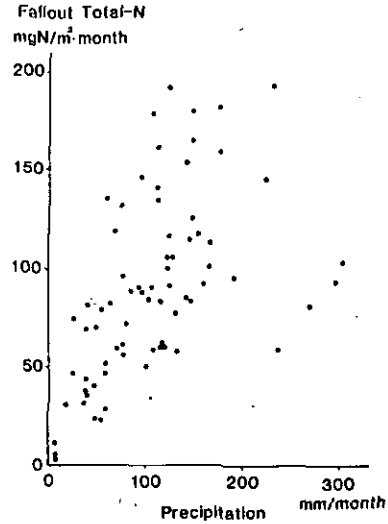


図 6 月降水量と月間降下量 (Total-N)
Fig. 6 Monthly precipitation and monthly amount of Total-N in the fallout

は認められなかった。また、小さな変動については、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ では必ずしも並行していない。

雨量についてはこの期間に特に顕著な変化の傾向は認められないことから、こうした、降下物中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の経年的増大は、大気中のこれら物質濃度の増大、あるいはフォールアウトによる供給量の増大を反映しているものと考えられ、大気汚染の拡大との関係が予想される。

4.3 霞ヶ浦水面及び流域全体への年間栄養塩降下量の見積もり

以上の測定は1地点のみの値であり、流域での地域的差異が多少あることは考えられるが、仮にこの値をもって流域を代表させ、霞ヶ浦西浦水面(171 km²)あるいは流域全体(1,614 km²)に一樣に降下したとするとそれぞれ表3の値となる。なお1977年度及び1983年度については測定した月の値から推定した。

この値は前報にも述べた様に主要な流入河川からの流入量と対比されるオーダーの量であって、富栄養化現象にかかわる栄養塩の収支を論ずるに当たって大気圏の役割りを考慮する必要のあることを示すものである。

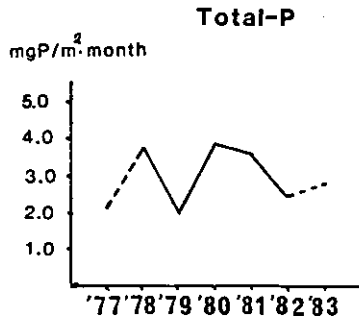


図 7 Total-P 降下量の経年変動
Fig. 7 Secular change of the amount of Total-P in the fallout

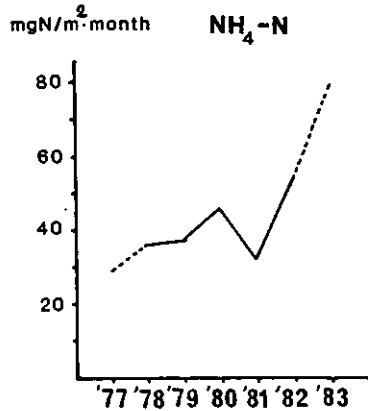


図 8 NH₄-N 降下量の経年変動
Fig. 8 Secular change of the amount of NH₄-N in the fallout

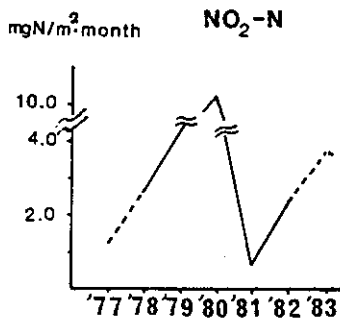


図 9 NO₂-N 降下量の経年変動
Fig. 9 Secular change of the amount of NO₂-N in the fallout

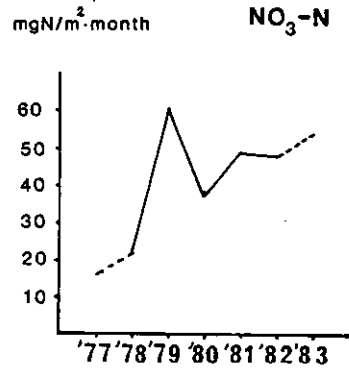


図 10 NO₃-N 降下量の経年変動
Fig. 10 Secular change of the amount of NO₃-N in the fallout

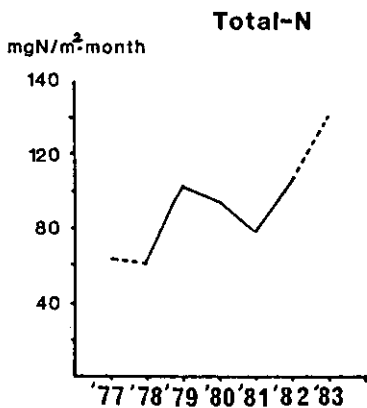


図 11 Total-N 降下量の経年変動
Fig. 11 Secular change of the amount of Total-N in the fallout

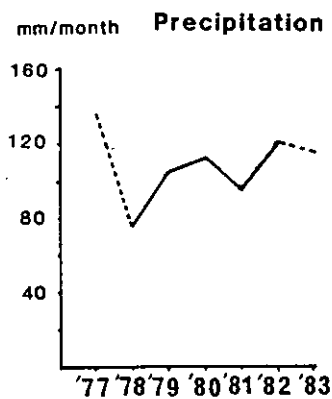


図 12 平均月降水量の経年変動
Fig. 12 Secular change of the amount of mean monthly precipitation

表 3 霞ヶ浦（西浦）湖水面及び流域への年間栄養塩降下量
 Table 3 Annual total amount of nutrients fallout in the watershed and water surface of Lake Kasumigaura (Nishiura)

	Watershed		Water surface	
	Total-P	Total-N	Total-P	Total-N
1977	(40.7) t/y	(1240) t/y	(4.3) t/y	(131) t/y
1978	73.6	1175	7.8	125
1979	38.4	1987	4.1	211
1980	75.5	1784	8.0	189
1981	69.7	1511	7.4	160
1982	50.3	1976	5.3	209
1983	(52.3)	(2712)	(5.5)	(287)
mean	58.1	1743	6.2	185

4.4 むすび

前報に引き続き霞ヶ浦流域において降下栄養塩量の測定を行った結果、特にN化合物の降下量が、この6年間に上昇している傾向のあることが確かめられた。この現象が果たして大気汚染による大気中のN化合物の増大と関係があるかどうか今後の課題となる。

謝 辞

栄養塩濃度の分析に当たっては、計測技術部水質計測研究室大槻晃室長並びに山村薫氏の全面的協力を得たことを記して感謝する。

引 用 文 献

- 1) 相崎守弘他 (1981): 霞ヶ浦高浜入における栄養塩収支。国立公害研究所研究報告, 第22号, 281-307.
- 2) 安部喜也他 (1977): 大気降下物中の栄養塩量について。国立公害研究所研究報告, 第6号, 79-83.
- 3) 安部喜也 (1981): 霞ヶ浦流域の降水特性および大気中からの栄養塩の供給について。国立公害研究所研究報告, 第20号, 27-42.

2. 霞ヶ浦沿岸地下水の水理挙動

Hydraulic Behavior of Groundwater in the Lakeside Area of the Kasumigaura

村岡浩爾¹・岩田 敏¹

Kohji MURAOKA¹ and Satoshi IWATA¹

Abstract

Hydraulic behavior of groundwater was discussed on the basis of the record of water level variation observed in eight test wells in the lakeside of the Kasumigaura since September in 1978. Five wells of them were dugged in Miho region and the remainder distributed separately in Dejima, Tamatsukuri, and Asô region.

Long term variation of groundwater level does not show any special matter except for Tamatsukuri test well where the groundwater level has moved arround or rather beneath the level of lake water surface, as shown in Fig. 5. During the term as the lake holds high water level as illustrated in Fig. 6, groundwater level once risen by rain precipitation decreases gradually as following the variation of lake water level. The zone sensitively affected by the fluctuation of lake water level seems to be in the plain several hundred meters inside the shore line.

The discharge of groundwater into Lake Kasumigaura (Nishiura Basin) was estimated to be $8.03 \times 10^6 \text{ m}^3$ per year, which is equivalent to about 1% of rivers discharge.

1. はじめに

霞ヶ浦の平均年流入水量は15億4000 m^3 、すなわち毎秒平均48.8 m^3 であり、現状では都市用水及び農業用水として毎秒平均12.5 m^3 の取水がある。霞ヶ浦総合開発によって新規に最大約43 m^3 毎秒の開発が計画されており、平均として毎秒約40 m^3 の取水が予想される。この結果、湖水の利用率は約25%から約80%にはね上ることとなる¹⁾。

1. 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番2
Water and Soil Environment Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

気象の変化によって流入量も異なるし、利水量も変動するが、とにかくこのように利用率が高くなると、水量の確保のため湖水の水位変動も著しくなり、湖内の生態や水質も変化することが予想される。また霞ヶ浦沿岸に発達する水田や畑地では、農業用水として湖水の取水があるだけでなく、地下水の利用も盛んである。この農業活動による地下水の水理的及び水質の変化を把握しておくことは、沿岸地下水の水質保全のために必要なことである。

このような情勢のもとで、既に昭和53年美浦村に観測井群を建設し、地下水位と水質の調査を開始した。昭和54年8月までの約1年間の調査結果は既報である²⁾。その後、昭和54年に新たに出島、玉造、麻生に観測井を建設し、現在まで水位と水質の観測を続けている。この報告はこれら8観測井の4年余に渡る水位観測から、沿岸地下水の水理挙動を考察したものである。なお、水質に関する検討は、別に報告することとした³⁾。

2. 観測井の位置と観測法

美浦村大山に建設された5本の観測井のうち#2、#3の観測井は、この地区に始まった農地整備のため一時的に撤去された。その後、農地整備の完了を待って昭和56年10月に#2、#3を再建したが、この間、昭和54年9月から昭和58年9月まで両井の観測は欠測となった。再建された観測井は共に深度8m、ストレーナーの位置は-6.00~-7.50mで、滞水層の藪層と呼ばれる砂層にある。それらの平面位置は既存したものと大して変わらず、付近の地質も既報²⁾であるのでここでは省略する。

美浦村の観測井群に加えて、霞ヶ浦（西浦）沿岸の地下水を調べるため、昭和54年8月に3本の観測井を建設した。その位置は、出島村浜田地先、玉造町高須甲1936-1、麻生町於下1013であり、同年9月から観測を開始した。全8基の観測井の平面位置の概略を図1に示す。また後者3観測井の詳細な平面図、並びに付近の地層図を図2、図3、図4に示す。

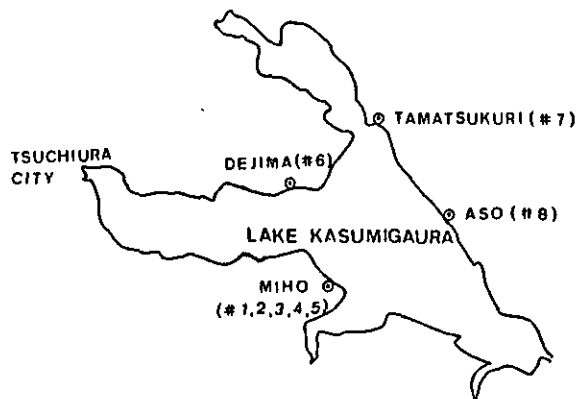


図 1 沿岸観測井の位置
Fig. 1 Location of test wells in lakeside

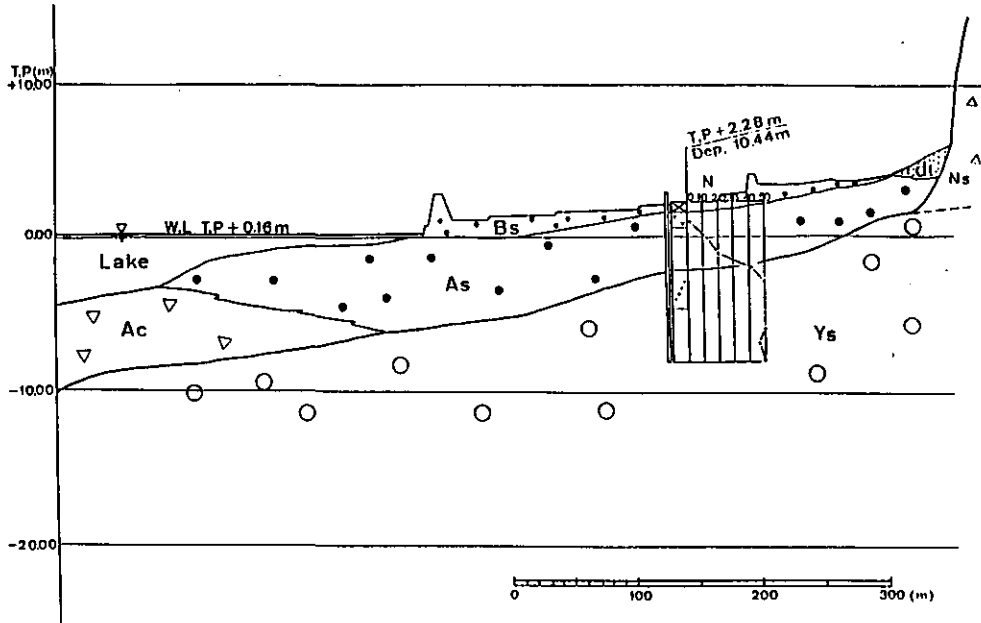


図 2 出島観測井付近の地質断面図

Fig. 2 Geological profile in the vicinity of Dejima test well

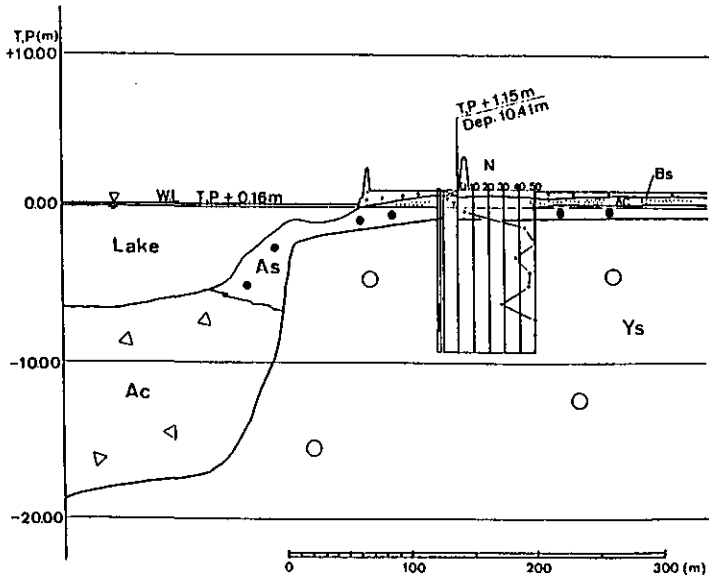


図 3 玉造観測井付近の地質断面図

Fig. 3 Geological profile in the vicinity of Tamatsukuri test well

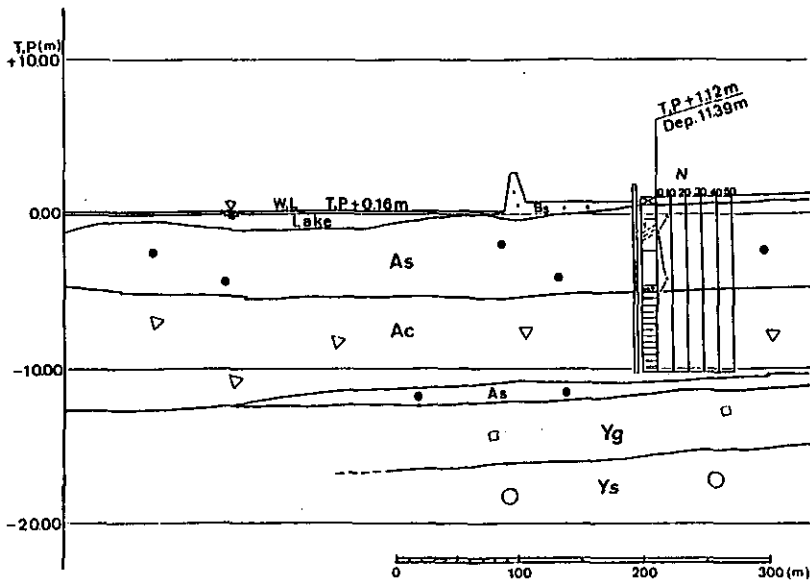


図 4 麻生観測井付近の地質断面図

Fig. 4 Geological profile in the vicinity of Asô test well

井内の地下水位は2週間巻きの自記水位計で連続観測した。機械の不備によって欠測があったり、フロートの作動が不調であったりしたことがあるが、記録紙の整理の段階で合理的に修正できるものは修正された。また湖水位は茨城県内水面水産試験場及び建設省霞ヶ浦工事事務所による湖心の毎9時の記録を参考にした。なお、水位の観測と平行して、観測井の地下水採水は2週間ごとに行い、栄養塩類を中心に水質分析を行っている。

3. 地下水の長期的挙動

地下水位の長期変動を考察するため、各測点の1か月間の平均水位を求め、それを解析資料とした。しかし4年余にわたる変動をみるにはこれでも変化が複雑なので、月平均資料を3か月ごとにまとめ、1年を4期に分けて図化することにした。この分け方は

- 第Ⅰ期：4・5・6月（かんがい前期）
- 第Ⅱ期：7・8・9月（かんがい後期）
- 第Ⅲ期：10・11・12月（非かんがい前期）
- 第Ⅳ期：1・2・3月（非かんがい後期）

としたが、かんがい、非かんがいの呼称は必ずしも正確を期しているわけではない。

図5の下段に各観測井の各期平均の地下水位を、上段に各期の土浦における雨量⁴⁾を示した。霞ヶ浦沿岸の地下水位が降雨に対して非常に敏感であることは知られているが、長期的に見れば、地下水位と降水量が必ずしも適切な応答をしているとはみられない。地下水の長期変動は、降水量の

霞ヶ浦沿岸地下水の水理挙動

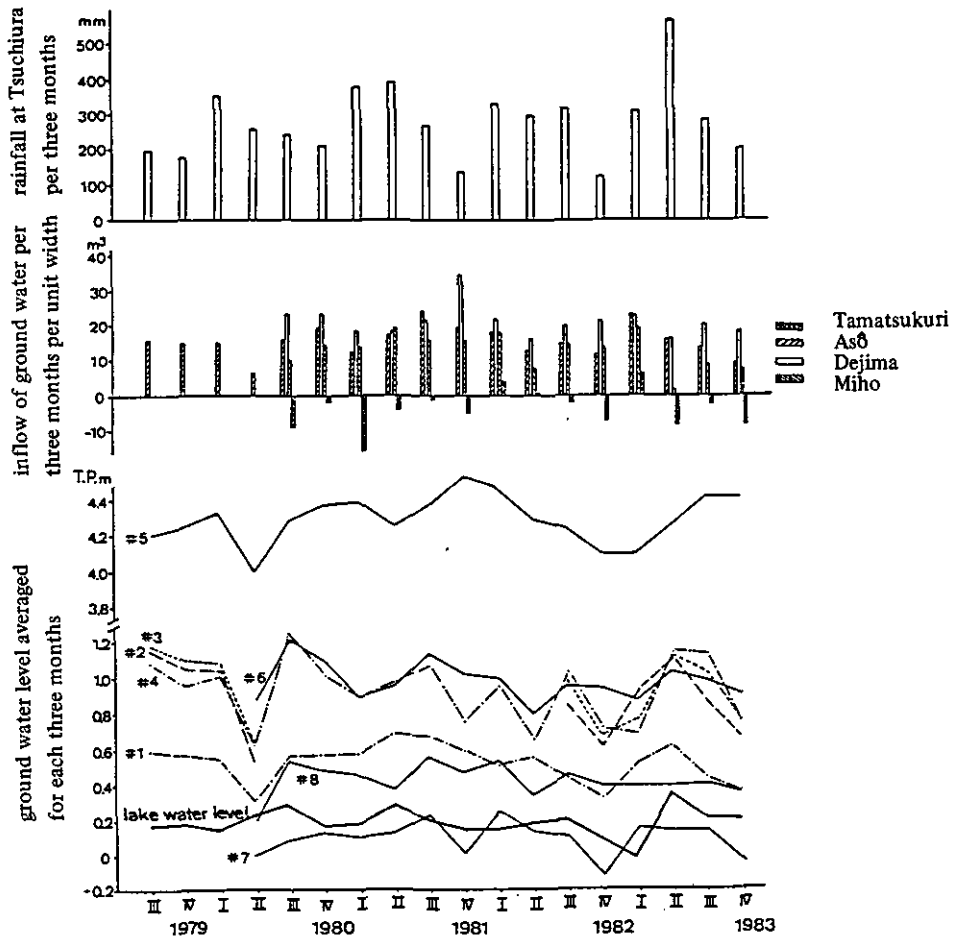


図 5 霞ヶ浦沿岸の地下水位と流入量、及び土浦の雨量
 Fig. 5 Groundwater level and inflow in the lakeside of the Kasumigaura, and rainfall at Tsuchiura
 I: Apr. May, June, II: Jul. Aug. Sep., III: Oct. Nov. Dec., IV: Jan. Feb. Mar.

ほか、気候、蒸発散、土壌の保水性、かんがい活動、湖水位等に影響されると見られるが、これらの相互作用は短期的な変動にまず現れ、それらの集積が長期化する要素となる。したがって長期変動の特性を解明することはかなり困難である。

一般的に見れば、湖岸に近い所は水位の変動は小さいが、湖岸から離ればそれが大きくなる。図5（下段）で見れば、美浦#5の観測井は丘陵の中腹にあるため、湖水位とは無関係と見られるが、他の観測井は湖水位とのかかわり合いのあることが予想される。ただし、美浦#4については

不明りょうなところもある。これらのことは後述の地下水位短期変動でより明らかになる。

また、玉造の観測井では、地下水位が長期的にみて湖水位より低い、このことは前回の考察²⁾とよく符合する。すなわち、西浦沿岸で深井戸、浅井戸合わせて60の既存井で3回の地下水位等の観測を行った結果、大方の沿岸では陸側から湖水への地下水流入がある中で、玉造付近と浮島付近（湖尻南岸）に湖側から陸への地下水流入のあることを予測した。今回の玉造の観測井における水位の長期観測によって、このことが実証されたと考えている。

美浦村での観測井群で、各期平均の地下水面形を描けば図6を得る。#2、#3のある地点までは、長期的な記録からも湖域への動水こう配が認められるが、#3と#4の間では顕著な動水こう配は認められない。このことから、この付近では湖岸から400m程度まで湖水位の存在による水面こう配が著しい範囲と言えらる。各期の水面形のうち、雨量の少ない第Ⅳ期の地下水位が、他期に比べて低いのは当然であるが、雨量が比較的多い第Ⅱ期でも水位が低いという解せない点もある。これには周辺の地下水のくみ上げの影響など、未知の点が多い。

月平均地下水位の記録から、美浦、出島、玉造、麻生の4地点で月平均動水こう配を求め、沿岸線の単位長さ当たりの湖域への流入量を3か月ごとにまとめて長期変動を示したのが図5の中段である。また各年でまとめたものを表1に記す。この算定法は前報²⁾と同様である。玉造での動水こ

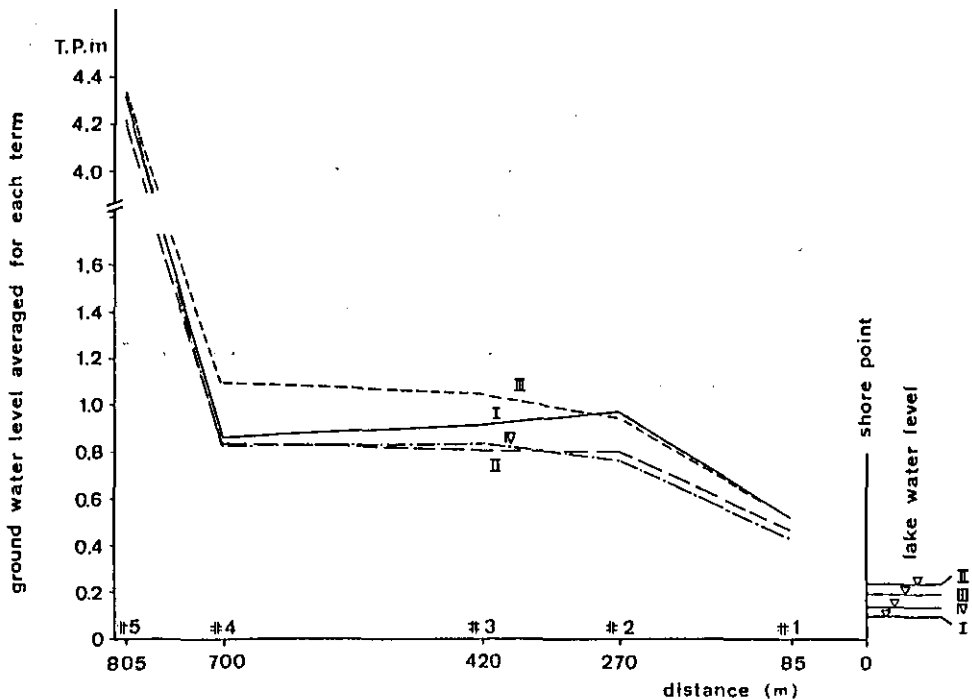


図 6 美浦地区における各期の地下水面の変化

Fig. 6 Seasonal variation of groundwater table at Miho region

表 1 霞ヶ浦沿岸の単位湖岸長当たり年間地下水流入量 ($\text{m}^3 \cdot \text{y}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
(負の値は流出量を表す。)

Table 1 Annual inflow of groundwater into Lake Kasumigaura per unit shore length ($\text{m}^3 \cdot \text{y}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) Minus value means outflow.

期 間	美 浦 村 大 山	出 島 村 浜 田	玉 造 町 高 須	麻 生 町 於 下
1979 ~ 1980 Apr. ~ Mar.	58.31	—	—	—
1980 ~ 1981 Apr. ~ Mar.	74.55	93.83	-25.07	65.46
1981 ~ 1982 Apr. ~ Mar.	58.57	80.65	-5.07	54.93
1982 ~ 1983 Apr. ~ Mar.	62.34	77.92	-12.97	37.18

う配が陸側に傾くことから、この地点では湖水の流出が目立ち、特に雨量の少ない第IV期では常に流出状態となる。他の3地点での季節変化は、雨量、地下水位、湖水位の三者が関係し合って動水こう配を形成しているため、規則的な変動は見だしにくい。しかし全体として、流入量は概して同程度であるといえる。前述のとおり、西浦沿岸の大半では湖域への流入が予想されることを念頭に入れ、玉造を除く3地点の平均として年間の単位長さ当たり流入量を求めると $66.37 \text{m}^3 \cdot \text{y}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ となる。これに湖岸線 121km を乗ずると、年間の地下水流入量として $8.03 \times 10^6 \text{m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$ となり、西浦の平均年流入河川水量の推定値 7.5 億 m^3 の 1.07% に当たる。この値は前報²⁾ で予想した値と大差はない。なお、各地点の単位湖岸長当たりの地下水流入量を表1にまとめた。

4. 地下水の短期的挙動

地下水位の挙動は降水の時間変化に敏感に応答する。一降雨の降雨パターンに対する水位の応答については前報²⁾ で考察したので、ここでは降雨パターンとともに湖水位の変動が水位に及ぼす影響について考察する。そのため、観測期間中からこの考察に適した2例の短期間を選んだ。

第1例は、台風による大量の降雨が先行して発生し、それに続いて湖水位が異常に高まった昭和57年9月の中旬から下旬にかけての期間である。気象記録によると⁴⁾、台風18号は同年9月12日18時、静岡県御前崎付近に上陸、北北東に進んだ。そのときの中心気圧は 968 mb、最大風速は $35 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ で、並の勢力を持った大型台風で、その後、毎時40~45kmで東北地方を縦断、13日8時に津軽海峡に達している。土浦の降水量は10日に38mmの先行降雨があったあと、11日に21mm、12日に128mmをもたらししている。なお、江戸崎の降水量は10日67mm、11日24mm、12日158mmで、土浦より多い。湖水位は10日頃より上昇、16日に最高約 T.P. 1.00m に達したあとも水位の減衰は緩慢で、10月4日に至って増水以前の水位 T.P. 0.15m に戻った。この高水の継続は、利根川の増水による逆流はんらん防止のため、常陸川水門が操作され、流入河川水が湖内に貯留されたためと見ら

れ、最近では珍しい高水位の連続であった。

第2例として昭和57年5月中・下旬の期間を選んだ。無降雨が続き、地下水位がほぼ平水位に保たれた期間である。5月の気候は、平均気温 18.4°C (水戸) で平年より 2.2°C 高く、過去の記録の最高であった。日照時間も 247.7h (水戸) で平年の 127%、これは第2位の記録であった。水戸における降水量は上旬 42.5mm、中旬 59.0mm で平年並みであったが、下旬は記録的な晴天が続き、3.5mm で平年の 48.7mm を大きく下回った。

図7は第1例の期間の地下水位、湖水位、及び土浦における時間降雨を示したものである。降水による即応的な地下水位の上昇は通常の降雨時と変わらないが、降雨後の水位の減少は湖水位の上昇にさえぎられて緩慢となる。また麻生の観測井では、湖水位より地下水位の方が一時的に低くなることもある。

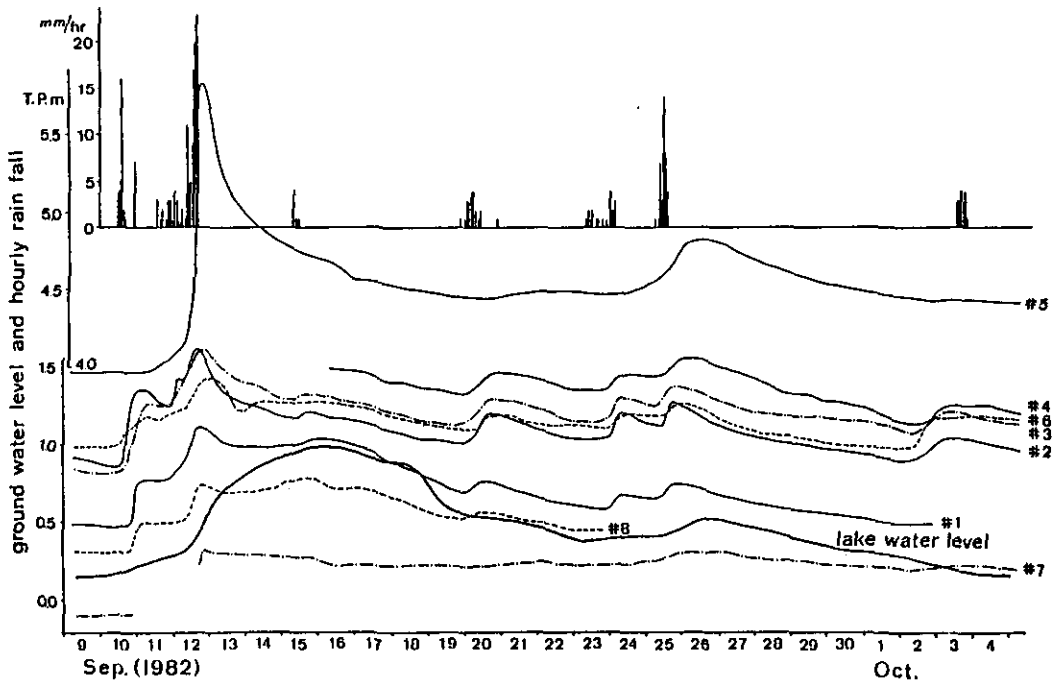


図 7 台風18号による降雨と湖水位上昇時の地下水位の変動

Fig. 7 Rainfall due to typhoon 18 (Sep. 12, 1982) and variation of groundwater level during flood of lake water level

図8は第2例の期間の地下水位、湖水位、及び土浦の時間降雨を示したものである。水田におけるかんがい用水の供給は主としてポンプ揚水による湖水の利用に頼っていると考えられるが、局地的な水田や畑地の供給水は地下水に依存するとみられ、そのため地下水位の変動が日周期的に著しい観測井がある。その井戸は美浦村の#3、#4、及び出島村の観測井であるが、これらを除く観測

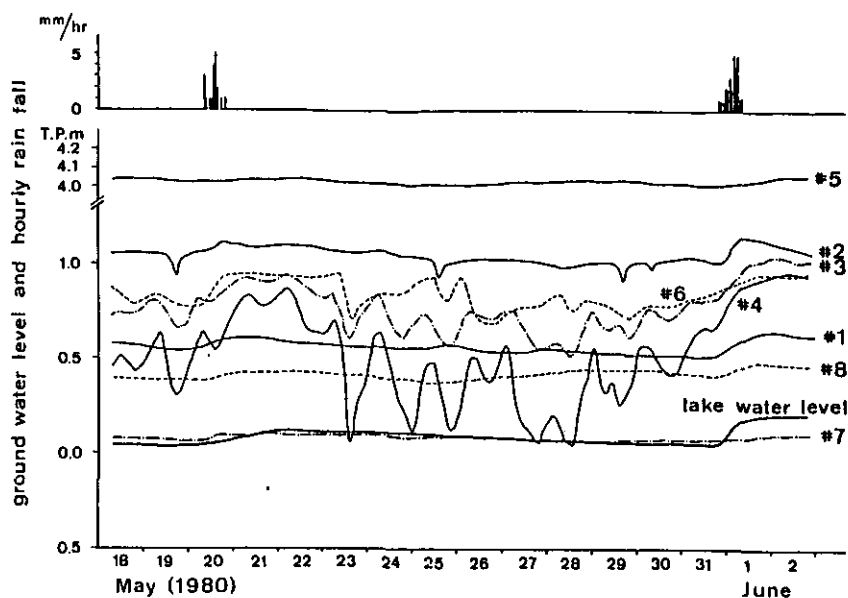


図 8 過少降雨時の地下水位変動

Fig. 8 Variation of groundwater level during few rainfall term

井では、降雨のない期間ではほぼ一定の地下水位を持続している。

以上の2例の記録結果からみて、地下水位は降雨による敏感な応答があったあと、湖水位との間で規定される動水こう配によって、湖域への緩慢な流出のあるのが一般的な現象である。地点によってはその近傍の地下水揚水のために、極めて即応的な水位変化が見られるが、このことによって地域的に平均的な地下水位低下現象が起こっているとは認め難い。地下水位は沿岸の大半において平常では湖水より高いと判断されるのは、前報²⁾の沿岸既存井の調査と、その予想から選ばれた玉造町の観測井の水位記録から明らかであろう。

5. 結論

霞ヶ浦沿岸で古くから農耕地が発達してきた利水の理由は、湖水と低平地河川からの導水が容易であったからと言える。このことは現湖水面積の12%もの干拓地の造成を促し、それと同時に大量の湖水をポンプ揚水する多くのかけ流しかんがい用水が発達してきた。一方、流入河川の汚濁負荷による湖水質の悪化が認められるようになって、農業排水も、その寄与する量が明確でないにしても、水質汚濁に加担する一因と考えられるようになり、水質改善とともに水の有効利用から合理的な農耕を目指す農地改良が現在も盛んに行われるようになったことは好ましいことである。

農耕に要する種々の肥料や各種廃棄物が直接影響したのかどうかは確定的でないが、沿岸の多くの地下水が飲料に堪えない位汚染されているのは事実である。これを地下水の水利現象から考察す

れば、沿岸の2, 3の地点を除いた大半では、平常的に陸地から湖域に地下水が流れていて、汚染源は陸地側にあると判断せざるを得ない。水田におけるかんがい水の鉛直浸透は年間100 mmを越えることはないとするのが一般的であるが、水田以外のビニールハウスや畑地では、ポンプ場給水に頼らず独自の農業用井戸に頼っている所も多いとみられる。美浦村の#3, #4, 及び出島村の観測井で、付近にそれらの揚水のあることが認められる。したがって、水田地における鉛直浸透量、局地的な農業用井戸による揚水量をより詳細に確かめることが、沿岸地下水の水環境を解明するのに必要であろう。

昭和57年9月の18号台風の来襲に関連した湖水位の異常上昇の期間における地下水位の記録から、その水理現象にいくつかの興味あることが認められた。しかしこの場合では、湖水位の上昇以前に降雨による地下水の上昇があり、この上昇量が湖水位のそれを上回っておればその後の地下水位の減衰は湖水位の減衰曲線に追従する形をとる。この意味で湖水位は地下水位に影響を及ぼしているが、このことによって沿岸地下水の環境を大きく変えてしまうことはあり得ない。むしろ問題は湖水位の低下が持続した場合であり、数値予測によると⁵⁾、霞ヶ浦総合開発が計画どおり実施された場合には、渇水年では湖水位が平水位を約1 m下回り、なおかつその水位回復に半年も要することもあり得る。この状態では、沿岸平地で湖水位の影響を受けるとみられる数100 m内陸までは、地下水位の長期低下は免れないことが予想される。今回の調査期間では、このような長期低水位が見られなかったため、具体的な検討は成し得なかったが、短期の地下水変動を例として示した図7, 図8からこのことが十分起こり得るとみられる。この場合には、局地的な地下水揚水でまかなっている農業用水に何らかの影響が及ぶとみられる。

引用文献

- 1) Muraoka, K. and T. Goda (1982): Budgets of Water Mass and Materials in a Shallow Lake. Proc. of Symposium, The third Japan-Brazil Simposium on Science and Technology, Oct. 1982, Tokyo, Japan, 257-274.
- 2) 村岡浩爾・細見正明 (1981): 霞ヶ浦沿岸地下水の挙動と水質. 国立公害研究所研究報告, 第20号, 69-151.
- 3) 村岡浩爾・岩田 敏 (1984): 霞ヶ浦沿岸地下水の水質特性. 国立公害研究所研究報告, 第50号, 21-39.
- 4) 水戸気象台 (1982): 茨城県気象月報, 昭和57年5月及び昭和57年9月.
- 5) 村岡浩爾 (1981): 霞ヶ浦の水収支と湖水位の将来予測. 国立公害研究所研究発表会予稿集, SS/OT - 4-81, 18-32.

3. 霞ヶ浦沿岸地下水の水質特性

Characterization of Groundwater Quality in the Lakeside Area of the Kasumigaura

村岡浩爾¹・岩田 敏¹

Kohji MURAOKA¹ and Satoshi IWATA¹

Abstract

Water quality of groundwater in the lakeside of the Kasumigaura was observed in eight test wells. The purpose of this study is to discuss the relationship concerning materials such as nutrients between groundwater and lake water.

- (1) When we have much rain in winter, the concentration of PO₄-P tends to decrease in some wells.
- (2) At the well No.3, two abnormal peaks of concentration of PO₄-P, NH₄-N and D-COD were observed. The groundwater at those times was supposed to be polluted by something like organic matter.
- (3) In many wells, PO₄-P, NH₄-N and D-COD show high concentration in summer season, while NO₃-N is high in winter.
- (4) According to above fact, the response of groundwater quality to surface water seems to be fast unexpectedly.
- (5) The well No. 7, which has ordinarily similar or lower water level than that of the lake, shows a correlative performance of concentration of Cl to the lake water intrusion.
- (6) The pollutant loads of groundwater across the shore line of lake were estimated to be 0.09 percent for total-P, 0.08 percent for total-N and 0.17 percent for total-COD of those of rivers, respectively.

1. 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番2
Water and Soil Environment Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1. はじめに

地球上に存在する地下水の総量は、正確に見積もることは不可能であるが、一つの推定では約1,000万 km^3 とされている。これは、地球上の全水量13.8億 km^3 と比較すると0.7%に過ぎないが、存在形態としては、海洋水、氷雪に次いで第3位であり、全淡水量の29%を占め、湖沼水や河川水と比べると圧倒的に大きな数字である¹⁾。

このように地下水は、非常に大きな存在でありながら、常に地中にあり人目に触れることが少ないため、往往にして重視されることが少ない。このためか、湖沼の水質汚濁が大きな社会問題となった今日でも、地下水中の栄養塩物質の挙動と、それらの湖沼の富栄養化に及ぼす影響について検討した例は少ない。

本研究は、霞ヶ浦をフィールドとする陸水域における富栄養化防止に関する総合研究の一環として、上述の地下水中の栄養塩物質を中心とする水質特性及びその湖沼への影響を明らかにする目的で行ったものである。

地下水中の栄養塩物質が湖沼に影響を及ぼす場合、次の二つのケースが考えられる²⁾。第1に、揚水、湧水等で一度地表に出た地下水が、河川を通して湖沼に流入する場合、そして第2に地下水が湖盆を通して直接湖沼に流入する場合である。霞ヶ浦の場合、第1のケースについては、河川の流入負荷量が算定されており³⁾、その中に含まれるものと考えられる。ここでは、第2のケースについて取り扱う。

しかし、地下水の動きは非常に緩慢であり、かつ地中でのことであるので、これを捕えることは容易ではない。さらにそれにより輸送される物質の動きを把握することは、非常に困難なことではある。

本研究では、前特研の報告^{4,5)}に引き続き、西浦周辺4か所に配置された計8本の観測井についての2年間にわたる連続観測記録に基づいて、沿岸地下水の水質の挙動と、地下水による霞ヶ浦への流入負荷量の算定を試みるものである。

2. 観測の概要

観測に用いた井戸は、西浦周辺4か所（美浦村5本、湖岸より順に#1、……、#5とする。出島村-#6、玉造町-#7、麻生町-#8）の計8本である。井戸の詳細な位置及び諸元については別に記述したとおり⁶⁾である。

解析の対象とする期間は昭和56年4月より昭和58年3月までの2年間であるが、美浦村#2及び#3については、昭和56年10月に設置したため、それ以前の記録はない。

各井には、14日巻きのフロート式自記水位計を設置して水位の連続観測を行い、これに伴う記録紙の交換の度に、注射器による地下水の採取を行い、それを試料として水質分析を行った。分析項目はリン酸態リン ($\text{PO}_4 - \text{P}$)、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4 - \text{N}$)、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2 - \text{N}$)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3 - \text{N}$)、溶存態化学的酸素要求量 (D - COD) 及び塩素イオン (Cl) の6項

目であり、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 及び $\text{NO}_3 - \text{N}$ の和として無機態窒素 (Inorg - N) も算出した。

分析方法は、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 、Cl については、Technicon 社の Auto Analyzer (昭和57年10月までは CSM - 6 型, 11月からは SMA - Water 型) を使用した。また D - COD は、アルカリ性過マンガン酸カリウム法によった。

2, # 3 の 2 井を除く 6 井については、対象期間以前から連続観測が行われており、解析の必要に応じてそれらのデータも使用した。

霞ヶ浦湖水の水質データとしては、昭和51年7月より連続して行われている霞ヶ浦全域調査データ^{7,8)} より湖心 (Station No. 9) のデータを使用した。

3. 水質特性

3.1 美浦村における水質特性

対象期間中の各水質項目の月平均濃度変化を図 1 ~ 図 6 に示す。

図 1 は $\text{PO}_4 - \text{P}$ についてのものである。これらの図から特徴的なこととして、# 3 の井戸の昭和56年11月及び58年1月に異常なピークがみられること、58年2月から3月にかけて、低濃度を示す井が多いこと (# 1, # 2 及び # 5)、各井の濃度レベルは湖水と比べるとかなり高いことが挙げられる。

図 2 は $\text{NH}_4 - \text{N}$ に関するものであり、同様に、# 3 の井戸の56年12月及び58年1~2月に異常なピークがみられ、56年の場合には # 1 及び # 2 の井戸でもピークが認められること、# 5 の井戸の濃度は湖水とほぼ同レベルであるが、他の 4 井は湖水より高い濃度を示すこと、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ で認められた58年2~3月の濃度低下はそれほど顕著ではないことが挙げられる。

図 3 は $\text{NO}_2 - \text{N}$ についてであり、57年9月から11月にかけて湖水に大きなピークが認められること、同年11月に # 3 にピークがみられること、濃度レベルは湖水と大差ないことが挙げられる。

図 4 は $\text{NO}_3 - \text{N}$ についてであり、# 5 の濃度レベルが全期間を通じて非常に高いこと、# 3 の濃度が非常に低いこと、湖水との濃度差は、# 5 を除いてあまり認められないことが挙げられる。

図 5 は D - COD についてであり、# 3 については、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ や $\text{NH}_4 - \text{N}$ にみられた56年11~12月、58年1月の異常なピークがみられること、# 4 を除いて湖水の方が濃度が高いこと、# 5 は特に濃度が低いことが挙げられる。

図 6 は Cl についてであり、これから Cl については特に大きな変動は認められず、全期間を通じて比較的安定しているといえる。なお湖水については、全域調査の項目に含まれないため図示できないが、58年1月13日の全域調査において St. 8 で採取した試水について分析したところ 38.4 g/m^3 であった。これは # 4 の濃度に近い。

3 にみられる $\text{PO}_4 - \text{P}$ 、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 及び D - COD の異常なピークは、何らかの有機質による汚濁ではないかと考えられる。また、# 3 の $\text{NO}_3 - \text{N}$ が極めて低いのは、有機物の分解過程で酸素が消費されるためとも考えられる。# 3 は、かつて昭和53年9月に、# 1, # 4 及び、# 5 と同

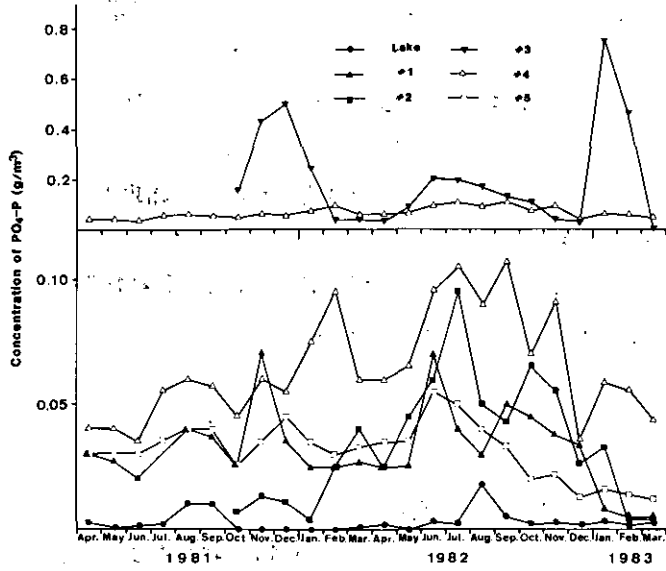


図 1 湖水と美浦村における観測井中の PO_4-P 濃度の変化

Fig. 1. Variation of PO_4-P concentration for lake water and groundwater in test wells at Miho region

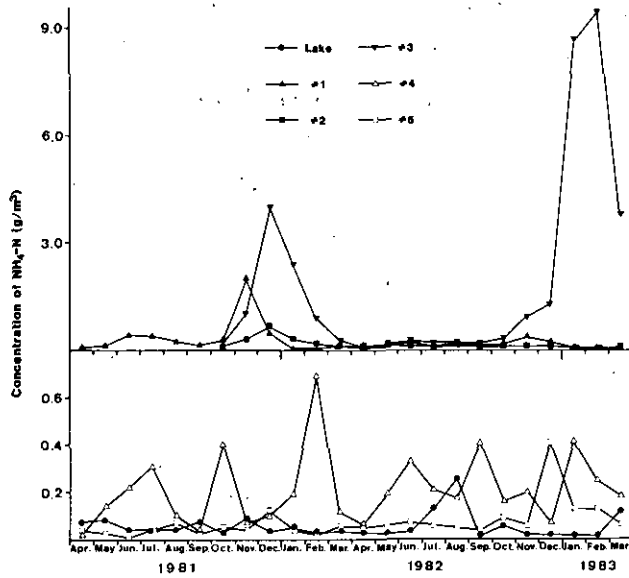


図 2 湖水と美浦村における観測井中の NH_4-N 濃度の変化

Fig. 2. Variation of NH_4-N concentration for lake water and groundwater in test wells at Miho region

霞ヶ浦沿岸地下水の水質特性

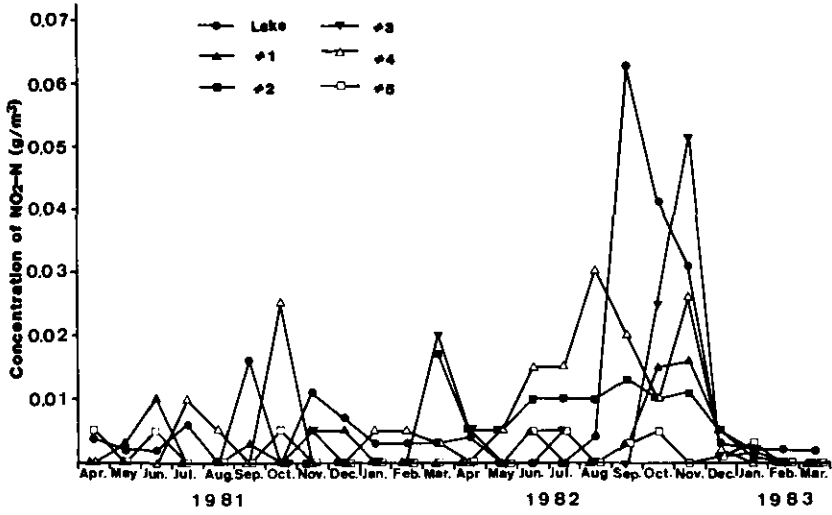


図 3 湖水と美浦村における観測井中の $\text{NO}_2 - \text{N}$ 濃度の変化
 Fig. 3 Variation of $\text{NO}_2 - \text{N}$ concentration for lake water and groundwater in test wells at Miho reagon

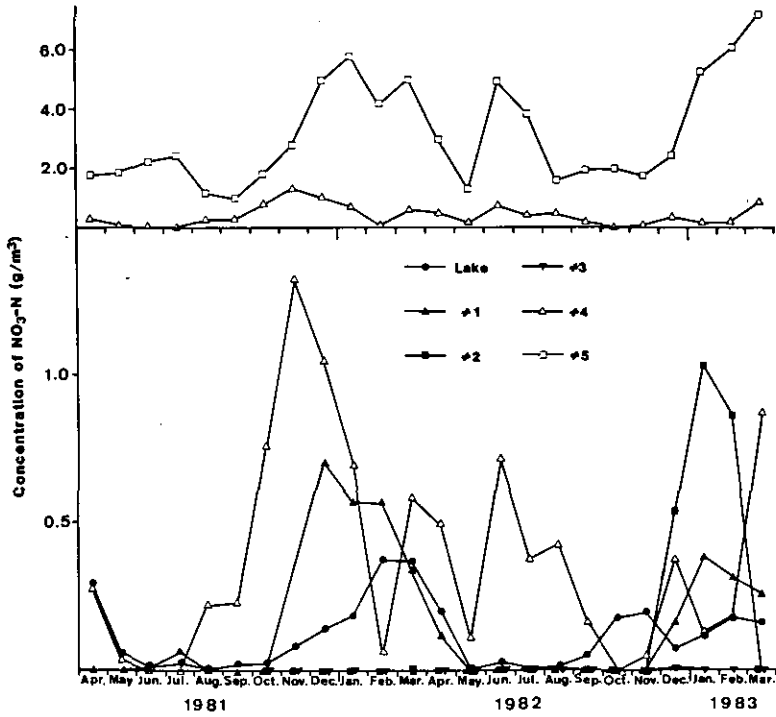


図 4 湖水と美浦村における観測井中の $\text{NO}_3 - \text{N}$ 濃度の変化
 Fig. 4 Variation of $\text{NO}_3 - \text{N}$ concentration for lake water and groundwater in test wells at Miho reagon

村岡浩爾・岩田敏

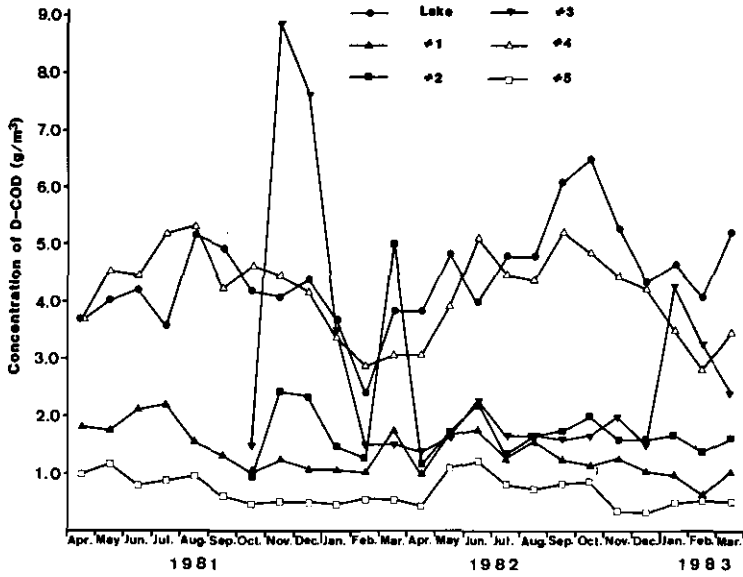


図 5 湖水と美浦村における観測井中の D - COD 濃度の変化
 Fig. 5 Variation of D-COD concentration for lake water and groundwater in test wells at Miho region

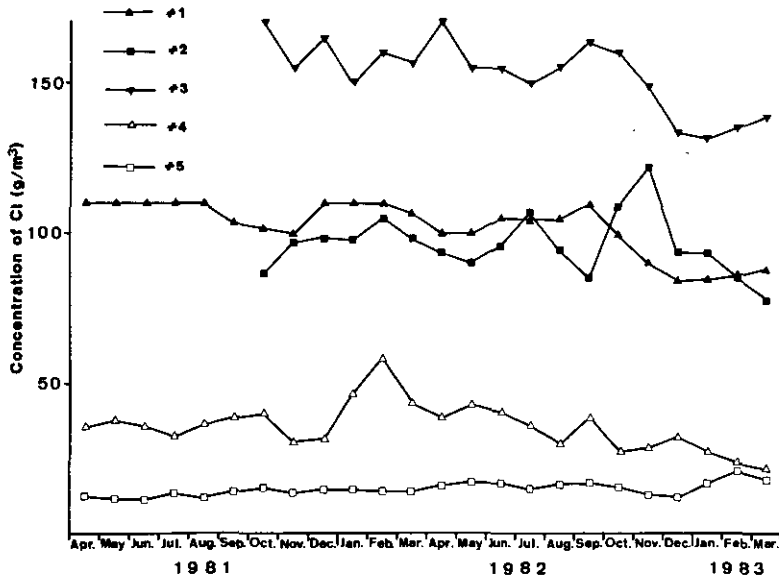


図 6 美浦村における観測井中の Cl 濃度の変化
 Fig. 6 Variation of Cl concentration for groundwater in test wells at Miho region

時に掘削しながら、周辺農地のほ場整備に伴い撤去を余儀なくされた旧#3の代替として設置されたものであり、この井の周辺地盤がまだ落ちつかず、汚濁物質が地下水中に流入したということも考えられる。しかし継続的な汚染ではなく、一時期それも冬期に限って発生する現象であり、上述の理由だけで説明付けるのは困難であろう。また、この種の汚染に伴い通常上昇すると考えられるClにさほどの変化がみられないのも不思議なことである。

58年2～3月にPO₄-Pの濃度低下をみせる井が多いのは、この時期の降水量が多かったためではないかと考えられる。表1に示すのは美浦村モデル地域に最も近いAMeDAS観測点である江戸崎観測所で観測された56～57年度の月別降水量及び51年4月の開所以来7年間の月別平均降水量である。この表より、この時期には降水量が前年同期より50%、7年間平均値よりも20%増加していることがわかる。このためPO₄-Pについては、降水による希釈効果が現れたのではないかと考えられる。

前報⁵⁾に示したように、#5は地質的に全く異なる位置の地下水を採取している。このため、他の井とは異なる水質特性を示している。すなわち一般的に汚濁を示す指標となる水質項目(NH₄-N, NO₂-N, D-COD, Cl)については他の井より低濃度であり、NO₃-Nについては非常に高濃度であるといえる。これは、#5が丘陵の中腹に設置され、汚染されにくい環境にあるためといえよう。

各井と湖水との相関性は低い。これは、栄養塩物質は、湖水中では生物活動に取り込まれるなどして態変化を行うことが多いためと考えられる。

表 1 江戸崎観測所の月降水量
Table 1 Monthly precipitation at Edosaki station

	4	5	6	7	8	9
57年度	100	73	154	162	78	396
56年度	172	134	111	77	96	125
51-57年度平均	123.9	139.6	124.9	105.4	121.3	203.0

	10	11	12	1	2	3
57年度	180	125	33	25	64	132
56年度	291	71	11	52	47	78
51-57年度平均	169.4	93.0	34.1	41.6	43.3	118.1

3.2 他の観測井の水質特性

図7～図12に、#6～#8及び湖水の各水質項目についての月別平均値の変動を示す。これらより

- 1) #3にみられたような特に異常なピークは認められない。
- 2) 58年1～3月の $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度低下が美浦村においてよりも明りように認められる。
- 3) #7の Cl は、他と異なり、57年4、5月あたりに、なだらかながら、かなりはっきりとしたピークが認められる。#7は、村岡らによる水位記録の解析⁶⁾ からみると、8観測井のうち湖水からの流入と流出を繰り返す地点にある唯一の観測井であり、解析結果からみると56年4、5月は湖水への流入、それ以降は湖水からの流出期に当たる。湖水の Cl を前述の 38.4 g/m^3 で代表させるならば、#7の平均濃度は 86.9 g/m^3 であり、湖水からの流出時期に、湖水の影響を受けているものと考えられる。

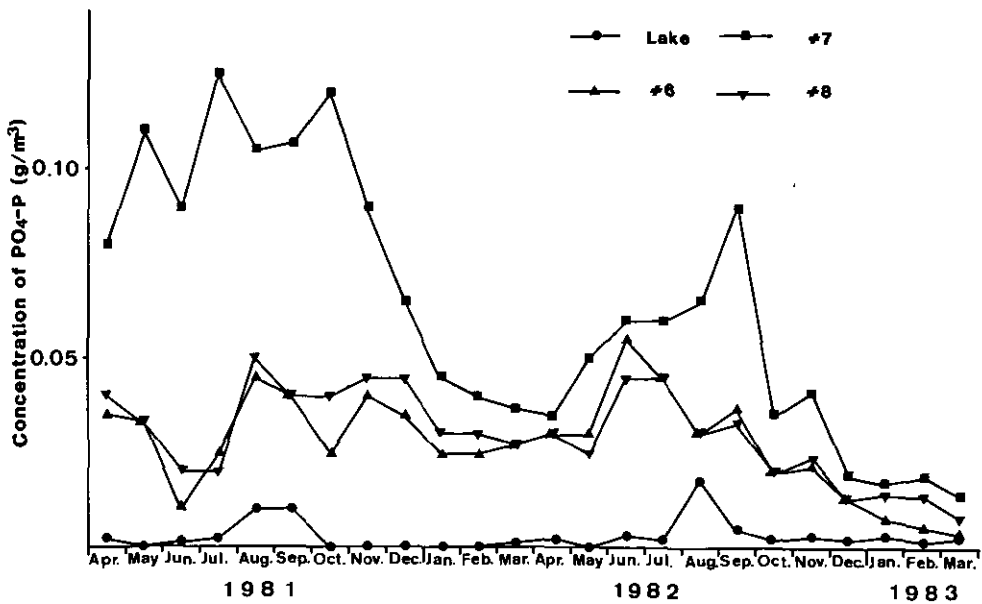


図7 湖水と他の地区における観測井中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の変化

Fig. 7 Variation of $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration for lake water and groundwater in test wells at other regions

霞ヶ浦沿岸地下水の水質特性

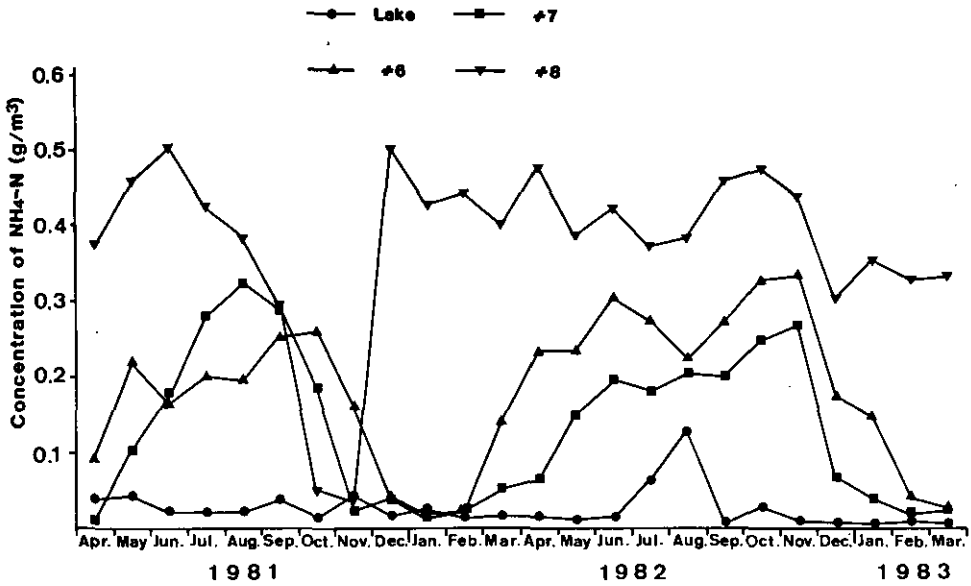


図 8 湖水と他の地区における観測井中の $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度の変化

Fig. 8 Variation of $\text{NH}_4 - \text{N}$ concentration for lake water and groundwater in test wells at other regions

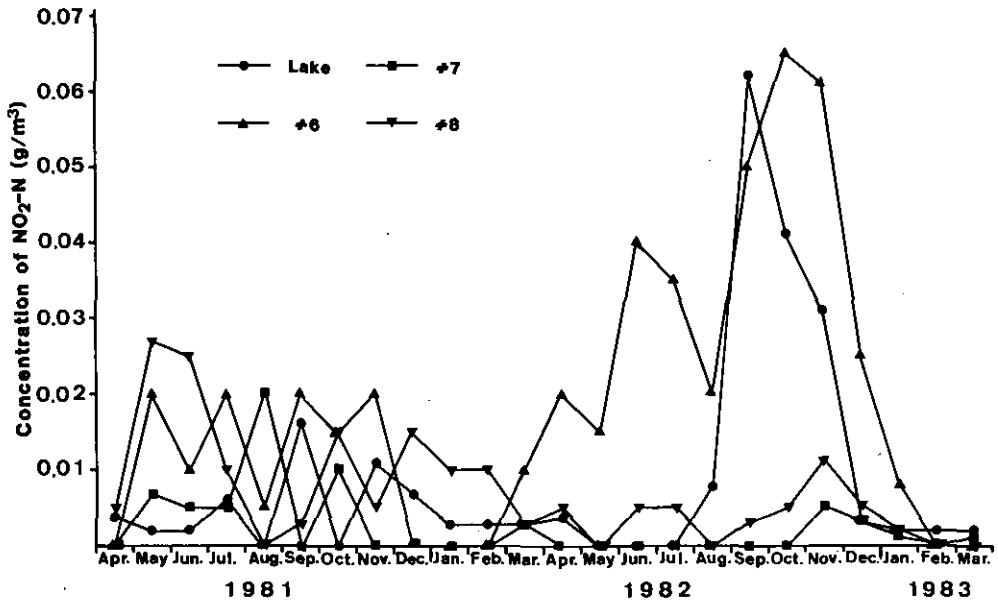


図 9 湖水と他の地区における観測井中の $\text{NO}_2 - \text{N}$ 濃度の変化

Fig. 9 Variation of $\text{NO}_2 - \text{N}$ concentration for lake water and groundwater in test wells at other regions

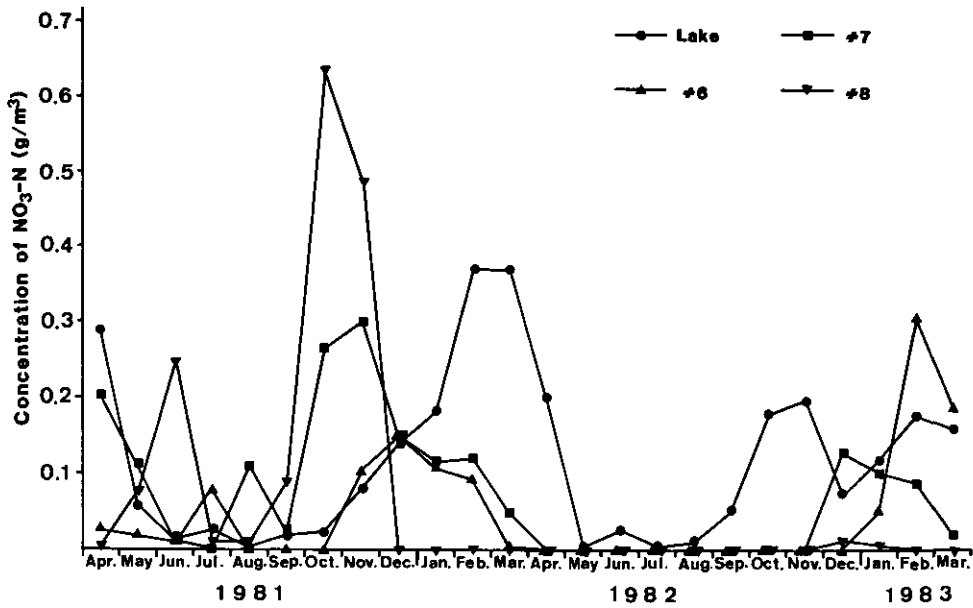


図 10 湖水と他の地区における観測井中の $\text{NO}_3 - \text{N}$ 濃度の変化
 Fig.10 Variation of $\text{NO}_3 - \text{N}$ concentration for lake water and groundwater in test wells at other regions

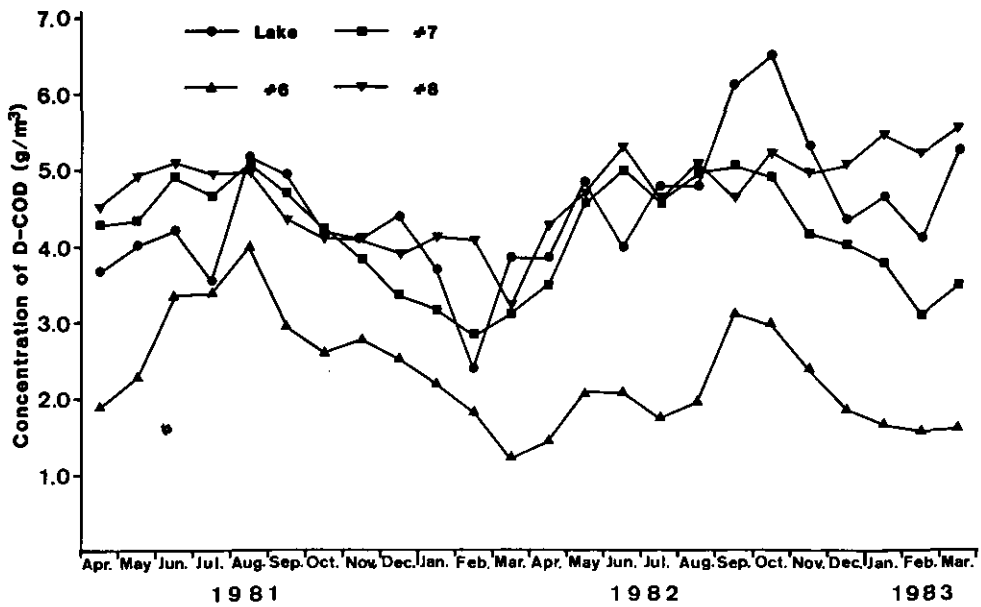


図 11 湖水と他の地区における観測井中の D - COD 濃度の変化
 Fig.11 Variation of D-COD concentration for lake water and groundwater in test wells at other regions

霞ヶ浦沿岸地下水の水質特性

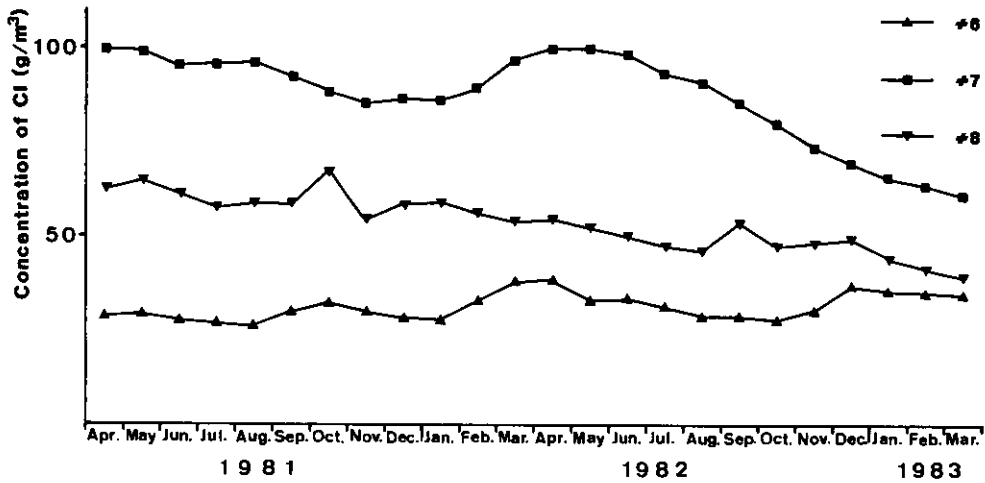


図 12 他の地区における観測井中の Cl 濃度の変化

Fig.12 Variation of Cl concentration for groundwater in test wells at other reagions

3.3 水質の季節変動特性

図1～図12から季節変動の様子を読み取ると、 $PO_4 - P$ については6月～9月の夏場に濃度が上昇し、1月～3月の冬場に低下する井が多い。 $NH_4 - N$ についても $PO_4 - P$ と同様に夏期に高く冬期に低い傾向を示し、 $D - COD$ も同様である。一方 $NO_3 - N$ は逆に6月～8月が最も低く、秋口から濃度上昇の傾向を示す。

変動の周期性を明らかにするために、月平均値を用いて自己相関係数⁹⁾を算出した。図13は、湖水及び各井について自己相関係数と時間ずれの関係を表すコレログラムである。ただし、各水質項目のうち、図1～図12で季節変動の認められなかった $NO_2 - N$ とClは除外した。また#2及び#3は、観測期間が短くデータ数も少なかったため、これも除外した。

コレログラムは、生データの持つ周期性を示すものであり、ピークを示す位置の時間ずれの周期で水質の変動が起きていることを示している。これから明りょうな12か月周期変動を示すかどうかを調べたのが表2である。これらは図1～図12から読み取れる傾向と一致する。

また、図13には、12か月よりも短い周期変動を示すピークが散見されるが、これらのピークが水質項目ごとに、あるいは井戸ごとに一致して表れる訳でもなく原因は不明であるがコレログラム算出に用いたデータ数が比較的少なかったことによるものと考えられる。

各井は、地表面下5～12mの位置にストレーナーを設置しており、年間降水量を1300mm、流出及び蒸発散による損失を50%、土壌の間げき比を0.5と仮定した場合、ストレーナーの位置まで浸透水が到達するのは3～6年を必要とする計算となり、各井で比較的一致する濃度変動が認められることは非常に興味深い。

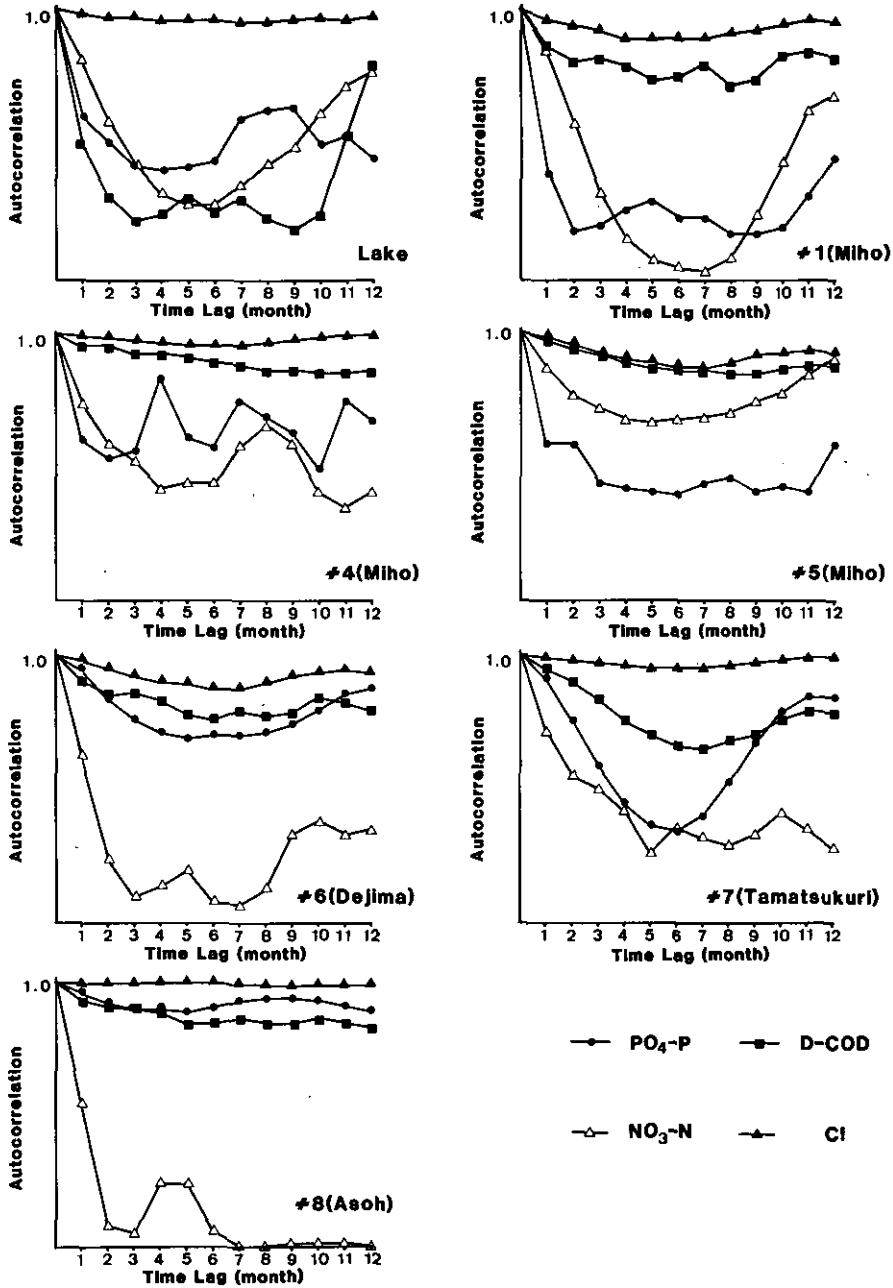


図 13 PO₄-P, NO₃-N, D-COD 及び Cl 濃度についてのコレログラム
 Fig.13 Correlogram for PO₄-P, NO₃-N, D-COD and Cl concentration

表 2 周期性の判定
Table 2 Judgement of periodicity

	PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₃ -N	D-COD
Lake	○	×	○	△
# 1	×	○	○	△
# 4	×	×	×	△
# 5	△	△	○	△
# 6	×	○	△	△
# 7	△	○	×	△
# 8	×	×	×	×

○：良く認められる
△：あまり認められない
×：認められない

3.4 水質の統計値に関する考察

表3に湖水及び各水質項目の統計値(平均値, 最大値, 最小値, 標準偏差及び変動係数)を示す。総データ数は湖水49, #2及び#3が38, 他は53である。これより, 各水質項目の時間変動によるばらつきをみると, 変動係数1.0を目安とするとPO₄-Pの場合, 湖水と#3のばらつきが大きい。窒素については, 態変化を起こすことが多いため, Inorg-Nについてみれば, #1, #2及び#3のばらつきが大きい。D-CODについては, 変動係数が1.0を上まわることはないが, 他と比べると#2及び#3のばらつきが大きい。Clについては, 全井とも安定しているといっ

よいであろう。ばらつきの大きい原因としては, 第1に, 3.1節で指摘した異常なピークの存在があげられる。PO₄-Pの#3, Inorg-Nの#1, #2及び#3, D-CODの#2及び#3のばらつきはこれが原因と考えられる。湖水のPO₄-Pのばらつきが大きいのは, 大槻ら¹⁰⁾により指摘されている。

各井にみられる異常値の影響を少なくするため, 下1/4値, 中央値, 上1/4値及び腕の長さを求めた。各値は, 全データを小さいものから順に並べた時, 総データ数の1/4, 1/2及び3/4に相当する位置の値であり, 腕の長さは(上1/4値-下1/4値)で表される。これらを表4に示す。

PO₄-P, Inorg-N及びD-CODについて, 平均値, 中央値, 標準偏差及び腕の長さを図化したものが図14~図16である。

これらより, 平均値と中央値は, 通常大差ない値を示すが, 井3のように異常値を持つ場合には, 大きな差を示すこと。また, 標準偏差と腕の長さを比べた場合, 同様な傾向がみられるが, 値そのものは, 腕の長さの方が標準偏差より大きな値を示すように思われる。

いずれにせよ, 各井の水質代表値を必要とする場合には, 中央値を用いる方が好ましいといえる。

表 3 地下水質の統計値 (I)

Table 3 Statistic values of groundwater quality (I)

		PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Inorg-N	D-COD	Cl	
霞ヶ浦 (Lake)	n=49	平均値	0.003	0.028	0.009	0.113	0.150	4.5	
		最大値	0.021	0.250	0.124	0.414	0.456	6.8	
		最小値	0.0	0.006	0.0	0.0	0.007	2.4	
		標準偏差	0.005	0.039	0.020	0.123	0.128	0.9	
		変動係数	1.493	1.378	2.292	1.089	0.854	0.2	
美 浦 (# 1)	n=53	平均値	0.032	0.228	0.003	0.157	0.387	1.4	102.2
		最大値	0.090	3.550	0.020	0.930	4.320	3.1	110.0
		最小値	0.003	0.020	0.0	0.0	0.020	0.5	84.0
		標準偏差	0.019	0.496	0.005	0.238	0.618	0.5	9.2
		変動係数	0.613	2.179	1.768	1.516	1.595	0.4	0.1
美 浦 (# 2)	n=38	平均値	0.049	0.206	0.006	0.128	0.340	2.0	95.9
		最大値	0.170	1.040	0.040	1.920	1.971	12.7	130.0
		最小値	0.001	0.040	0.0	0.0	0.070	1.0	72.0
		標準偏差	0.038	0.218	0.008	0.407	0.423	1.9	12.0
		変動係数	0.789	1.056	1.360	3.173	1.241	0.9	0.1
美 浦 (# 3)	n=38	平均値	0.190	1.897	0.007	0.000	1.904	2.7	152.5
		最大値	1.288	13.600	0.100	0.010	13.603	10.1	170.0
		最小値	0.004	0.090	0.0	0.0	0.100	1.1	129.0
		標準偏差	0.261	3.076	0.018	0.002	3.073	2.2	13.2
		変動係数	1.374	1.621	2.690	4.439	1.613	0.8	0.1
美 浦 (# 4)	n=53	平均値	0.064	0.105	0.007	0.377	0.489	4.1	35.6
		最大値	0.120	0.390	0.060	1.490	1.530	5.7	59.0
		最小値	0.030	0.0	0.0	0.0	0.070	2.6	20.0
		標準偏差	0.024	0.090	0.012	0.417	0.406	0.8	8.3
		変動係数	0.368	0.862	1.757	1.104	0.831	0.2	0.2
美 浦 (# 5)	n=53	平均値	0.031	0.035	0.001	3.201	3.238	0.7	14.8
		最大値	0.060	0.340	0.010	8.189	8.229	1.5	22.0
		最小値	0.009	0.0	0.0	0.810	0.830	0.2	10.0
		標準偏差	0.012	0.047	0.003	1.991	1.995	0.3	2.7
		変動係数	0.377	1.345	2.304	0.622	0.616	0.5	0.2
出 島 (# 6)	n=53	平均値	0.028	0.182	0.019	0.047	0.248	2.3	31.1
		最大値	0.060	0.490	0.100	0.378	0.590	4.2	44.0
		最小値	0.003	0.010	0.0	0.0	0.030	1.0	25.0
		標準偏差	0.015	0.112	0.023	0.087	0.102	0.8	4.0
		変動係数	0.541	0.615	1.172	1.854	0.412	0.3	0.1
玉 造 (# 7)	n=53	平均値	0.064	0.134	0.002	0.071	0.208	4.2	86.9
		最大値	0.150	0.400	0.040	0.500	0.730	5.5	100.0
		最小値	0.011	0.010	0.0	0.0	0.019	2.8	60.0
		標準偏差	0.036	0.109	0.007	0.102	0.123	0.8	12.2
		変動係数	0.565	0.810	2.693	1.439	0.591	0.2	0.1
麻 生 (# 8)	n=53	平均値	0.030	0.379	0.007	0.062	0.448	4.7	53.3
		最大値	0.050	0.600	0.070	0.760	0.990	6.0	73.0
		最小値	0.006	0.030	0.0	0.0	0.300	1.0	37.0
		標準偏差	0.014	0.126	0.011	0.162	0.124	0.8	7.6
		変動係数	0.465	0.332	1.584	2.599	0.276	0.2	0.1

霞ヶ浦沿岸地下水の水質特性

表 4 地下水質の統計値 (II)

Table 4 Statistic values of groundwater quality (II)

		PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Inorg-N	D-COD	Cl
霞ヶ浦 (Lake) n=49	下1/4値	0.0	0.011	0.0	0.005	0.033	3.9	
	中央値	0.002	0.017	0.003	0.061	0.115	4.4	
	上1/4値	0.003	0.026	0.005	0.178	0.240	5.2	
	腕の長さ	0.003	0.015	0.005	0.174	0.207	1.3	
美 浦 (# 1) n=53	下1/4値	0.020	0.041	0.0	0.0	0.130	1.0	99.8
	中央値	0.030	0.120	0.0	0.0	0.230	1.2	110.0
	上1/4値	0.040	0.190	0.005	0.277	0.448	1.7	110.0
	腕の長さ	0.020	0.149	0.005	0.277	0.318	0.7	10.3
美 浦 (# 2) n=38	下1/4値	0.020	0.100	0.0	0.0	0.120	1.3	87.0
	中央値	0.045	0.129	0.002	0.0	0.160	1.6	96.0
	上1/4値	0.060	0.190	0.010	0.0	0.350	1.9	100.0
	腕の長さ	0.040	0.090	0.010	0.0	0.230	0.6	13.0
美 浦 (# 3) n=38	下1/4値	0.040	0.190	0.0	0.0	0.190	1.5	138.0
	中央値	0.115	0.450	0.0	0.0	0.470	1.8	160.0
	上1/4値	0.200	2.648	0.003	0.0	2.648	2.4	160.0
	腕の長さ	0.160	2.458	0.003	0.0	2.458	0.8	22.0
美 浦 (# 4) n=53	下1/4値	0.043	0.030	0.0	0.089	0.197	3.5	30.8
	中央値	0.060	0.080	0.0	0.240	0.340	4.3	35.0
	上1/4値	0.072	0.150	0.010	0.442	0.660	4.7	40.0
	腕の長さ	0.030	0.120	0.010	0.353	0.462	1.2	9.3
美 浦 (# 5) n=53	下1/4値	0.020	0.020	0.0	1.708	1.735	0.4	13.0
	中央値	0.030	0.030	0.0	2.470	2.508	0.7	15.0
	上1/4値	0.040	0.032	0.0	4.299	4.345	0.9	16.0
	腕の長さ	0.020	0.012	0.0	2.592	2.609	0.5	3.0
出 島 (# 6) n=53	下1/4値	0.020	0.082	0.0	0.0	0.187	1.7	28.0
	中央値	0.030	0.190	0.010	0.0	0.230	2.2	30.0
	上1/4値	0.040	0.270	0.030	0.060	0.310	2.7	34.0
	腕の長さ	0.020	0.188	0.030	0.060	0.123	1.0	6.0
玉 造 (# 7) n=53	下1/4値	0.037	0.030	0.0	0.0	0.134	3.4	82.5
	中央値	0.060	0.120	0.0	0.020	0.190	4.2	90.0
	上1/4値	0.090	0.220	0.001	0.110	0.243	4.8	97.0
	腕の長さ	0.052	0.190	0.001	0.110	0.108	1.4	14.5
麻 生 (# 8) n=53	下1/4値	0.020	0.350	0.0	0.0	0.361	4.3	47.8
	中央値	0.030	0.400	0.002	0.0	0.420	4.7	54.0
	上1/4値	0.040	0.452	0.010	0.013	0.482	5.3	59.0
	腕の長さ	0.020	0.102	0.010	0.013	0.122	1.0	11.3

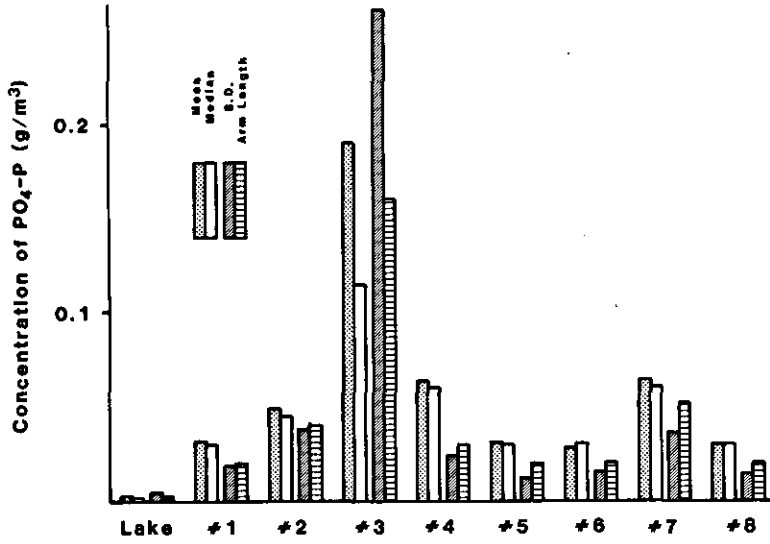


図 14 $PO_4\text{-P}$ についての統計値の比較

Fig.14 Comparison on statistic values of groundwater quality for $PO_4\text{-P}$

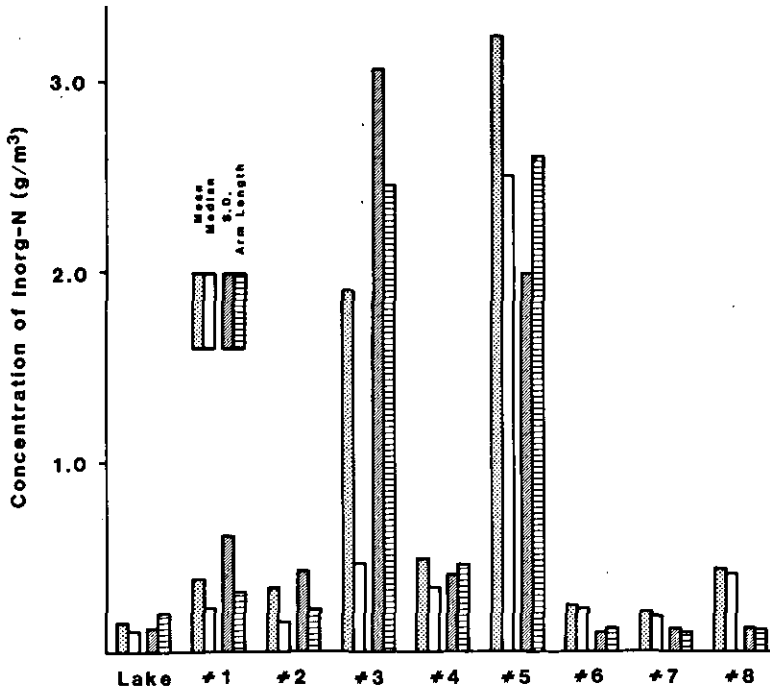


図 15 Inorg - N についての統計値の比較

Fig.15 Comparison of statistic values of groundwater quality for Inorg-N

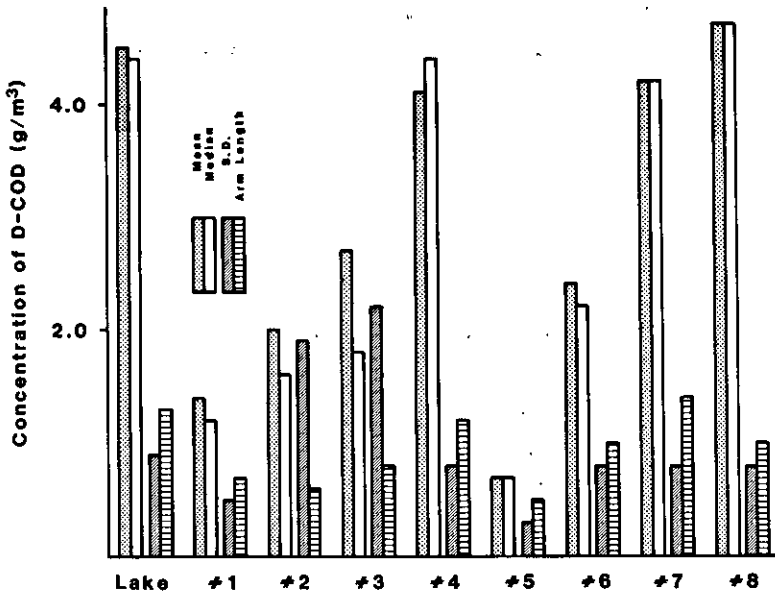


図 16 D - COD についての統計値の比較

Fig.16 Comparison on statistic values of groundwater quality for D-COD

4. 地下水による流入負荷

地下水による流入負荷 L は次式によって表される。つまり

$$L = Q \times C \times \alpha$$

ただし Q : 湖盆を通じて流入する地下水量

C : 地下水中の対象物質の濃度

α : 湖盆を通過する際の損失

となる。ここでは α を 1 と仮定し、 Q を村岡ら⁶⁾ による 3 か月ごとの推定値を採用し、 C には本研究により得られた観測値を Q に合わせて 3 か月の平均した値を使い、湖岸に最も近い 3 井（# 1、# 6 及び # 8）について単位時間・単位幅負荷量を求め、3 井の負荷量の単純平均に湖岸長 121 km を乗じて求めた。単位時間は前述のように 3 か月であり、その和から 1 年間の総負荷量を算出した。なお # 7 は、流入流出を繰り返しており流入負荷量の算出には不適当なため除外した。対象負荷としては、 $PO_4 - P$ 、 $Inorg - N$ 及び $D - COD$ を取り上げた。表 5 にその結果を示す。

表 5 地下水による霞ヶ浦への流入負荷量
Table 5 Pollutant load by groundwater to the Kasumigaura

		PO ₄ -P	Inorg-N	D-COD
1980年度	# 1	0.198 g/y/m	15.11 g/y/m	
	# 6	0.484 "	21.97 "	
	# 8	1.663 "	26.39 "	
	平均	0.782 "	21.16 "	
	ΣL	0.095 t/y	2.56 t/y	
1981年度	# 1	1.899 g/y/m	33.47 g/y/m	89.5 g/y/m
	# 6	2.421 "	16.31 "	203.6 "
	# 8	1.902 "	28.37 "	239.4 "
	平均	2.074 "	26.05 "	177.5 "
	ΣL	0.251 t/y	3.15 t/y	21.5 t/y
1982年度	# 1	2.155 g/y/m	14.18 g/y/m	80.8 g/y/m
	# 6	1.958 "	22.72 "	159.8 "
	# 8	0.951 "	15.28 "	185.0 "
	平均	1.688 "	17.39 "	141.9 "
	ΣL	0.204 t/y	2.10 t/y	17.2 t/y

海老瀬³⁾によれば、霞ヶ浦の河川による総流入負荷は、T - P 253 t/y、T - N 2,943 t/y及びT - COD 11,147 t/yである。地下水における流入負荷は、各項目ともTotalの形では示されていないが、前報によれば、その90%程度を占める。これより、リンについては0.09%、窒素については0.08%、CODについては0.17%程度が総流入負荷に占める地下水の直接流入による負荷量の割合といえる。

5. おわりに

霞ヶ浦沿岸の地下水が、水質の面で湖水にどのような影響を及ぼしているかを、沿岸4か所に配置した8本の観測井の調査により判断したものである。これをまとめると以下のとおりである。

- 1) 冬期に降水量が多い場合、PO₄-Pの濃度低下がみられることがある。
- 2) 観測井によってはPO₄-P、NH₄-N、D-CODについて異常なピークの出現が観測された。これは何らかの有機質汚濁が起きたと考えられる。
- 3) PO₄-P、NH₄-N、D-CODについては夏期に、NO₃-Nについては冬期に濃度のピ

ークをもつ季節変動を示す観測井が多い。

- 4) 以上のことから、霞ヶ浦沿岸帯の浅層地下水と、地表水の交換速度は、通常考えられているよりもはるかに速い場合があるのではないかと考えられる。
- 5) #7の観測井は、湖水への地下水の流入・流出を繰り返す位置にあり、Clの濃度変化はその様子をよく表しているように思える。
- 6) 地下水による、湖盆を通した流入負荷量は総負荷量に対してリンについては0.09%、窒素については0.08%、CODについては0.17%程度である。

謝 辞

本研究の必要性を説かれ、その調査方法、調査結果について適切な御指示、御討議を賜った水質土壌環境部合田健部長に厚く謝意を表します。

また、結果の解釈について適切な示唆を与えて下さった環境情報部廣崎昭太郎長、水質土壌環境部海老瀬潜一主任研究員、細見正明研究員、そして悪条件にも負けずに定期調査を敢行し、貴重なデータを提供していただいた全域調査グループの諸氏に厚く感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) 地下水ハンドブック編集委員会編(1979): 地下水ハンドブック, 建設産業調査会.
- 2) 合田 健(1977): 地下水影響研究を例とした分担研究のポイント. 国立公害研究所研究報告, 第1号, 144-145.
- 3) 海老瀬潜一(1984): 霞ヶ浦流入河川による総流入負荷量の評価. 国立公害研究所研究報告, 第50号, 41-58.
- 4) 細見正明・津野 洋・村岡浩爾・合田 健(1979): 美浦村モデル地域における地下水の水質分布特性と地下水流に関する調査研究. 国立公害研究所研究報告, 第6号, 65-77.
- 5) 村岡浩爾・細見正明(1981): 霞ヶ浦沿岸地下水の挙動と水質. 国立公害研究所研究報告, 第20号, 69-102.
- 6) 村岡浩爾・岩田 敏(1984): 霞ヶ浦沿岸地下水の水力挙動. 国立公害研究所研究報告, 第50号, 11-20.
- 7) 合田 健(1979): 霞ヶ浦全域調査データ. 国立公害研究所研究報告, 第6号, 335-375.
- 8) 国立公害研究所(1984): 陸水域の富栄養化に関する総合研究一霞ヶ浦全域調査資料. 国立公害研究所研究資料, 第25号, 123p.
- 9) 大崎順彦(1976): 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会.
- 10) 大槻 晃・相崎守弘・河合崇欣(1979): 栄養塩濃度の季節変化から見た霞ヶ浦の富栄養化現象の特徴. 国立公害研究所研究報告, 第6号, 95-103.

4. 霞ヶ浦流入河川による総流入負荷量の評価

Estimation of Total Pollutant Loading by All Influent Rivers into Lake Kasumigaura

海老瀬 潜一¹

Senichi EBISE¹

Abstract

Total pollutant loading for a year by all influent rivers into Lake Kasumigaura is estimated, as the sum of two components, that is, loading in dry weather day and loading in storm weather day. The loading in dry weather day is assessed as the sum of all influent river loadings based on the result of observation in a dry weather day. The loading in storm weather day is calculated by regression model of storm runoff loading, $\Sigma L_{net}/A = a \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^n$, with observation data (28 cases) of five influent rivers at storm runoff events. Using the storm events for a model year with average annual rainfall, 1300 mm, each effective rainfall ($\Sigma Q_{net}/A$) is calculated for all rainfall events beyond 11 mm with a constant rate of direct runoff. Consequently, total annual loading by all influent rivers into Lake Kasumigaura is estimated, such as, T-N 2,943 t/y, T-P 253 t/y and T-COD 11,150 t/y. Also, its dissolved matter loadings are D-N 2,175 t/y, D-P 56.7 t/y and D-COD 4,234 t/y. The ratios of storm runoff component to total loading are T-N 29%, T-P 51%, T-COD 53%, D-N 22% D-P 22% and D-COD 30%.

1. 緒言

河川を通じて霞ヶ浦（西浦）へ流入する負荷量の大きさとその変動特性の把握は、湖内の物質収支や物質循環の解析、あるいは、栄養塩動態モデルの入力として必須のものであるほか、根源的な富栄養化防止施策としての流入負荷量削減問題とも関連する重要な課題である。霞ヶ浦流域においても、湖岸部の農耕地から小さな排水路を通じてや浸透地下水として排出される残流域と称する一

1. 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番2
Water and Soil Environment Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

部の流域が存在するものの、流入河川水による負荷が流入負荷の中で最も大きなウェイトを占めることは明らかである。この流入河川による霞ヶ浦（西浦）への流入負荷量の算定を、著者らの行った各種の観測・調査結果をもとに実施し、その評価・検討をも併せて行うことにする。その算定方法は、晴天時流出分の負荷量と降雨時流出分の負荷量を併せて総流入負荷量とする方法であり¹⁾、晴天時流出負荷量調査と降雨時流出負荷量算定のための回帰モデルを基礎としている。

2. 霞ヶ浦流域の土地利用形態と流域特性

霞ヶ浦の流域面積は2,169km²と広く、茨城県全体の面積のほぼ3分の1を占めている。霞ヶ浦流域の大半は平坦な常総台地にあり、低地・台地・丘陵地の占めるウェイトが高く、山地は北西部の筑波山系にはほぼ限定できる。茨城県は、農業粗生産額が北海道に次いで2位であることから明らかに、農業の盛んな地域である。茨城県全体の農地の約半分が霞ヶ浦流域に存在するほか、常磐線の千葉県寄りの地域での宅地造成や学園都市建設に伴う市街地化の進行という目立った特徴の見られる地域である。これらのことから、霞ヶ浦流入河川の特徴は低平地河川であることと、農耕地及び市街地を流下する河川にはほぼ二分でき、河川負荷量に占める面源負荷のウェイトが高いことである。茨城県の調査²⁾によれば、西浦の水面部を除いた陸域（1391.84 km²）の土地利用形態別面積比率はハス田1.2%、水田28.5%、畑地（樹園地を含む）23.4%、林地（草地を含む）29.7%、市街地13.8%、水面・水辺地3.5%である。

また、茨城県は豚の飼育頭数が全国で1位にあり、かなりの頭数にのぼる牛も含めた畜産廃棄物が処理の不十分なまま、あるいは農地還元を経て河川に流出し、その河川負荷量への影響が大きい。このほか、かんがい期間には農業用水として地下水の水田へのくみ上げがあり、他流域から西浦流域への導水や西浦流域内での河川相互間の導水も存在する。

霞ヶ浦（西浦）への流入河川は、形態的に見て河川とされるものは26流であり、残りは流域面積で残流域として取り扱われる湖岸近くの排水路に限定できる。主なる河川の位置を図1に示す。各河川の流域面積は、調査の都度あるいは調査機関によって少しずつ異なるため、流域内をメッシュ化して各河川ごとの土地利用形態別面積をも示した茨城県²⁾の数値を引用し、主要な河川の流域特性あるいは流域負荷特性を記す。

西浦流域内で最大の流域面積（339.3 km²）かつ最長の河川長（54km）の桜川が最も規模の大きい河川で、流域面積が218.6 km²の恋瀬川、157.6 km²の小野川、152.5 km²の新利根川が続き、少し規模が小さくなって80.1 km²の園部川までの5河川を別にすると、残りは流域面積が40 km²以下の小河川ばかりである。これらのすべての河川流域では、その中で占めるウェイトの違いはあるもののいずれも農耕地を有しており、農耕地河川が多い中で市街地河川の性格が著しいのは、新川、山王川、備前川の3小河川で、花室川や境川も流域負荷特性から見て市街地河川の傾向が強い。しかし、花室川と新川では流域の一部に下水道が普及しているため、他の市街地河川とは河川負荷量への影響が異なる。例えば、下水道普及流域での生活雑排水のカットは、河川負荷量だけでなく河川

霞ヶ浦流入河川による総流入負荷量の評価

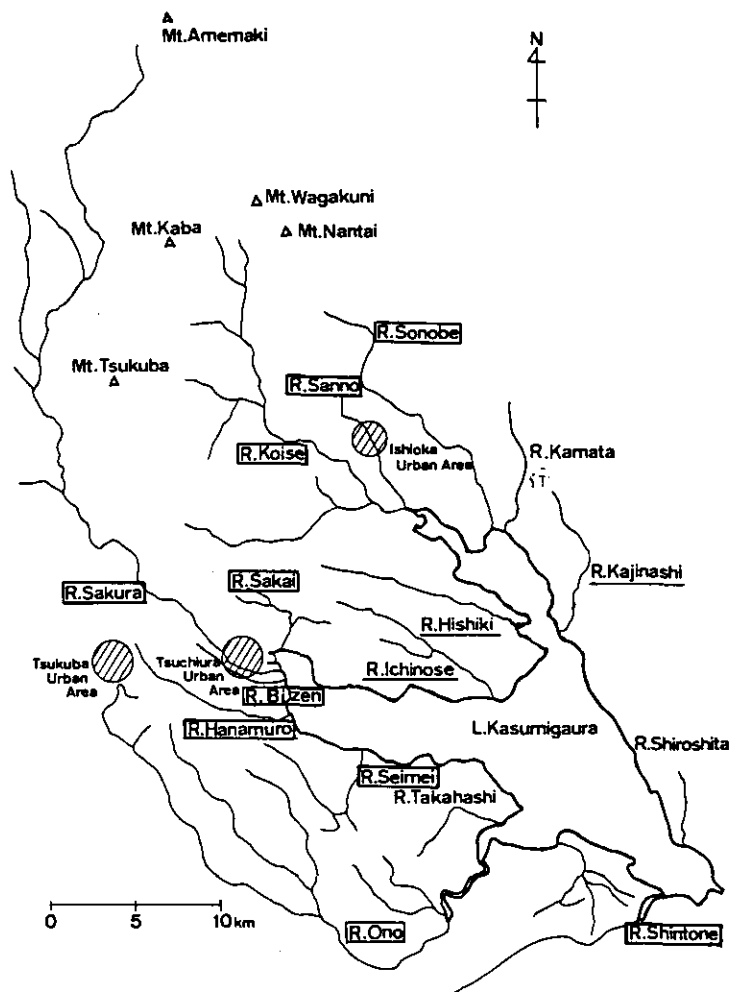


図 1 霞ヶ浦（西浦）流入河川
Fig. 1 Influent rivers into Lake Kasumigaura

流量の減少をももたらすことになる。

3. 河川流出負荷量調査

霞ヶ浦流入河川の流出負荷量調査は、負荷量の大きな主要河川の毎週1回定時の1年間あるいは2年間の負荷量調査、更に河川数を増やしての晴天時24時間負荷量調査、全流入河川の同日負荷量調査、及び、流域特性の異なる5小河川における降雨時流出負荷量調査などから成っている。毎週1回定時の負荷量調査は、図1の中で河川名を□で囲んだ高浜入への流入3河川（園部川・山王川・恋瀬川）での1978年6月～1980年5月の2年間の調査と、土浦入への流入河川を主とした7

河川(境川・桜川・備前川・花室川・清明川・小野川・新利根川)での1981年6月～1982年5月の1年間の調査である。この負荷量から見て主要な10河川と、これらと同様に重要な3河川(梶無川・菱木川・一ノ瀬川—図1中で河川名に下線を付してある)については、晴天時24時間負荷量調査を実施した。全流入河川の同日負荷量調査は、1982年8月10日に24河川(残りの2河川は流量が0であった)に対して行った。この調査は、これまで全流入河川を対象とした同時一斉の負荷量調査が実施されていないため、その調査に代わるものとして重要な意味をもつ。このほか降雨時流出負荷量調査を市街地河川として山王川と備前川、山地河川と農耕地河川として恋瀬川支流の川又川の三つの派川の五つの地点を選んで実施した。この降雨時流出負荷量調査は、晴天時流出負荷量調査のみによる期間流出負荷量の算定ではかなりの過小評価になるため、晴天時流出分と降雨時流出分を期間流出負荷量算定の中で同等の取り扱いをするために必要な調査である。

なお、測定水質項目とその分析法は表1に示すとおりである。

表 1 測定水質項目と分析方法
Table 1 Water quality indicators and their analytical method

Item	Method
Flow	propeller-typed current meter
NH ₄ ⁺ -N	phenol-hypochlorite method
NO ₂ ⁻ -N	N-1-Naphthylethylenediamine-sulfanilamide method
NO ₃ ⁻ -N	reduction with hydrazine sulfate and phenoldisulfate acid method
T-N, D-N	nitrification by oxidation with potassiumperoxodisulfate and method for NO ₃ ⁻ -N
PO ₄ ³⁻ -P	molybdate-blue method
T-P, D-P	decomposition to PO ₄ ³⁻ -P with potassiumperoxodisulfate and method for PO ₄ ³⁻ -P
DIP	decomposition with sulfuric acid and method for PO ₄ ³⁻ -P
Cl ⁻	mercuric thiocyanate method
T-COD, D-COD	alkali-potassiumpermanganate method
SS	glassfiber filter method
Inorg-N	NH ₄ ⁺ -N + NO ₂ ⁻ -N + NO ₃ ⁻ -N
Org-N	T-N - Inorg-N
Org-P	T-P - DIP
P-COD	T-COD - D-COD
P-N	T-N - D-N
P-P	T-P - D-P

4. 定時負荷量観測結果

1981年6月～1982年5月の毎週1回定時の1年間52回の負荷量観測による7河川の平均負荷量を表1に示す。表2の下段には、観測年は1979年6月～1980年5月と観測年は異なるもの

表 2 定時負荷量観測結果
Table 2 Pollutant loading with weekly obserbasion data

河川名	流域面積 (km ²)	流 量 (m ³ /s)	負 荷 量 (g/s)										
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	Inorg-N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	D-COD	T-COD	Cl ⁻	SS
境 川	17.6	0.24	0.36	0.05	0.23	0.64	0.95	0.069	0.153	1.64	2.75	7.0	10.3
桜 川	330.0	3.21	1.05	0.24	4.95	6.23	9.78	0.129	0.396	11.06	13.92	65.2	72.3
備 前 川	6.5	0.09	0.30	0.03	0.05	0.38	0.48	0.054	0.099	1.00	1.42	3.7	2.6
花 室 川	34.4	0.79	0.35	0.13	2.01	2.48	4.06	0.141	0.228	3.74	4.79	25.0	9.7
清 明 川	24.5	0.36	0.37	0.07	0.46	0.90	1.31	0.054	0.110	2.59	3.06	10.6	4.4
小 野 川	120.6	1.25	0.26	0.12	2.60	2.98	4.71	0.061	0.145	4.58	5.87	34.6	12.7
新利根川	34.0	2.52	0.84	0.23	1.25	2.32	5.08	0.125	0.466	17.18	23.09	84.8	64.7
園 部 川	72.8	1.65	3.14	0.97	4.29	8.40	10.48	0.330	0.640	—	13.00	35.0	40.0
山 王 川	12.4	0.47	0.43	0.14	0.60	1.17	1.79	0.150	0.290	—	4.00	12.0	12.0
恋 瀬 川	151.0	2.38	1.03	0.13	4.19	5.33	6.84	0.220	0.590	—	12.00	32.0	69.0
合 計	803.8	12.96	8.12	2.11	20.62	30.83	45.48	1.333	3.117	—	83.90	309.9	297.7

同様の調査を実施した高浜入への3流入河川についても、平年並の降雨量のあった上記の後半の1年間52回の平均負荷量を加えて示してある。また、上記10河川の流量及び負荷量の合計も併せて示してある。

表2の頻度の高い負荷量観測値は、平均負荷量としての意味を有するほか、一部に降雨時流出の影響のある観測値を含む精度の高い平常時流出分の負荷量として考えることができる。この定時負荷量観測値には、上述のように一部降雨時流出の影響を捕えてはいるものの、必ずしも短時間に高負荷量を呈するピーク時近くを観測値とは言えず、その降雨時流出の負荷量をそのウェイト分だけ十分カバーできているとは考えられない。降雨時流出の頻度やその影響期間に対する観測頻度を考慮すると、1週間に1度では十分な観測頻度とは言えない。このことは、各河川で実測された年間総流出流量や水文学的に推定される年間総流出流量と、上記の負荷量観測された流量の平均値を比較して、後者がかかなり小さいことから支持される。さらに、湖の水収支から逆算した流入水量の推定値からもチェックすることができる。

これら10河川の流域面積の合計は803.8km²で、西浦流域の陸域部だけの面積1391.8km²の約57.7%であるが、全流入河川に対して流量が57%、負荷量では52%のT-CODを除いて69~101%に達するほどである。これは、後述の全流入河川同日負荷量調査の結果から明らかとなる。この10河川のうち小野川と新利根川を除いた河川は、湖への流入端近くでの観測結果であるが、小野川は、竜ヶ崎のし尿処理場放流水の流入する直前までの流域であり、その下流部（下流に流入する支流を含む）からの流出負荷量を含んでいない。また、新利根川は、本流の上流部下流端での観測結果であり、竜ヶ崎の市街地排水を含む江川・大正掘川・破竹川などの支流からの流出負荷量を含まない結果である。さらに、恋瀬川は湖への流入直前に合流する支流の天の川からの流出負荷量を含まない結果である。

この10河川の負荷量合計値は、その流量合計値が霞ヶ浦への総流入流量に占めるウェイト以上に、霞ヶ浦への総流入負荷量に占めるウェイトが高い。これは、後述の晴天時24時間負荷量調査や全流入河川同日負荷量調査の結果からも明らかとなるが、COD、P及びNの汚濁負荷が集中的に排出される市街地河川のほとんど、流域規模の大きな河川はすべて含んでいるためである。したがって、CODとP、更にCl⁻の負荷量の大きさとその湖への総流入負荷量に占めるウェイトの大きさが特に目立ったものとなっている。

5. 晴天時24時間負荷量調査

前節の定時負荷量調査は、1日のうちの1時点における負荷量調査であり、日平均負荷量に近い値となっているかのチェックが必要である。また、流入河川の流量や負荷量の日周変化の実態をも把握しておかねばならない。一般に、市街地河川では、昼間におよそ二つの負荷量ピークが出現し、夜明け前に最小の負荷量となる変化パターンを呈することが多い。晴天時24時間負荷量調査は、前節の定時負荷量調査の10河川について同一の観測地点で、さらにこの10河川に次いで重要な3河川

として、梶無川・菱木川・一ノ瀬川を選び、その湖への流入端付近の観測地点で実施した。追加した3河川はいずれも20~35 km²の範囲の流域面積で、梶無川と菱木川は高浜入湾口に東西両端から流入する河川で、一ノ瀬川は出島台地の農耕地を流下する河川である。これらの13河川を3河川ずつ1グループで、残りの1河川は単独で調査を実施した。このうち、山王川は単独調査を含めて7回の晴天時流出負荷量調査を行っている。恋瀬川と園部川の調査は津野ら³⁾によって行われたものである。

この晴天時24時間負荷量調査は、1時間間隔で採水と流量測定を25回行う正味24時間の負荷量観測である。この観測結果を、観測年月とともに表3に示す。表3には、参考のために流域面積を示すとともに、13河川の合計流量と合計負荷量が示してある。山王川については最近の4回の調査の平均値を用いた。これを、前節の定時負荷量観測値の表2と比べると、13河川と流域面積が増加したにもかかわらず合計流量は少なくなっているほか、合計負荷量でもT-NとT-Pで表2の10河川の場合より少なくなっている。流量の少ない理由は、晴天時24時間負荷量調査が、2月、3月、8月と流量の少ない時期だったことによる。表3のうち、表2の10河川分の小計の負荷量では、表2の値よりT-NとT-Pはむしろ少ないが、T-CODとCl⁻では同程度の値になっている。特に、非かんがい期に調査を行った河川、新利根川の流量と負荷量の小ささの影響が大きかった。

6. 全流入河川同日負荷量調査

1982年8月10日に1日かけて、各河川を順次測定(採水と流量測定)して回るやり方で、西浦への全流入河川の同日負荷量調査を実施した。26流入河川のうち、余郷入干拓承水路はかんがい用水の循環使用のため調査当日は湖への流量は0であった。また、出島台地の田村川(流域面積6.7km²)は河川としての水路部分が短く、流量も小さかったため、湖に直接排出される残流域と同様と見なし、測定を行わなかった。そのため、調査対象河川は24河川となった。

同日負荷量調査の観測地点は、前節の晴天時24時間負荷量調査と同一地点とし、新たに加えた調査河川はいずれも湖への流入端近くで調査を実施した。前々節の主要10河川調査で必ずしも湖への流入端近くで調査を行わなかった3河川は、それぞれ大きな支流をすべて加えて湖への流入負荷量とした。すなわち、恋瀬川は恋瀬川本流と天の川、小野川は小野川本流と沼里川、新利根川は新利根川本流と江川・大正堀川・破竹川、のそれぞれ合計流量及び合計負荷量として算出した。その結果を表4に、24河川の合計流量・合計負荷量とともに示す。

8月10日は、8月1~2日の33mm、8月3日の43mmの降雨の後であったが、その後は晴天が継続し、一部地域には雷雨のある天候であった。この表4では、桜川及び小野川は前と同様にし尿処理場放流水の影響の入らない結果であり、園部川ではし尿処理場放流水の入った結果となっている。24河川の流域面積合計が1224.8km²で、西浦流域の湖を除いた陸域の88%のウェイトを占め、残りの12%は湖の沿岸部に位置する主として農耕地で、その流域からの負荷を湖へ直接排出する残流域(流域面積167.1km²)である。したがって、この24河川で、河川の形態をなしたものはほと

表 3 晴天時24時間負荷量調査結果

Table 3 Pollutant loading with 24 hours observation data in dry weather day

河川名	流域面積 (km ²)	調査年月	流量 (m ³ /s)	負荷量 (g/s)										
				NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	Inorg-N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	D-COD	T-COD	Cl ⁻	SS
梶無川	31.2	'82, Mar.	0.40	0.06	0.02	0.67	0.75	1.11	0.014	0.067	0.98	1.53	11.8	14.3
園部川	72.8	'77 Aug.	1.12	3.04	0.36	1.05	4.46	4.51	0.549	0.627	—	20.60	22.0	—
山王川	12.4	'79~'80, 4回	0.50	0.47	0.11	0.62	1.19	1.77	0.236	0.351	2.63	3.77	13.0	7.8
恋瀬川	151.0	'77, Aug.	2.67	1.55	0.11	1.10	2.76	3.51	0.214	0.347	—	29.40	29.9	—
菱木川	23.1	'82, Mar.	0.24	0.05	0.02	0.54	0.61	0.87	0.020	0.052	0.80	1.11	4.1	3.7
一ノ瀬川	28.0	'82, Mar.	0.24	0.09	0.02	0.55	0.66	0.94	0.009	0.036	0.85	1.22	7.6	2.5
境川	17.6	'81, Aug.	0.30	0.26	0.12	0.31	0.69	1.06	0.083	0.167	1.20	1.86	9.5	5.3
桜川	330.0	'82, Feb.	1.77	2.36	0.10	2.78	5.24	5.66	0.073	0.244	5.15	7.70	137.0	32.9
備前川	6.5	'81, Aug.	0.08	0.24	0.01	0.06	0.32	0.36	0.069	0.091	0.68	0.98	3.7	0.8
花室川	34.4	'81, Aug.	0.92	0.07	0.14	1.18	1.38	3.07	0.216	0.326	5.38	7.38	35.0	12.0
清明川	24.5	'81, Feb.	0.46	1.24	0.10	0.57	1.90	2.18	0.080	0.182	2.56	3.49	13.8	7.3
小野川	120.6	'81, Aug.	0.83	0.05	0.03	0.47	0.54	1.17	0.035	0.094	3.68	5.65	19.9	14.8
新利根川	34.0	'82, Feb.	0.61	0.57	0.06	0.89	1.52	2.96	0.064	0.181	4.67	5.76	46.1	7.8
合計	886.1	—	10.14	10.05	1.20	10.79	22.02	29.17	1.662	2.765	—	90.45	353.4	—

表 4 全流入河川同日負荷量調査結果

Table 4 Pollutant loading with all influent rivers observation data

河川名	流域面積 (km ²)	流量 (m ³ /s)	負 荷 量 (g/s)								
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	Inorg-N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	D-COD	T-COD
麻生前川	4.0	0.03	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.002	0.009	0.22	0.31
城下川	7.6	0.09	0.000	0.003	0.010	0.013	0.147	0.004	0.028	0.63	1.33
大川	5.2	0.02	0.000	0.002	0.113	0.116	0.174	0.002	0.003	0.09	0.13
船子川	11.8	0.03	0.000	0.001	0.092	0.093	0.154	0.002	0.008	0.16	0.33
新田川	2.7	0.02	0.000	0.000	0.029	0.030	0.099	0.000	0.001	0.11	0.11
船津排水路	1.9	0.00	0.000	0.000	0.002	0.002	0.005	0.000	0.000	0.01	0.01
手賀川	5.2	0.01	0.001	0.001	0.011	0.013	0.023	0.001	0.002	0.05	0.06
梶無川	31.2	0.64	0.029	0.105	1.105	1.238	1.744	0.050	0.135	3.05	3.70
鎌田川	18.7	0.14	0.008	0.022	0.373	0.403	0.559	0.010	0.021	0.65	1.03
園部川	80.1	1.24	0.257	1.014	5.027	6.300	8.847	0.089	0.143	4.84	7.56
山王川	13.7	0.57	0.003	0.184	0.349	0.536	1.132	0.105	0.200	3.24	5.08
恋瀬川	218.6	3.59	0.097	0.233	8.505	8.835	12.393	0.195	0.404	10.03	21.81
菱木川	23.1	0.41	0.011	0.021	0.878	0.910	1.375	0.017	0.048	1.61	2.35
一ノ瀬川	28.0	0.29	0.014	0.019	0.368	0.391	0.585	0.009	0.021	1.25	1.68
川尻川	8.6	0.07	0.019	0.042	0.197	0.257	0.391	0.009	0.018	0.51	0.57
境川	21.0	0.50	0.094	0.187	0.582	0.863	2.387	0.101	0.213	2.53	3.94
新川	8.4	0.10	0.066	0.023	0.044	0.134	0.458	0.012	0.034	0.88	1.08
桜川	339.3	5.15	0.108	0.314	7.678	8.101	11.774	0.227	0.474	19.48	25.15
備前川	7.3	0.16	0.077	0.000	0.000	0.077	0.596	0.079	0.126	1.13	2.05
花室川	37.5	1.67	0.052	0.336	3.871	4.259	6.001	0.089	0.177	5.34	6.51
清明川	25.9	0.54	0.017	0.100	0.700	0.817	1.099	0.045	0.095	2.42	4.20
高橋川	14.9	0.28	0.013	0.061	0.776	0.850	1.368	0.021	0.034	1.32	1.44
小野川	157.6	1.27	0.023	0.084	2.244	2.350	3.261	0.060	0.120	4.59	6.05
新利根川	152.5	5.87	0.321	0.450	4.098	4.870	11.829	0.191	1.644	30.69	65.70
合 計	1,224.8	22.68	1.210	3.202	37.052	41.458	66.435	1.320	3.958	94.83	162.18

霞ヶ浦流入河川による総流入負荷量の評価

んどカバーされていると考える。この全流入河川同日負荷量調査は1回の調査結果であるが、そのうちの主要10河川は毎週1回の定時負荷量調査、この10河川に3河川を加えた13河川には晴天時24時間負荷量調査のデータが存在する。しかも、主要10河川及び上記13河川で占める負荷量のウェイトは非常に大きく、流域面積の合計ではそれぞれ86%及び93%弱であるが流量や負荷量の合計ではそれぞれ89~92%及び95~97%と更にウェイトが増す。

この全流入河川同日負荷量調査の負荷量及び流量の合計値を1年間当たりの量として表示すると、T-Nは2,095t/y、T-Pは125t/y、T-CODは5,085t/y、流量は $715 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ となる。この調査時の河川の流量で、他の調査も行っている13河川の流量については、表1や表2の平均値あるいはその原データと比べて、特に大きな値や小さな値はなく、表1の平常時のデータの範囲に入るものである。さらに、この24河川同日負荷量調査の総流量は、建設省の7河川での1年間の観測結果をもとに茨城県⁴⁾や村岡⁵⁾が算定した湖への流入河川による年間総流入流量の平年並みの降水量の場合の値 $870 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ や $858 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ と比べてかなり小さい。その差は、24河川を除いた残流域の推定流量で補正できるような量をはるかに超えている。その差は、ある程度以上の降雨量の降雨による負荷量の降雨時流出分に帰する量であると考えられる。

また、湖に流入する栄養塩で植物プランクトンがすぐ利用可能な溶存態成分についての年間総流入負荷量への換算値は、D-Nで1,702t、D-Pで44.3t及びD-CODで2,967tであった。

これら全流入河川同日負荷量調査をもとにして換算した年間総流入負荷量値は、先述の主要10河川の定時負荷量観測結果や主要13河川の晴天時24時間負荷量観測結果と比較して、妥当な範囲に入るものである。したがって、後述の晴天時流出分と降雨時流出分を併せた総流入負荷量の算定においては、全流入河川同日負荷量調査による年間総流入負荷量への換算値を晴天時流出分の年間総流入負荷量として用いることにする。

7. 降雨時流出分負荷量の算定

前節の同日負荷量観測結果からも明らかとなったように、晴天時流出分の負荷量のみから年間流出負荷量を換算するとかなりの過小評価となる。また、降雨時流出負荷量の期間流出負荷量に占めるウェイトの大きさは、著者⁶⁾や市川ら⁷⁾によって明らかとなっている。したがって、降雨時流出分の負荷量の算定を、著者の回帰モデルによって行うことにする。¹⁰⁾まず、流域内の降雨の実態を明らかにした後、降雨時流出負荷量算定のための回帰式モデルを略述して、ある平均的な1年間の降雨時流出分の負荷量を算定する。

(1) 降雨の分類

高浜入への3流入河川の毎週1回定時の負荷量観測を実施した1978年6月から最近の1983年5月までの5年間の1年ごとの降雨の内訳を明らかにする。西浦流域内には水戸地方気象台の降雨観測所が美野里・柿岡・筑波山・土浦・江戸崎・龍ヶ崎の6か所と館野高層気象台1か所の合計7か

所存在する。降雨時流出負荷量算定には「ひと雨降雨」という一連続降雨を用いるため、7か所のうちで代表地点として柿岡の観測記録⁸⁾を用いる。柿岡は恋瀬川の流域にある。

一連の降雨としての分離が難しい前線性の長雨の場合もあったが、8時間以上降雨量0が継続すれば別個の降雨として数えることにすれば、表5のような分類ができる。この5年間の平均降雨量は1,275mmであり、1年間に平均85回、ほぼ4日に1度、平均15mmの降雨があったことになる。全降雨回数のうちおよそ40%は5mm以下の降雨に占められるが、その降雨量でのウェイトは6%に過ぎない。この5mm以下の降雨はよほど降雨強度が大きいのか、先行晴天期間が短いものでなければ、農耕地や林地・草地からの直接流出は生じない。また、流量や流出負荷量に大きな影響を及ぼすことの多い21mm以上の降雨は、1年間に21回程度とその頻度こそ大きくないが、降雨量では66%と大きなウェイトを占める。30mmを超える降雨は平均して1か月に1回、40mmを超える豪雨はほぼ2か月に1回の頻度で出現している。この5年間のひと雨降雨のうちで大きかったものを

表 5 降雨の分類
Table 5 Classification of annual rain events

期 間	降 雨 量 範 囲	40 mm 以上	31~40 mm	21~30 mm	16~20 mm	11~15 mm	6~10 mm	1~5	全降雨 以上
1978年6月	降 雨 回 数(回)	4	6	7	7	5	17	30	76
	合 計 降 雨 量(mm)	325	199	169	123	61	134	81	1,092
1979年5月	降 雨 量 比 率(%)	30	18	15	11	6	12	7	100
1979年6月	降 雨 回 数(回)	7	5	11	7	12	14	37	93
	合 計 降 雨 量(mm)	416	163	272	128	158	112	83	1,332
1980年5月	降 雨 量 比 率(%)	31	12	21	10	12	8	6	100
1980年6月	降 雨 回 数(回)	6	5	8	11	12	15	33	90
	合 計 降 雨 量(mm)	371	180	199	200	156	118	60	1,279
1981年5月	降 雨 量 比 率(%)	29	14	16	15	12	9	5	100
1981年6月	降 雨 回 数(回)	6	3	7	7	7	13	40	83
	合 計 降 雨 量(mm)	478	105	167	128	87	97	89	1,151
1982年5月	降 雨 量 比 率(%)	42	9	14	11	8	8	8	100
1982年6月	降 雨 回 数(回)	9	8	11	5	7	14	29	83
	合 計 降 雨 量(mm)	611	282	271	88	94	108	66	1,520
1983年5月	降 雨 量 比 率(%)	40	19	18	6	6	7	4	100
1978年6月	降 雨 回 数(回)	32	27	44	37	43	73	169	425
	合 計 降 雨 量(mm)	2,201	937	1,078	667	556	564	379	6,374
1983年5月	降 雨 量 比 率(%)	34	15	17	10	9	9	6	100

(水戸地方気象台 柿岡観測地点)

列挙すると、195mm, 161mm, 137mm, 105mm, 102mmと100mmを超える降雨が5回、100mm以下で60mmを超える降雨が10回、60mm以下で50mmを超える降雨が7回となっている。

この降雨は霞ヶ浦流域で大きなウェイトを占める面源負荷排出の driving force として働くため、湖への年間流入負荷量の降雨時流出分補正が必要である。また、降雨自体の季節分布パターンは湖への流入負荷量の季節変化特性を左右する重要な因子であり、長期間だけでなく短期間の流入負荷量変化に大きな影響を与えられらる。

(2) 回帰モデルと降雨時流出分負荷量の算定

晴天時流出分の負荷量に降雨時流出分の負荷量を加えて総流出負荷量を算定するため、著者の降雨時流出分負荷量算定のための回帰モデルを用いる^{9, 10)}。晴天時流出分の負荷量としては、全流入河川同日負荷量調査による合計負荷量を用いることにする。降雨時流出分負荷量算定の回帰モデルは大別して四つのモデルがあるが、ここでは、晴天時流出分の負荷量を差し引いて降雨時流出分の負荷量だけを算定する第2モデル $(\sum L_{net}/A = a \cdot (\sum Q_{net}/A)^n)$ を用いる。ここで、 $\sum L_{net}$ と $\sum Q_{net}$ はそれぞれ降雨時流出分の総負荷量と総流量であり、 A は流域面積、 a は係数、 n は指数である。したがって、降雨時流出分の観測時間が降雨の直接流出期間に当たれば、降雨時流出分の総流量 $\sum Q_{net}$ を流域面積 A で除した $\sum L_{net}/A$ は有効雨量となる。著者らの降雨時流出分負荷量調査はこの条件にほぼ満たすため、有効雨量から降雨時流出分の負荷量算定ができる。表6に、霞ヶ浦流入河川の山王川、備前川、恋瀬川支流の川又川の2支川及び小桜川の5河川10地点で観測された25観測値について求められた回帰式を示した⁹⁾。対象降雨としては、7~195mmの降雨範囲をカバーしている。

1年間の降雨量として、表5の最近5年間の年平均降水量1,275mmに最も近い1980年6月から1981年5月の1,279mmを選び、その「ひと雨降雨」の構成も1980年6月から1981年5月までと同じであるとする。したがって、大きな降雨量の例は、84mm, 63mm 2回, 62mm, 53mm, 46mmが40mm以上の降雨である。この40mm以上の降雨の年間降雨量に占めるウェイトが5年間の

表 6 降雨時流出分負荷量算定に用いた回帰モデル式
Table 6 Regression model for estimation of storm runoff loading

水質項目	回 帰 式
	$\sum L_{net}/A = a \cdot (\sum Q_{net}/A)^n$
T-N	$\sum L_{net}/A = 0.00436 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.962}$
D-N	$\sum L_{net}/A = 0.00181 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.956}$
T-P	$\sum L_{net}/A = 0.001386 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.876}$
D-P	$\sum L_{net}/A = 0.000416 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.746}$
T-COD	$\sum L_{net}/A = 0.01551 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.042}$
D-COD	$\sum L_{net}/A = 0.1071 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.639}$

平均値より少し小さく、16~20mm及び11~15mmの範囲内の降雨の降雨量のウェイトが若干大きいのがこのモデル期間の降雨構成の特徴である。この降雨構成のひと雨降雨ごとに有効雨量の推定が必要である。一般に、ひと雨降雨の降雨量が大きいほど、また、先行降雨が大きく、先行晴天期間が短いほど有効雨量は大きくなる傾向がある。しかし、簡単のため、有効雨量したがって、直接流出の流出率がどの降雨の場合も一定の仮定を置くことにし、直接流出による流出率を次の6段階の場合を想定して算定を進めることにする。

直接流出による流出率は、茨城県⁴⁾のように年間降水量(1400mm)から年間蒸発量(650mm)を差し引いた量が河川流出量(750mm)であり、さらにこの値から基底流出量(ほぼ1mm/dで365mm)を減じた量が直接流出量(385mm)として、27.5%の値がある。同様の考え方をとれば、年間降水量が1300mmでは21.9%、1250mmでは18.8%、1200mmでは15.4%となる。したがって、この年間1279mmの場合は20.6%となるが、実際の小河川での観測結果は、当然のことながら市街地河川で30%前後と大きく、山地河川では15%前後と小さいことが多い。これらのことを考慮して、直接流出による流出率は27.5%、25%、22.5%、20%、17.5%、15%の6段階の場合を想定することにした。

また、63mmの2回の降雨と62mmの降雨はまとめて平均62.7mmの降雨が3回のように、降雨量の小さな16~20mm及び11~15mmの降雨はそれぞれまとめて平均降雨量の降雨で代表して、降雨のグループ化によって計算を簡単にした。しかし、大きな降雨量の降雨で、2~3mmの範囲内に別の降雨がなければ、それぞれ単独で回帰式による算定値を求めた。ここでは、10mm以下の降雨は、降雨量自体が小さいこと、たとえ降雨強度が大きくても平均的な有効雨量は3mm未満となり、降雨流出負荷量としての影響は小さく、晴天時流出負荷量の変動範囲に入る程度であるとして、降雨時流出分の負荷量補正を行わなかった。したがって、21mm以上の降雨を補正した場合、16mm以上の降雨を補正した場合及び11mm以上の降雨を補正した場合の三つのケースについて算定し、11~15mmと16~20mmの降雨グループの降雨時流出分の負荷量への寄与を表7~表9のように検討した。

解析対象とした1980年6月から1981年5月までの1年間での11~15mm及び16~20mmの範囲の降雨回数も多いため、両者の降雨範囲内の降雨とも、11mm以上の降雨を補正した場合の降雨時流出負荷量の10%前後のウェイトを占めている。それゆえ、11mm以上の降雨は補正する方がよいと考えられる。

また、降雨時流出分の負荷量の補正は、懸濁態成分を主とした補正量が多いことは言うまでもないが、溶存態成分の補正量も決して無視し得ないことが表7~表9から明らかとなった。D-Pの補正量は比較的少ないけれども、D-CODではかなり大きな補正量となり、D-Nは両者の中間程度の補正比率となっている。

わずかではあるが小降雨量の降雨の補正を無視したことを考慮して、直接流出による流出率が例えば20%であった場合には、霞ヶ浦の陸域からの年間総流入負荷量はT-Nで約2,940t、T-Pで

表 7 (a) T - Nの総流入負荷量
Table 7(a) Total influent loading of T-N

晴天時流出分		2,095 t / y					
直接流出率		0.275	0.25	0.225	0.20	0.175	0.15
降雨時流出分	21 mm以上の降雨	836	762	689	615	542	466
	16 mm以上の降雨	985	899	811	724	639	548
	11 mm以上の降雨	1,154	1,054	948	848	749	644
総流出負荷量	21 mm以上の降雨	2,931	2,857	2,784	2,710	2,637	2,561
	16 mm以上の降雨	3,080	2,994	2,906	2,819	2,734	2,643
	11 mm以上の降雨	3,249	3,149	3,043	2,943	2,844	2,739

表 7 (b) D - Nの総流入負荷量
Table 7(b) Total influent loading of D-N

晴天時流出分		1,702 t / y					
直接流出率		0.275	0.25	0.225	0.20	0.175	0.15
降雨時流出分	21 mm以上の降雨	459	420	380	341	301	260
	16 mm以上の降雨	542	497	449	403	356	306
	11 mm以上の降雨	638	585	527	473	419	361
総流出負荷量	21 mm以上の降雨	2,161	2,122	2,082	2,043	2,003	1,962
	16 mm以上の降雨	2,244	2,199	2,151	2,105	2,058	2,008
	11 mm以上の降雨	2,340	2,287	2,229	2,175	2,121	2,063

表 8(a) T - Pの総流入負荷量
Table 8(a) Total influent loading of T-P

晴天時流出分		125 t / y					
直接流出率		0.275	0.25	0.225	0.20	0.175	0.15
降雨時流出分	21 mm以上の降雨	119	110	100	90	80	70
	16 mm以上の降雨	142	131	119	108	96	83
	11 mm以上の降雨	169	155	141	128	114	99
総流出負荷量	21 mm以上の降雨	244	235	225	215	205	195
	16 mm以上の降雨	267	256	244	233	221	208
	11 mm以上の降雨	294	280	266	253	239	224

表 8(b) D - Pの総流入負荷量
Table 8(b) Total influent loading of D-P

晴天時流出分		44.3 t / y					
直接流出率		0.275	0.25	0.225	0.20	0.175	0.15
降雨時流出分	21 mm以上の降雨	10.7	10.0	9.2	8.4	7.6	6.8
	16 mm以上の降雨	13.0	12.1	11.2	10.2	9.3	8.2
	11 mm以上の降雨	15.7	14.7	13.5	12.4	11.3	10.0
総流出負荷量	21 mm以上の降雨	55.0	54.3	53.5	52.7	51.9	51.1
	16 mm以上の降雨	57.3	56.4	55.5	54.5	53.6	52.5
	11 mm以上の降雨	60.0	59.0	57.8	56.7	55.6	54.3

表 9 (a) T-CODの総流入負荷量
Table 9(a) Total influent loading of T-COD

晴天時流出分		5,080 t / y					
直接流出率		0.275	0.25	0.225	0.20	0.175	0.15
降雨時流出分	21 mm以上の降雨	6,259	5,672	5,083	4,493	3,916	3,329
	16 mm以上の降雨	7,301	6,623	5,922	5,242	4,577	3,879
	11 mm以上の降雨	8,458	7,680	6,846	6,067	5,302	4,506
総流出負荷量	21 mm以上の降雨	11,339	10,752	10,163	9,573	8,996	8,409
	16 mm以上の降雨	12,381	11,703	11,002	10,322	9,657	8,959
	11 mm以上の降雨	13,538	12,760	11,926	11,147	10,382	9,586

表 9 (b) D-CODの総流入負荷量
Table 9(b) Total influent loading of D-COD

晴天時流出分		2,967 t / y					
直接流出率		0.275	0.25	0.225	0.20	0.175	0.15
降雨時流出分	21 mm以上の降雨	1,023	962	900	835	767	694
	16 mm以上の降雨	1,259	1,185	1,107	1,028	946	854
	11 mm以上の降雨	1,554	1,465	1,364	1,267	1,167	1,056
総流出負荷量	21 mm以上の降雨	3,990	3,929	3,867	3,802	3,734	3,661
	16 mm以上の降雨	4,226	4,152	4,074	3,995	3,913	3,821
	11 mm以上の降雨	4,521	4,432	4,331	4,234	4,134	4,023

約250t, T-CODで約11,150tとなる。そのうち、降雨時流出分の負荷量のウェイトは、T-Nで29%, T-Pで51%, T-CODで53%となっている。また、直接流出による流出率が5%異なれば、T-Nで7%前後、T-Pで11%前後、T-CODで14%前後 Total 負荷量が増減する。

また、湖内の植物プランクトンにすぐ利用され得る溶存態の栄養塩では、同様に直接流出による流出率を20%と仮定した場合、陸域からの年間総流入負荷量はD-Nで2,180t, D-Pで57tとなり、D-CODで4,230tであった。そのうち、降雨時流出分の負荷量のウェイトは、D-Nで22%, D-Pで22%, D-CODで30%となっている。

ちなみに、年間降水量1,279mmのうち11mm以上の降雨は1,101mmであり、直接流出による流出率が20%とすると、直接流出による年間総流量は $306 \times 10^6 \text{ m}^3$ となり、全流入河川同日負荷量調査時の総流量を晴天時流出分の年間総流量として換算した場合の $715 \times 10^6 \text{ m}^3$ と併せると $1,021 \times 10^6 \text{ m}^3$ の総流入流量となる。この値は、平年並みの降雨に対して推定された年間総流入流量の $870 \times 10^6 \text{ m}^3$ ⁴⁾や $858 \times 10^6 \text{ m}^3$ ⁵⁾に比べて大きい。これより、全流入河川同日負荷量調査は、年間平均的な晴天時流出の流量状態より少し大きな流量状態であったと考えられるが、いずれも仮定値であり、更に精度の高い流量及び流出負荷量の調査によるチェックが必要である。

さらに、上記の算定結果と、茨城県が原単位積み上げ方式によって推定した年間総流入負荷量¹²⁾の平年並みの降雨のあった1979年の値と比較すると、上記の算定値は茨城県の推定値に比べてT-Nで大きく、T-Pでかなり小さく、T-CODで圧倒的に大きな値となっている。なお、T-CODでは分析方法がアルカリ法と酸性法の違いによる影響も考慮に入れなければならない。

8. 結 論

霞ヶ浦の富栄養化は慢性的な状況であるが、湖の物質収支や湖内での物質循環の研究、あるいは、富栄養化機構のシミュレーション解析の入力として必須である湖への総流入負荷量の算定を行った。湖への総流入負荷量の実態把握は、富栄養化の現状打開への鍵を握る流入負荷量削減対策とも直結する関心事である。総流入負荷量の算定方法は、晴天時流出分の負荷量を晴天時流出の実測調査結果より、降雨時流出分の負荷量をいくつかの河川での降雨時流出の実測値に基づいた回帰モデルより求めて、両者を合算して総流入負荷量とする方法によった。

晴天時流出分の流入負荷量は、湖への全流入河川を1日のうちに順に調査する晴天時の全流入河川同日負荷量調査の結果より合計負荷量として求めた。これは、ただ1回のみ調査結果であるが、全流入河川による総流入負荷量のうちの80~90%以上のウェイトを占める主要10河川の1年間毎週1回頻度の定時負荷量調査と、主要13河川の晴天時24時間負荷量調査の結果から予想され得る範囲内の値であった。この結果を年間総流入負荷量の晴天時流出分として表すと、T-Nで2,095t, T-Pで125t, T-CODで5,080tであり、そのうち、溶存態成分はD-Nで1,702t, D-Pで44.3t, D-CODで2,967tとなった。

また、降雨時流出分の流入負荷量は、ひと雨降雨を対象にその有効雨量と降雨時流出分の比流出

負荷量の間の回帰式 $[\sum L_{net}/A = a \cdot (\sum Q_{net}/A)^n]$ を用いて算定した。いずれの降雨の直接流出による流出率も一定とすれば、20mm以下の降雨でも11mm以上の降雨はその降雨回数の多さから無視できないため、11mm以上の降雨を対象とした。平年並みの降雨のあった1年間をモデルとして、その降雨構成を用いて、大きな降雨量の降雨は一降雨ごと、小さな降雨量の降雨は数mmの範囲内にまとめてグループ化してその平均降雨量について、直接流出による流出率の5段階の場合に分けて降雨時流出負荷量を求めた。

降雨時流出負荷量は、懸濁態成分を主とした Total の項目だけでなく、溶存態成分のウェイトもかなり大きく、同様の算定を行った。霞ヶ浦（西浦）集水域の湖面部を除いた陸域を対象とすれば、降雨時流出分の負荷量は、直接流出による流出率が20%の場合、T-PとT-CODが晴天時流出分の負荷量と同等以上、T-Nでその40%に相当するウェイトとなった。

晴天時流出分と降雨時流出分を併せた年間総流入負荷量は、直接流出による流出率が20%の場合、T-Nで2,945t、T-Pで253t、T-CODで11,150tとなり、そのうち、D-Nは2,180t、D-Pは57t、D-CODは4,230tであった。これらの値には、原単位から積み上げ方式による推定値とかなり異なる結果となっている。更に算定精度を上げるには、精度の高い流量及び負荷量の調査の積み重ねが必要である。

終わりに臨み、晴天時24時間負荷量観測や全流入河川同日負荷量観測及び水質分析に御協力いただいた水質環境計画研究室の村岡浩爾室長をはじめ研究員の方々、大阪大学工学部の夏期実習生と日本大学生産工学部夏期及び春期実習生の方々に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 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。国立公害研究所報告，第21号，130p.
- 2) 茨城県委託，地域開発コンサルタント（1982）：汚濁負荷削減計画策定調査報告書。
- 3) 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。
- 4) 茨城県委託，EX都市研究所（1980）：霞ヶ浦水質保全対策総合解析調査報告書。
- 5) 村岡浩爾（1981）：霞ヶ浦の水収支と湖水位の将来予測。国立公害研究所研究発表会予稿集，SS/OT-4-81，18-32。
- 6) 海老瀬潜一（1980）：小河川の降雨時流出負荷量の算定と評価。環境技術，9，277-285。
- 7) 市川 新・横山道子（1980）：累積汚濁負荷曲線（Ripple 図）による年間負荷量の解析。第14回日本水質汚濁研究会年次学術講演会講演集，51-52。
- 8) 水戸地方気象台（1978～1983）：茨城県気象月報。
- 9) 海老瀬潜一（1984）：降雨時流出負荷量算定のための回帰モデル。衛生工学研究論文集（土木学会），20，27-38。
- 10) 海老瀬潜一（1984）：降雨時流出負荷量の算定モデル。国立公害研究所報告，第50号，59-88。
- 11) 茨城県委託，EX都市研究所（1981）：霞ヶ浦長期水質予測調査報告書。

5. 降雨時流出負荷量の算定モデル

Regression Models for Estimation of Storm Runoff Loading

海老瀬 潜一¹

Senichi EBISE¹

Abstract

Because storm runoff loading in a river is larger in comparison with loading in same period of dry weather day, the author proposes following regression models to estimate the loading. Plotting the relationships between sum of loading a unit area ($\Sigma L_{\text{gross}}/A$) and sum of flow a unit area ($\Sigma Q_{\text{gross}}/A$) in direct runoff period by storm events on logarithmic paper, the points are in a restricted range and are expressed as an exponential equation, $\Sigma L_{\text{gross}}/A = a \cdot (\Sigma Q_{\text{gross}}/A)^n$, by regression analysis. Similarly, for net loading by direct runoff (ΣL_{net}) which is subtracted sum of loading in same period at dry weather day (ΣL_{base}) from ΣL_{gross} , a regression equation is obtained with net discharge (ΣQ_{net}), $\Sigma L_{\text{net}}/A = a \cdot (\Sigma Q_{\text{net}}/A)^n$. And also, net loading a unit area ($\Sigma L_{\text{net}}/A$) could be expressed as regression equations with ΣQ_{net} , observation period (T_{dir}) or rainfall duration period (T_{rain}) and area of basin (A) as following: $\Sigma L_{\text{net}}/(A \cdot T_{\text{dir}}) = a \cdot [\Sigma Q_{\text{net}}/(A \cdot T_{\text{dir}})]^n$; $\Sigma L_{\text{net}}/A = a \cdot [\Sigma Q_{\text{net}}/(A \cdot T_{\text{rain}})]^n$.

Using observation data (28 cases) of influent rivers into Lake Kasumigaura, regression equations of four types are obtained for almost all water quality indicators with high regression coefficients beyond 0.85. Especially, these four regression models could be applied not only for total and particulate component loadings but also for dissolved component loading. In addition, for large river group and for three river groups classified by land use types such as urban river, mountainous river and rural area river the applicability of these models are established.

1. 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番2
Water and Soil Environment Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1. 降雨時流出負荷量算定の必要性和その問題点

湖沼・ダム湖や内湾・内海など閉鎖性水域における水質汚濁や富栄養化現象の制御には、正確な総流入負荷量の把握が必要である。また、これらの水域での水質変化のシミュレーション解析には、入力として、変動も含めた精度の高い流入負荷量値が必須であり、この入力の精度がシミュレーション解析の精度を左右することになる。しかし、これまでは降雨時に流入する負荷量が総流入負荷量の中で大きなウェイトを占めるほか、豪雨による流入負荷量が閉鎖性水域の水質を一変させるほどの変化をもたらすことが認識されながら、河川での降雨時流出負荷量の調査が十分行われているとは言えない。それゆえ、閉鎖水域への流入負荷量の算定は、晴天時の排出負荷量調査や晴天時の流出率・流達率調査を併用した原単位積み上げ方式によるものがほとんどであり、その総流入負荷量としての精度や時間変化のとらえ方が十分ではない。

河川を流出する負荷量のもその変動をも含めた定量的な実態把握は、河川それぞれの規模や流域特性に基づく水量及び水質変化現象に対応する観測頻度の不足のために困難を伴うことが多い。これには過去に行われた河川流出負荷量調査の蓄積資料が乏しく、その観測精度にも大きな差違の見られることが原因になっている。特に、面源負荷は降雨を介して流出する特性を有しているにもかかわらず、その総流出負荷量の算定には降雨時流出分の評価が十分なされていない現状である。これは、種々の降雨条件を考慮し、かつ、多くの流域で実測調査を実施することの困難さや、面源負荷自体の潜在的な流出特性によるところが多い。例えば、定期的に行われている公共用水域の測定結果も、水質濃度のみ記載されている場合が多く、流量観測が同時になされておらず水質負荷量データとしては利用できない実状である。特に、流量及び水質濃度とも変動の大きな降雨流出時は、作業量の増加や作業の困難さもあって調査が避けられる傾向にあり、ときたまそのような観測値が存在しても異常値と判断され、統計上の計算、たとえば、平均値の算定では除かれることもある。

この実測調査を補うための流出負荷量算定モデルの研究では、現象把握の時間スケールのいろいろな段階ごとに降雨時流出分の負荷量を算定するモデルが提案され、検討されている。しかし、各研究者が用いる専門用語の不統一やあいまいさも完全に解消されたわけではなく、モデルやパラメータの相互の比較・検討が十分できない場合もある。この根本的な背景として、同程度の観測緻密度（流出負荷量の時間変化現象と観測間隔及び観測継続時間の対応関係）や観測精度（水質濃度分析と流量観測の測定精度）を保持するデータの絶対数の不足がある。このような現状にもかかわらず、近年の湖沼・ダム湖や内湾・内海など閉鎖性水域における富栄養化現象に対する精度の高い流入負荷量算定の緊急の要請がある。これには、流入負荷量において大きなウェイトを占める降雨時流出分の大きさの明確化にとどまらず、藻類が直接利用可能な栄養塩のウェイト、あるいは、停滞水域では底泥へと移行する沈降成分のウェイトのように、存在形態別の流出負荷量をも明らかにすることまで含まれている。本研究は、これらの要請に答えるべく、著者が既に提案した降雨時流出負荷量算定モデル¹⁾をもとにして、同じ精度レベルでのモデルの議論やデータの相互比較を可能な

らしめるために、使いやすく、かつ、水質形態別流出負荷量の段階まで拡張した定量的な解析法の提案である。

2. 水文条件・流域特性と基本モデル

降雨に伴う流出負荷量を左右する大きな要因として、水文条件と流域特性がある。水文条件としては、一連の降雨の総降雨量、降雨強度、降雨継続時間、降雨の時間変化パターン、先行降雨の大きさ、先行晴天日数などがある。流域特性としては、地形、地質、こう配、土地利用形態、植生、地表面の浸透率などがある。これらによって流出水量、流出負荷量がかなり異なるため、それぞれの要因ごとに定量的な関係を明らかにしておく必要がある。その定性的な関係や一部限定された場合の定量的な関係はかなり明らかにされているが、実際の流域では各種の要因が複合化しており、全体としての定量的な関係は現在も検討の段階にある。したがって、ここにこれらの要因の多くを併せて代表できる因子を見いだして、定量的に流出負荷量を推定する単純なモデル構築の理由がある。ここで展開するのは、一連の降雨の結果としての総流出負荷量の算定モデルであり、別の手法である降雨流出時の流出負荷量の経時変化を追跡するモデル式を時間積分するのとは、算定のレベルを異にする。

降雨流出の結果としての流出負荷量算定には、その時の水文条件や流域特性を最もよく反映する因子として総流出流量が考えられる。流出負荷量観測が水質濃度と流量の観測から成っていることから妥当と言える。しかし、任意あるいは仮定の降雨に対する総流出負荷量の予測や推定には、手に入る水文量としては降雨量のみが多い。降雨量のうち、高水期間に流出する直接流出流量を推定する方法は、実際に観測されたハイドログラフの分離によるものと、降雨量から推定するものに大別される。流域の水文量として精度が良く、かつ、容易に取得可能なものは降雨量である。河川流量が常時観測されているのは大河川か治水上重要な河川に限られており、そのほとんどが水位流量曲線によっている。したがって、河川流量の連続観測値の存在は期待できない。一降雨の降雨量から直接流出となる総流出流量あるいは有効雨量を推定するには、経験的かつ統計的に幅をもたせた値で表される流域特性格別の流出係数がある。この流出係数を一応の目安として参考にすることができ、本来、各河川ごとの流出水量調査に基づいて求められるべきものである。したがって、今後のモデルの展開では、一降雨の降雨量のうち直接流出となる総流量あるいは有効雨量が何らかの手段(実測値や流出モデルによる測定値)で既知であることが前提条件である。

3. 基本モデルの特性

一降雨の直接流出期間における懸濁態成分の累加流出負荷量(Y軸)の累加流出流量(X軸)に対する両対数紙上での経時変化は、図1のように流出末期には一定値に漸近するとき増加の頭打ち現象が出現する^{1,2)}。また、この両累加量の最終時刻の値、すなわち、総流出負荷量(Y軸)の総流出流量(X軸)に対する値を両対数紙上にプロットすると、その数多くの降雨ケースについてプ

ロットされた値がある限られた範囲内に分布する^{3,4)}。本来は、一つの河川の地点ごとに多くの観測を実施し、各水質項目ごとにその範囲を回帰関係としてとらえることになる。しかし、各河川の各地点ごとの観測値の絶対数不足と、各流域ごとの観測値の相互比較のための一般化を考慮して、流出負荷量、流量ともその流域面積で除した単位面積当たりの流出負荷量（比流出負荷量）と単位面積当たりの流量（比流量）として示した例が図2である。したがって、直接流出期間の単位面積当たりの総流出負荷量と総流量は、それぞれ、(kg/km²)等で表される流出負荷量原単位と(mm)等で表される有効雨量とになり、流域規模の差違による影響は除ける。

一般に、流量増加に伴い濃度増加を呈する水質項目の場合、前述の流出負荷量の頭打ち現象が顕著なため相関係数の高い回帰式となる。また逆に、流量増加に伴い大きな濃度減少を呈するような水質項目では相関係数の低い回帰式となる。しかし、ここで最も問題となるのは、現場観測あるいは観測結果における直接流出期間の終端の決定である。降雨量や降雨強度の小さな降雨についてはとくに不明りょうであり、直接流出期間の取り方の不ぞろいは回帰モデルの精度を左右する。この

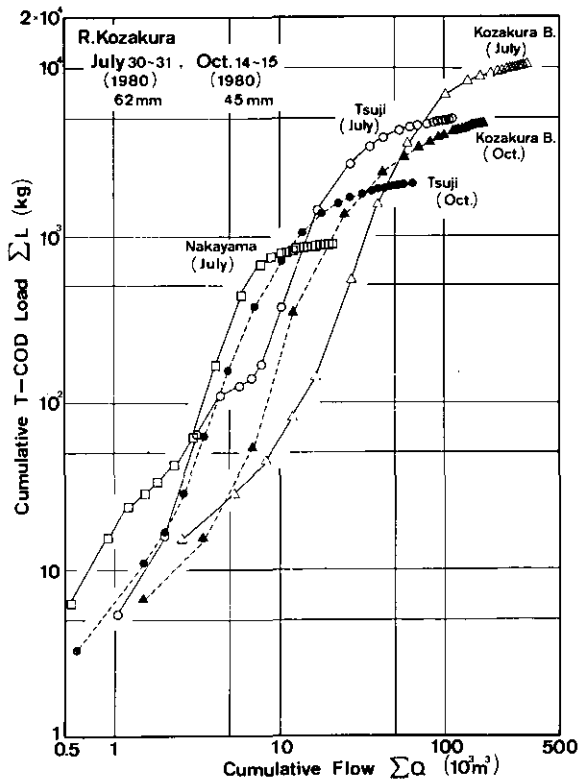


図 1(a) T-COD累加流出負荷量と累加流出流量の関係
 Fig. 1(a) Relationship between cumulative flow and cumulative loading of T-COD

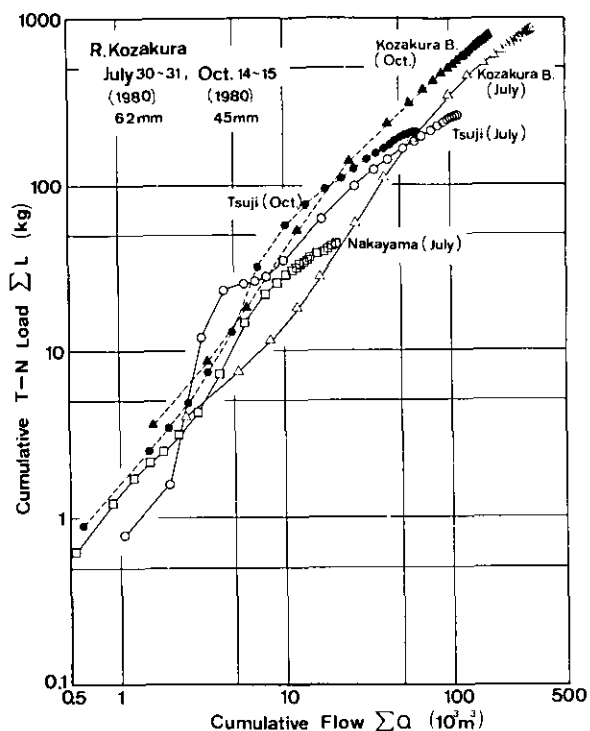


図 1(b) T-N累加流出負荷量と累加流出流量の関係

Fig. 1(b) Relationship between cumulative flow and cumulative loading of T-N

水文学的定義はあるものの、一降雨の直接流出期間の終端を観測現場で正確に判断することは困難なことが多いし、経験の多少や個人差が入り込む余地がある。特に、降雨流出が長引くような場合、観測現場での調査打ち切りの判断は仕事量とも関係して当事者にとっては切実な問題である。この直接流出期間判定の不一致による調査結果の不ぞろいを、算定精度の低下を抑えつつ、かなりの程度で許容できる算定法を提案する。すなわち、いろいろな河川で多くの人によって得られた降雨時流出負荷量の貴重な調査結果を、同じベースで比較検討し、統計モデルに組み込むための提案とも言え、手法的には簡便なものが望まれる。

これには、前述の降雨流出の末期における累加流出負荷量の累加流出流量に対する頭打ち現象を利用して、一定の範囲の降雨に対して、一連の降雨による総流出負荷量を直接流出期間で算定する代わりに観測期間で算定する方法である。この算定法でも、得られる回帰式の精度を下げないために、その前提条件として、一連の降雨による流出の、①降雨自体は降り終わっていること、②流量の最大ピークはとらえていること、③最終の観測時が流量の逓減期に入っていること、が最低限の必要条件である。累加流出流量に対する累加流出負荷量の算定は、見方を変えれば、累加流出流量に対する直接流出期間という時間を限定した期間内の平均濃度を算定していることに相当する。し

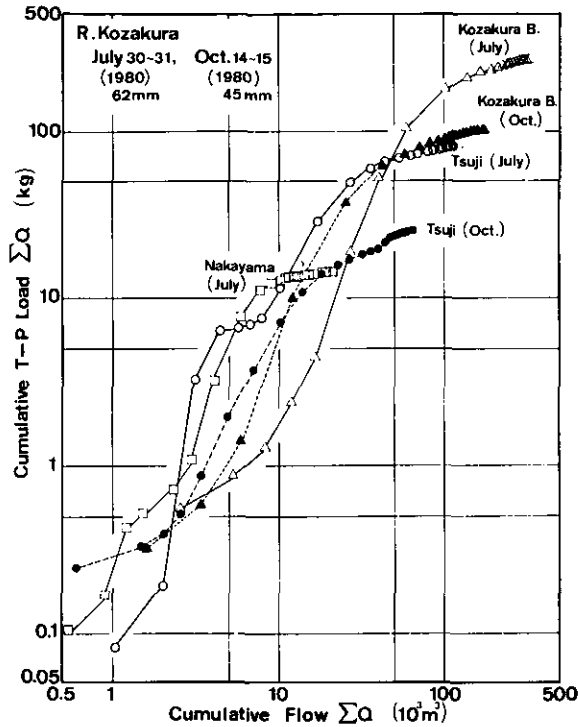


図 1(c) T-P 累加流出負荷量と累加流出流量の関係
 Fig. 1(c) Relationship between cumulative flow and cumulative loading of T-P

たがって、流量・水質濃度とも経時変化する流出現象で、その平均時間がある程度厳密に規定しなければ、その算定モデルの精度に影響が及ぶことは自明である。ただ、ある程度の大きさの降雨になると、直接流出末期の累加流出負荷量は頭打ち現象のために総流出負荷量に近く、観測期間が直接流出期間より短くなっても、結果的には両期間の違いが算定精度にあまり影響を及ぼさないという一面がある。この場合、流量に関しても、両期間による総流出流量の差が小さく、直接流出期間の有効雨量と観測期間の単位面積当たりの降雨時流出分流量が近似的に等しいと見なせることが多い。この利点を利用したのが今回提案のモデルである。

この手法では利用目的に応じて何段階かのモデルの展開が可能であり、以下に四つの段階のモデルを示す。

第1モデルは以下の基本モデルでもあり、直接流出期間あるいは一定の要件を満たした観測期間中に流出する総流出負荷量と総流出流量の関係の回帰モデルである。これは基底流量とそれに対応した基底流出負荷量（先行降雨の直接的な影響のない状態下の晴天時流出負荷量）を含んだままのモデルである^{3,4)}。したがって、晴天時流出負荷量が降雨時流出負荷量に比べて無視できたり、晴天時流出負荷量の観測値の存在しない場合に利用できる。

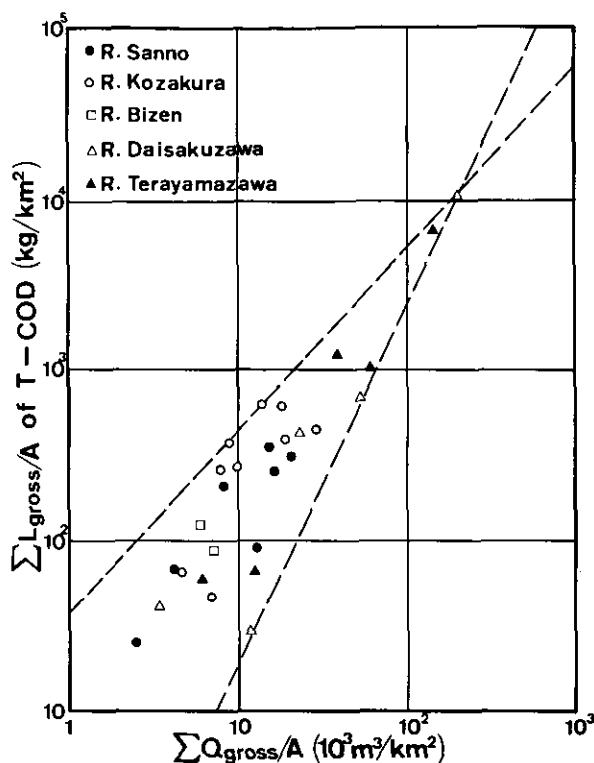


図 2 T-CODの比累加流出負荷量と比累加流量の関係

Fig. 2 Relationship between specific cumulative flow and specific cumulative loading of T-COD

第2モデルは、直接流出期間あるいは一定の要件を満たした観測期間中に流出するもののうち、直接流出分に当たる有効雨量と総流出負荷量との関係の回帰モデルである。対象とする降雨の降雨時流出分に当たる流出負荷量と流出流量を必要とするため、観測される負荷量、流量からそれぞれ基底負荷量、基底流量を差し引かねばならない。したがって、晴天時流出負荷量が大きく、その調査が行われている河川では、晴天時流出分と降雨時流出分の流出負荷量の対比に利用できる。

第3モデルは、直接流出期間あるいは一定の要件を満たした観測期間の時間当たりに流出する直接流出分の流出流量と流出負荷量の回帰モデルである。これは降雨流出の結果としての時間平均の流出強度と言うべき時間流出高と、時間平均の流出負荷量原単位の関係となり、第2モデルと同様に基底流量、基底流出負荷量を差し引いた降雨時流出分の解析である。

第4モデルは、直接流出期間あるいは一定の要件を満たした観測時間に流出する直接流出分の総流出負荷量と、その総流出流量の降雨のあった実質的な時間で除した平均有効降雨強度の回帰モデルである。これは流出に寄与した有効雨量の平均強度と流出負荷量の関係であり、地表面にたい積する懸濁態物質の表面流による流出や河床に沈殿・たい積する懸濁態物質の増水時の流出の関係の

明確化が期待できる。すなわち、SS や懸濁態成分についての流出負荷量が平均有効降雨強度との原因—結果の関係としてとらえられる²⁾。

ここで、第1から第4モデルまでに用いる観測値の次元や表示方法を定義する。

一連の降雨に対する直接流出期間あるいは観測時間における累加流出流量と累加流出負荷量の最終値をそれぞれ ΣQ と ΣL で表示する。さらに、 ΣQ と ΣL は基底量としての晴天時流出分と降雨によって増加した降雨時流出分で構成されているため、晴天時流出分には base、降雨時流出分には net、さらに両者の合計を gross の添字をつけて記す。すなわち、

$$\Sigma Q_{\text{gross}} = \Sigma Q_{\text{base}} + \Sigma Q_{\text{net}}$$

$$\Sigma L_{\text{gross}} = \Sigma L_{\text{base}} + \Sigma L_{\text{net}}$$

さらに、それぞれの観測地点での流域面積を A で表し、直接流出期間あるいは要件を満たした観測時間を T_{dir} 、実質的な降雨継続時間を T_{rain} で表示すると、第1から第4までの回帰モデルは以下のように表される。

第1モデル：(総流出流量 → 総流出負荷量)

$$\Sigma L_{\text{gross}}/A = a \cdot (\Sigma Q_{\text{gross}}/A)^n$$

第2モデル：(有効雨量 → 降雨時流出分負荷量)

$$\Sigma L_{\text{net}}/A = a \cdot (\Sigma Q_{\text{net}}/A)^n$$

第3モデル：(降雨時流出分時間平均流量 → 降雨時流出分時間平均負荷量)

$$\Sigma L_{\text{net}}/(A \cdot T_{\text{dir}}) = a \cdot (\Sigma Q_{\text{net}}/A \cdot T_{\text{dir}})^n$$

第4モデル：(平均有効降雨強度 → 降雨時流出分負荷量)

$$\Sigma L_{\text{net}}/A = a \cdot (\Sigma Q_{\text{net}}/A \cdot T_{\text{rain}})^n$$

ここで、 a は係数、 n は指数である。

このほかにも、gross を net と入れ替えたり、 T_{dir} と T_{rain} を入れ替えたモデルも存在するが、本質的には以上の四つが基本モデルと言える。この回帰モデルは、いろいろな降雨についての流量と流出負荷量の関係の経時変化が、共通で単一の回帰式では正確に表現し得ないという事実をもとに、降雨による流出変化の経過ではなく、降雨入力に対する流域の応答の結果を対象にする点が特徴である。

4. 調査の概要

観測を行った河川及び地点は、図3に示すように、すべて霞ヶ浦の流入河川及びその支川であ

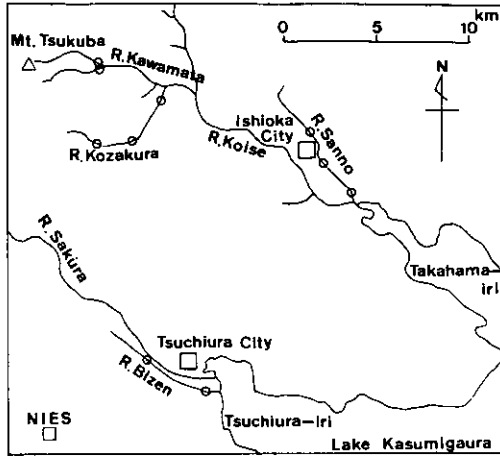


図 3 調査河川と観測地点
Fig. 3 Location map of observed rivers

る。すなわち、中流部で石岡市街地を貫流する山王川の上・中・下流部の3地点、下流部で土浦市街地を流下する備前川の上・下流部の2地点、恋瀬川支流で上流部が山地で下流部が水田地帯の小桜川の上・中・下流部の3地点、同じく恋瀬川支流川又川の上流部で流域の大半が山地の大作沢及び流域の上流部が山地で中・下流部が水田地帯の寺山沢の流末の、5河川の10地点である。

また、観測は1979年から1983年にかけての4年間に実施したもので、表1に観測降雨が観測地点までの流域特性とともにまとめて示してある。この中には、同一降雨の1河川の上中下流3地点あるいは2地点での同時観測や、同一降雨の隣接3河川あるいは2河川での同時観測が含まれる。表1のように28に達する降雨時流出の観測ケースに加えて、それぞれの観測地点すべてで晴天時の流出負荷量調査も併せて実施している。

ここで解析の対象とする水質項目の測定方法及び定義は、表2に示すとおりである。水質項目として、ろ過前の試水についてはTotalとしてTを付して表示し、そのろ水の試料は溶存態成分としてDを付して示し、両者の差を懸濁態成分としてPを付して表示する。

いずれの降雨時流出の観測ともその観測時間は、短期変化としての直接流出期間にほとんど等しくなるよう、流量変化及び河川水の水質濃度から観測の打ち切りを判断した。観測時間間隔は通常は1時間間隔であるが、流出前半の水質濃度・流量急変時には15～30分間隔、流出後半の流量逡減期には1.5～2時間間隔としている。

5. 回帰モデルの検討

(1) Total及び懸濁態成分

前出の図1でTotalの水質項目について一連の降雨による累加流出流量に対する累加流出負荷量

表 1 観測河川の流域特性と観測降雨

Table 1 Watershed areas of observed rivers and rainfalls of observed runoff

River	Observation Point	Watershed Area	Population Density	Rainfall of observed runoff event
R. Sanno	Hinode Bride	12.4 km ²	1,807 capita./km ²	$\left\{ \begin{array}{l} 58\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 36\text{mm} : 7\text{mm} : \\ 36\text{mm} : \\ 36\text{mm} : \end{array} \right. \\ 58\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 36\text{mm} : \\ 36\text{mm} : \end{array} \right. \end{array} \right.$
	Barakidai	8.3 km ²	2,402 capita./km ²	
	Suginoi Bridge	6.2 km ²	487 capita./km ²	
R. Bizen	Komatsu Bridge	6.48 km ²	2,235 capita./km ²	$\left\{ \begin{array}{l} 40\text{mm} : \\ 40\text{mm} : \end{array} \right.$
	Kamitakatsu	2.36 km ²	1,493 capita./km ²	
R. Kozakura	Kozakura Bridge	17.63 km ²	87 capita./km ²	$\left\{ \begin{array}{l} 85\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 73\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 63\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 38\text{mm} : 12\text{mm} : \\ 63\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 38\text{mm} : 27\text{mm} : \\ 63\text{mm} : \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \\ 85\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 73\text{mm} : \\ 63\text{mm} : \end{array} \right. \end{array} \right.$
	Tsuji (Asahi Bridge)	7.99 km ²	37 capita./km ²	
	Nakayama	2.36 km ²	49 capita./km ²	
R. Terayamazawa	Shimada Bridge	6.31 km ²	89 capita./km ²	$\left\{ \begin{array}{l} 195\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 85\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 73\text{mm} : \\ 73\text{mm} : \end{array} \right. \right. \\ 195\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 85\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 73\text{mm} : \\ 73\text{mm} : \end{array} \right. \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \left. \left. \left. \left. \begin{array}{l} 27\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 17\text{mm} : \\ 27\text{mm} : \left\{ \begin{array}{l} 17\text{mm} : \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right.$
Daisakuzawa	Hosouchi-shita Bridge	3.11 km ²	126 capita./km ²	

表 2 測定水質項目と分析方法
Table 2 Water quality indicators and their analytical methods

Item	Method
SS	Glassfiber filter method
T-COD, D-COD	Alkali-potassium-permanganate method at 100°C
P-COD	T-COD - D-COD
T-N, D-N	nitrification by oxidation with potassiumperoxodisulfate and method for NO_3^- -N (Cu-Cd reduction method)
P-N	T-N - D-N
T-P, D-P	decomposition to PO_4^{3-} -P with potassiumperoxodisulfate and method for PO_4^{3-} -P (molybdate-blue method)
P-P	T-P - D-P
T-SiO ₂ , D-SiO ₂	decomposition to SiO ₂ with potassiumperoxodisulfate and method for SiO ₂ (heteropoly-blue method)
P-SiO ₂	T-SiO ₂ - D-SiO ₂
Cl ⁻	mercuric thiocyanate method
Flow	propeller-typed current meter

の直接流出末期の頭打ち現象を示した。懸濁態成分についての同様の現象を図4に示す。当然のことながら、COD、N、PともTotalの場合より更にその頭打ち現象の顕著なことが認められる。したがって、Total及び懸濁態成分については、第1から第4モデルまでの適用ができる。

第1モデルは、既に公表済みのモデルであるが、既発表の場合より観測河川数と観測地点数、したがって観測回数が大幅に増加しており、霞ヶ浦流域内の小河川という大グループの中ではあるが、市街地流域、山地流域、農耕地流域など流域の土地利用形態、降雨条件では7~195mmの範囲内の種々の観測ケースが含まれている。T-CODについては前出の図2に示したが、他の水質項目についてもほぼ同様の結果であった。流域の土地利用形態の相違による分布の特性はあまり明瞭ではなく、 ΣQ_{gross} の大きなもの、したがって、降雨量と降雨強度の大きなものが図上で右上に、小降雨量のものが図上で左下にくる配置となっている。同じくらしい ΣQ_{gross} のデータが多い場合にはバラツキが目立つこともある。

これは晴天時流出分を含んだままの流出流量や流出負荷量であるため、降雨時流出分に比べて晴天時流出分が無視できたり、晴天時流出分の観測値がない場合に利用できるモデルである。

第2モデルは、流出流量、流出負荷量とも晴天時流出分を差し引いた降雨による結果としての正味の降雨時流出分のモデルである。T-NとP-Nの観測値の分布を図5(a),(b)に示す。Nの場合は、T-Nの方がP-Nより狭い範囲に分布するが、CODではTotalと懸濁態成分ともほぼ同じくらい、Pでは懸濁態成分の方が、Totalより狭い範囲のまとまった分布となる。第1モデルの場合より、人為的な汚濁負荷のウェイトの高い市街地流域を有する観測地点山王川中・下流部地点と備前川下流部地点ではT-Pなどに、山地河川流域のそれ大作沢と小桜川上流部地点と比べて若干高い ΣL_{net}

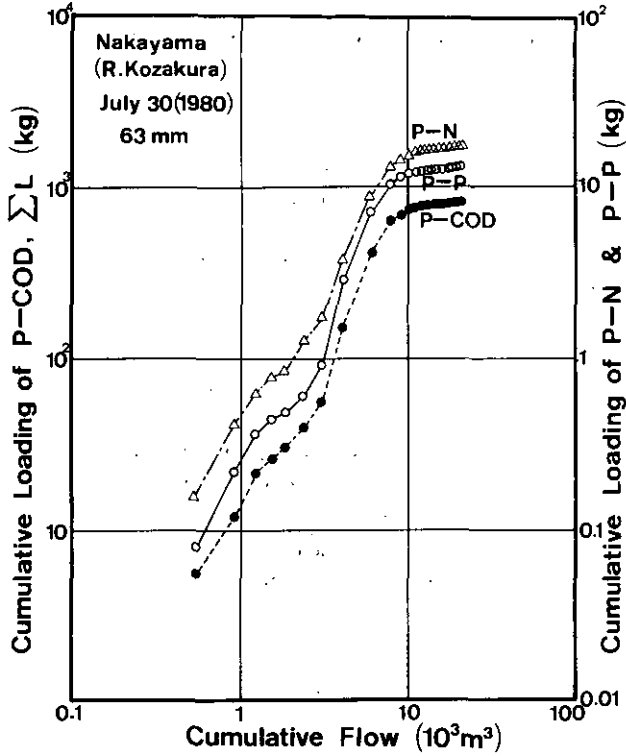


図 4 懸濁態物質の累加流出負荷量と累加流出流量の関係
 Fig. 4 Relationship between cumulative flow and cumulative loadings of particulate matters

／Aの値を呈する分布となっている。流域特性の差違が分布に反映されるのが認められるが、およそその傾向は第1モデルと同じである。

第3モデルは、直接流出期間あるいは観測時間当たりの降雨時流出分の流出流量と流出負荷量の関係である。図6(a),(b),(c)にT-COD, T-N, T-Pの例を示す。T-CODとT-Nの狭い範囲での分布に比べてT-Pのパラッキが目立つ。P-Pについては狭い範囲に分布してパラッキは見られない。降雨量の小さな場合や降雨強度の小さな場合には、D-P/T-Pに観測時間の取り方が大きく影響する可能性が考えられる。

直接流出期間あるいは観測期間の時間当たりの降雨による平均比流出流量と平均比流出負荷量の関係になるため、降雨時流出の流量や水質濃度に大きな変化が見られない場合は、観測時間の長短の両者への影響が大きくなると考えられる。

第4モデルは、直接流出期間に流出した降雨時流出分の流出負荷量と、それに対応した流出流量を実質的な降雨継続時間で除した平均有効降雨強度との関係と見ることができる。降雨としての入力を有効降雨強度として原因側と、結果としての降雨時流出分の負荷量との関係であるため、降雨

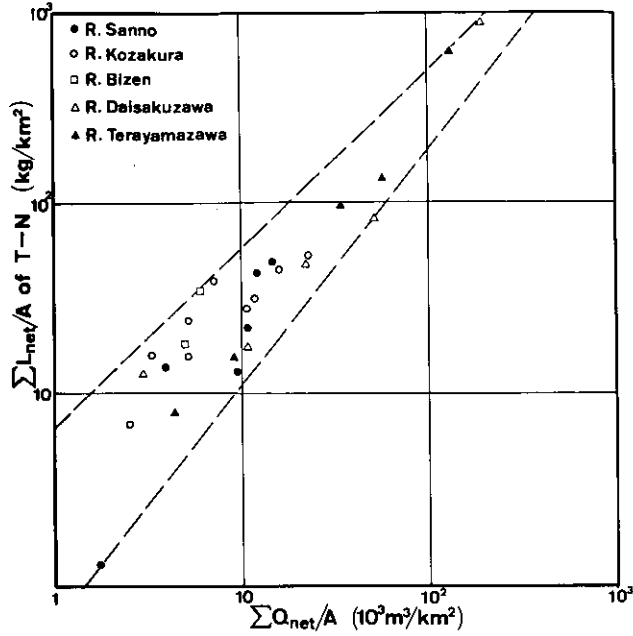


図 5(a) T-Nの比累加流出負荷量と比累加流出流量の関係

Fig. 5(a) Relationship between specific cumulative flow and specific cumulative loading of T-N

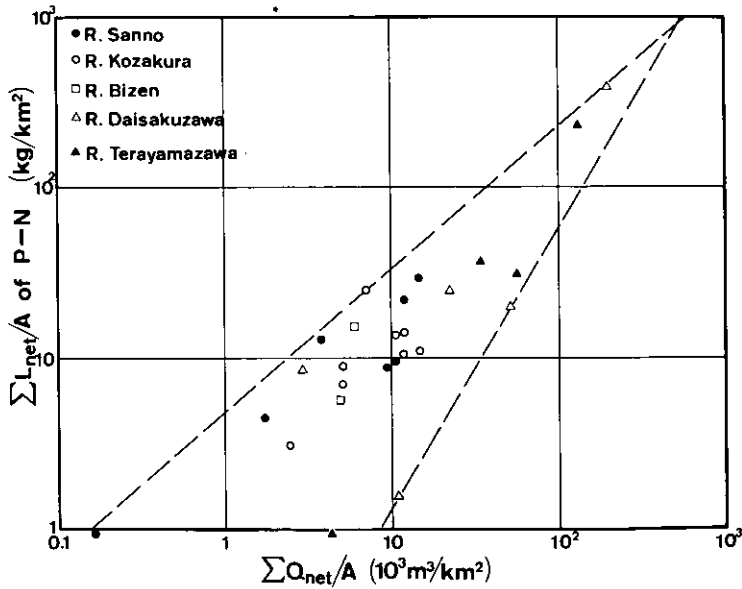


図 5(b) P-Nの比累加流出負荷量と比累加流出流量の関係

Fig. 5(b) Relationship between specific cumulative flow and specific cumulative loading of P-N

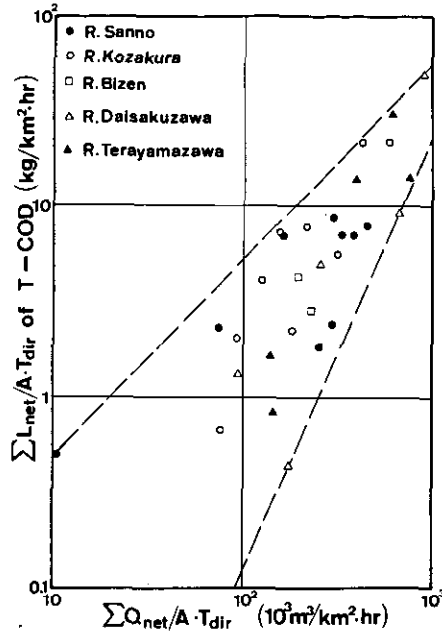


図 6(a) T-CODの $\sum L_{net}/(A \cdot T_{dir})$ と $\sum Q_{net}/(A \cdot T_{dir})$ の関係
 Fig. 6(a) Relationship between $\sum Q_{net}/(A \cdot T_{dir})$ and $\sum L_{net}/(A \cdot T_{dir})$ of T-COD

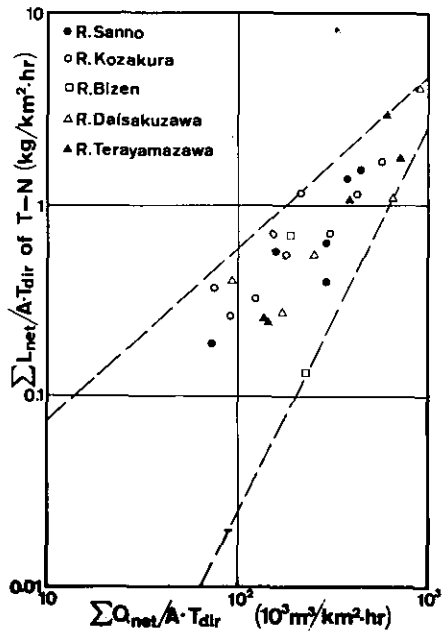


図 6(b) T-Nの $\sum L_{net}/(A \cdot T_{dir})$ と $\sum Q_{net}/(A \cdot T_{dir})$ の関係
 Fig. 6(b) Relationship between $\sum Q_{net}/(A \cdot T_{dir})$ and $\sum L_{net}/(A \cdot T_{dir})$ of T-N

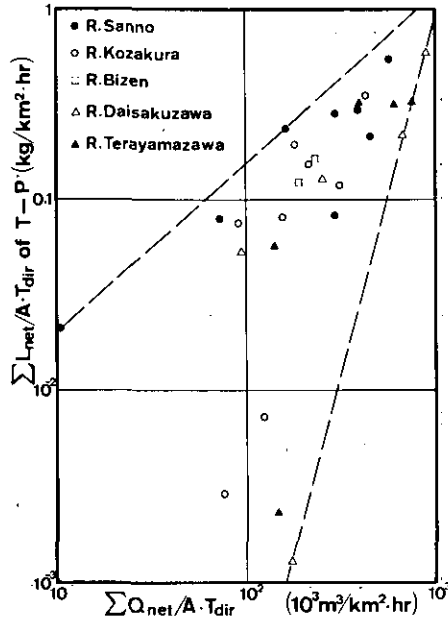


図 6(c) T-Pの $\Sigma L_{net}/(A \cdot T_{dir})$ と $\Sigma Q_{net}/(A \cdot T_{dir})$ の関係
 Fig. 6(c) Relationship between $\Sigma Q_{net}/(A \cdot T_{dir})$ and $\Sigma L_{net}/(A \cdot T_{dir})$ of T-P

に対する流出強度のようなとらえ方ができる。図7(a),(b),(c)にT-COD, T-N, T-Pの例を示す。T-Pのパラッキが目立つのは、第3モデルの場合と同様の理由である。この第4モデルでは原因と結果の関係は明確になるが、第3モデルに比べると、観測値の分布のまとまりが少し悪くなる傾向にある。

(2) 回帰式の一括表示

(1)での分布の状態を統計的な回帰式として、各モデルに対する各水質項目の式として一括して示したものが表3である。全般的に見れば、第1, 第2モデルに比べて第3, 第4モデルの相関係数は低下する。さらに、第4モデルは第3モデルより相関係数が低下する傾向にある。これは、多くの河川、流域特性の異なる多くの観測地点、あるいは、種々の降雨条件のものをまとめて解析したことにも原因があろう。ちなみに、市街地河川の山王川の七つの観測ケースだけについて同様の回帰式を求めると、相関係数が非常に良いことは言うまでもないが、指数 n の値が、28個の観測ケースの場合とかなり異なることがわかる。七つの観測ケースのうち五つを占める中流部と下流部の観測値に市街地部の影響が色濃く反映され、山地部のウェイトの高い大作沢や寺山沢の場合と比べて、指数 n が小さく、したがって、係数 a が大きくなる傾向にあった。

また、降雨量がある程度大きくなれば、指数 n や係数 a の流域ごとの差は少なくなるが、降雨量

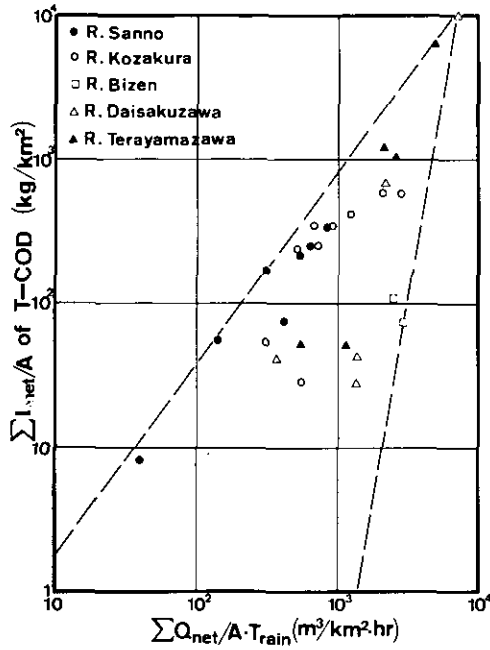


図 7(a) T-CODの比累加流出荷量と $\Sigma Q_{net} / (A \cdot T_{rain})$ の関係
 Fig. 7(a) Relationship between $\Sigma Q_{net} / (A \cdot T_{rain})$ and $\Sigma L_{net} / A$ of T-COD

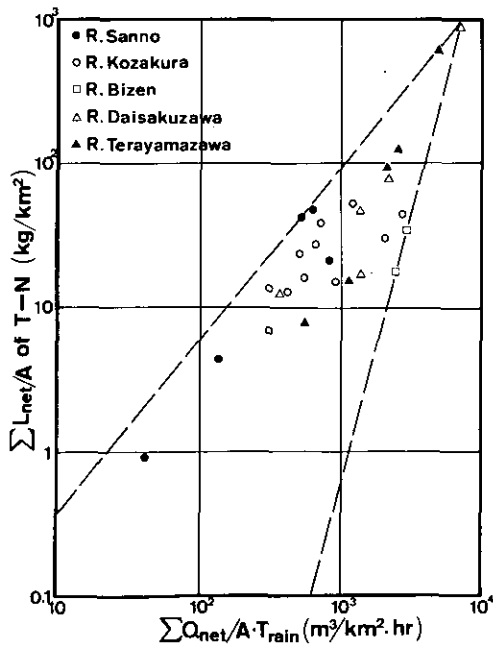


図 7(b) T-Nの比累加流出荷量と $\Sigma Q_{net} / (A \cdot T_{rain})$ の関係
 Fig. 7(b) Relationship between $\Sigma Q_{net} / (A \cdot T_{rain})$ and $\Sigma L_{net} / A$ of T-N

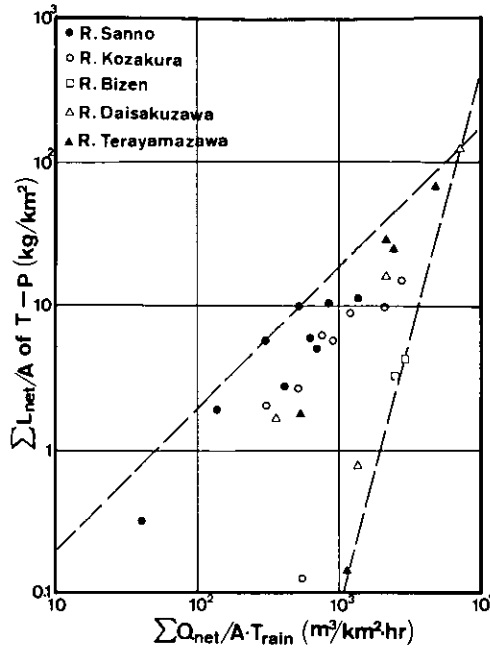


図 7(c) T-P の比累加流出負荷量と $\Sigma Q_{net} / (A \cdot T_{rain})$ の関係
 Fig. 7(c) Relationship between $\Sigma Q_{net} / (A \cdot T_{rain})$ and $\Sigma L_{net} / A$ of T-P

の小さい場合には流域ごとのその差は大きくなる。また、降雨量が小さい場合は、晴天時流出分が高負荷量の市街地河川では、降雨時流出分の観測値の精度もさることながら、晴天時流出分の観測値の精度の回帰モデルに与える影響が大きいと考えられる。

一般には、降雨時流出負荷量のベースとなっている晴天時流出負荷量が河川ごと、すなわち、点源負荷の流出を主体とする流域内の負荷特性によって異なるほか、面源負荷の流出を主体とする降雨時流出負荷量の流出特性も河川によって異なる。最も典型的なパターンとしては、市街地河川あるいは都市河川と山地河川が両極端に位置し、この両者に挟まれた範囲内に、田園地河川や中間的な性格の河川の観測値が分布することになる。

また、T-SiO₂ や P-SiO₂ も測定データが少ないながら、SS と非常によく似た挙動を示すため、Total 及び懸濁態成分のグループに入れて同様の解析が可能であり、同様に、D-SiO₂ も次の溶存態成分のグループの中に入れて取り扱える。ここでは、SiO₂ を測定したデータ数が少ないため、回帰式表示には加えなかった。

(3) 溶存態成分

溶存物質あるいは溶存態成分も、降雨時流出負荷量としては、懸濁物質あるいは懸濁態成分ほどではないが、晴天時流出分の数倍から10倍前後とかなり多量に流出する。この場合、先述の累加流

表 3 回帰モデル式の一覧
Table 3 List of regression equations

モデル モデル式 水質項目	第1モデル $\Sigma L_{gross}/A = a \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^n$	第2モデル $\Sigma L_{net}/A = a \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^n$	第3モデル $\frac{\Sigma L_{net}}{A \cdot T_{dir}} = a \cdot \left(\frac{\Sigma Q_{net}}{A \cdot T_{dir}}\right)^n$	第4モデル $\Sigma L_{net}/A = a \cdot \left(\frac{\Sigma Q_{net}}{A \cdot T_{rain}}\right)^n$
SS	$0.003113 \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{1.041}$ ($r=0.884$)	$0.01567 \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{1.277}$ ($r=0.875$)	$0.03738 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.300}$ ($r=0.760$)	$0.1207 \cdot \Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain}^{1.418}$ ($r=0.770$)
T-COD	$0.001244 \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{1.272}$ ($r=0.938$)	$0.1832 \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{1.009}$ ($r=0.877$)	$0.01786 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.037}$ ($r=0.780$)	$0.1367 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.076}$ ($r=0.740$)
P-COD	$0.0002287 \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{1.415}$ ($r=0.876$)	$0.03493 \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.925}$ ($r=0.746$)	$0.002269 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.355}$ ($r=0.793$)	$0.02722 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.261}$ ($r=0.722$)
T-N	$0.003705 \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{0.975}$ ($r=0.948$)	$0.005473 \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.933}$ ($r=0.955$)	$0.005318 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.892}$ ($r=0.898$)	$0.02167 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.053}$ ($r=0.853$)
P-N	$0.0007104 \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{1.021}$ ($r=0.877$)	$0.001860 \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.942}$ ($r=0.818$)	$0.001471 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.944}$ ($r=0.642$)	$0.02532 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.895}$ ($r=0.635$)
T-P	$0.0004931 \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{0.997}$ ($r=0.843$)	$0.001350 \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.880}$ ($r=0.698$)	$0.0004390 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.044}$ ($r=0.590$)	$0.01016 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.887}$ ($r=0.557$)
P-P	$0.0001516 \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{1.092}$ ($r=0.802$)	$0.002284 \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.853}$ ($r=0.949$)	$0.001906 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.786}$ ($r=0.871$)	$0.01130 \cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.919}$ ($r=0.812$)

出流量に対する累加流出負荷量の直接流出末期の頭打ち現象は図4の懸濁態成分ほど明りようではないが、図8に示すようなかなり類似した傾向にある。したがって、Total や懸濁態成分の水質項目と同様の算定を行うと、図9(a),(b),(c)に示す $\Sigma Q_{net}/A$ と $\Sigma L_{net}/A$ の関係のように、相関係数としては十分高い回帰式が得られる。もちろん、溶存態成分の場合、降雨時流出のTotal及び懸濁態成分の回帰モデルの精度が十分高ければ、各モデルでの両者の差としても推定可能である。しかし現実にはその精度は低いと思われる。そこで、溶存態成分の観測値からTotalや懸濁態成分の場合と同様の方法で、直接回帰式を求める。得られた回帰式は、表3と同様に、一括して表4に示す。D-Pの第3モデルを除いて、全般に相関係数の高い回帰式と言える。D-Pの第3モデルの相関係数の低さは、表3のT-Pの第3モデルの場合と同じ原因と考えられる。懸濁物質のSSと同様に、溶存物質のCIはD-COD、D-N、D-Pと同様の結果が得られる。

(4) 具体的な適用例

(1)~(3)でプロットされたデータの分布状況を検討すれば、この回帰モデルは、単一河川で独自にあるいは同様の河川パターンのグループでの多くの降雨についての調査結果をもとにパラメータを決定すると精度の高い降雨時流出負荷量の算定のできるようになる。この回帰モデルは、1河川の1降雨の降雨時流出負荷量の算定に適用できるのは無論であるが、統計モデルゆえ、一定期間内の降雨を一定の降雨量範囲内のグループに分けて、各グループごとにまとめて平均的な降雨時流出負荷量を算定すれば、降雨条件の違いによる算定値の誤差の相殺も期待できるため、長期間の晴天時流出分の負荷量と併せて精度の高い期間内総流出負荷量の算定に用いる¹⁾。また、河川パターンの違いごとに回帰モデルを求めれば、流域の土地利用形態の相違など流域特性と降雨時流出負荷量の関係を検討することも可能と考えられる。

6. 河川パターン別回帰モデル式

前節の5河川10地点における28の降雨時流出負荷量観測例は、各観測地点までの集水域内の土地利用状態の構成と流出負荷量の大きさを考慮すれば、その流域の負荷特性の異なる広範囲の河川全般をカバーした性格のものである。本節では、上記28の観測例を各流域の負荷特性によって、市街地河川、山地河川及び田園地河川の三つの河川パターンに分類し、それぞれのグループごとに前節と同じ降雨時流出負荷量算定の回帰モデル式を求めて、相互の比較検討を行った。降雨時流出負荷量算定の回帰モデル式は、個々の河川、個々の流域ごとに求める方が精度の向上が期待できるが、その観測ケースの不足を補うための次善の策として、各河川パターンごとに求めても河川全般に対するものより算定精度の向上が望める。また、各河川パターンについての回帰モデル式の指数、係数及び相関係数の比較検討から、流域の負荷特性と回帰モデル式の関係の特性が明らかとなり、回帰モデル式のチェックに利用できる。

市街地河川としては、山王川の3観測地点と備前川の2観測地点における9観測例である。山地

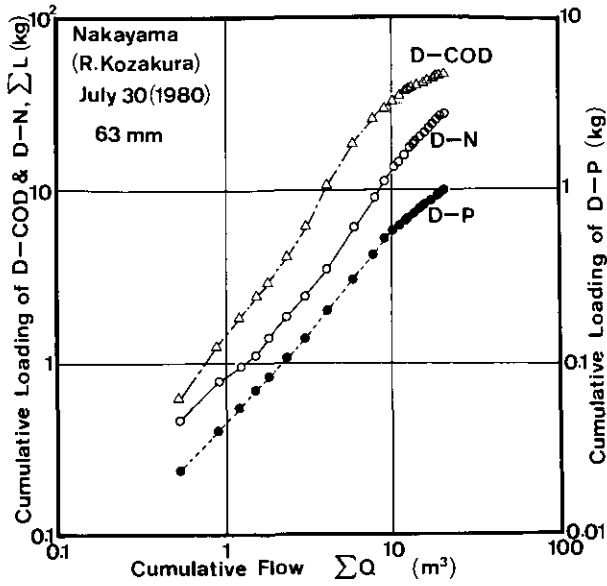


図 8 溶存態物質の累加流出負荷量と累加流出流量の関係
 Fig. 8 Relationship between cumulative flow and cumulative loadings of dissolved matters

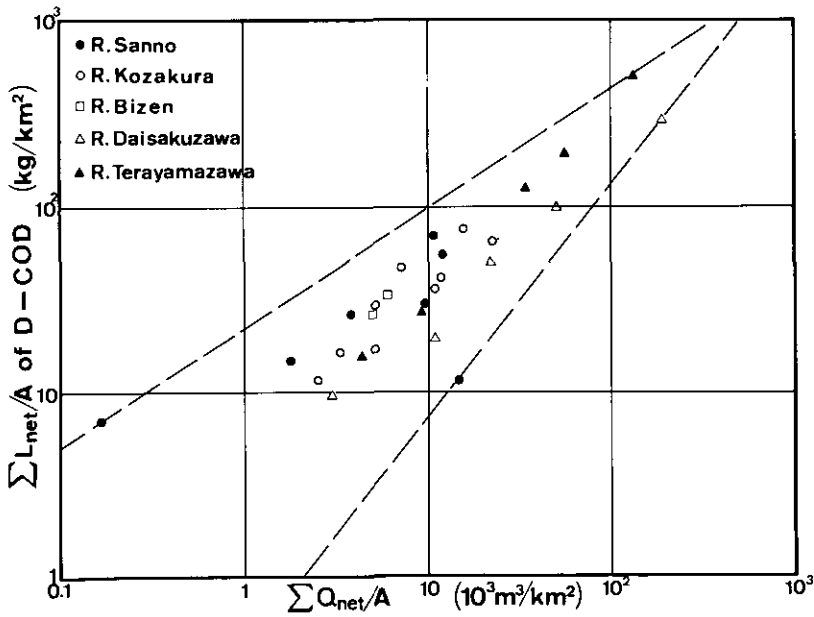


図 9(a) D-CODの比累加流出負荷量と比累加流出流量の関係
 Fig. 9(a) Relationship between specific cumulative flow and specific cumulative loading of D-COD

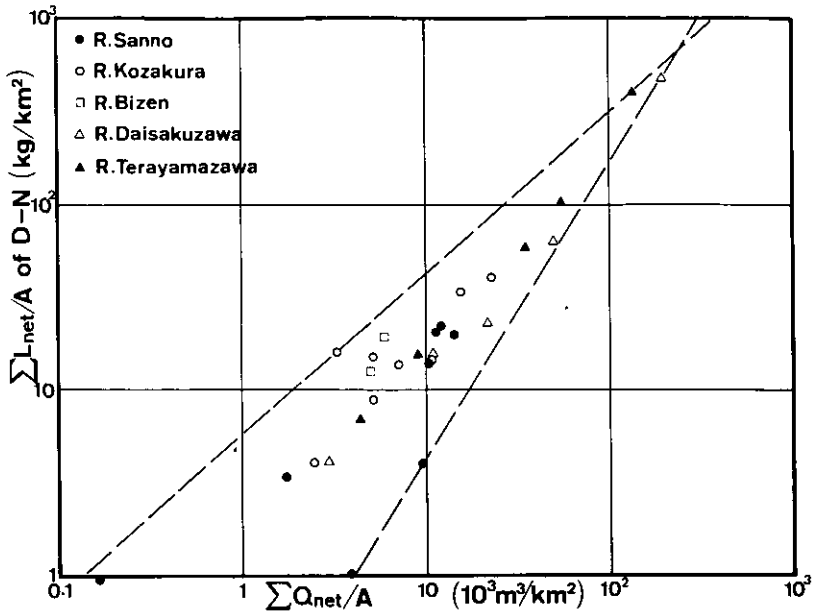


図 9(b) D - N の比累加流出負荷量と比累加流出流量の関係
 Fig. 9(b) Relationship between specific cumulative flow and specific cumulative loading of D-N

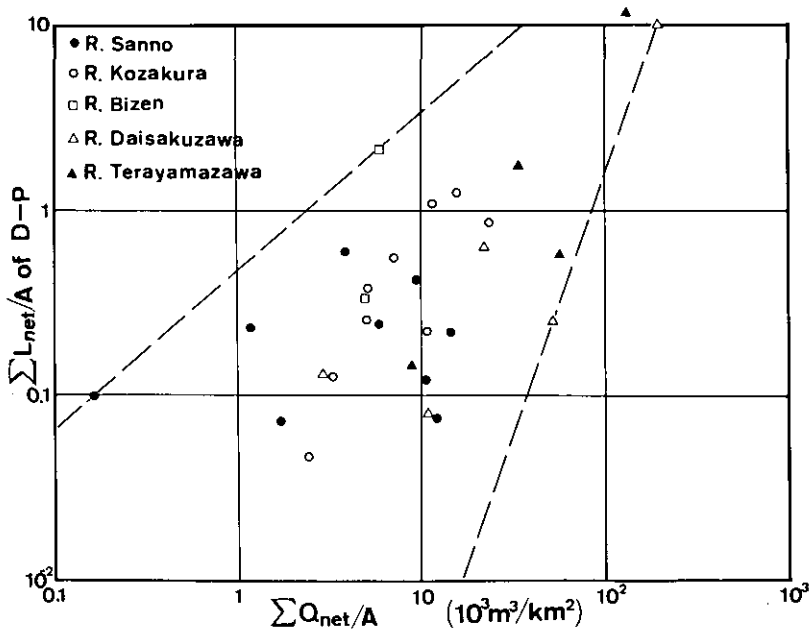


図 9(c) D - P の比累加流出負荷量と比累加流出流量の関係
 Fig. 9(c) Relationship between specific cumulative flow and specific cumulative loading of D-P

表 4 溶存態物質の回帰モデル式一覧

Table 4 List of regression equations for dissolved matters

モデル モデル式	第1モデル	第2モデル	第3モデル	第4モデル
	$\Sigma L_{gross}/A = a \cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^n$	$\Sigma L_{net}/A = a \cdot (\Sigma Q_{net}/A)^n$	$\frac{\Sigma L_{net}}{A \cdot T_{dir}} = a \cdot \left(\frac{\Sigma Q_{net}}{A \cdot T_{dir}} \right)^n$	$\Sigma L_{net}/A = a \cdot \left(\frac{\Sigma Q_{net}}{A \cdot T_{rain}} \right)^n$
水質項目 Cl ⁻	0.1991 $\cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{0.870}$ ($r=0.821$)	0.07082 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.744}$ ($r=0.943$)	0.04904 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.632}$ ($r=0.837$)	0.2244 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.631}$ ($r=0.834$)
D-COD	0.02177 $\cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{0.805}$ ($r=0.902$)	0.09604 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.652}$ ($r=0.878$)	0.06511 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.476}$ ($r=0.661$)	0.2753 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.722}$ ($r=0.771$)
D-N	0.002372 $\cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{0.977}$ ($r=0.957$)	0.002986 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.939}$ ($r=0.908$)	0.001579 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.005}$ ($r=0.783$)	0.003000 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.286}$ ($r=0.807$)
D-P	(0.002930 $\cdot (\Sigma Q_{gross}/A)^{0.611}$) ($r=0.627$)	0.0008094 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A)^{0.663}$ ($r=0.620$)	0.0003564 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.580}$ ($r=0.409$)	0.0006219 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.931}$ ($r=0.689$)

河川としては、川又川上流の大作沢の本川流入直前の観測地点と小桜川上流部の2観測地点における11観測例である。田園地河川としては、いずれも上流部が山地で、中、下流部が水田・樹園地を主とした農耕地帯である川又川上流の寺山沢との合流直前の観測地点と小桜川の最下流部の観測地点における8観測例である。三つの河川タイプの観測ケースが多少異なるけれども、それぞれの河川タイプごとに小降雨量の降雨から大降雨量の降雨までの適切な分布の降雨観測例を含んでおり、相互の比較検討が可能である。第1モデルから第4モデルの三つの河川タイプごとの回帰モデル式を示したものが表5(a)~(d)である。ここに示した、COD、N及びPの栄養塩とCl⁻については、人為的な汚濁と密接な関係があるため、市街地河川と山地河川の違いは顕著であり、田園地河川は両者の中間的な性格というよりも山地河川に近い性質は有しながら両者とはまた違った特徴が見られる。

表5に示した水質項目全般に対して、市街地河川での係数 a の大きさと指数 n の小ささが目立っている。これは、小降雨量の降雨でも降雨時流出負荷量が大きくなり、大きな降雨量の降雨になっても他の河川タイプのそれほど大きな降雨時流出負荷量とはならない特徴を示している。これに対して、山地河川や田園地河川では、小さな降雨量の降雨には降雨時流出負荷量が小さいが、大きな降雨量の降雨には大量の降雨時流出負荷量となる特徴が現れている。また、第1モデルから第4モデルまでのCl⁻、D-N及びD-PあるいはT-Pを除いたほとんどの水質項目で、田園地河川は山地河川に比べて指数 n が大きく、係数 a が小さい。これらの水質項目は、山地河川より田園地河川の方が、降雨量の小さな降雨に対して降雨時流出負荷量が小さく、降雨量の大きな降雨に対して降雨時流出負荷量が大きくなる特徴が見られる。これらの特徴は、面源負荷の存在位置と流出しやすさ、及び、流出可能な存在負荷量の大きさを推察することができ、その土地利用形態との密接な関係が明らかとなる。

また、河川パターンごとの回帰モデル式とは別に、市街地河川の山王川の7観測例や、山地及び田園地河川としての小桜川の9観測例のように、個々の河川に対して同様に回帰モデル式を求めた結果、上流から下流までの流域の負荷特性と観測地点の観測例のバランスが相関係数に影響を及ぼすが、山王川で高く、小桜川で少し低い相関係数となった。しかし、市街地河川としての山王川と、山地及び田園地河川としての小桜川との指数 n や係数 a の違いは、当然のことながら明らかであった。したがって、解析対象が個々の河川あるいは個々の流域である場合は、それぞれの河川なり流域ごとの回帰モデル式を用いるべきであり、湖沼への種々の河川パターンを含む多くの流入河川の平均的な取り扱いをする場合に河川全般を対象とした回帰モデル式の利用が考えられる。しかし、統計モデルゆえ、これらいずれも回帰モデル式に用いた観測降雨のカバーする降雨の範囲や観測降雨数の吟味が、相関係数のチェックとともに必要である。

7. モデルの適用範囲と大川への適用

降雨時流出負荷量算定モデルは、本来、各河川ごと、あるいは、流域特性の違いによる各河川パ

表 5(a) 河川パターン別の第1モデル式の比較

Table 5(a) Comparison of first model with river groups classified by land use in their basins

水質項目	河川タイプ		
	市街地河川 観測ケース	山地河川	田園地河川
	9観測例(2河川・5流域)	11観測例(2河川・3流域)	8観測例(2河川・2流域)
T-COD	$0.008069 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.067}$ ($r=0.886$)	$0.002333 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.214}$ ($r=0.859$)	$0.000154 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.473}$ ($r=0.938$)
T-N	$0.01029 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.886}$ ($r=0.944$)	$0.00188 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.025}$ ($r=0.961$)	$0.00133 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.080}$ ($r=0.969$)
T-P	$0.001791 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.891}$ ($r=0.879$)	$0.000250 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.045}$ ($r=0.824$)	$0.0000537 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.211}$ ($r=0.924$)
SS	$4.500 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.594}$ ($r=0.611$)	$0.001350 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.500}$ ($r=0.842$)	$0.0000151 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.946}$ ($r=0.953$)
P-COD	$0.000306 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.375}$ ($r=0.860$)	$0.001133 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.268}$ ($r=0.830$)	$0.0000233 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.630}$ ($r=0.915$)
P-N	$0.0007794 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.049}$ ($r=0.877$)	$0.0008524 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.992}$ ($r=0.822$)	$0.0000244 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.333}$ ($r=0.879$)
P-P	$0.0001623 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.115}$ ($r=0.875$)	$0.0001412 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.083}$ ($r=0.742$)	$0.0000187 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.294}$ ($r=0.886$)
Cl-	$0.4628 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.636}$ ($r=0.942$)	$0.0213 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.856}$ ($r=0.988$)	$0.0567 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.793}$ ($r=0.971$)
D-COD	$(0.1357 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.632})$ ($r=0.844$)	$(0.01279 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.827})$ ($r=0.946$)	$(0.00388 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.993})$ ($r=0.982$)
D-N	$0.01397 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.805}$ ($r=0.960$)	$0.000745 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.072}$ ($r=0.981$)	$0.001408 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{1.039}$ ($r=0.979$)
D-P	$(0.01724 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.492})$ ($r=0.634$)	$(0.00229 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.817})$ ($r=0.813$)	$(0.000333 \cdot (\sum Q_{gross}/A)^{0.827})$ ($r=0.844$)

表 5(b) 河川パターン別の第2モデル式の比較

Table 5(b) Comparison of second model with river groups classified by land use in their basins

水質項目	河川タイプ		
	市街地河川	山地河川	田園地河川
観測ケース	9観測例(2河川・5流域)	11観測例(2河川・3流域)	8観測例(2河川・2流域)
T-COD	$0.2267 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.722}$ ($r=0.913$)	$0.01537 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.043}$ ($r=0.822$)	$0.0000545 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.372}$ ($r=0.943$)
T-N	$0.01153 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.844}$ ($r=0.946$)	$0.00421 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.955}$ ($r=0.958$)	$0.00225 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.030}$ ($r=0.946$)
T-P	$0.01038 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.695}$ ($r=0.921$)	$(0.000779 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.929})$ ($r=0.657$)	$(0.00000177 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.695})$ ($r=0.820$)
SS	$1.503 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.753}$ ($r=0.837$)	$0.01664 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.275}$ ($r=0.800$)	$0.0001739 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.744}$ ($r=0.965$)
P-COD	$0.006909 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.080}$ ($r=0.913$)	$0.008129 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.085}$ ($r=0.747$)	$0.0000868 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.527}$ ($r=0.923$)
P-N	$0.0005065 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.119}$ ($r=0.820$)	$0.002920 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.833}$ ($r=0.811$)	$0.0001179 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.203}$ ($r=0.858$)
P-P	$0.00573 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.746}$ ($r=0.900$)	$0.001564 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.890}$ ($r=0.963$)	$0.000574 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.994}$ ($r=0.959$)
Cl-	$0.1687 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.660}$ ($r=0.922$)	$0.01353 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.892}$ ($r=0.991$)	$0.07399 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.756}$ ($r=0.964$)
D-COD	$(1.172 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.363})$ ($r=0.692$)	$0.03148 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.747}$ ($r=0.968$)	$0.00812 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.930}$ ($r=0.980$)
D-N	$(0.02262 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.673})$ ($r=0.743$)	$0.001360 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{1.019}$ ($r=0.975$)	$0.002852 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.971}$ ($r=0.957$)
D-P	$0.04404 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.201}$ ($r=0.250$)	$0.0000488 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.924}$ ($r=0.697$)	$0.0000672 \cdot (\sum Q_{net}/A)^{0.956}$ ($r=0.839$)

降雨時流出負荷量の算定モデル

表 5(c) 河川パターン別の第3モデル式の比較

Table 5(c) Comparison of third model with river groups classified by land use in their basins

水質項目	河川タイプ		
	市街地河川 観測ケース 9観測例(2河川・5流域)	山地河川 11観測例(2河川・3流域)	田園地河川 8観測例(2河川・2流域)
T-COD	0.1209 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.667}$ ($r=0.867$)	0.006615 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.230}$ ($r=0.717$)	0.000430 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.681}$ ($r=0.932$)
T-N	0.007565 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.832}$ ($r=0.920$)	0.004124 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.926}$ ($r=0.888$)	0.002958 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.003}$ ($r=0.878$)
T-P	0.005126 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.637}$ ($r=0.874$)	(0.0002485 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.086}$) ($r=0.518$)	(0.00000241 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{2.248}$) ($r=0.859$)
SS	0.2880 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.842}$ ($r=0.842$)	0.008680 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.597}$ ($r=0.718$)	0.001650 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.840}$ ($r=0.847$)
P-COD	0.008300 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.095}$ ($r=0.886$)	0.002796 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.344}$ ($r=0.644$)	0.0000573 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.979}$ ($r=0.924$)
P-N	0.0003631 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.253}$ ($r=0.803$)	0.003051 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.789}$ ($r=0.594$)	0.0001995 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.253}$ ($r=0.658$)
P-P	0.003253 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.693}$ ($r=0.851$)	0.001235 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.853}$ ($r=0.891$)	0.0002205 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.151}$ ($r=0.903$)
Cl ⁻	0.07635 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.596}$ ($r=0.872$)	0.01380 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.809}$ ($r=0.971$)	0.05532 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.633}$ ($r=0.884$)
D-COD	0.3268 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.190}$ ($r=0.415$)	0.01921 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.652}$ ($r=0.850$)	0.005460 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.950}$ ($r=0.952$)
D-N	0.001510 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.962}$ ($r=0.541$)	0.001143 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.054}$ ($r=0.940$)	0.004472 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.871}$ ($r=0.894$)
D-P	0.005749 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.086}$ ($r=0.089$)	0.00000662 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{1.236}$ ($r=0.615$)	0.0000446 $\cdot (\sum Q_{net}/A \cdot T_{dir})^{0.956}$ ($r=0.719$)

表 5(d) 河川パターン別の第4モデル式の比較

Table 5(d) Comparison of fourth model with river groups classified by land use in their basins

水質項目	市街地河川		山地河川		田園地河川	
	9観測例(2河川・5流域)		11観測例(2河川・3流域)		8観測例(2河川・2流域)	
T-COD	4.214 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.507}$ ($r=0.611$)		0.01328 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.429}$ ($r=0.791$)		0.000106 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{2.049}$ ($r=0.903$)	
T-N	0.1242 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.764}$ ($r=0.814$)		(0.0005345 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.255}$) ($r=0.895$)		0.000992 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.482}$ ($r=0.872$)	
T-P	0.1362 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.526}$ ($r=0.665$)		0.001660 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.145}$ ($r=0.570$)		0.002487 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.973}$ ($r=0.626$)	
SS	5.609 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.773}$ ($r=0.729$)		0.01679 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.719}$ ($r=0.758$)		0.0000282 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{2.568}$ ($r=0.911$)	
P-COD	0.5247 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.763}$ ($r=0.616$)		0.008623 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.456}$ ($r=0.704$)		0.0000141 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{2.279}$ ($r=0.883$)	
P-N	(0.8385 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.374}$) ($r=0.396$)		0.005577 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.100}$ ($r=0.710$)		0.0001115 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.620}$ ($r=0.763$)	
P-P	0.1400 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.494}$ ($r=0.570$)		0.000998 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.271}$ ($r=0.965$)		0.000180 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.488}$ ($r=0.949$)	
Cl-	0.9396 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.617}$ ($r=0.822$)		0.02285 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.129}$ ($r=0.881$)		0.05527 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.045}$ ($r=0.854$)	
D-COD	3.013 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.339}$ ($r=0.617$)		0.04228 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.966}$ ($r=0.880$)		(0.003090 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.369}$) ($r=0.925$)	
D-N	0.06854 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.732}$ ($r=0.772$)		0.001441 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.366}$ ($r=0.919$)		0.001004 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.437}$ ($r=0.906$)	
D-P	0.01031 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{0.506}$ ($r=0.601$)		0.00001149 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.451}$ ($r=0.770$)		0.00001703 $\cdot (\Sigma Q_{net}/A \cdot T_{rain})^{1.459}$ ($r=0.821$)	

降雨時流出負荷量の算定モデル

ターンごと、かつ、流域規模の各段階ごとにそれぞれパラメータを決定すれば算定精度が高くなる。しかし、先述のように観測値の絶対数不足を補うためと、河川や流域相互の差違を見極めるために、流域面積の大きさを除した量での検討を行った。対象とする降雨や流域の規模には適用範囲が存在する。対象降雨の適用範囲は、一連の降雨として、上限は200mmまでは観測例もあり有効であるが、下限は各河川ごとに降雨時流出の影響が異なるため、一応の目安は経験的に15~20mm前後である。これより降雨量が小さい場合は、たとえ降雨強度が大きくても降雨時流出の影響は短時間に終わることが多く、降雨強度の小さな降雨に至ってはその影響が小さいからである。もちろん、不浸透性の地表面面積比率が高い市街地河川では、降雨量が小さくてもその流出負荷量への影響は現れるが、晴天時流出負荷量が高レベルでかつその変動も大きいためにその中に含めて取り扱ってもよい場合が多い。

流域規模については、降雨の地域分布の一樣さを保持して算定精度を高レベルに維持するためには、おのずと対象流域の規模に制限が課されることになる。ここで用いた観測値は、著者らが霞ヶ浦に流入する小河川と中河川の支流で調査を実施した流域面積20km²前後の河川ばかりである。しかし、大河川においても、それぞれの支流や本川でも、一連の降雨による直接流出流量が既知となれば、このモデルの拡大適用が可能である。多摩川では大きな降雨量の降雨になれば、大量の降雨時流出負荷量を生じ、それが晴天時流出負荷量と併せた年間総流出負荷量の中で大きなウェイトを占めることが市川らのRipple図での研究⁵⁾からも明らかとなっている。また、宍道湖に流入する斐伊川⁶⁾、伊勢湾に流入する庄内川、三河湾に流入する豊川など⁷⁾において降雨時流出負荷量の観測がなされ、晴天時流出負荷量と比較してその量の大きさが指摘されている。

これら大河川に中規模河川も含めて、先述の解析上の必要条件を満たす降雨時流出負荷量観測に加えて晴天時流出負荷量観測値のそろっている落合らの斐伊川⁶⁾(流域面積911.4km²; 86mm, 90mm, 166mmの3回の降雨)、古田らの豊川⁷⁾(流域面積643.6km², 21~147mmの降雨1回)、庄内川⁷⁾(流域面積620.8km², 60~140mmの降雨1回)、矢田川⁷⁾(庄内川の支流、流域面積109.7km², 50~80mmの降雨1回)、山本らの恋瀬川⁸⁾の下流部(流域面積218.4km²)、中流部(流域面積151.5km²)及び同じく中流部(流域面積120.1km²)についての平均約50mmの降雨1回の観測結果を対象に同様の解析を試みた。

大河川においても、降雨時流出の累加流出流量に対するTotalあるいは懸濁態の水質項目の累加流出負荷量の頭打ち現象は顕著なため、流域規模の差違による影響を除くべく流域面積当たりの降雨時流出分の総流出流量と総流出負荷量の回帰関係(第2モデル)としてプロットしたものが図10である。これはT-Pであるが、他のTotalやSSの水質項目についても同様の関係となっている。また、晴天時流出分を含めた総流出流量と総流出負荷量の回帰関係(第1モデル)や、観測時間当りの降雨時流出分の総流出流量と総流出負荷量の回帰関係(第3モデル)も、図10に近い分布となっている。図10は、山林の流域面積に占めるウェイトが高い河川と、市街地や農耕地のウェイトが高い河川とに分かれて分布する傾向が認められる。これは、流量についての流出率や、人為的な汚

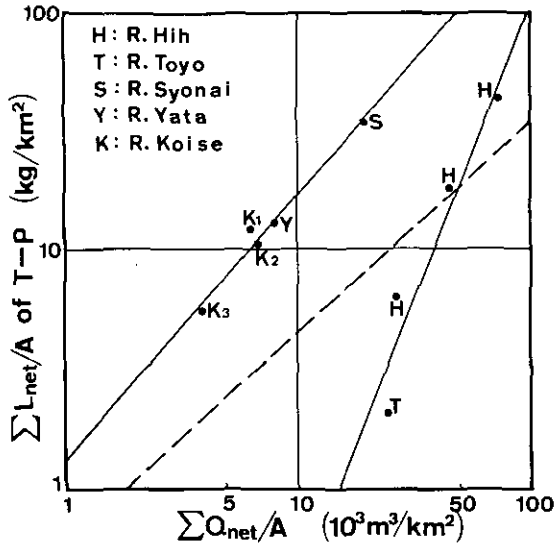


図 10 大河川における比累加流出負荷量と比累加流出流量の関係
 Fig.10 Relationship between specific cumulative flow and specific cumulative loading for large rivers

濁負荷源の差違によるものと考えられる。図10には、先述の霞ヶ浦流域の小河川で求めた回帰式も破線で図示してあり、河川あるいは河川パターンによって回帰式が少しずつ異なることがわかる。この9観測値全体としての相関係数は高くないが、更に高い精度を要求するには、河川ごとの広範囲にわたる降雨の観測ケース増加の必要性がこの図からも指摘できる。また、大河川の場合、降雨の流域内の分布の不均一さはむろんのこと、小降雨ではその降雨時流出の影響は小さく、算定の困難さが予想される。図10より、流域内の平均降雨量でおよそ30 mmを超える降雨については算定が可能であると考えられる。一般に、流域規模が拡大すれば降雨の地域分布の差が広がり、流域内の土地利用形態の複雑化も加わって、流域全体としての有効雨量の正確な推定は困難であり、流量観測値の存在が望ましい。

河川の流量及び負荷量の流出特性を左右する流域特性の差として顕著なものには、山地、水田、畑地、市街地などの土地利用形態別面積のウェイトのほか、下水道の普及の程度、大量の工場排水の流入の有無などを挙げる事ができる。したがって、各河川ごとに回帰式のパラメータを求めることが肝要で、そうすれば回帰モデルによる算定精度も向上することになる。

8. 結論

河川の流出負荷量において大きなウェイトを占める降雨時流出負荷量算定のために、モデルの精度の確保と利用のしやすさを考慮して、著者の既発表の回帰モデルを拡張・展開し、第1から第4

までのモデルを提案した。これによって、観測値の整備状態や利用目的に応じて、最も適当な回帰モデルの選択が可能になった。著者は、1部のモデルについては琵琶湖流入河川と霞ヶ浦流入河川の比較、及び、両者を併せた回帰モデルの検討を行っているが、ここでは霞ヶ浦流入河川を対象に、観測河川数及び観測降雨数を倍に補って河川全般あるいは河川パターンごとに解析を行った。

もともと、この回帰モデルは降雨時流出負荷量観測値の絶対数不足を補うモデルとして提案したものであり、本来、各河川ごとや流域特性に基づいた各河川パターンごとに観測値に基づいてパラメータを決定して利用すべき性質のものである。このことは、大河川の観測例を示すことにより、その性質を明確化させるとともに流域規模の大きな河川へも適用できることを示した。

また、ここでは、T-COD、T-N、T-PのTotalとしての水質項目だけでなく、各懸濁態成分の回帰モデルがより精度の高いモデルとして求められることを示した。さらに、溶存態成分の流出負荷量も同様に回帰モデルが適用できることを示した。溶存物質あるいは溶存態成分の降雨時流出分が懸濁態成分のそれに比べて小さいけれども算定の必要があり、その回帰モデルの相関係数は逆に高くなるが多かった。

この回帰モデルは、1降雨ごとの降雨時流出負荷量の算定に利用できるが、統計モデルゆえ、1年間のような長期間を対象に、一定の降雨量以上のすべての降雨について、大きな降雨量の降雨は各降雨ごとに、ある範囲内の降雨はその各降雨グループごと一括して降雨時流出負荷量を算定し、これに晴天時の平均流出負荷量も併せて、期間当たりの総流出負荷量の推定に最も有効である。

終わりに臨み、降雨時流出負荷量の観測に御協力下さった村岡浩爾室長はじめ国立公害研究所水質環境計画研究室の方々、大河川の降雨時流出負荷量の観測値を利用させて頂いた方々に感謝の意を表する次第です。

引用文献

- 1) 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.
- 2) 海老瀬ほか(1981): 小河川における豪雨による浮遊物質流出量の定量化. 第25回水理講演会論文集, 473-479.
- 3) 海老瀬ほか(1979): 市街地河川における降雨時流出負荷量の変化特性. 水質汚濁研究, 2(1), 33-34.
- 4) 海老瀬潜一(1980): 小河川の降雨時流出負荷量の算定と評価. 環境技術, 9(4), 5-13.
- 5) 市川新ほか(1980): 累積汚濁負荷曲線(Ripple図)による年間負荷量の解析. 第14回日本水質汚濁研究会年次学術講演会講演集, 51-52.
- 6) 古田正次ほか(1980): 河川における水質および負荷量の変動について. 用水と廃水, 22, 第3号, 11-23.
- 7) 落合久栄ほか(1981): 斐伊川における出水時の汚濁流出について(I). 用水と廃水, 23, 第11号, 59-65.
- 8) 山本哲也ほか(1980): 霞ヶ浦流入河川水質の動向と室家・リンの流出特性について. 第14回日本水質汚濁研究会年次学術講演会講演集, 61-62.

6. 流域内土地利用形態別流出負荷量原単位の解析

Analysis on Basic Unit of Runoff Loading Classified by Land Use in River Basin

海老瀬 潜一¹

Senichi EBISE¹

Abstract

The pollutant sources in the watershed of Lake Kasumigaura are mainly non-point sources, such as, paddy field, plowed field, forest area and urban area. Generally, until now total loading by influent rivers into a large lake have been estimated by addition of drainage loading with load basic unit of each source and by multiplying its sum by drain out rate and incoming rate. In this report new method by using runoff load basic unit which is load basic unit contained drain out rate and incoming rate is proposed to estimate total loading in place of the method by drainage load basic unit. One of two methods to determine runoff load basic unit is the method by observation data of river basin with single land use type, and the other is by multi-regression analysis of river basins consisted of many land use types. Specific runoff loading of river is consisted of sum of the products which are runoff basic units multiplied ratio of area for each land use type. Therefore, runoff load basic units could be obtained as regression coefficients by multi-regression analysis of multi-variants linear equations neglecting small ratio of area. Unless analytical data contains fully the data at stage of storm runoff, a regression coefficient becomes a negative number. Also, if a river basin is regarded as a single land use type, runoff load basic unit could be determined by runoff loading a unit area of its river basin. After determining runoff load basic units by observation data for urban area basin, mountainous basin and rural area basin, total influent loading into Lake Kasumigaura could be estimated.

1. 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番2
Water and Soil Environment Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1. 緒言

最近の湖沼や内湾などの閉鎖性水域における水質汚濁や富栄養化現象は一時的なものではなく、慢性化の傾向にある。これらの現象の根本的な抑制策としては集水域からの流入負荷量削減が不可欠となっており、大規模な負荷排出源それぞれについての正確な排出負荷量の把握とともに、集水域内の各土地利用形態別流出負荷量の算定も全体の中に占めるそれぞれの寄与度を明らかにする意味からも重要課題となっている。一般には、地域特性を考慮した個々の原単位調査をもとに、各種負荷の排出負荷量原単位から積み上げて、実測流出負荷量とのチェックによって流達率・流出率で調整した流出負荷量の算定手法の用いられることが多い。市街地、林地、水田、畑地などの面源負荷は、降雨を介して流出する特性を有しているにもかかわらず、その原単位の算定には降雨時流出分の評価がそのウェイトを考慮すれば、十分なされているとは言えない現状である。これは、種々の降雨条件を考慮した実測調査の困難さや面源負荷の潜在的な流出特性に負うところが多い。徐々にではあるが、河川や下水道での降雨時流出負荷量の観測結果をもとに、面源負荷の原単位算定の努力が続けられている。これまでに提案されている面源負荷の排出負荷量原単位や流達率・流出率の数値は、それぞれかなり異なったものが多い。

もともと面源負荷の排出負荷量原単位は、その面源負荷の立地する水文・気象・地形・地質・地殻状態や種々の人間活動などの環境条件で大きく異なる性質を有しており、広域を対象とする場合、統計的な平均量として取り扱わざるを得ない性格のものである。ここでは、従来からの積み上げ方式による流出負荷量の算定方式とは異なり、多くの河川において実測された流出負荷量と、それぞれの河川流域の土地利用形態別面積比率をもとに、その重回帰分析によって排出負荷量に流達率・流出率を併せた形での各土地利用形態別の流出負荷量原単位の算定を試みることにする。また、単一の土地利用形態と見なせる流域における流出負荷量観測値から、その流出負荷量原単位の平均値を算出して比較検討を行う。

2. 従来の研究

河川の流出負荷量から汚濁物質の流出負荷量原単位を求める先駆的な研究に、降雨時流出負荷量のみを対象とした浅野・馬場らの研究¹⁾がある。浅野・馬場らは、ある流域における山林、田畑、河川、宅地面積をそれぞれ A, B, C, D (km^2) とし、対象とした流域下流端における一降雨出水の総流出負荷量と総流出流量をそれぞれ $\sum L$ (kg)、 $\sum Q$ (m^3) とすると、流出負荷量と土地利用形態との関係が山林、田畑、河川、宅地における単位面積・単位流量当たりの汚濁物質流出負荷量 a, b, c, d ($\text{kg}/\text{km}^2 \cdot \text{m}^3$) によって次式で表されたとした。

$$\sum L = a \cdot A \cdot q_A + b \cdot B \cdot q_B + c \cdot C \cdot q_C + d \cdot D \cdot q_D \quad (1)$$

ここで、 q_A, q_B, q_C, q_D はそれぞれ山林、田畑、河川、宅地からの総流出流量で、簡単のために、対象とした流域の総面積を $S (= A + B + C + D)$ とし、次式で表示した。

$$q_A = \frac{A}{S} \Sigma Q, q_B = \frac{B}{S} \Sigma Q, q_C = \frac{C}{S} \Sigma Q, q_D = \frac{D}{S} \Sigma Q \quad (2)$$

そして、多摩川本川中流部及び支川などを対象に、SS、BOD、COD、T-N、T-Pについて最小自乗法によって a, b, c, d の値を求めている。その結果は、表1に示すように河川がすべての水質項目で負かつ絶対値が最大となり、田畑のBODについても負の値となっているほかはすべて正の値が得られている。河川についての負の値は河道内（ダム・せき（堰）も存在）での汚濁物質の蓄積を理由に挙げている。

表 1 土地利用形態別の降雨時流出負荷原単位¹⁾
Table 1 Basic unit of storm runoff loading classified by land use types¹⁾

(単位: kg/cm² m³)

土地利用	SS	BOD	COD	T-N	T-P
山 林	8.1×10^{-4}	9.5×10^{-6}	3.8×10^{-5}	1.6×10^{-5}	7.6×10^{-7}
田 畑	2.0×10^{-3}	-1.0×10^{-3}	2.1×10^{-3}	8.3×10^{-3}	4.3×10^{-6}
河 川	-2.6×10^{-1}	-6.8×10^{-2}	-5.3×10^{-2}	-2.8×10^{-2}	-5.5×10^{-3}
宅 地	2.0×10^{-2}	3.2×10^{-3}	3.0×10^{-3}	9.7×10^{-4}	1.7×10^{-4}

この研究では、河川を対象とする土地利用形態の一つとして取り上げていること、(2)式のように各土地利用形態からの総流出流量を全流域の総流出流量にそれぞれの面積比率を乗じたものと仮定した点に議論の余地があろう。河道自体の取り扱い方には、解析目的との関連からと思われるが、(2)式の仮定は第1次近似であって、将来はそれぞれの土地利用形態に対する平均的な流出率を考慮したウェイト付けがなされることになろう。また、解析対象とした8流域において、山林の面積比率が6流域で極端に高く、他の2流域では極端に低いことも、サンプル数とその中でのウェイトを考慮すると統計的な解析結果への影響も考えられる。

3. 解析手法

(1) 流域特性と観測地点の検討

河川の流出負荷量から流域内の面源負荷の流出負荷原単位を統計解析によって明らかにするには、土地利用形態別面積比率の異なる多くの流域、種々の降雨条件での降雨時流出負荷量観測に、その背景として存在する晴天時流出負荷量観測が併せて必要である。河川では、下水道での観測に比べて流域面積のスケールが大きくとれるほか、いろいろな土地利用形態を含むため現象が複雑になる反面、種々の面源負荷を同時に評価できる利点がある。またこれとは別に、単一の土地利用形態の流域あるいは河川区間ごとに観測してその評価を行うか、あるいは、それぞれが異なった単一の土地利用形態と見なせる数地域が互いに隣接し合って上下流を構成する河川区間を選べば、上下流

方向の数地点における観測によって数地域のほぼ同じ水文条件下での流出負荷量の算定・評価も可能である。したがって、いろいろな土地利用形態が複雑な流域構成となることが多い河川流末における多数の河川の観測データの統計解析結果と、上述の単一の土地利用形態としての観測結果を比較検討することによって、統計解析結果をチェックすることができる²⁾。

(2) 観測値の構成内容の吟味

統計的解析法では、用いたデータ（観測値）がどのような性質・内容の構成であるかによって、解析の意義まで左右されることになる。したがって、対象河川流域の土地利用形態別構成や、観測頻度と観測時刻などの観測方法を十分吟味した取り扱いをしなければならない。すなわち、降雨を介して流出する特性の面源負荷ゆえ、その流出負荷量のうちで大きなウェイトを有する降雨時流出分の観測値がどの程度そのデータ中に含まれているかが大きな問題である。また、晴天時流出分の負荷量で大きなウェイトを占める工場排水・生活排水などの点源負荷の取り扱い方も問題である。それゆえ、解析には以下のことを原則とする。

- (i) 用いるデータはその一部に降雨時流出負荷量観測値を含む定期的かつ長期間の観測値（平均値）とする。
- (ii) 工場排水や下水・し尿処理場等排水の河川流出負荷量への影響の大きな河川は解析対象から除く。
- (iii) 生活排水は市街地負荷の一部として市街地面積に比例し、市街地面積比率の中に表現できるものとする。
- (iv) 下水道の普及した流域と下水道のない流域とは負荷の特性が異なるため、別々の解析データ群として解析する。
- (v) 畜産排水はその大半が農地還元処分である場合、農耕地（水田・畑地）の面積比率で表現できるものとする。
- (vi) 河川間の流域規模の相違による影響を除去するために、流出負荷量を流域面積で除した比流出負荷量を解析に用いる。

特に、(vi)は各観測地点のデータに平等なウェイトを持たせるためである。なお、土地利用形態の各項目として、林地（山地・草地を含む）、水田、畑地（樹園地を含む）、市街地、水面（水辺地を含む）等とする。場合によっては、更に細分化できるが、そのウェイトが他と比べてかなり小さければ、独立変数の増加した統計解析は良好な回帰結果をもたらさないことが多い。

(3) 解析方法

解析方法は多重線形回帰方程式を用いる。水質項目 k の河川 j についての単位面積当たりの土地利用形態 i の流出負荷量（したがって流出負荷量原単位）を x_{ijk} とし、河川 j の土地利用形態 i の全流域面積に対する面積比率を a_{jk} とすると、水質項目 k の河川 j についての比流出負荷量 b_{ijk}

は次式で表現できる。

$$a_{1k} \cdot x_{1jk} + a_{2k} \cdot x_{2jk} + \cdots + a_{jk} \cdot x_{ijk} + \cdots + a_{nk} \cdot x_{nj k} = b_{ijk} \quad (3)$$

この式が一つの水質項目 k について対象河川数 n だけできる。これを各水質項目ごとに多重線形回帰分析することになる。対象河川数が土地利用形態数と一致する場合は、多項式の連立方程式としても解くことができる。それゆえ、一般には対象河川数が土地利用形態数以上の場合に統計解析として適用できる。土地利用形態数を絞って、できるだけ同等のレベルの観測値を有する河川を数多く取り入れて、回帰分析の精度を上げることが望ましい。そして、この観測値と同等精度の土地利用形態別面積比率の統計データが必要である。

4. 霞ヶ浦流入河川の解析

(1) 流域特性と観測値

解析対象としたのは図1に示す霞ヶ浦西浦流域（流域面積 1391.8 km²）の流入河川である。西浦への流入河川数は25である。このうち、流域面積では西浦全流域の4分の3強を占め、負荷量ではさらに大きなウェイトを占める主要10河川（図1中で河川名を□で囲んだ河川）では、毎週1回の頻度で1年間の定時観測値がある。さらに、この10河川に次いで重要な3河川（図1中で河川名に下線を付した河川）を加えた13河川は晴天時24時間負荷量観測値がある。また、湖岸部で小さな排水路を通じてあるいは直接湖に排出される残流域を除いたほぼすべての流入河川を含む24河川の日負荷量調査がある。いずれも各河川の湖への流入端近くでの観測値である。個々の河川流域内の土地利用形態別面積が明らかなものは、茨城県の調査資料³⁾によれば18河川であり、上記の調査河川グループごとの流域内土地利用形態別面積比率を表2に示す。霞ヶ浦西浦流域内では、山地は北西部の筑波山系に限定でき、大半は台地や低地であるため水田・畑地（樹園地を含む）・市街地の面積比率が大きく、林地でも桜川・恋瀬川・園部川の上流部が山地林であるほかは、平地林がほとんどで、高くても丘陵地程度である。湖岸近くにハス田があるが、河川流域としては比率が低い。水面は河川部のほかにかんがい用などの溜池が含まれる。

(2) 解析結果

表1においていずれの河川グループともハス田と水面（水辺地を含む）の面積比率が他の四つと比べて小さいため、この二つを除外して、水田、畑地（樹園地を含む）、林地（草地を含む）、市街地の四つで流域が構成されているとして新たに四つの土地利用形態に面積比率を再配分したものを解析に用いた。最も観測頻度の高い毎週1回定時1年間の平均流出負荷量の観測値のある10河川グループの中から4河川を選んで連立方程式を解いた結果は、T-N、T-P、T-COD、Cl⁻の4水質項目とも林地（草地を含む）の比流出負荷量への寄与、すなわち、流出負荷量原単位は負となった。これは10河川での重回帰分析及び18河川グループの中での連立方程式でも同様で、負の小さ

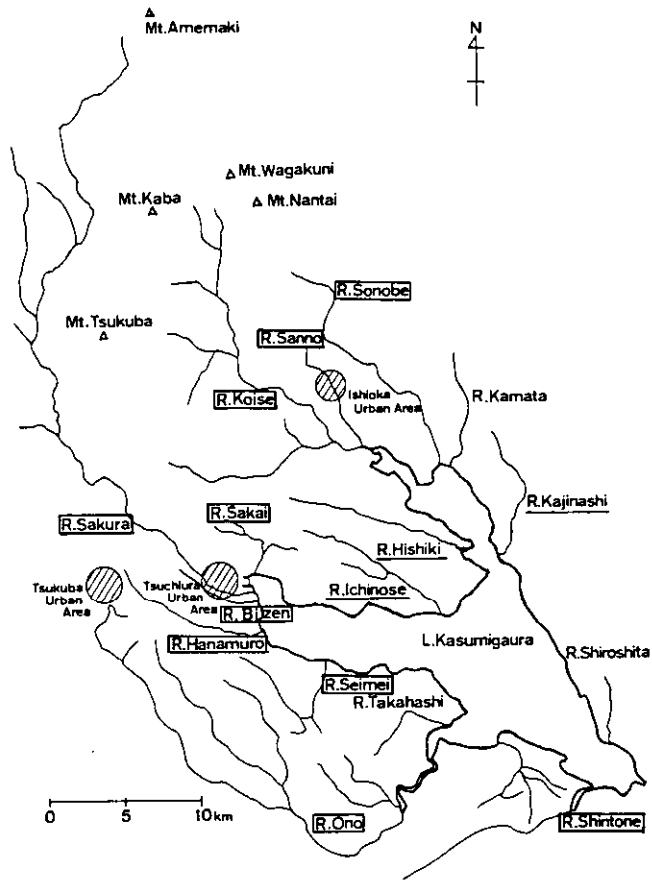


図 1 霞ヶ浦（西浦）流入河川
Fig. 1 Influent rivers into Lake Kasumigaura.

表 2 霞ヶ浦流域の土地利用形態別面積比率
Table 2 Ratio of areas classified by land use types in the watershed of Lake Kasumigaura

流域(グループ)	流域面積	ハス田	水田	畑地	林地	市街地	水面・水辺地
	km ²	%	%	%	%	%	%
西浦全陸域	1391.8	1.2	28.5	23.4	29.7	13.8	3.5
10河川グループ	1053.3	0.6	27.4	23.8	31.4	14.5	2.3
13河川グループ	1135.7	0.6	27.1	24.5	31.4	14.2	2.2
18河川グループ	1193.9	0.6	26.8	24.4	31.3	14.5	2.1
残流域	198.0	4.6	38.5	15.7	19.9	9.7	11.6
北浦全陸域	360.2	0.5	17.6	36.5	34.7	7.8	2.9
霞ヶ浦全陸域	1861.2	1.0	26.9	25.3	29.9	13.3	3.6

な値であった。それゆえ、変数の自由度も考慮して林地（草地を含む）の比流出負荷量への寄与は近似的に零、すなわち、 $x_{3k} = 0$ として、三つの土地利用形態について重回帰分析を行った。10河川グループについての解析結果は表3に示すように、T-CODについての畑地（樹園地を含む）の比流出負荷量への寄与が負になったほかは正の回帰係数（土地利用形態別流出負荷量）となった。

表 3 重回帰分析による土地利用形態別流出負荷量原単位（単位：kg/km²・y）
Table 3 Basic units of runoff loading by multi-regression analysis

土地利用形態	T-N	T-P	T-COD	Cl ⁻
水 田	911	189	12,600	20,200
畑 地	2,939	77	-21,100	5,960
市 街 地	4,645	294	11,400	47,200
重相関係数	0.898	0.772	0.900	0.904

この10河川グループのうち、工場排水及びし尿処理場放流水の河川流出負荷量への影響の無視できる5河川の場合について、またその影響の枠を少し緩めて6河川の場合について、更にその影響の枠を緩めて7河川の場合について同様の多重重回帰分析を行った。その結果を表4に示す。表3の解析の場合と同様に、林地（草地を含む）はいずれの水質項目でも負で0に近い回帰係数（土地利用形態別流出負荷量）を示したため、 $x_{3k} = 0$ として水田・畑地（樹園地を含む）・市街地の三つの土地利用形態で解析を行った。T-N、T-P、T-COD及びCl⁻に加えて、SS、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N及びPO₄³⁻-Pと形態別の流出負荷量原単位も求めた。表4の一部には負の回帰係数（土地利用形態別流出負荷量）となっているものの、大まかな各土地利用形態別の流出負荷量原単位を知ることができる。

表3及び表4に示した重相関係数は、工場排水やし尿処理場放流水などの大きな点源負荷の影響が少なくなる方向に対象河川数を絞ると良くなる傾向が見られる。しかし、この対象河川数を大きな点源負荷のないものに絞ったことは、重相関係数を高める結果をもたらすものの、使用データ数の減少もあって、負の回帰係数（土地利用形態別流出負荷量）を減少させたり、同じ負の値でも0に近付けるとはなっていない。また、13河川グループ、18河川グループについてもこの傾向が見られたが、回帰係数（土地利用形態別流出負荷量）は対象河川数が変化すると1オーダー程度の範囲内で変動することが多い。

このように、統計解析のために用いたデータの構成によって解析結果が大きく影響される。この毎週1回の観測値でも、面源負荷の流出にとって大きなウェイトをもつ降雨時流出分の負荷量が十分とらえられていないことがその原因の一つである。また、工場や事業所排水及びし尿処理場放流水などの大規模な点源の存在も原因の一つと考えられる。しかし、この流出率・流達率を含んだ土

表 4 重回帰分析による土地利用形態別流出負荷量原単位 (単位: kg/km²・y)
 Table 4 Basic units of runoff loading by multi-regression analysis

河川数	土地利用形態	T-N	T-P	T-COD	Cl ⁻	SS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P
5 河川	水田	2,270	91	117	11,000	-3,150	-1,010	32	1,400	95
	畑地	820	-328	-1,100	2,200	22,700	880	-95	1,600	-252
	市街地	3,600	1,020	14,000	32,000	23,700	980	350	-505	570
	r	0.987	0.979	0.984	0.997	0.918	0.948	0.996	0.969	0.985
6 河川	水田	2,400	117	1,860	13,200	-5,050	-915	63	1,400	95
	畑地	1,100	-278	315	6,600	18,900	1,070	-63	1,450	-221
	市街地	3,440	997	13,200	29,000	25,900	850	315	442	540
	r	0.987	0.976	0.974	0.985	0.910	0.931	0.967	0.971	0.979
7 河川	水田	690	221	2,800	5,700	130	-757	63	30	130
	畑地	1,960	-331	-189	10,400	16,000	980	-63	2,140	-221
	市街地	4,800	911	12,500	35,600	21,600	725	315	630	500
	r	0.954	0.968	0.976	0.974	0.905	0.925	0.974	0.848	0.979

土地利用形態別流出負荷量は、後述の単一土地利用形態流域の流出負荷量実測値と比較して、十分とまでは言えないまでも、その実測値の分布範囲にはほぼ入る値となっている。さらに、降雨時流出分の負荷量をその応分のウェイト反映したデータを用いるなり、大規模な点源負荷のない河川を解析対象とすれば、その解析結果の精度は更に向上することが期待できる。

5. 単一土地利用形態流域の流出負荷量原単位

水田・畑地（樹園地を含む）、林地（草地を含む）、市街地などの面源負荷のうち、市街地と林地の中に含まれる山地については、その立地条件から単一の土地利用形態の流域として比較的選びやすい面源負荷である。水田と畑地（樹園地を含む）は両者が混在したり、山地との分離の困難な立地状況となっていることが多い。したがって、河川上流部流域としての山地（林地に含まれる）と中流部流域の農耕地（水田・畑地・樹園地を含む）及び中・下流部流域の市街地のようなとらえ方で、それぞれの流域からの流出負荷量観測値の検討を行うことにする。また、既存の研究によって排出負荷量原単位として明らかにされているものも一部に存在するので、それらの値との比較を行う。

（1）山地流域と田園地流域

山地は河川の水源として雨水から河川水への水量・水質の変換の場であり、山地流域からの晴天時流出負荷量と流量は河川流出負荷量と流量のベースあるいはバックグラウンドとしての重要な意味がある。対象とした河川は恋瀬川支流川又川の上流部に当たる小桜川、寺山沢及び大作沢である。いずれも筑波山系を流域とする小河川である。このうち、大作沢は筑波山の最高峰の東側山麓を流域とするかなり河床こう配の大きな小河川で、流域下流端付近に数十戸の人家とわずかな水田があるものの、溪流河川の名称がふさわしい山地流域である。また、寺山沢と小桜川は、筑波山の南側に連なる山系の東側山麓を流域とする小河川であり、上流部は山地であるが中・下流部では水田を主とした農耕地のウェイトが高くなり、農家が散在する田園地流域である。

この3河川の5観測地点での各流域の流域面積と人口密度の流域特性と流出負荷量原単位を表5に示す。この晴天時の流出負荷量の値は、晴天時の河川縦断方向の流出負荷量の3回の調査と晴天時の12時間及び18時間流出負荷量調査の結果を用いた。さらに、降雨時流出負荷量調査における降雨による流出直前までの観測値や、降雨流出の影響期間と影響度調査のための降雨の直接流出後の長期間の断続的な観測値も用いることができる。

表5の3河川の5流域は、人口密度は37～127人/km²の範囲で大きな差はないけれども、農耕地がほとんどない大作沢の流域が他の四つの流域よりはるかに小さな流出負荷量原単位となっている。寺山沢と小桜川の4流域は、ほぼ同じレベルの流出負荷量原単位となっており、同グループとして取り扱える流域と言える。したがって、大作沢流域の単位面積当たりの流出負荷量を山地流域の流出負荷量原単位とする。他の4流域平均の単位面積当たりの流出負荷量には、山地流域の流出負荷量も含まれているが、その面積比率と流出負荷量原単位が小さいため、そのまま農耕地と山

地に散在する農家の生活排水も含んだ田園地流域の流出負荷量原単位とすることができる。

表 5 山地流域河川及び田園地流域河川の流出負荷量原単位
Table 5 Basic units of pollutant loading in mountainous stream and agricultural land rivers

河川名	流域	流域面積 (km ²)	人口密度 (人/km ²)	T-N (kg/km ² y)	T-P (kg/km ² y)	T-COD (kg/km ² y)	Cl ⁻ (kg/km ² y)
大作沢	全流域	3.11	126	233	51	142	1,020
寺山沢	全流域	6.31	89	1,420	325	2,100	5,500
小桜川	上流域	2.36	49	1,060	112	4,560	6,180
小桜川	中流域	7.99	37	975	118	3,590	5,530
小桜川	全流域	17.63	87	1,730	200	3,400	5,300
4流域平均	—	8.6	66	1,300	190	3,400	5,630

(2) 市街地流域

典型的な市街地からの流出負荷量については、石岡市街地を貫流する山王川と、土浦の近効市街地を流下する備前川の調査結果がある。また、この二つの河川とは流域特性を若干異なる市街地河川の境川と花室川の二つの流域、さらに、流域の上流部に市街地が存在する清明川の流域の調査結果がある。これらの5河川では、毎週1回の頻度で1年間の定時負荷量観測値と晴天時24時間負荷量観測値の両者による流出負荷量原単位を求めることができ、その値と流域特性を併せて表6に示す。晴天時24時間負荷量観測は、一部に同じ日の場合も含まれるが、他は観測日が異なっている。山王川の場合のみ4回の観測結果の平均値であり、他は1回の観測値である。花室川の上・中流域には下水道の普及した地域があり、他の河川流域には下水道が敷設されていない。市街地面積比率と人口密度の両面及び流出負荷量原単位の比較から、清明川が市街地化のウェイトの低い河川流域であり、逆に、山王川が市街地化の高い河川流域であることがわかる。この流出負荷量原単位には、生活雑排水だけでなく、工場排水の影響もあるため、市街地面積比率や人口密度から簡単に市街地流域を断定することは困難であるが、おおよその流出負荷量原単位を知ることができる。

表6下段の二つの市街地の値は、石岡市街地の場合が山王川で、土浦市街地の場合が備前川で、それぞれの市街地をはさむ上、下流地点での調査結果があり、その観測値から算出した流出負荷量原単位である。これより、山王川の石岡市街地における人口や事業所などによる負荷の大きさが明らかとなった。この流出負荷量原単位は、各流域からの排出負荷量原単位に流出率・流達率を含んでいるため、市街地の流域内での位置と観測地点までの流下距離や、流下区間での河床状態や堰の有無などが微妙な影響を及ぼすことが考えられる。表6最下段の5河川平均の流出負荷量原単位は、

表 6 市街地流域河川の流出負荷量原単位
Table 6 Basic units of pollutant loading in urban rivers

河川名	流域面積 (km ²)	市街地 (%)	人口密度 (人/km ²)	T-N (kg/km ² y)		T-P (kg/km ² y)		T-COD (kg/km ² y)		Cl ⁻ (kg/km ² y)	
				定時観測	24時間観測	定時観測	24時間観測	定時観測	24時間観測	定時観測	24時間観測
山王川	12.4	38	1,772	4,550	4,500	740	890	10,200	9,600	30,500	34,400
備前川	6.48	44	1,939	2,320	1,740	480	440	6,910	4,750	18,100	18,100
境川	17.6	33	902	1,710	1,900	270	300	4,930	3,340	12,600	17,000
花室川	34.4	37	1,068	3,730	2,810	210	300	4,390	6,770	22,900	32,100
清明川	24.5	16	541	1,680	2,800	140	230	3,940	4,490	13,600	17,800
石岡市街地	2.10	—	8,058	18,000	16,300	4,860	5,140	59,600	52,100	105,000	116,000
土浦市街地	4.12	—	2,660	—	1,510	—	430	—	4,740	—	19,900
5河川平均	19.1	34	1,052	2,800	2,750	370	430	6,070	5,790	19,500	23,900

土浦市内を流下し、下水道が一部普及した新川は含まれていないが、西浦流入河川のうち主要な市街地河川はほとんど含むため、西浦流域の平均的な市街地流域からの値であると考えられる。

(3) 文献による値

既往の研究では、流出負荷量原単位に関しては先述の降雨流出時の浅野らの研究¹⁾のほか、河川上流部の自然負荷量としての洞沢⁴⁾、芦部ら⁵⁾及び和田⁶⁾の研究がある。洞沢⁴⁾、芦部ら⁵⁾及び和田⁶⁾の研究は、流出負荷量原単位と比流量の経験式による定量化を目指したものである。水質項目としてはBODが中心であるが、和田の六甲山系の小河川流域⁵⁾では、T-CODが146~2,770 kg/km²・y、T-Nが110~1,720 kg/km²・yとなっている。この値の範囲は、低い方が(1)の山地河川の場合と、高い方が田園地河川の場合とほぼ同じレベルとなっている。

また、流出負荷量原単位ではなく、負荷発生源からの排出負荷量原単位の研究が水田に関しては多くある。しかし、その算定方法が不統一のため簡単な比較ができない。國松^{7,8)}がライシメーター実験と農耕地河川での実測結果より算出した排出負荷量原単位は、水田についてT-Nで4,000 kg/km²・y、T-Pで490 kg/km²・yとなっている。これらの値は、(1)の田園地河川の場合の2.5~3倍となっている。これに流出率・流達率が乗じられれば流達負荷量原単位との比較ができるが、流出率・流達率は河川流域によって異なるし、降雨時流出を左右する水文条件によっても違ってくる。

(4) 実測流出負荷量原単位による霞ヶ浦への流入負荷量の推定

(1)と(2)の霞ヶ浦(西浦)流域内の河川における流出負荷量原単位の实測値を用い、茨城県による土地利用形態別面積から、霞ヶ浦(西浦)への流入負荷量の推定を行うことができる。土地利用形態別面積のうち、水面・水辺地はその集水域全体に占める面積比率が3.5%弱と小さいので無視し、水田・畑地(樹園地を含む)・ハス田は併せて農耕地として田園地流域の流出負荷量原単位を用いる。また、林地(草地を含む)は山地の流出負荷量原単位を用いるが、田園地流域では一部に林地(山地を含む)を含んだ流出負荷量原単位となっている。したがって、林地の寄与を無視した場合と、林地の寄与を考慮した場合の二つに分けて、霞ヶ浦(西浦)の流入負荷量の推定を行うことにする。すなわち、前者が田園地と市街地の寄与のみとした場合を小計として、この小計に林地の寄与分を加えたものを合計として表7に示す。

(1)と(2)の流出負荷量原単位は、降雨時流出分の流出負荷量が十分反映されたものではない。したがって、表7の値と霞ヶ浦(西浦)全流入河川同日負荷量調査結果と比較する。林地の寄与分は10%以下であり、総流入負荷量への影響は小さい。全流入河川同日負荷量調査結果によると、T-Nは2,095 t/y、T-Pは125 t/y、T-CODは5,080 t/y、Cl⁻は15,913 t/yであった。これらの値と比較して、表7の値はT-Nで約3分の1、T-Pで約2倍、T-CODで約3分の1、Cl⁻で約半分となる。水田と畑地を併せて取り扱ったこと、市街地流域の流出負荷量原単位が山王川の

表 7 土地利用形態別流出負荷量原単位による霞ヶ浦への総流入負荷量の算定
 Table 7 Estimation of total influent river loading with basic units of runoff loading classified by land use types

	T-N (t / y)		T-P (t / y)		T-COD (t / y)		Cl- (t / y)	
	18 河川 流 域	西 浦 全 集 水 域	18 河川 流 域	西 浦 全 集 水 域	18 河川 流 域	西 浦 全 集 水 域	18 河川 流 域	西 浦 全 集 水 域
田園地	808	959	118	140	2,113	2,509	3,499	4,154
市街地	261	289	74	83	820	911	3,443	3,825
小 計	1,069	1,248	193	223	2,933	3,420	6,941	7,979
林 地	86	95	19	21	52	58	382	422
合 計	1,155	1,343	211	244	2,985	3,478	7,323	8,401

場合よりかなり小さな平均値を用いたこと、などがその原因と考えられる。しかし、T-Pの値が大きくなった原因は、田園地流域の流出負荷量原単位が大きかったことによると考えられる。さらに、工場や事業所排水やし尿処理場放流水など規模の大きな点源負荷がどの程度影響を及ぼしているかのチェックも必要と思われる。

6. 結 論

湖沼や内湾などの閉鎖性水域への流入負荷量の算定法として、従来からの各種負荷排出源の排出原単位からの積み上げ方式とは異なり、河川流出負荷量観測値から流出率・流達率を含んだ形での土地利用形態別流出負荷量原単位の統計解析法を提案した。さらに、霞ヶ浦（西浦）流域において単一の土地利用形態と見なせる河川流域での流出負荷量観測値から、流出負荷量原単位を求め、霞ヶ浦（西浦）への総流入負荷量の算定も試みた。

統計解析法は、個々の土地利用形態別面積比率と土地利用形態別流出負荷量原単位の積の和が河川流出負荷量であるとする多重線形回帰方程式を用いた。霞ヶ浦（西浦）流域のうち土地利用形態別面積比率が既知である18河川や、更に対象河川数を絞って毎週1回の頻度で1年間の流出負荷量観測値のある10河川を解析対象にして、回帰係数として得られる流出負荷量原単位を検討した。この解析手法は統計解析ゆえ、解析対象のデータの構成内容が解析結果に大きく影響した。得られた流出負荷量原単位は、単一の土地利用形態流域と見なせる河川流域で算定された流出負荷量原単位に近い値であった。しかし、解析対象の河川グループの水質項目によっては負の流出負荷量原単位となる場合があった。これは、流域からの負荷をすべて面源負荷として包括的に取り扱っているにもかかわらず、面源負荷の流出にとってウェイトの高い降雨時流出分の負荷量が十分反映されたデータとは言えないこと、工場や事業所排水やし尿処理場放流水などの規模の大きな点源負荷の影響も含んだデータであったこと、などが原因と考えられた。これらの問題点が解決されれば、この解

析の精度は更に向上すると考えられる。

また、単一の土地利用形態流域と見なせる河川流域における河川流出負荷量から、各土地利用形態別流出負荷量として、各土地利用形態での住民の生活排水の影響もその中に含めた形で、山地流域、田園地流域及び市街地流域としての平均的な流出負荷量原単位を算定した。その結果を霞ヶ浦（西浦）への総流出負荷量の算定に適用した結果、全流入河川同日負荷量調査結果と比較して、T-Pが約2倍と大きく、T-NとT-CODがおよそ3分の1、Cl⁻が約半分の値であった。これは、田園地流域のT-Pの流出負荷量原単位が大きいこと、市街地流域のT-N、T-COD及びCl⁻の流出負荷量原単位が小さかったことによる。また、田園地流域では水田と畑地を区分して流出負荷量の算定ができなかったことも原因と考えられる。さらに、多くの流域での観測値が集積すれば、統計的にもその平均値が、霞ヶ浦流域の代表値として利用できると考える。

引用文献

- 1) 浅野富夫・馬場洋二・伊藤雄二・綿貫克彦（1981）：流域土地利用を考慮した雨天時水質の挙動について第25回水理講演会論文集（土木学会），411-416.
- 2) 海老瀬潜一（1983）：河川流出負荷量から見た土地利用形態別流出負荷量原単位．土木学会第38回年次学術講演会概要集，第2部，753-754.
- 3) 茨城県委託，地域開発コンサルタント（1982）：汚濁負荷削減計画策定調査報告書.
- 4) 洞沢 勇（1973）：河川上流における自然汚濁量と比流出量について．用水と廃水，11，1327-1331.
- 5) 芦部良生・村瀬義典（1975）：自然汚濁負荷に関する一考察．第12回下水道研究発表会講演集，449-451.
- 6) 和田安彦（1978）：河川上流部の自然負荷の定量化とその特性．用水と廃水，20，438-454.
- 7) 國松孝男（1983）：農地からの栄養塩の流出，（Ⅱ）水田の汚濁負荷原単位の見直し．日本陸水学会第48回大会講演要旨集，34．
- 8) 野崎直子・上山恵子・國松孝男（1983）：農地からの栄養塩の流出，（Ⅰ）水田ライシメーター実験．日本陸水学会第48回大会講演要旨集，33．

7. コイの小割式養殖業からの栄養塩負荷

Nutrients Loading from Carp Culture in Floating Nets in Lake Kasumigaura

相崎守弘¹・串田克則²・赤羽政亮³

Morihiro AIZAKI¹, Katsunori KUSIDA² and Masaaki AKAHANE³

Abstract

Carp culture in floating nets is one of the important nutrients loading sources in Lake Kasumigaura. The carp culture has rapidly increased since 1969 and the production of carp was estimated as about 5,000-7,000 t/y in whole basin of Lake Kasumigaura during 1976 to 1981. Nutrients loading from carp culture has also increased with the increase of carp production and that was estimated as 90-120 t/y in phosphorus, 460-630 t/y in nitrogen and 3,500-4,700 t/y in carbon during the same period. Floating nets of carp culture are localized in the central part of the lake, so this region received large amount of nutrients as compared with other regions. Rates of nutrients loading from carp culture of the whole annual loading in this region were estimated as about 46-51% in phosphorus and 34-43% in nitrogen. The rates in the whole basin were also estimated about 20-23% in phosphorus and 15-19% in nitrogen during the same period. Excretion rate of nutrients from the feeding by carps was determined experimentally as about 80% in nitrogen and 86% in phosphorus of the given food. Nitrogen was mostly excreted as dissolved form and phosphorus was mainly particulate form. These excrements were easily used by phytoplankton.

-
1. 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番2
Water and Soil Environment Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 2. 昭和55年度 国立公害研究所共同研究員(日本大学 生産工学部 〒275 千葉県習志野市泉町1-2-1)
Research Collaborator of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: College of Industrial Technology, Nihon University, Izumi-machi, Narashino, Chiba 275, Japan.
 3. 昭和55-57年度 国立公害研究所客員研究員(日本大学 生産工学部 〒275 千葉県習志野市泉町1-2-1)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: College of Industrial Technology, Nihon University, Izumi-machi, Narashino, Chiba 275, Japan.

1. はじめに

霞ヶ浦のコイの養殖は1963～64年頃より試験的に開始され、1969～1970年頃より急激に増加した。魚類の養殖は、その生存と成長の過程を通じ、エネルギーの大きな消費と排出を伴うため、生産規模の拡大とともに、養殖場やその周辺水域の水質、底質環境に急速な変化が生じる可能性が高い(日本水産学会, 1977)。コイの小割式網いけすによる養殖の場合、湖内で給じ(餌)を行うため水質に与える影響は大きく、このような養殖の行われている湖、例えば霞ヶ浦、諏訪湖等では湖の富栄養化の大きな原因の一つとなっている(Yamagishi *et al.*, 1972; 林ら, 1979; 浜田ら, 1979; 相崎ら, 1981)。網いけすによるコイ養殖からの負荷量は、飼料投入量とコイのとり揚げ量の差から理論的には簡単に算出が可能である。しかし、実際にはコイから排せつされるふんや尿が直接的な負荷源となっていると考えられ、その挙動には不明の点も多い。本研究では、霞ヶ浦におけるコイの小割式養殖業からの負荷量をコイの生産量から推定するとともに、コイから排せつされる栄養塩類の形態の検討及び藻類にどの程度利用されるのか等について検討を行った。

2. 方法

2.1 負荷量の算出

負荷量は飼料投入量とコイのとり揚げ量の差から次式により算出が可能である(相崎ら, 1981)。

$$L = F \times (\alpha / E - \beta)$$

ここで、 L : 負荷量、 F : 生産量、 E : 餌料効率、 α : えさの栄養塩含有率、 β : コイの栄養塩含有率。

生産量に関しては茨城県農林水産統計年報(関東農政局茨城統計事務所, 1983)及び茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所の調査資料(茨城県, 1979)を使用した。餌料効率は水温や餌の種類、与え方等によりかなり異なってくるが、ここでは1978年の霞ヶ浦北浦における生産量(9,529t)と飼料使用量(16,913t)との比0.563を用いた(茨城県, 1979)。えさの栄養塩含有率はえさの90%以上を占める配合飼料の栄養塩含有率、窒素6.56%、リン1.1%、炭素45%を用いた。またコイの栄養塩含有率としては、窒素2.58%、リン0.237%、炭素12%を用いた(国立栄養研究所国民栄養振興会, 1961)。

2.2 排せつされる栄養塩の形態

地下水0.78 m³を入れた飼育水槽(1 m³)に300～500gのよく馴化したコイ11匹を入れ、成魚用配合飼料(炭素41%、窒素6.0%、リン2.45%)30gを与えた後、約24時間の間水質の変化を追跡した。えさは浮えさで給じ後数分のうちに食べられたことを確認した。実験は1980年10月に行った。そのときの水温は15～18℃であった。また水槽中には常時コンプレッサーで空気を補給した。

2.3 藻類増殖に対する影響

屋外に設置した飼育水槽 (0.6 m³) に水道水 0.5 m³ を入れ、約 400 g のコイ 1 匹を入れ、毎日 3 g の成魚用配合飼料 (炭素 41%、窒素 6.0%、リン 2.45%) をえさとして与え、約 2 週間の間水槽中の藻類現存量、栄養塩濃度等の変化を追跡した。また対照として水道水だけを入れた水槽についても同様な測定を行った。実験は 1981 年 7 月及び 1982 年 6 月に行ったが、そのときの水温は前者が 25~31°C、後者が 18~29°C であった。

2.4 分析方法

懸濁態炭素量 (POC) 及び窒素量 (PON) はあらかじめ 450°C で 3 時間加熱処理したグラスファイバーフィルター (ミリポア社, AP 20) でろ過し、ろ紙上の試料について CHN コーダ (柳本社, MT 3 型) で測定した。クロロフィル *a* 濃度はグラスファイバーフィルター (ワットマン社, GF/C) でろ過後、ろ紙上の試料について SCOR/UNESCO 法で測定した。生物学的酸素要求量 (BOD) は 20°C、5 日間法で測定した。溶存有機炭素 (DOC) は過硫酸カリウムで 170°C、1 時間分解後測定した (Menzel & Vaccaro, 1964)。アンモニア態窒素 (NH₄-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、溶存態全窒素 (DTN)、全窒素 (T-N)、無機態リン (PO₄-P)、及び全リン (T-P) 濃度はテクニコンオートアナライザー CSM 6 型 又は AA II 型を用いて分析した (海老瀬, 1981; 大槻ら, 1981)。なお DTN 及び T-N 濃度はアルカリ性条件下で、全リンは酸性条件下で過硫酸カリウムにより、120°C、1 時間分解後測定した。

3. 結果

3.1 負荷量の推定

霞ヶ浦・北浦における小割式養殖業でのコイの生産量の経年変化を図 1 に示す。1969 年頃より急激に増加しており、最近では約 8,000 t 近い生産量がある。しかしながら、統計資料によって大きな違いがみられ、例えば茨城県霞ヶ浦水産事務所 (茨城県, 1979) の資料では 1976 年、1977 年及び 1978 年の生産量がそれぞれ 8,519 t、8,215 t、9,529 t であったのに対し、茨城県農林水産統計年報 (関東農政局茨城統計事務所, 1983) では 5,794 t、7,705 t、7,325 t と著しい違いがみられた。

表 1 に 1976 年から 1981 年までの霞ヶ浦全水域に対するコイ養殖業からの負荷量の推定値を示す。統計資料の違いによって 30% 以上の誤差が生じるが、1981 年にはコイ養殖業から霞ヶ浦に年間、リンが 118 t、窒素が 623 t、炭素が 4,667 t 負荷されたと推定された。

霞ヶ浦におけるコイの養殖は、湖心部に面した玉造町、出島村が中心で、高浜入は比較的その面数が少なく、麻生沖を中心とした水域には網いけすがほとんどない (茨城県, 1979)。また給じ期間はコイの成長が盛んな 4 月から 10 月に限られており、冬季には給じされない。給餌量は自動給じ機がある場合と手まきで与える場合とでかなり異なっている。そこでこれらの値を補正して、月

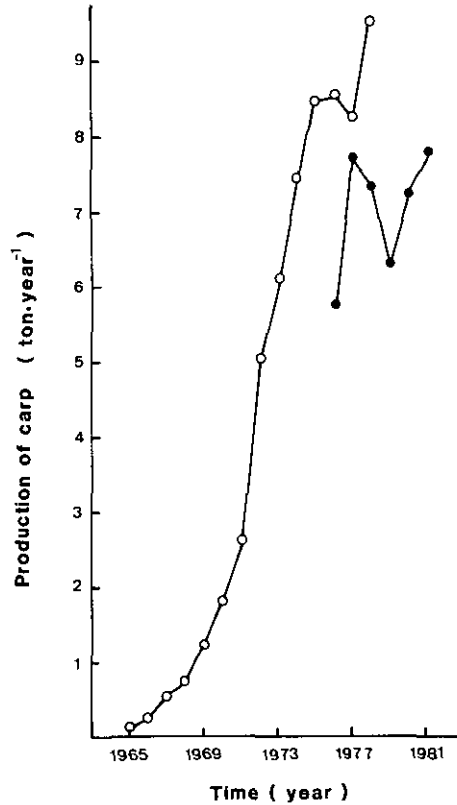


図 1 霞ヶ浦北浦における小割式養殖業でのコイ生産量の経年変化

Fig. 1 Annual changes in production of carp culture in floating nets in Lake Kasumigaura

(○) data from Ibaraki prefecture (1979), (●) data from Ibaraki Statistics and Information Offices (1983).

別、水域別に給じ率を算出した。その結果を表 2 に示す。水域としては高浜入、土浦入、湖心域及び麻生の四つに分けた (合田ら, 1984)。その結果、水域別では湖心域が全体の約 59%, 土浦入が約 25%, 高浜入が約 16% を占め、麻生沖は 0% と推定された。各水域に対する月別栄養塩負荷量は、霞ヶ浦に対する年間負荷量に表 2 に示した給じ率を掛けることによって得られる。例えば、湖心域の 1981 年 7 月の負荷量はおおよそ、リン 12t、窒素 64t、炭素 476t と推定される。また 1981 年の年間負荷量は湖心域にリン 70t、窒素 368t、炭素 2,753t、土浦入にリン 30t、窒素 156t、炭素 1,167t、高浜入にリン 19t、窒素 100t 及び炭素 756t と推定された。

表 1 霞ヶ浦におけるコイの小割式養殖業からのリン、窒素及び炭素の年間負荷量
Table 1 Annual loadings of phosphorus, nitrogen and carbon from carp culture in Lake Kasumigaura

	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Production* of carp	5,110 (7,518)	6,935 (6,840)	6,273 (8,364)	5,214	6,011	6,870
P	88 (129)	119 (117)	108 (143)	90	103	118
N	464 (682)	629 (621)	569 (759)	473	545	623
C	3,471 (5,107)	4,711 (4,646)	4,261 (5,682)	3,542	4,083	4,667

* 茨城農林水産統計年報（関東農政局茨城統計事務所，1983）データ。（ ）内は茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所（茨城県，1979）データ。

表 2 コイ養殖負荷の霞ヶ浦各水域、給じ（餌）期間中の各月ごとの負荷率
Table 2 Individual nutrient loading ratio (%) from carp culture in each month and each zone in Lake Kasumigaura

Zone	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Total
Takahamairi	2.0	2.1	2.0	2.8	2.7	2.5	2.1	16.2
Tsuchiurairi	3.1	3.2	3.1	4.3	4.0	3.8	3.2	24.7
Central part of the lake	7.4	7.5	7.4	10.2	9.6	9.1	7.5	58.7
Asou	0	0	0	0	0	0	0	0

3.2 排せつされる栄養塩の形態

投与した30gの成魚用配合飼料中には炭素12.3g、窒素1.80g、リン0.735gが含まれていた。図2に飼料投与後の水槽中のTOC、DOC及びBOD濃度の経時変化を示す。TOC濃度は30分後から4時間後まで、及び12時間後から19時間後までの2回急激な増加がみられ、かなり周期的に排せつが行われることを示唆していた。これに対して、DOC及びBOD濃度はほぼ一定の速度で増加する傾向がみられた。24時間後の水槽中の全有機炭素の増加量は6.34gであり、これは投与した飼料中に含まれる炭素量の約52%に相当した。増加した全有機炭素のうち約42%が溶存態であった。24時間後のBOD濃度は7.2 mg・l⁻¹であり、これを炭素量に換算すると、排せつされた全有機炭素量の約30%に相当した。これは、コイから排せつされた炭素のかかなりの部分が微生物に容易に分解されることを示すものである。これらのことから、コイから排せつされる炭素はふん等の懸濁態で

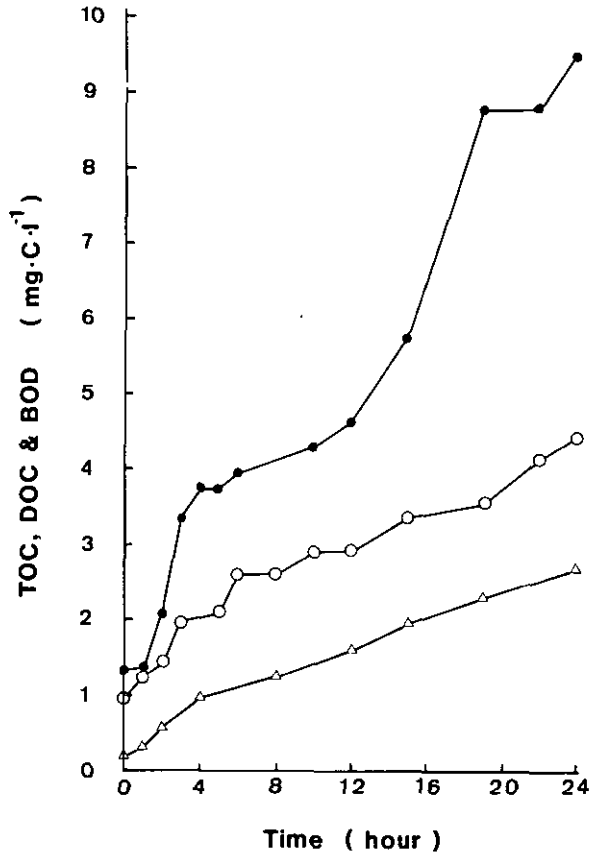


図 2 屋内水槽におけるコイへの給じ後のTOC (●), DOC (○) 及びBOD (△) 濃度の経時変化

Fig. 2 Changes in the concentrations of TOC (●), DOC (○) and BOD (△) in the water tank with carps after a feeding

BOD concentration was changed into carbon value using conversion rate of 1/2.67.

排せつされる量が尿等の溶存態で排せつされる量より若干多く、また排せつされた炭素は微生物に容易に利用されることが明らかとなった。

図3にT-N, DTN及びTIN濃度の給じ後の経時変化を示す。T-N, DTN及びTIN濃度もほぼ一定の速度で増加する傾向がみられた。24時間後の水槽中の全窒素の増加量は1.43gであり、これは投与した飼料中に含まれる窒素量の約80%に相当した。増加した全窒素のうち約87%が溶存態であり、溶存態全窒素の約65%が無機態窒素であった。このことから、窒素成分のほとんどは尿等の溶存態で排せつされ、ふん等の懸濁態で排せつされる量はわずかであることが明らかになった。また溶存態有機窒素がかなり排せつされていることが判明した。

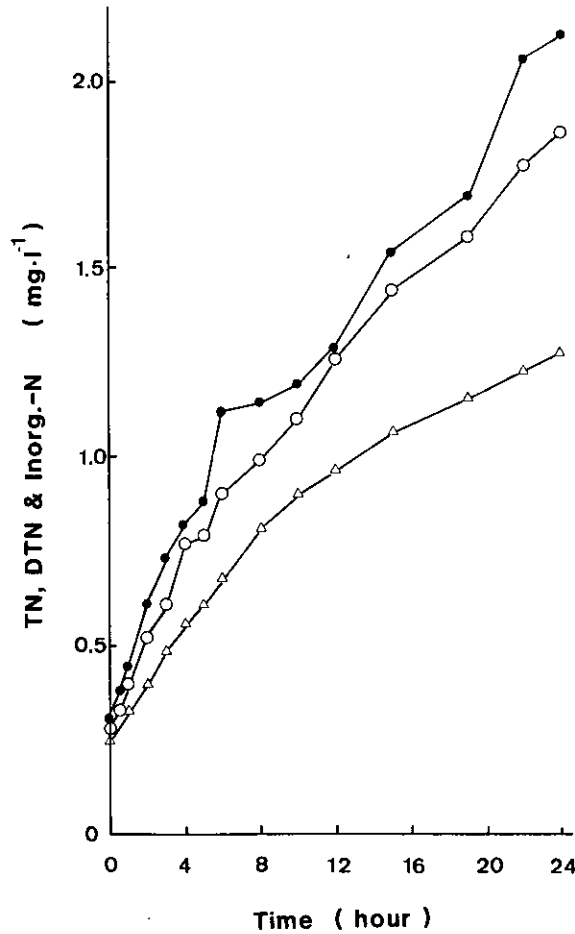


図 3 屋内水槽におけるコイへの給じ後のTN (●), DTN (○) 及び無機態全窒素(△) 濃度の経時変化

Fig. 3 Changes in the concentrations of TN (●), DTN (○) and inorganic nitrogen (△) in the water tank with carps after a feeding

図4に給じ後のT-P及びDTP濃度の経時変化を示す。図から明らかなごとく、DTP濃度はごくわずかしき変化しなかった。DTP濃度は5時間後に最高値に達したが、この時の濃度から投与飼料中に含まれるリンの溶存態での回帰率を求めると約5%という値になった。一方、全リン濃度は給じ直後と12時間後に急激な増加がみられ、24時間後では投与した飼料中のリン量の約86%が水中へ回帰してきた。このことから、コイから排せつされるリンのほとんどはふんなどの懸濁態の形で排せつされることが明らかになった。

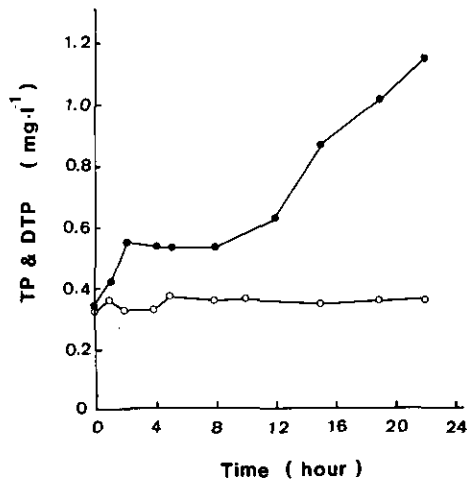


図 4 屋内水槽におけるコイへの給じ後のTP (●) 及びDTP (○) 濃度の経時変化
 Fig. 4 Changes in the concentrations of TP (●) and DTP (○) in the water tank with carps after a feeding

3.3 藻類の増殖に及ぼす影響

これまで述べてきたごとく、水槽へ投与された飼料中の栄養塩類のかなりの部分は水中へ回帰してくることが明らかになったが、そのうち窒素は主として溶存態で、リンは主として懸濁態で、炭素は溶存態及び懸濁態が混ざった状態で回帰してきた。このように異なった形で回帰してきた栄養塩が藻類の増殖にどの程度有効に利用されるかについて屋外水槽を用い実験を行った。

図5にクロロフィル *a* 濃度の経時変化を示す。7月の実験では、実験開始直後から急激なクロロフィル *a* 濃度の増加がみられ、5日後には最高値 $276 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ まで増加した。その後は $120 \sim 220 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度の値を維持した。6月の実験でも10日後に $169 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ の濃度まで増加し、その後 $100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度の値を維持した。コントロールとして水道水を満たした水槽では最高値として7月の実験では $11 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 、6月の実験では $7 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ が得られたが、その後は約 $5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度の濃度を維持した。このことから、コイからの排せつ物は植物プランクトンに非常に利用しやすい形態であることが明らかになった。出現した植物プランクトンは主として緑藻類であった。

図6に7月の実験における給じ開始後の各態窒素濃度の経時変化を示す。実験開始後3日目までは急激な $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増加がみられたが、その後藻類の増殖に伴って $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は減少し、7日以後は $0.03 \sim 0.04 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度の濃度になった。硝酸態窒素は4日後まで約 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度でほとんど変化を示さなかったが、その後減少した。一方、懸濁態窒素濃度は3日目以後急激に増加し、9日後には $2.9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ という高い濃度を示した、コントロールの水道水を満たしただけの水槽では、無機態窒素と懸濁態窒素の含量はほとんど変化しなかったが、藻類の増殖とともに懸濁態窒素濃度の割合が高まった。

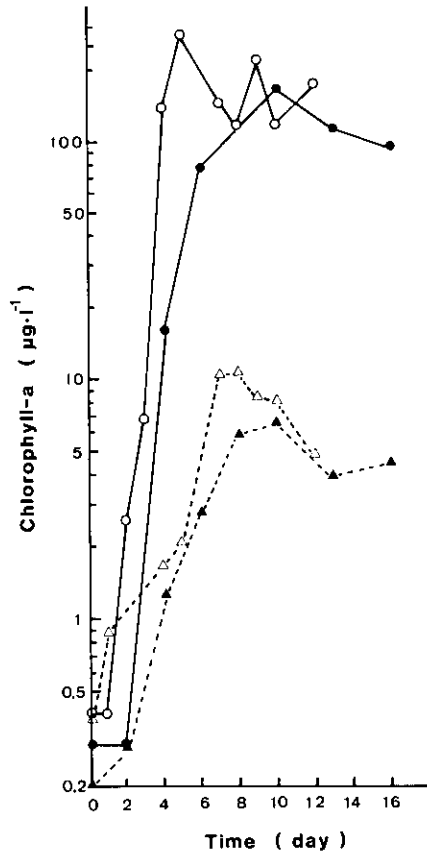


図 5 コイに給じた屋外水槽及び対照とした屋外水槽におけるクロロフィルa 濃度の経日変化

Fig. 5 Increasing curves of chlorophyll-a concentration in the outdoor experimental water tankes in which a carp was given 3g of feed every day (○) July, 1981, (●) June, 1982, (△) control. July, 1981, (▲) control. June, 1982.

図7に投与した飼料中に含まれている窒素量に対する水中へ回帰してきた窒素量の割合を示す。窒素投与量の約50%から80%の窒素が水中へ回帰しており、平均で約65%程度の回帰率がみられた。図8には投与した飼料中に含まれる炭素量と水中の懸濁態炭素量の比を示す。7月の実験では懸濁態炭素量は光合成による空中炭素の固定によって、実験後半には回帰率が100%を超える場合がしばしばみられた。6月の実験でも、実験後半には約60%の回帰率がみられた。

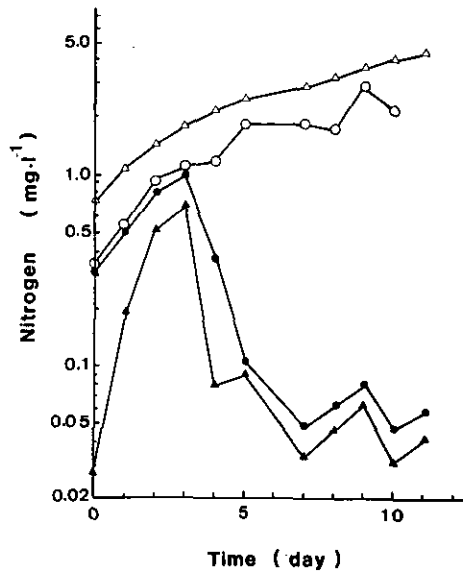


図 6 コイに毎日 3g の配合飼料を給じた水槽における各態窒素濃度の経日変化
 Fig. 6 Changes in nitrogen concentrations in the outdoor experimental water tank in which a carp was given 3g of feed every day
 (▲) $\text{NH}_4\text{-N}$, (●) TIN, (○) TIN + PON, (Δ) integrated amount of nitrogen in the feed.

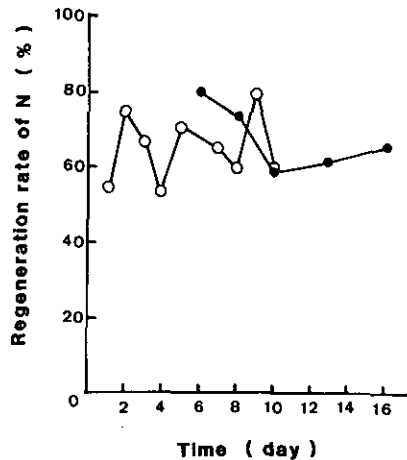


図 7 コイに毎日 3g の配合飼料を給じた水槽における窒素の水中への回帰率
 Fig. 7 Regeneration rates of nitrogen from the adding feed in the outdoor experimental water tanks in which a carp was given 3g of feed every day
 (○) July, 1981, (●) June, 1982.

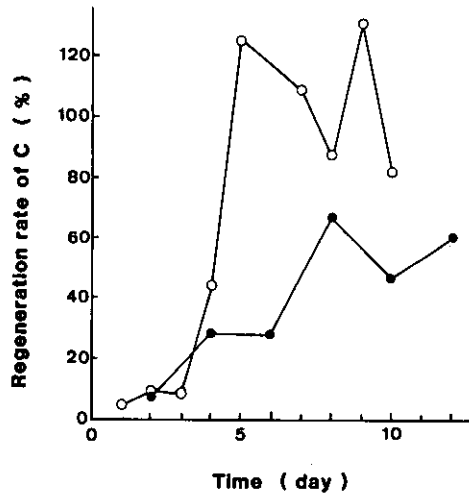


図 8 コイに毎日 3g の配合飼料を給じた水槽における炭素の水中への回帰率
 Fig. 8 Regeneration rates of carbon from the adding feed in the outdoor experimental water tanks in which a carp was given 3g of feed every day
 (○) July, 1981, (●) June, 1982.

4. 考 察

霞ヶ浦全域に対するコイ養殖業からの負荷量は年間平均で陸上から河川によって運ばれる負荷量のリンが約25%, 窒素が約19%と推定されている(合田ら, 1984)。しかしながら, 前述したごとくコイの養殖は湖心域を中心に行われており, また季節的には4月から10月までの期間給じされている。霞ヶ浦は地形的に入り組んでおり, 複雑な地形を持つ湖なので, コイ養殖からの負荷の影響を考える場合, 各水域及び各季節に分けて考える必要がある。表3に1978年から1980年までの各水域に対する窒素及びリンのコイ養殖からの負荷量, 給じの行われている4月から10月までの全流入負荷量, 年間の全流入負荷量及びこれらの全流入負荷量に対するコイ養殖からの負荷量の比を示す。高浜入ではコイ養殖から給じ期間中に, 窒素が77~93t, リンが15~17tの負荷があり, 4月~10月の全流入負荷量に対する割合は, 窒素が13~17%, リンが18~20%と推定された。また年間流入負荷に対する割合は, 窒素が8~11%, リンが11~13%と推定された。土浦入に対してはコイ養殖から, 窒素が117~141t, リンが22~27t負荷され, 4月~10月の全流入負荷量に対する割合は, 窒素が16~21%, リンが22~26%, 年間の流入負荷量に対する割合は窒素が11~13%, リンが14~17%と推定された。これに対して湖心域では, コイの養殖から窒素が279~335t, リンが53~64tの負荷があり, 4月~10月の全流入負荷量に対する割合は窒素が47~58%, リンが62~68%, 年間の流入負荷量に対する割合は, 窒素が34~43%, リンが46~51%と推定された。これらの数値から明らかなように湖心域に対するコイ養殖からの負荷量は非常に大きなもので, 近年の湖心域の

水質悪化の大きな原因となっていることは疑う余地がない。炭素に関しても同様な推定ができ、コイ養殖によって負荷された炭素が湖水に均一に混ざり合うと仮定すると、湖心域ではその濃度が1976～1981年で $9\sim 12\text{ mg}\cdot\text{C}\cdot\text{l}^{-1}$ と推定され、この炭素が全部CODとして測定可能であるとすると、CODに換算して $24\sim 32\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ という値になる。この値は実測値をかなり上まわるが、栄養塩類だけでなく有機物の負荷源としてもコイ養殖が大きなことを示している。

コイの網いけす養殖はこのように湖沼環境に大きな影響を与えていると考えられているが、コイ養殖の湖沼の富栄養化に対する影響には不明の点が多い。例えば、浅海におけるハマチ養殖の場合には、残飼やふんの推積による底泥の悪化が大きな問題となっているが（日本水産学会、1977）、湖沼におけるコイ養殖の場合、網いけすのごく近傍を除いては底泥の悪化はあまり問題になっていない（浜田ら、1979；林ら、1979）。このことは、逆にコイの網いけす養殖から負荷された栄養塩がかなり容易に広範囲の水域に拡散していることを示している。

コイから排せつされる栄養塩のうち、窒素成分についてはそのほとんどが溶存態であることが知られている。浜田ら（1979）の実験では投与した飼料の窒素成分のうち約48%が水中へ回帰しており、その約60%が溶存態であった。今回の実験では窒素投与量の約80%が水中へ排せつされており、その約87%が溶存態であった。屋外水槽実験でも最高時で投与量の約80%の窒素が水中へ回帰しており、そのほとんどは植物プランクトンによって利用されていた。給じによるコイからのふん・尿の排せつ率は水温やコイの体長、えさの量及び質等が変化することによって異なってくる（浜田ら、1979）が、これらのことから、コイに投与された飼料中の窒素成分は、かなり容易に水中へ回帰し、植物プランクトンに利用されることが明らかとなった。なお今回負荷量の推定のために用いた計算式では、投与した飼料中に含まれる窒素成分の約78%が水中へ排せつされることになる。

これに対してリン成分は、コイから主としてふんという懸濁態の形で排せつされるため、藻類に利用されづらいのではないかと予想されている（浜田ら、1979）。しかしながら、今回の屋外水槽実験から、藻類の増殖に必要なリン量はコイからの排せつ物から十分に供給されることが明らかになった。投与した飼料中のリン成分は窒素と同様に約86%が主として懸濁態の形で排せつされていた。したがって、排せつ物のN/P比はT-NとT-Pの比でみる限り配合飼料中のN/P比とほぼ等しく、約2.4という非常にリンに富んだものと考えられる。そのため、屋外水槽実験でのリンの回帰率を窒素と同様に求めてみると約10～20%という窒素に比べて低い値が得られる。これは藻類に有効に利用されるリン量がこの値であると考えよりは、 $160\sim 270\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ という高いクロロフィルa濃度から、光等の他の制限要因によって藻類の増殖が抑制されたため、リンの回帰率が低まったものと考えられる。しかしながら、給じによってコイから排せつされた溶存態リン量は最高でも投与量の約5%程度であったことから、屋外水槽実験におけるリンの回帰率がたとえ10～20%であったとしても、ふんという懸濁態で排せつされたリンのかなりの部分が容易に分解され植物プランクトンに利用されるものと推察される。今後、排せつされるリンの何%までが藻類に有効に利用されるか、更に検討する必要がある。なお、負荷量の推定に用いた計算式では、投与した飼料

表 3 霞ヶ浦の各水域におけるコイ養殖業からの窒素及びリンの負荷量 (A), 給じ期間 (4月-10月)の全流入負荷量*(B), 年間の全流入負荷量*(C), 及びコイ養殖業からの負荷量の全流入負荷量に対する割合 (A/B, A/C)

Table 3 Nutrient loading from carp culture (A), whole nutrient loading during Apr.-Oct. (B), whole annual nutrient loading (C) and ratios of A/B and A/C in each zone of Lake Kasumigaura during from 1978 to 1980

		(t/7 months and t/y)														
		1978					1979					1980				
		A	B	C	A/B (%)	A/C (%)	A	B	C	A/B (%)	A/C (%)	A	B	C	A/B (%)	A/C (%)
Takahamairi	N	93	537	853	17	11	77	593	916	13	8	88	602	945	15	9
	P	17	84	133	20	13	15	84	132	18	11	17	85	135	20	13
Tsuchiurairi	N	141	659	1046	21	13	117	721	1108	16	11	136	798	1227	17	11
	P	27	102	159	26	17	22	100	157	22	14	25	106	164	24	15
Central part of the lake	N	335	569	783	59	43	279	595	821	47	34	321	639	887	50	36
	P	64	94	125	68	51	53	85	115	62	46	61	93	126	66	48
Whole basin	N	569	1961	3012	29	19	473	2150	3227	22	15	545	2286	3464	24	16
	P	108	308	464	35	23	90	298	452	30	20	103	313	474	33	22

*全流入負荷量算出のデータ源については、合田ら (1984) 参照。

中に含まれるリン量の約88%が排せつされることになる。

コイの排せつ物が藻類に利用されやすい形態であることはLamarra(1975)の実験からも推測される。彼はいくつかの浅い湖において、隔離水界を設置し、そこへ種々の密度でコイを放流し、コイのせつ(糞)食活動による底泥からのリン溶出量の測定を行っている。その結果、コイの放流密度とリン溶出速度に高い相関関係がみられ、また放流密度の高い隔離水界ほどクロロフィルa濃度が高くなっていた。このことは、天然のコイの場合でもコイからの排せつ物が植物プランクトンに利用されやすい形態であることを示している。

霞ヶ浦におけるコイ養殖の給じ期間が水質の悪化する夏季を中心とした4月から10月であることや、コイの排せつ物が植物プランクトンに利用されやすい形態であることは、コイの小割式網いけす養殖が霞ヶ浦の富栄養化の大きな要因となっていることを示すものであり、霞ヶ浦の富栄養化防止のためには早急に解決しなくてはならない課題である。

謝 辞

本研究に当たっては、日本大学新井孝昭講師、小島秀一氏及び国立公害研究所水質環境計画研究室の方々、計測技術部大槻晃博士から多くの協力及び助言を頂いた。ここに記して感謝する。

5. まとめ

霞ヶ浦におけるコイの網いけす養殖業からの負荷量を次式から推定した。

$$L = F \times (\alpha / E - \beta)$$

ここで、 L : 負荷量、 F : コイの生産量、 α : えさの栄養塩含有率、 E : 餌料効率、 β : コイの栄養塩含有率。

コイの生産量は1969年頃より急激に増加し、近年では5,000~7,000tと推定されている。それに伴い負荷量も増大し、1976年~1981年ではリン90~120t、窒素460~630t、炭素3,500~4,700tがコイ養殖業から霞ヶ浦に負荷されたと推定された。霞ヶ浦のコイの養殖は湖心域に集中しており、各水域ごとの負荷率を算出すると、高浜入16%、土浦入25%、湖心域59%と推定された。この結果、湖心域に対するコイ養殖業からの栄養塩負荷量の全流入負荷量に対する割合は、4月から10月の給じ期間中では窒素が47~59%、リンが62~68%と推定され、年間負荷量に対しても窒素が34~43%、リンが46~51%と推定された。

給じによってコイから排せつされる栄養塩の形態は、窒素成分はほとんど溶存態で、リン成分はほとんどが懸濁態であった。屋内水槽実験の結果では、コイから排せつされた炭素量、窒素量、リン量は投入量のそれぞれ約52%、80%及び86%であった。この値は炭素量を除き上述の計算式から推定される値と一致した。

コイから排せつされる栄養塩類の藻類に対する利用性を調べた結果、コイからの排せつ物は藻類

に容易に利用されることが明らかとなった。この傾向は溶存態で排せつされる窒素成分に限らず、懸濁態で排せつされるリン成分についても同様であると推測された。

引用文献

- 相崎守弘・大槻 晃・海老瀬潜一・安部喜也・岩熊敏夫・福島武彦（1981）：霞ヶ浦高浜入における栄養塩収支。国立公害研究所研究報告，第22号，281-307。
- 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，130p。
- 合田 健・村岡浩爾・福島武彦（1984）：霞ヶ浦の栄養塩の物質収支について。国立公害研究所研究報告，第54号。
- 浜田篤信・外岡健夫・山崎耿二郎・光田三男（1979）：網生養殖の負荷量の算定と対策。茨城県内水面水産試験場調査研究報告，16，43-63。
- 林 秀剛・沖野外輝夫・倉沢秀夫（1979）：諏訪湖の網いけす養魚が底質におよぼす影響。文部省環境科学特別研究，諏訪湖水域生態系研究報告，3，81-86。
- 茨城県（1979）：霞ヶ浦北浦における養殖業の現状。茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所。
- 関東農政局茨城統計事務所（編）（1983）：茨城農林水産統計年報。茨城農林水産統計協会。
- 国民栄養振興会（1961）：食品栄養価要覧。第一出版社。
- Lamarra, V. A. (1975): Digestive activities of carps as a major contributor to the nutrient loading of lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19, 2461-2468.
- Menzel, D. W. and R. F. Vaccaro (1964): The measurement of dissolved organic and particulate carbon in sea water. Limnol. Oceanogr., 9, 138-142.
- 日本水産学会（編）（1977）：浅海養殖と自家汚染。恒星社厚生閣。
- 大槻 晃・相崎守弘・河合崇欣（1981）：霞ヶ浦高浜入におけるリンおよび溶存無機態窒素の動態。国立公害研究所研究報告，第22号，3-21。
- Yamagishi, H., H. Hayashi, T. Okino, H. Fukuhara and K. Aoyama (1972): Ecological studies on dissolved oxygen and bloom of *Microcystis* in Lake Suwa - Carp culture in floating nets and its influence on the distribution of dissolved oxygen during the season of *Microcystis* bloom. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 38, 1237-1245.

8. 霞ヶ浦流入河川調査の水質データ

Water Quality Data of Influent Rivers into Lake Kasumigaura

海老瀬 潜一¹

Senichi EBISE¹

1. 調査の概要

1978年6月～1980年5月の2年間にわたった霞ヶ浦高浜流入3河川の定期水質調査に続いて、1981年6月～1982年5月の1年間に霞ヶ浦流入7河川の定期水質調査を実施した。調査は毎週1回の頻度で、水曜日の定時に行った。その測定水質項目と分析方法は上述の3河川（恋瀬川・山王川・園部川）の水質調査（国立公害研究所研究報告、第21号、(1981)）と同様である。その調査河川と観測地点は以下のとおりである。

○期間：1981年6月3日～1982年5月26日

○調査河川と観測地点

- ① 境川 (境橋)
- ② 桜川 (栄利橋)
- ③ 備前川 (小松橋)
- ④ 花室川 (阿見境橋)
- ⑤ 清明川 (清明橋)
- ⑥ 小野川 (辺田仮橋)
- ⑦ 新利根川 (北河原橋)

1. 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番2

Water and Soil Environment Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

DATE	DISCHARGE		W. TEMP	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)								
	(m ³ / s)	(°C)		NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD
June	3	0.52	21	1.301	0.201	0.681	2.788	0.268	0.494	28.4	17.9	7.41
	10	0.42	22	1.356	0.237	0.633	2.711	0.349	0.564	27.9	18.8	7.86
	17	0.52	22	1.056	0.197	1.068	3.104	0.227	0.578	23.8	14.3	8.73
	24	0.55	21	1.096	0.287	0.705	4.922	0.343	0.577	27.8	15.6	8.75
July	1	0.50	20	1.871	0.148	0.814	3.675	0.340	0.802	25.1	25.1	8.96
	8	0.29	27	2.123	0.300	0.675	3.493	0.517	0.822	31.3	13.1	9.76
	15	0.49	28	1.785	0.210	1.118	3.660	0.459	0.781	28.7	17.7	8.36
	22	0.50	28	2.071	0.332	0.716	3.728	0.344	0.613	42.0	22.0	9.28
	29	0.32	26	1.108	0.272	0.826	3.138	0.288	0.513	28.0	10.5	8.79
Aug.	5	0.29	25	1.206	0.341	0.748	3.808	0.276	0.571	30.5	28.3	6.71
	12	0.27	25	0.899	0.362	0.949	3.067	0.284	0.428	28.9	16.4	5.70
	19	0.26	25	0.763	0.334	0.852	3.298	0.264	0.411	27.9	19.3	7.46
	26	0.29	27	0.566	0.262	1.188	3.863	0.370	0.557	31.9	20.5	8.52
Sept.	2	0.30	26	0.931	0.160	0.510	3.124	0.149	0.483	14.8	14.7	6.73
	9	0.48	22	0.378	0.190	1.048	2.869	0.167	0.380	24.4	19.7	7.43
	16	0.11	22	0.416	0.144	0.653	3.477	0.188	0.647	15.7	18.3	7.21
	24	0.09	23	1.150	0.341	1.315	3.431	0.442	0.634	34.8	13.5	5.88
	30	0.13	21	1.125	0.287	1.137	3.086	0.219	0.508	33.3	14.0	7.28
Oct.	7	0.09	21	3.431	0.259	0.943	4.662	1.390	1.395	36.6	11.1	120.0
	14	0.20	20	2.955	0.325	1.681	5.560	0.585	0.585	33.3	23.8	10.17
	21	0.18	18	0.761	0.158	1.789	3.719	0.128	0.923	16.0	26.1	13.45
	28	0.30	16	0.654	0.070	0.787	4.341	0.068	0.352	14.1	21.2	5.00
Nov.	4	0.45	16	1.444	0.178	1.692	4.128	0.150	0.372	31.0	30.8	5.48
	11	0.29	14	0.638	0.091	0.883	4.404	0.094	0.670	15.1	185.9	11.61
	18	0.23	13	1.735	0.198	1.881	4.694	0.297	0.533	30.5	19.3	6.05
	25	0.15	12	2.117	0.266	1.794	5.968	0.285	0.414	35.5	6.8	6.87

①R. Sakai

DATE	DISCHARGE		W. TEMP.	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)								
	(m ³ / s)	(°C)		NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD
Dec.	2	0.20	12	1.490	0.274	1.397	4.103	0.285	0.560	31.0	8.1	7.82
	9	0.14	11	1.533	0.080	0.846	9.917	0.222	0.742	17.7	8.5	79.23
	16	0.13	9	2.960	0.155	1.400	5.440	0.271	0.460	32.5	8.0	6.42
	23	0.12	9	2.751	0.182	1.272	4.271	0.351	0.571	32.9	8.9	6.05
	29	0.11	10	2.181	0.095	0.740	3.593	0.167	0.343	28.7	8.1	5.66
Jan.	6	0.21	10	1.420	0.102	1.106	2.897	0.115	0.282	25.9	7.8	4.68
	13	0.11	10	3.183	0.106	0.944	4.740	0.274	0.681	30.5	18.6	9.24
	20	0.09	9	2.859	0.147	1.089	4.593	0.224	0.515	31.0	8.3	8.91
	27	0.11	10	2.671	0.155	0.621	3.638	0.264	0.534	28.7	8.8	7.55
Feb.	3	0.11	10	2.369	0.168	0.901	4.007	0.576	0.961	33.2	19.8	9.68
	10	0.12	10	2.471	0.115	1.158	3.805	0.410	0.697	31.3	12.1	9.90
	17	0.12	12	2.835	0.108	1.302	5.119	0.909	1.226	31.2	6.9	10.14
	24	0.09	11	2.411	0.143	1.097	3.841	0.298	0.492	29.9	6.5	8.03
Mar.	3	0.14	13	1.969	0.141	1.009	4.191	0.255	0.606	30.9	12.4	8.95
	10	0.14	15	1.013	0.097	0.663	3.985	0.274	1.003	15.3	29.6	10.10
	17	0.13	15	2.390	0.157	0.564	3.282	0.328	0.613	31.3	10.0	8.58
	24	0.09	16	1.248	0.106	1.390	4.342	0.425	0.908	35.8	21.6	11.76
	31	0.20	16	1.760	0.204	1.171	4.838	0.395	1.377	55.9	134.8	21.25
Apr.	7	0.08	16	1.909	0.163	0.417	3.168	0.343	0.588	27.1	9.9	9.56
	14	0.07	18	1.984	0.140	0.045	3.376	0.371	0.613	35.2	15.7	9.25
	21	0.15	16	1.562	0.122	0.634	3.565	0.118	0.629	22.8	59.1	11.77
	28	0.28	16	2.839	0.308	1.317	8.331	0.330	1.148	54.9	53.4	14.66
May	6	0.39	19	1.427	0.158	0.680	4.877	0.056	1.636	30.2	596.2	46.36
	12	0.29	24	1.376	0.230	0.738	2.854	0.201	0.402	33.5	25.6	10.19
	19	0.39	21	1.089	0.246	0.735	4.812	0.197	0.401	29.8	22.8	9.93
	26	0.24	23	1.054	0.223	0.632	2.843	0.178	0.375	37.0	11.2	11.82

霞ヶ浦流入河川調査の水質データ

②R. Sakura

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
June	3	3.67	20	0.188	0.096	0.880	2.125	0.037	0.118	26.8	18.9	5.57
	10	3.92	22	0.172	0.097	0.886	1.952	0.041	0.100	23.0	15.5	5.99
	17	6.55	21	0.195	0.099	0.949	1.923	0.076	0.184	17.4	35.1	7.34
	24	3.72	20	0.269	0.097	1.020	3.288	0.048	0.191	21.2	39.1	6.43
July	1	2.87	22	0.101	0.065	0.954	1.919	0.040	0.090	18.6	12.3	4.50
	8	2.40	25	0.082	0.055	0.880	1.782	0.037	0.075	19.2	7.4	4.32
	15	3.55	28	0.095	0.043	0.449	1.217	0.038	0.087	21.1	12.0	5.12
	22	8.78	27	0.189	0.067	0.445	2.139	0.062	0.200	15.2	46.5	6.79
	29	3.20	27	0.098	0.071	1.320	2.184	0.038	0.058	21.2	9.9	3.99
Aug.	5	0.67	26	0.114	0.030	0.431	1.160	0.036	0.051	26.5	4.3	3.75
	12	0.93	26	0.085	0.017	0.108	0.733	0.035	0.050	28.8	3.8	4.76
	19	0.75	25	0.083	0.017	0.138	0.942	0.028	0.059	28.9	7.4	4.81
	26	8.14	25	0.088	0.024	0.763	2.174	0.038	0.153	20.0	45.2	4.98
Sept.	2	4.55	26	0.216	0.054	1.189	2.129	0.046	0.094	19.1	26.5	3.93
	9	5.21	21	0.138	0.079	1.367	2.446	0.045	0.113	20.1	24.9	4.30
	16	3.97	21	0.138	0.060	1.428	2.587	0.052	0.126	19.7	27.3	3.91
	24	2.31	23	0.066	0.055	1.633	2.635	0.040	0.079	24.4	16.7	2.56
	30	2.32	19	0.155	0.068	1.649	2.619	0.040	0.107	22.0	22.6	2.91
Oct.	7	2.64	18	0.152	0.061	1.868	3.002	0.047	0.121	21.9	6.7	3.09
	14	5.33	18	0.149	0.073	1.946	3.191	0.036	0.095	21.3	21.0	3.03
	21	4.43	17	0.094	0.057	1.815	2.870	0.038	0.089	19.6	5.7	2.69
	28	8.82	14	0.125	0.040	2.458	4.358	0.034	0.117	13.1	36.8	3.30
Nov.	4	6.87	15	0.021	0.057	2.107	4.103	0.040	0.120	18.8	32.7	4.40
	11	5.39	10	0.139	0.070	2.468	3.525	0.030	0.071	18.4	13.4	2.42
	18	4.63	12	0.228	0.099	2.410	4.027	0.041	0.082	19.7	10.8	2.26
	25	4.03	9	0.285	0.100	2.286	5.157	0.031	0.063	22.2	6.3	2.63

海老瀬橋 1

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
Dec.	2	4.99	8	0.188	0.075	1.793	3.405	0.023	0.059	21.6	6.4	2.45
	9	3.35	7	0.244	0.090	2.080	3.641	0.023	0.065	21.6	5.8	2.49
	16	2.48	4	0.594	0.079	2.101	3.727	0.026	0.085	21.1	5.5	2.53
	23	2.66	5	0.863	0.066	1.921	3.449	0.029	0.071	23.4	4.7	3.13
	29	2.22	6	0.913	0.047	1.759	3.154	0.030	0.093	20.6	5.5	3.07
Jan.	6	4.75	8	0.302	0.064	1.575	3.122	0.050	0.246	17.7	63.2	6.93
	13	2.52	6	0.564	0.079	1.642	3.581	0.032	0.094	19.4	7.1	2.58
	20	2.37	3	0.709	0.047	1.620	3.611	0.031	0.098	19.9	3.9	2.74
	27	2.08	5	1.283	0.089	1.446	3.437	0.029	0.112	21.3	12.6	3.42
Feb.	3	1.89	4	1.753	0.046	1.425	3.481	0.032	0.119	20.3	8.9	3.42
	10	1.65	4	1.356	0.036	1.459	2.985	0.036	0.082	21.4	10.2	3.77
	17	1.70	7	1.095	0.046	1.419	2.910	0.034	0.124	21.2	13.8	4.39
	24	1.94	7	1.028	0.055	1.647	3.278	0.045	0.141	19.9	17.4	4.82
Mar.	3	4.09	8	1.340	0.058	1.678	4.191	0.067	0.351	19.1	69.4	6.57
	10	2.21	9	0.805	0.075	1.661	3.053	0.034	0.194	22.2	13.6	3.52
	17	2.28	13	0.888	0.114	1.628	3.247	0.046	0.227	21.3	20.5	4.88
	24	3.18	14	0.344	0.099	1.850	3.328	0.034	0.184	20.8	25.8	4.68
	31	1.95	13	0.678	0.139	1.897	3.870	0.041	0.193	21.9	16.2	9.43
Apr.	7	1.38	14	0.506	0.192	1.742	3.658	0.045	0.166	18.6	13.5	4.62
	14	0.10	16	0.263	0.100	1.361	2.635	0.033	0.113	27.3	10.9	4.84
	21	3.48	15	0.308	0.095	2.160	3.788	0.021	0.113	20.6	16.1	4.05
	28	1.05	15	0.194	0.099	1.705	5.318	0.024	0.131	26.3	8.3	4.26
May	6	1.71	20	0.393	0.272	1.510	2.934	0.031	0.104	31.7	12.0	6.10
	12	1.15	22	0.178	0.134	1.234	2.332	0.031	0.063	30.5	7.1	5.47
	19	1.27	20	0.197	0.128	0.987	4.150	0.033	0.053	30.3	9.2	6.30
	26	1.08	21	0.114	0.071	0.831	1.878	0.027	0.071	27.7	6.9	5.59

③R. Bizen

DATE	DISCHARGE		W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)								
	(m ³ / s)			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD
June	3	0.12	20	4.328	0.424	0.284	5.769	0.777	1.186	46.1	15.8	8.9
	10	0.13	22	4.328	0.242	0.022	5.410	0.830	1.328	45.5	12.4	14.5
	17	0.16	22	3.195	0.202	0.397	4.857	0.334	0.996	29.6	17.6	14.4
	24	0.14	20	3.725	0.252	0.250	7.564	0.719	1.068	39.1	12.6	13.2
July	1	0.06	23	3.786	0.195	0.706	5.294	0.899	1.205	43.0	7.0	11.8
	8	0.12	28	3.983	0.111	0.037	4.348	0.928	1.432	44.0	6.8	12.8
	15	0.10	29	2.929	0.265	0.391	3.810	0.708	0.959	34.0	9.7	11.1
	22	0.11	29	4.652	0.315	0.187	5.229	0.665	0.995	30.4	27.8	13.4
	29	0.08	29	3.182	0.358	0.788	6.321	0.700	1.031	42.0	9.8	12.3
Auy.	5	0.07	29	3.414	0.309	0.344	5.131	0.920	1.206	49.2	9.6	12.6
	12	0.09	27	3.085	0.167	0.321	4.040	1.038	1.340	50.0	21.6	14.4
	19	0.05	27	3.419	0.135	0.165	4.489	0.959	1.135	46.8	12.6	13.5
	26	0.06	27	1.586	0.223	0.154	3.984	0.618	0.915	41.3	12.8	14.6
Sept.	2	0.05	27	3.193	0.180	0.005	3.546	0.715	1.126	46.1	18.0	12.0
	9	0.21	21	2.060	0.247	0.408	3.215	0.453	0.796	36.1	27.2	12.0
	16	0.07	22	2.432	0.165	0.001	2.981	0.622	0.960	41.3	11.5	11.9
	24	0.05	23	3.154	0.116	0.001	3.362	0.790	1.222	56.0	27.8	12.2
	30	0.06	21	3.046	0.303	0.082	4.370	0.641	1.187	49.8	21.9	10.7
Oct.	7	0.07	19	3.729	0.371	0.093	4.620	0.764	1.303	51.0	9.9	12.4
	14	0.06	19	3.438	0.445	0.514	4.465	0.650	1.050	48.5	16.8	14.2
	21	0.06	17	3.894	0.093	0.001	4.149	0.975	1.560	48.4	11.8	16.1
	28	0.08	15	2.191	0.394	0.767	4.302	0.255	0.688	34.9	14.6	10.6
Nov.	4	0.11	15	2.280	0.468	0.375	3.992	0.414	0.833	38.1	15.1	13.0
	11	0.08	11	2.582	0.392	0.990	4.454	0.449	0.811	38.5	13.0	12.4
	18	0.07	12	3.328	0.820	0.001	5.796	0.284	1.917	44.6	243.8	27.5
	25	0.08	10	4.121	0.817	0.001	6.818	0.509	1.185	50.7	54.6	16.3

③R. Bizen

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
Dec.	2	0.10	9	2.074	0.614	0.369	4.329	0.485	0.977	43.8	21.3	15.0
	9	0.06	9	3.052	0.127	0.001	4.142	0.788	1.432	49.0	28.2	17.5
	16	0.04	7	4.320	0.405	1.769	8.154	0.716	1.318	46.2	39.6	16.8
	23	0.09	7	5.696	0.246	1.730	7.886	0.676	1.157	52.7	21.1	15.4
	29	0.06	8	3.302	0.012	0.001	4.629	0.887	1.765	45.0	37.0	22.5
Jan.	6	0.13	9	3.257	0.203	0.933	7.531	0.230	0.800	37.7	210.6	22.5
	13	0.07	9	3.452	0.650	0.328	6.966	0.358	1.468	43.4	132.9	33.0
	20	0.08	6	4.753	0.304	1.595	7.961	0.445	1.296	44.7	40.9	16.7
	27	0.09	7	4.878	0.310	1.296	6.744	0.516	1.066	45.3	20.0	19.4
Feb.	3	0.07	7	4.874	0.337	1.390	6.858	0.655	1.353	50.6	34.5	26.3
	10	0.08	6	4.285	0.330	1.864	6.654	0.686	1.214	49.9	27.7	25.7
	17	0.08	9	5.128	0.303	1.240	6.745	0.740	1.432	46.2	19.4	22.3
	24	0.10	8	3.854	0.284	1.611	7.309	0.619	1.288	42.8	16.3	18.4
Mar.	3	0.07	10	2.244	0.176	1.104	5.158	0.363	0.888	31.3	28.7	15.4
	10	0.10	11	3.586	0.887	0.402	5.476	0.492	1.133	44.2	19.7	17.8
	17	0.04	13	3.406	0.885	0.312	5.651	0.636	1.208	41.3	19.5	20.0
	24	0.07	15	2.733	0.673	0.023	4.531	0.452	1.027	41.2	22.6	17.2
	31	0.07	13	3.657	0.232	0.760	7.835	0.726	1.514	52.9	53.5	29.2
Apr.	7	0.08	15	3.680	1.126	0.001	7.140	0.795	1.296	37.2	23.9	21.5
	14	0.07	16	4.111	1.112	0.108	7.390	0.852	1.481	56.3	10.4	21.5
	21	0.06	16	2.504	0.927	0.046	6.326	0.420	1.237	40.3	15.3	20.2
	28	0.07	16	3.505	0.640	0.808	5.725	0.602	1.051	44.9	12.9	19.0
May	6	0.15	21	3.068	0.520	0.260	4.682	0.440	1.053	40.9	16.4	19.7
	12	0.11	24	3.742	0.447	1.371	5.916	0.713	1.136	44.8	10.5	16.5
	19	0.13	22	3.002	0.546	1.610	7.568	0.718	1.151	43.3	11.6	16.0
	26	0.09	23	3.238	0.352	0.919	5.182	0.661	0.961	47.0	11.5	16.3

霞ヶ浦流入河川調査の水質データ

④R. Hanamuro

DATE	DISCHARGE		W. TEMP.	CONCENTRATION OF WATER ITEMS (mg / liter)								
	(m ³ / s)	(°C)		NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD
June	3	1.03	22	0.317	0.146	1.381	3.281	0.145	0.247	29.0	12.7	7.09
	10	1.22	23	0.298	0.174	1.492	3.210	0.141	0.289	31.3	34.3	8.67
	17	1.22	22	0.250	0.150	2.099	3.805	0.128	0.236	22.3	15.4	6.24
	24	0.80	20	0.317	0.157	1.743	5.840	0.175	0.282	26.8	16.3	5.74
July	1	0.88	23	0.207	0.143	1.913	3.569	0.165	0.252	25.6	13.5	5.56
	8	1.15	29	0.356	0.175	1.964	3.445	0.162	0.272	23.6	18.8	7.00
	15	1.54	29	0.245	0.181	1.565	3.149	0.187	0.307	28.0	17.6	6.30
	22	1.46	29	0.214	0.145	1.564	3.136	0.246	0.321	24.4	16.1	6.48
	29	1.11	29	0.128	0.134	1.908	3.376	0.223	0.269	26.8	11.0	5.45
Aug.	5	0.77	28	0.119	0.114	1.067	3.025	0.268	0.378	34.0	14.4	8.12
	12	1.15	28	0.094	0.105	1.082	2.820	0.292	0.391	37.2	17.3	8.39
	19	1.05	27	0.081	0.086	1.876	4.650	0.371	0.464	39.0	24.5	10.05
	26	0.57	28	0.173	0.143	2.241	4.940	0.328	0.391	33.3	8.0	5.82
Sept.	2	0.47	27	0.910	0.200	1.749	3.901	0.392	0.469	35.3	6.9	4.63
	9	0.79	24	0.295	0.077	1.917	3.504	0.184	0.273	24.0	11.4	5.92
	16	0.53	22	0.254	0.153	2.695	5.070	0.319	0.396	36.2	6.0	4.32
	24	0.42	23	0.310	0.192	2.289	4.120	0.212	0.266	33.4	6.3	4.11
	30	0.55	20	0.262	0.161	2.204	3.542	0.364	0.418	37.7	3.8	3.73
Oct.	7	0.69	19	0.275	0.186	2.979	4.737	0.157	0.240	34.2	3.9	3.81
	14	0.60	19	0.275	0.159	3.159	4.943	0.136	0.190	30.4	6.9	3.43
	21	0.47	16	0.429	0.253	2.726	5.315	0.158	0.212	27.6	1.9	3.93
	28	1.18	16	0.254	0.108	4.343	6.498	0.085	0.131	23.0	6.2	2.28
Nov.	4	0.95	16	0.301	0.100	3.228	6.306	0.086	0.136	24.5	4.2	3.42
	11	0.71	13	0.343	0.127	3.443	6.083	0.079	0.136	24.3	5.4	2.63
	18	0.57	12	0.440	0.176	4.080	7.907	0.173	0.173	29.1	2.1	2.93
	25	0.56	10	0.447	0.155	4.591	9.807	0.219	0.249	31.5	4.3	3.69

④R. Hanamuro

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
Dec.	2	0.57	10	0.299	0.164	3.322	6.303	0.258	0.314	32.8	4.5	4.03
	9	0.59	7	0.268	0.122	4.413	7.046	0.258	0.378	33.3	1.9	3.79
	16	0.60	6	0.527	0.168	4.557	7.253	0.325	0.428	33.8	4.9	4.42
	23	0.42	7	0.756	0.187	3.740	7.046	0.230	0.465	38.8	5.0	4.96
	29	0.55	8	1.076	0.207	2.583	5.235	0.176	0.328	31.0	5.3	5.66
Jan.	6	0.46	8	0.621	0.177	3.363	6.208	0.123	0.269	27.8	8.2	4.23
	13	0.56	8	0.591	0.192	5.541	9.925	0.142	0.336	29.5	3.1	4.31
	20	0.99	4	0.692	0.113	3.196	7.429	0.245	0.445	30.8	8.3	5.48
	27	0.57	6	0.702	0.144	2.921	6.445	0.166	0.293	30.6	6.6	5.01
Feb.	3	0.40	5	0.677	0.149	4.962	8.140	0.167	0.304	36.2	13.3	5.71
	10	0.98	5	0.729	0.137	3.255	6.107	0.149	0.271	38.2	9.6	6.25
	17	0.62	7	0.944	0.142	2.686	5.273	0.167	0.308	38.5	8.2	6.84
	24	0.76	7	0.829	0.114	2.502	4.707	0.113	0.227	33.5	8.0	6.05
Mar.	3	0.52	11	0.648	0.119	4.560	9.126	0.109	0.289	33.8	10.2	6.05
	10	0.45	12	0.885	0.172	3.150	5.969	0.139	0.348	34.3	9.7	6.41
	17	0.96	13	0.860	0.202	2.654	5.295	0.185	0.374	39.9	11.9	7.26
	24	0.36	15	0.727	0.173	2.976	6.868	0.109	0.307	38.0	8.0	5.89
	31	0.97	13	0.777	0.228	2.852	6.325	0.166	0.412	40.4	10.9	7.02
Apr.	7	0.45	13	1.277	0.455	3.375	7.548	0.166	0.354	40.0	12.6	7.10
	14	0.36	16	0.826	0.480	2.943	6.753	0.163	0.363	42.2	8.6	8.71
	21	0.79	14	0.276	0.098	2.382	5.719	0.042	0.205	28.7	7.4	4.90
	28	1.04	14	0.367	0.077	2.555	6.563	0.153	0.172	29.4	25.4	6.92
May	6	1.41	20	0.576	0.198	1.473	3.489	0.115	0.258	33.3	20.6	7.64
	12	1.09	24	0.860	0.257	2.469	5.177	0.103	0.222	37.2	19.4	8.27
	19	1.36	21	0.317	0.185	1.789	5.779	0.091	0.156	36.4	12.7	7.68
	26	0.92	23	0.315	0.155	1.584	3.514	0.081	0.172	36.2	16.0	8.59

霞ヶ浦流入河川調査の水質データ

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
June	3	0.39	22	1.285	0.321	0.776	3.288	0.140	0.267	32.1	17.7	9.07
	10	0.35	23	0.421	0.151	0.667	2.558	0.140	0.290	33.3	27.4	9.52
	17	0.55	21	0.355	0.181	1.041	2.784	0.106	0.329	23.3	23.6	9.16
	24	0.51	20	0.476	0.223	0.942	4.365	0.101	0.246	26.6	14.7	8.52
July	1	0.17	22	0.230	0.145	0.789	1.956	0.131	0.237	30.8	16.5	6.50
	8	0.18	28	0.288	0.216	0.844	3.209	0.145	0.232	28.3	9.7	6.54
	15	0.25	28	0.193	0.144	0.714	1.746	0.153	0.248	31.1	16.1	7.46
	22	0.54	29	0.333	0.274	0.774	2.256	0.181	0.274	36.0	18.3	7.61
	29	0.28	26	0.349	0.205	0.828	1.892	0.220	0.249	29.9	8.2	5.10
Aug.	5	0.15	26	0.238	0.178	0.628	1.910	0.270	0.336	31.0	5.5	4.92
	12	0.18	26	0.156	0.094	0.351	1.311	0.239	0.324	31.9	7.0	5.03
	19	0.20	26	0.138	0.156	0.591	1.932	0.280	0.316	33.7	9.1	4.59
	26	0.18	27	0.308	0.308	0.804	2.766	0.222	0.261	31.1	5.7	5.04
Sept.	2	0.28	27	0.568	0.349	1.184	2.957	0.214	0.295	35.3	9.2	4.48
	9	0.59	22	0.331	0.172	0.852	2.136	0.117	0.239	21.9	15.2	7.12
	16	0.29	22	0.330	0.260	1.129	2.764	0.162	0.247	32.5	7.0	4.91
	24	0.26	22	1.150	0.361	1.010	3.436	0.182	0.251	38.2	7.8	4.22
	30	0.28	20	0.404	0.302	1.264	2.635	0.182	0.273	36.9	9.6	4.31
Oct.	7	0.42	20	0.370	0.219	1.180	2.574	0.169	0.299	31.1	2.9	5.04
	14	0.62	19	0.537	0.267	1.465	3.147	0.158	0.301	30.4	18.7	4.41
	21	0.35	17	0.654	0.293	1.406	3.288	0.182	0.355	27.9	3.3	5.79
	28	0.81	15	0.222	0.141	2.318	4.256	0.076	0.141	24.3	10.7	6.50
Nov.	4	0.95	15	0.142	0.146	1.770	3.344	0.083	0.177	24.4	15.7	5.76
	11	0.56	11	0.313	0.176	1.958	3.408	0.070	0.166	23.5	7.0	16.33
	18	0.31	12	1.353	0.173	1.951	4.290	0.149	0.224	26.8	5.0	4.80
	25	1.21	11	1.004	0.205	1.922	5.331	0.178	0.252	29.1	3.8	4.04

⑤R. Seimei

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
Dec.	2	0.53	10	0.883	0.171	1.573	3.482	0.093	0.225	28.4	8.1	4.86
	9	0.39	10	1.169	0.170	1.507	5.555	0.182	0.529	26.8	7.4	7.35
	16	0.25	9	1.574	0.178	1.507	4.102	0.145	0.376	28.8	15.4	6.05
	23	0.25	9	2.136	0.170	1.154	3.782	0.243	0.386	30.9	6.9	5.74
	29	0.20	9	1.570	0.117	1.284	3.332	0.179	0.397	27.5	8.8	6.32
Jan.	6	0.57	9	0.650	0.094	1.225	2.699	0.068	0.229	20.7	17.6	6.47
	13	0.40	10	1.158	0.220	0.937	4.026	0.142	0.496	27.3	12.0	84.10
	20	0.63	7	2.930	0.179	1.372	5.209	0.145	0.406	33.5	8.3	7.42
	27	0.34	9	2.302	0.243	1.396	4.480	0.187	0.383	31.1	8.0	5.86
Feb.	3	0.20	8	2.853	0.192	1.333	4.675	0.199	0.416	30.5	10.7	6.91
	10	0.35	9	2.138	0.162	1.343	3.795	0.185	0.409	31.8	10.0	6.39
	17	0.27	11	5.120	0.198	1.109	6.482	0.295	0.564	31.2	10.2	7.14
	24	0.30	9	2.095	0.174	1.581	4.674	0.164	0.411	27.5	15.3	6.65
Mar.	3	0.36	11	1.511	0.154	1.484	4.597	0.116	0.423	31.6	18.0	7.01
	10	0.37	13	1.577	0.286	0.924	3.530	0.106	0.503	32.8	18.8	12.66
	17	0.42	14	2.100	0.246	1.054	3.695	0.212	0.452	34.7	15.4	8.28
	24	0.32	15	2.861	0.221	1.258	4.916	0.221	0.482	29.2	18.8	8.62
	31	0.11	14	0.202	0.263	1.268	5.424	0.200	0.526	29.4	16.4	7.66
Apr.	7	0.19	15	2.760	0.234	0.925	4.463	0.223	0.474	25.9	15.8	7.08
	14	0.27	16	1.219	0.204	0.995	2.937	0.150	0.300	35.2	3.3	6.05
	21	0.28	15	1.631	0.167	1.017	3.883	0.134	0.398	31.7	8.4	6.98
	28	0.17	13	1.193	0.131	0.978	5.585	0.114	0.208	33.0	18.6	7.57
May	6	0.24	19	0.740	0.200	0.944	2.432	0.111	0.245	35.1	14.5	6.26
	12	0.18	24	0.560	0.203	0.857	2.424	0.102	0.212	39.8	22.2	9.46
	19	0.15	21	0.405	0.156	0.858	4.562	0.105	0.173	36.9	20.9	8.80
	26	0.14	22	0.413	0.139	0.917	2.454	0.113	0.209	40.0	12.5	8.89

霞ヶ浦流入河川調査の水質データ

⑥R. Ono

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
June	3	1.22	23	0.206	0.127	0.940	2.412	0.057	0.152	27.6	20.5	7.71
	10	1.22	23	0.170	0.097	0.924	2.034	0.060	0.137	27.5	19.4	7.03
	17	1.48	24	0.180	0.120	1.372	2.606	0.066	0.203	20.4	9.2	9.58
	24	1.35	22	0.148	0.112	1.250	4.032	0.054	0.107	28.3	30.4	6.14
July	1	1.25	23	0.102	0.074	1.033	2.044	0.052	0.105	21.5	14.1	6.08
	8	0.80	29	0.119	0.063	0.880	1.723	0.062	0.104	31.0	8.2	5.92
	15	0.89	29	0.088	0.061	0.801	1.616	0.058	0.086	21.9	7.5	6.00
	22	1.06	29	0.088	0.055	0.669	1.497	0.062	0.108	23.8	11.0	6.65
	29	1.61	29	0.089	0.036	0.642	1.200	0.065	0.076	22.7	9.2	5.41
Aug.	5	0.61	27	0.057	0.020	0.510	1.324	0.057	0.080	23.0	9.6	5.25
	12	1.03	26	0.054	0.022	0.483	1.318	0.056	0.106	24.8	12.1	5.64
	19	0.55	26	0.042	0.015	0.405	1.211	0.049	0.079	23.5	9.2	5.57
	26	1.09	27	0.069	0.047	0.774	2.032	0.047	0.095	26.0	15.7	5.94
Sept.	2	0.90	28	0.184	0.052	0.927	1.687	0.061	0.082	22.9	8.0	4.22
	9	1.97	21	0.176	0.068	1.073	2.193	0.056	0.164	19.9	24.8	6.88
	16	0.48	23	0.390	0.171	0.309	2.570	0.060	0.090	63.2	5.8	3.73
	24	0.80	22	0.101	0.059	1.599	2.491	0.067	0.085	28.9	7.4	3.40
	30	0.55	20	0.098	0.072	1.915	2.713	0.053	0.085	28.2	6.2	3.35
Oct.	7	0.93	20	0.126	0.077	2.128	3.236	0.057	0.094	31.5	2.0	3.57
	14	1.48	19	0.104	0.091	2.541	3.910	0.044	0.100	36.1	15.4	6.20
	21	1.27	16	0.069	0.082	2.366	3.922	0.054	0.098	51.1	2.7	3.45
	28	2.66	15	0.097	0.059	6.190	6.458	0.026	0.068	22.8	14.8	3.12
Nov.	4	3.23	15	0.070	0.076	3.347	5.930	0.028	0.061	24.5	11.9	3.38
	11	2.52	11	0.141	0.092	3.606	6.044	0.028	0.063	26.7	5.9	2.63
	18	1.83	12	0.086	0.124	3.688	6.193	0.037	0.049	28.3	2.6	2.07
	25	1.17	10	0.074	0.125	3.661	7.809	0.041	0.055	38.8	2.6	2.34

海老瀬港

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
Dec.	2	1.88	9	0.159	0.112	3.037	5.236	0.026	0.050	38.0	3.8	2.57
	9	1.12	9	0.199	0.114	3.067	5.594	0.028	0.527	38.0	35.6	4.96
	16	1.01	6	0.229	0.191	2.887	4.416	0.187	0.247	33.5	2.8	3.33
	23	1.23	8	0.258	0.074	2.522	4.235	0.036	0.074	31.1	2.2	2.72
	29	0.85	9	0.195	0.057	2.445	3.687	0.031	0.107	26.7	17.4	4.18
Jan.	6	2.64	9	0.234	0.068	1.950	3.337	0.029	0.123	22.7	15.3	3.83
	13	1.45	9	0.339	0.100	2.243	4.599	0.043	0.106	24.6	2.7	2.95
	20	1.04	6	0.439	0.073	2.046	4.350	0.047	0.115	22.9	3.3	3.18
	27	1.06	8	0.511	0.080	1.813	3.763	0.049	0.116	23.4	2.7	3.15
Feb.	3	0.82	7	0.527	0.065	1.778	3.627	0.065	0.129	24.2	2.0	3.44
	10	0.77	7	0.558	0.073	1.981	3.542	0.054	0.109	25.9	2.6	3.46
	17	0.81	8	0.491	0.081	1.858	3.365	0.057	0.124	25.6	3.1	3.88
	24	1.17	7	0.316	0.069	2.049	3.354	0.045	0.095	23.7	1.7	3.77
Mar.	3	1.29	11	0.279	0.067	2.016	4.306	0.036	0.135	33.6	2.8	3.72
	10	1.17	13	0.403	0.100	1.786	3.161	0.048	0.168	26.1	2.7	3.38
	17	1.21	14	0.515	0.135	1.607	3.180	0.066	0.181	24.4	8.7	5.23
	24	1.12	14	0.305	0.116	1.781	3.280	0.046	0.140	25.5	6.8	4.12
	31	1.09	14	0.290	0.106	1.791	3.351	0.060	0.175	24.5	6.5	4.72
Apr.	7	0.74	14	0.230	0.121	1.498	3.290	0.057	0.148	22.6	4.7	4.48
	14	0.55	16	0.335	0.132	1.634	3.074	0.052	0.113	28.6	8.5	4.44
	21	1.54	14	0.242	0.129	1.985	3.724	0.036	0.150	24.2	7.7	4.84
	28	1.27	15	0.198	0.220	1.858	5.585	0.044	0.094	25.2	10.5	5.83
May	6	1.34	21	0.257	0.193	1.426	2.685	0.052	0.151	28.2	15.3	7.18
	12	1.22	25	0.303	0.273	1.513	2.915	0.048	0.098	34.0	9.7	7.53
	19	1.76	23	0.315	0.208	1.050	4.506	0.065	0.104	33.7	15.1	7.43
	26	1.02	25	0.136	0.116	0.843	1.924	0.047	0.113	31.2	14.7	7.62

霞ヶ浦流入河川調査の水質データ

⑦R. Shintone

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
June	3	5.37	24	0.175	0.044	0.283	1.444	0.062	0.187	27.0	27.9	11.22
	10	6.09	24	0.269	0.062	0.343	1.799	0.068	0.202	28.7	32.8	12.44
	17	5.70	25	0.300	0.083	0.474	1.838	0.059	0.275	27.5	45.3	12.09
	24	7.30	22	0.136	0.457	0.083	2.532	0.050	0.191	23.4	45.1	9.56
July	1	6.46	23	0.172	0.049	0.605	1.663	0.045	0.172	20.9	30.9	7.58
	8	5.47	28	0.141	0.039	0.481	1.320	0.043	0.156	20.7	28.7	8.24
	15	6.16	30	0.160	0.034	0.298	1.164	0.048	0.181	20.3	29.8	9.66
	22	7.27	29	0.199	0.056	0.513	1.464	0.045	0.151	19.5	23.0	6.89
	29	6.89	29	0.094	0.038	0.508	1.323	0.043	0.132	21.6	18.5	8.07
Aug.	5	3.28	27	0.162	0.031	0.322	1.206	0.051	0.135	24.5	18.7	6.71
	12	6.72	27	0.084	0.023	0.146	0.895	0.042	0.138	25.8	22.8	7.67
	19	5.62	27	0.112	0.020	0.132	1.225	0.038	0.098	24.4	16.5	5.38
	26	—	—	0.054	0.045	0.816	2.039	0.081	0.206	12.1	69.8	7.36
Sept.	2	0.96	29	0.899	0.048	0.204	1.372	0.064	0.151	35.8	18.2	9.29
	9	1.24	23	0.416	0.112	0.403	1.840	0.075	0.233	40.9	21.8	10.40
	16	0.56	23	0.050	0.050	1.413	2.101	0.052	0.233	26.2	20.0	11.03
	24	0.20	24	0.607	0.137	0.456	2.257	0.068	0.226	67.6	25.4	11.26
	30	0.60	20	0.670	0.109	0.285	2.063	0.068	0.228	66.3	17.5	8.69
Oct.	7	0.88	20	0.796	0.117	0.387	2.013	0.073	0.213	64.6	10.1	8.67
	14	2.77	20	0.724	0.103	0.580	2.224	0.061	0.220	61.6	17.3	8.77
	21	0.82	17	0.441	0.121	0.848	2.609	0.072	0.258	73.7	16.0	9.70
	28	1.69	14	0.504	0.038	0.307	1.517	0.065	0.185	41.2	13.8	7.74
Nov.	4	1.34	15	0.503	0.075	0.400	1.870	0.067	0.207	47.2	13.3	8.16
	11	0.37	11	0.824	0.066	0.411	1.735	0.057	0.210	54.3	9.0	7.18
	18	0.24	12	0.620	0.104	0.904	2.821	0.072	0.199	66.6	10.0	7.96
	25	0.34	9	0.507	0.054	0.417	2.364	0.101	0.267	71.6	12.0	8.27

海老瀬港

DATE	DISCHARGE (m ³ / s)	W. TEMP. (°C)	CONCENTRATIONS OF WATER ITEMS (mg / liter)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	T-P	Cl ⁻	SS	COD	
Dec.	2	2.04	8	0.599	0.061	0.520	1.892	0.047	0.189	57.7	12.2	7.47
	9	0.55	9	0.567	0.055	0.881	2.712	0.067	0.263	68.9	12.1	7.80
	16	0.90	5	0.729	0.049	0.979	2.943	0.068	0.288	70.8	13.7	8.13
	23	0.38	7	0.666	0.051	0.587	4.054	0.054	0.285	67.9	14.4	9.30
	29	0.31	8	0.676	0.057	1.024	2.908	0.077	0.325	75.0	10.6	8.95
Jan.	6	0.75	8	0.735	0.068	0.695	2.322	0.073	0.295	44.3	14.0	7.74
	13	0.87	9	0.527	0.044	0.421	2.184	0.048	0.255	59.3	17.5	8.82
	20	1.09	5	0.784	0.055	1.038	3.562	0.059	0.271	63.1	10.7	9.11
	27	0.44	6	0.644	0.046	0.616	2.677	0.066	0.224	73.0	9.7	9.86
Feb.	3	0.90	5	0.668	0.043	0.574	2.416	0.062	0.228	71.2	12.8	9.34
	10	0.89	6	0.881	0.060	1.051	3.137	0.059	0.261	100.6	23.4	9.33
	17	0.95	7	0.802	0.049	0.527	2.555	0.056	0.186	51.1	11.4	10.74
	24	0.36	7	1.257	0.053	0.429	2.770	0.069	0.251	67.2	14.8	9.90
Mar.	3	0.57	10	1.076	0.051	0.459	2.589	0.040	0.303	54.7	14.4	8.56
	10	0.78	13	1.155	0.057	0.310	2.070	0.052	0.277	67.7	14.8	8.74
	17	0.64	13	1.107	0.096	0.476	2.544	0.083	0.340	61.6	21.2	10.65
	24	0.79	15	0.747	0.089	0.590	2.572	0.047	0.298	49.5	19.4	10.31
	31	0.73	15	0.640	0.103	0.880	3.139	0.062	0.421	53.2	22.4	11.55
Apr.	7	0.40	15	0.391	0.129	0.539	3.150	0.084	0.348	54.9	24.7	12.90
	14	0.57	15	0.311	0.072	0.364	1.647	0.052	0.178	43.6	7.6	8.57
	21	2.17	15	0.229	0.061	1.307	2.831	0.022	0.189	34.8	15.5	8.04
	28	3.95	14	0.796	0.074	1.364	5.540	0.030	0.234	36.2	42.8	9.21
May	6	6.28	20	0.686	0.203	1.017	2.753	0.036	0.220	41.9	28.1	10.64
	12	5.64	25	0.310	0.147	0.740	1.929	0.040	0.109	35.5	23.5	10.13
	19	4.97	22	0.246	0.078	0.369	3.844	0.050	0.126	37.1	23.8	10.38
	26	6.21	24	0.283	0.078	0.364	1.878	0.046	0.179	30.8	28.3	10.79

養ヶ浦流入河川調査の水質データ

国立公害研究所特別研究成果報告

- 第 1 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究——霞ヶ浦を対象域として——昭和51年度。(1977)
- 第 2 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究——昭和51, 52年度 研究報告。(1978)

(改 称)

国立公害研究所研究報告

- 第 3 号 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
(日本産ユスリカ科 *Chironomus* 属9種の成虫, サナギ, 幼虫の形態の比較)
- 第 4 号 スモッグチャンバーによる炭化水素—窒素酸化物系光化学反応の研究——昭和52年度 中間報告。(1978)
- 第 5 号 芳香族炭化水素—窒素酸化物系の光酸化反応機構と光酸化二次生成物の培養細胞に及ぼす影響に関する研究——昭和51, 52年度 研究報告。(1978)
- 第 6 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅱ)——霞ヶ浦を中心として。——昭和53年度。(1979)
- 第 7 号 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
(日本産ユスリカ科20種の成虫, サナギ, 幼虫の形態学的研究)
- 第 8 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究——昭和52, 53年度 研究報告。(1979)
- 第 9 号 スモッグチャンバーによる炭化水素—窒素酸化物系光化学反応の研究——昭和53年度 中間報告。(1979)
- 第 10 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究——昭和51~53年度 特別研究報告。(1979)
- 第 11 号 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
(大気汚染物質の植物影響およびその植物毒性の機構に関する研究)
- 第 12 号 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
(コンピュータ制御装置を利用したフレイムおよび誘導結合プラズマ分光法による多元素同時分析)
- 第 13 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
(多摩川に発生するユスリカの研究
——第1報 その一支流に見出されたユスリカ各種の分布と下水による汚染度との関係——
——第2報 その一支流に見出された Chironominae 亜科の20種について——)
- 第 14 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究——昭和53, 54年度 特別研究報告。(1980)
- 第 15 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究——昭和54年度 特別研究報告。(1980)
- 第 16 号 計測車レーザーレーダーによる大気汚染遠隔計測。(1980)
- 第 17 号 流体の運動および輸送過程に及ぼす浮力効果——臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究——昭和53, 54年度 特別研究報告。(1980)

- 第 18 号 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
(環境標準試料「リョウブ」の調製, 分析および保証値)
- 第 19 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅲ) — 霞ヶ浦 (西浦) の湖流 — 昭和53, 54年度.
(1981)
- 第 20 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅳ) — 霞ヶ浦流域の地形, 気象水文特性およびその湖水環境に及ぼす影響 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 21 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅴ) — 霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 22 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅵ) — 霞ヶ浦の生態系の構造と生物現存量 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 23 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅶ) — 湖沼の富栄養化状態指標に関する基礎的研究 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 24 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅷ) — 富栄養化が湖利用に及ぼす影響の定量化に関する研究 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 25 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅸ) — [*Microcystis*] (藍藻類) の増殖特性 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 26 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅹ) — 藻類培養試験法による A G P の測定 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 27 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅺ) — 研究総括 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 28 号 複合大気汚染の植物影響に関する研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告. (1981)
- 第 29 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1981)
Part 3. Species of the subfamily Orthoclaadiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.
Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
(多摩川に発生するユスリカ類の研究
— 第 3 報 夏期の調査で見出されたエリユスリカ亜科 Orthoclaadiinae 各種の記載と, その分布の下水汚染度との関係について —
— 第 4 報 南浅川の冬期の調査で見出された各種の分布と記載 —)
- 第 30 号 海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告. (1982)
- 第 31 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和55年度 特別研究報告. (1981)
- 第 32 号 スモッグチャンバーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究 — 環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究 (フィールド研究 1) — 昭和54年度 特別研究報告. (1982)
- 第 33 号 臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究 — 大気運動と大気拡散過程のシミュレーション — 昭和55年度 特別研究報告. (1982)
- 第 34 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和55年度 特別研究報告. (1982)
- 第 35 号 環境面よりみた地域交通体系の評価に関する総合解析研究. (1982)
- 第 36 号 環境試料による汚染の長期モニタリング手法に関する研究 — 昭和55, 56年度 特別研究報告. (1982)
- 第 37 号 環境施策のシステム分析支援技術の開発に関する研究. (1982)
- 第 38 号 Preparation, analysis and certification of POND SEDIMENT certified reference material. (1982)
(環境標準試料「池底質」の調製, 分析及び保証値)
- 第 39 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和56年度 特別研究報告. (1982)

- 第 40 号 大気汚染物質の単一及び複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和56年度 特別研究報告. (1983)
- 第 41 号 土壌環境の遠隔計測と評価に関する統計学的研究. (1983)
- 第 42 号 底泥の物性及び流送特性に関する実験的研究. (1983)
- 第 43 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1983)
 Part 5. An observation on the distribution of Chironominae along the main stream in June with description of 15 new species.
 Part 6. Description of species of the subfamily Orthocladiinae recovered from the main stream in the June survey.
 Part 7. Additional species collected in winter from the main stream.
 (多摩川に発生するユスリカ類の研究
 — 第 5 報 本流に発生するユスリカ類の分布に関する 6 月の調査成績とユスリカ亜科に属する 15 新種等の記録 —
 — 第 6 報 多摩本流より 6 月に採集されたエリユスリカ亜科の各種について —
 — 第 7 報 多摩本流より 3 月に採集されたユスリカ科の各種について —)
- 第 44 号 スモッグチャンバーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究. — 環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究 (フィールド研究 2) — 昭和54年度 特別研究中報告. (1983)
- 第 45 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和53年~55年度 特別研究報告. (1983)
- 第 46 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告 第 1 分冊. (1983)
- 第 47 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告 第 2 分冊. (1983)
- 第 48 号 水質観測点の適正配置に関するシステム解析. (1983)
- 第 49 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和57年度 特別研究報告. (1984)
- 第 50 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (I) — 霞ヶ浦の流入負荷量の算定と評価 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)

Report of Special Research Project the National Institute for Environmental Studies

- No. 1* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1976. (1977)
- No. 2* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1977. (1978)

[Starting with Report No. 3, the new title for NIES Reports was changed to:]

Research Report from the National Institute for Environmental Studies

- No. 3 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
- No. 4* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1977. (1978)
- No. 5* Studies on the photooxidation products of the alkylbenzene-nitrogen oxides system, and on their effects on Cultured Cells – Research report in 1976-1977. (1978)
- No. 6* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1977-1978. (1979)
- No. 7 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
- No. 8* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1977-1978. (1979)
- No. 9* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1978. (1979)
- No.10* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1978. (1979)
- No.11 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
- No.12 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
- No.13 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
 - Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
 - Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
- No.14* Studies on the effects of organic wastes on the soil ecosystem – Progress report in 1978-1979. (1980)
- No.15* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1977-1978. (1980)
- No.16* Remote measurement of air pollution by a mobile laser radar. (1980)
- No.17* Influence of buoyancy on fluid motions and transport processes – Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region – Progress report in 1978-1979. (1980)
- No.18 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
- No.19* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Lake current of Kasumigaura (Nishiura) – 1978-1979. (1981)
- No.20* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Geomorphological and hydrometeorological characteristics of Kasumigaura watershed as related to the lake environment – 1978-1979. (1981)

- No.21* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Variation of pollutant load by influent rivers to Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)
- No.22* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Structure of ecosystem and standing crops in Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)
- No.23* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Applicability of trophic state indices for lakes – 1978-1979. (1981)
- No.24* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Quantitative analysis of eutrophication effects on main utilization of lake water resources – 1978-1979. (1981)
- No.25* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Growth characteristics of Blue-Green Algae, *Mycrocystis* – 1978-1979. (1981)
- No.26* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Determination of argal growth potential by algal assay procedure – 1978-1979. (1981)
- No.27* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Summary of researches – 1978-1979. (1981)
- No.28* Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Progress report in 1979-1980. (1981)
- No.29 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1981)
 Part 3. Species of the subfamily Orthoclaadiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.
 Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
- No.30* Eutrophication and red tides in the coastal marine environment – Progress report in 1979-1980. (1982)
- No.31* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1980. (1981)
- No.32* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1979 – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 1). (1982)
- No.33* Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region – Simulation of atmospheric motions and diffusion processes – Progress report in 1980. (1982)
- No.34* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution – Research report in 1980. (1982)
- No.35* Comprehensive evaluation of environmental impacts of road and traffic. (1982)
- No.36* Studies on the method for long term environmental monitoring – Progress report in 1980-1981. (1982)
- No.37* Study on supporting technology for systems analysis of environmental policy – The evaluation laboratory of Man-environment Systems. (1982)
- No.38 Preparation, analysis and certification of POND SEDIMENT certified reference material. (1982)
- No.39* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution – Research report in 1981. (1983)
- No.40* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1981. (1983)
- No.41* Statistical studies on methods of measurement and evaluation of chemical condition of soil. (1983)
- No.42* Experimental studies on the physical properties of mud and the characteristics of mud transportation. (1983)
- No.43 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1983)

Part 5. An observation on the distribution of Chironominae along the main stream in June, with description of 15 new species.

Part 6. Description of species of the subfamily Orthoclaadiinae recovered from the main stream in the June survey.

Part 7. Additional species collected in winter from the main stream.

No.44* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1979 – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 2). (1983)

No.45* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Outlines of special research project – 1978-1980. (1983)

No.46* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Research report in 1979-1980, Part 1. (1983)

No.47* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Research report in 1979-1980, Part 2. (1983)

No.48* Study on optimal allocation of water quality monitoring points. (1983)

No.49* The development and evaluation of remote measurement method for environmental pollution – Research report in 1982. (1984)

No.50* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Estimation of input loading in Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)

* in Japanese

RESEARCH REPORT FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

No. 50

国立公害研究所研究報告 第50号

(R-50-'84)

昭和59年2月29日発行

編集 国立公害研究所編集委員会

発行 環境庁国立公害研究所

茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2

印刷 株式会社 イセブ

茨城県新治郡桜村天久保2丁目11-20

Published by the National Institute for Environmental Studies

Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

February 1984