

<ノート>

平水時における湖沼流域の負荷量調査 —北潟湖、三方五湖—

片谷 千恵子・宇都宮 高栄・石本 健治・村田 義公

Study on Load of Lake basin under normal water level
—Lake Kitagata, Five Lakes of Mikata—

Chieko KATAYA, Takae UTSUNOMIYA, Kenji ISHIMOTO, Yoshikimi MURATA

1. はじめに

北潟湖、三方五湖（日向湖を除く）は閉鎖性水域特有の富栄養化が進んでおり、平成元年度から「湖沼水質保全対策事業」を実施している。今回、当該事業の湖沼水質シミュレーション作業の一環として平水時の流入負荷について調査を実施したので報告する。

2. 調査方法

2.1 調査の概要

湖沼の流入負荷について、平成元年～2年度宇都宮¹⁾らは降雨時におけるタンクモデルによる流出解析を行っている。このタンクモデルでは3段直列タンク(図1)を用いており、基底濃度(C3)を一定とし、表層濃度(C1)・中層濃度(C2)を算出している。今回の調査では、各流域毎の基底濃度(C3)を求めるための基礎データとするものである。

2.2 調査地点

地図上の稜線等に従い、北潟湖は12流域、三方五湖は11流域に分割を行った。北潟湖は、流域8・流域9を除いた10流域の中から56地点、三方五湖は全流域の中から31地点について予備調査を行い、年間を通じて流量測定が可能な地点をそれぞれの流域から選び、北潟湖流域18地点・三方五湖流域19地点を調査地点とした。(図2)

2.3 調査時期

(1) 北潟湖 平成7年5月～平成8年4月 12回

(2) 三方五湖 平成7年6月～平成8年3月 10回

なお、それぞれの調査回数のうち最初の1回は、予備調査のデータとした。

(3) 調査日 調査目的が平水時の基底流量(Q3)および基底濃度(C3)であるため、前日に降雨がないことを前提に調査日を決めた。

2.4 調査項目

水温・流量・COD・D-COD・T-N・D-N・N-H₄-N・NO₃-N・T-P・D-P・PO₄-P

3. 結果と考察

3.1 流域の概要

平成3年度の背景調査の結果は表1のとおりである²⁾。

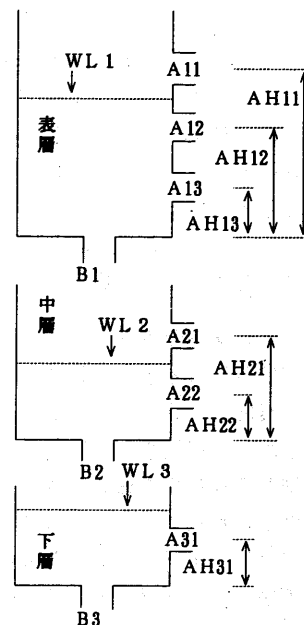


図1 三段直列タンクとパラメータ記号

流出孔 A_{ij} から流量 Q_{ij} 、負荷 L_{ij} が流出する。負荷パラメータは、表層C1、中層C2、下層C3で、 $L_{ij}=C_i S^* Q_{ij}$ の関係とする。溶存態は $n=1$ 、懸濁態は $n=2$ 、懸濁態表層以外では $S=1$ とする。

北潟湖流域は全流域面積 3,415haであり、うち観音川東部である流域11が990haと29%を占めている。一方、三方五湖流域は全流域面積8,249haであり、うち鱒川である流域9が4,213haと51%を占めており最大規模の流域となっている。

また、北潟湖流域は山林面積が 1,567.5haと全体の46%と5割弱であり、次いで市街地・空き地等のその他が782.9ha(23%)、全耕作田が536.6ha(16%)、ゴルフ場が340.3ha(10%)であった。三方五湖流域は山林面積が 5,725haと全体の69%と圧倒的に広く、その他が1,314.4ha(16%)、全耕作田が903.2ha(11%)であった。両者とも山林、全耕作田を合わせると、それぞれ62%、80%と大きく、湖沼の流入負荷量の中でも大きなウェイトを占めるものと思われる。

3.2 予備調査結果

3.2.1 北潟湖流域

56地点のうち25地点が流量測定が可能であり、流量測定が不可能だった地点の多くは、流域1・2・4の生活系の

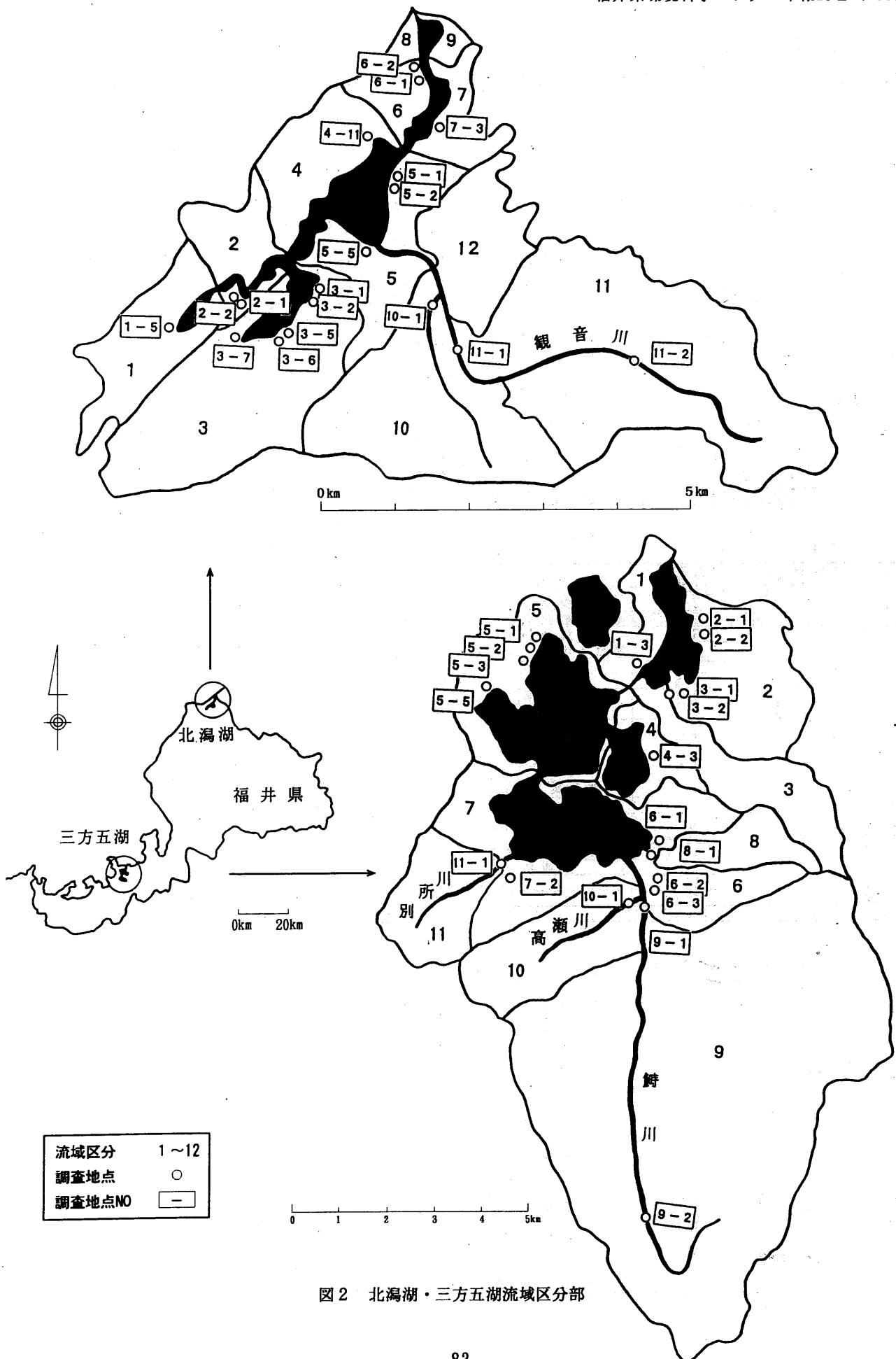


表1 流域概要(平成3年度基準)

流域 NO	流 域 名 称	流 域 面 積 (ha)							定住 人口	観 光 客		畜 産				事 業 場		流域の地理的状況	
		全耕作田	畑	樹園地	ゴルフ場	山 林	その他	合 計		日 帰 り (人/日)	宿 泊 (人/日)	牛	豚	鶏 (成鶏)	鶏 (ブロイラー)	未規制 事業場	規制 事業場	勾 配 X:	最大標高 Max:(m)
1	南湖塩尻橋以南	42	31	10	0	65	99	247	474	0	0	0	0	30,000	0	3	1	170	<100
2	南湖西部	16	2	0	0	31	101	150	793	12	17	0	0	0	0	6	1	26	"
3	南湖東部	153	32	1	0	89	263	537	300	0	0	0	0	0	0	2	0	33	"
4	中湖南西部	8	41	0	47	26	58	180	510	0	0	0	0	0	0	4	0	29	"
5	中湖南東部	68	6	0	3	150	37	264	308	180	40	0	0	0	0	1	0	47	"
6	中湖北西部	1	0	0	11	29	31	72	103	0	0	0	0	0	0	0	0	44	"
7	中湖北東部	4	0	0	64	25	0	93	51	0	0	0	0	8,000	0	0	0	21	"
8	北湖西部	0	0	0	18	7	15	40	108	0	0	0	0	0	0	0	0	7	"
9	北湖東部	10	0	0	0	6	20	36	516	1,142	19	0	0	0	0	3	0	9	"
10	観音川西部	129	29	9	15	321	77	580	1,388	0	0	0	0	33,000	24,000	11	1	180	"
11	観音川東部	69	6	1	182	676	56	990	846	0	0	0	0	0	0	4	0	16	380
12	樺山・樺屋地区	37	2	0	0	142	45	226	122	0	0	0	0	0	0	3	0	36	<100
合計		537	148	22	340	1568	801	3415	5,515	1,334	76	0	0	71,000	24,000	37	3		
1	久々子湖西部	25	1	7	0	94	85	211	417	683	3	0	0	0	0	3	0	3	146
2	農業幹線路	142	7	2	0	327	220	698	926	683	63	50	0	0	0	10	2	5	460
3	宇波西川	59	3	7	0	364	47	479	410	0	0	0	0	0	0	2	0	12	460
4	菅湖	8	3	3	0	95	46	155	113	0	0	0	0	0	0	0	0	6	130
5	水月湖	8	3	28	0	322	51	412	134	1,366	151	0	0	0	0	0	0	4	300
6	三方湖北東部	84	2	2	0	299	106	493	1,555	341	7	0	0	0	0	9	0	7	130
7	三方湖南西部	50	0	70	0	230	100	449	524	0	5	7	0	2,500	0	8	0	4	290
8	石観音川	8	1	1	0	179	45	234	415	341	0	0	0	0	0	8	0	8	430
9	川	427	34	28	0	3136	588	4213	4,554	0	19	395	0	500	0	35	1	19	750
10	高瀬川	67	5	14	0	399	37	521	407	0	0	0	1,103	0	0	2	0	23	400
11	別所川	25	1	35	0	280	43	384	296	0	0	0	0	0	0	0	0	9	426
合計		903	58	195	0	5725	1367	8249	9,751	3,414	248	452	1,103	3,000	0	77	3		

表2 北潟湖負荷量調査地点

流域No	予備調査地点	本調査地点	主 な 用 途	備 考
1	1~12	1-5	農業系(主に耕作田),生活系	
2	1~9	2-1	農業系(主に耕作田)	
		2-2	農業系(主に耕作田)	
3	1~7	3-1	農業系(主に耕作田)	
		3-2	農業系ポンプ場からの排水(耕作田)	
		3-5	農業系(主に耕作田)	
		3-6	農業系(主に耕作田)	
		3-7	農業系(主に耕作田)	
4	1~11	4-11	池よりの出水	福良池
5	1~7	5-1	山林系, 農業系	
		5-2	山林系, 農業系	
		5-5	農業系(ポンプ場)	
6	1~2	6-1	山林系	
		6-2	農業系(主に耕作田),生活系	
7	1~3	7-3	溜池よりの出水	
8	なし	なし		
9	なし	なし		
10	1~2	10-1	農業系(主に耕作田)	辻川末端
11	1~2	11-1	農業系(主に耕作田)	観音川指地点
		11-2	山林系	11-1のBGとしての山林負荷
12	1	なし		
計	56地点	18地点		

表3 三方五湖流域負荷量調査地点

流域No	予備調査地点	本調査地点	主 な 用 途	備 考
1	1~5	1-3	農業系(主に耕作田)	
2	1~4	2-1	農業系(主に耕作田)	
		2-2	農業系(主に耕作田)	
3	1~2	3-1	農業系(主に耕作田)	
		3-2	農業系(主に耕作田)	宇波西川
4	1~3	4-3	農業系(主に耕作田)	
5	1~6	5-1	山林系	
		5-2	山林系	
		5-3	不明	
		5-5	山林系, 生活系, 農業系(梅園)	
6	1~3	6-1	農業系(主に耕作田)	中山川
		6-2	生活系	山古川
		6-3	生活系	
7	1~3	7-2	農業系(主に耕作田)	
8	1	8-2	山林系	観音川
9	1~2	9-1	農業系(主に耕作田)	はす川上口橋
		9-2	山林系	9-1のBGとしての山林負荷
10	1	10-1	農業系(主に耕作田, 一部生活系)	高瀬川
11	1	11-1	農業系(梅園及び耕作田)	別所川
計	31地点	19地点		

側溝からの流入水であった。年間を通じた調査地点は表2のとおりであり、各流域より流量大の順より調査地点を選び17地点とし、山林負荷を求めるために観音川上流地点を1地点加え計18地点とした。表2のとおりである。

3.2.2 三方五湖流域

31地点のうち25地点が流量測定が可能であり、北潟湖予備調査と同様に、年間を通じた調査地点を湖周辺部より18地点選び、鱒川上流の山林負荷を求めるために1地点加え計19地点とした。表3のとおりである。

3.3 調査結果

3.3.1 北潟湖流域

農業系（主に耕作田）の調査地点の中で特徴がみられたのは、流域2・3で年間を通じて $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が非常に高い傾向がみられた。（図3-2）また、流域10については、T-Pが他の農業系と比べ高く、土壌類型や施肥の方法に違いがあるものと思われる。流域11-1地点は、その背景に山林からの流入水があるためN、Pとも低い濃度であった。（図4-2, 3）

年間時系列でみると、農業系8地点のうち7地点で5月または4月、あるいは4、5の両月ともにN・P濃度に高

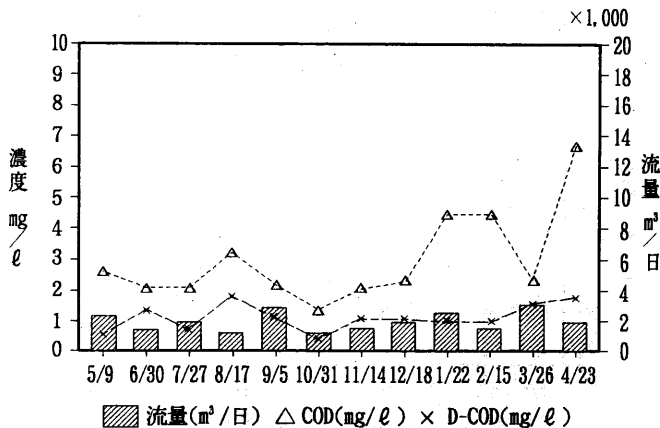


図3-1 北潟湖流域3-5の流量、COD濃度時系列

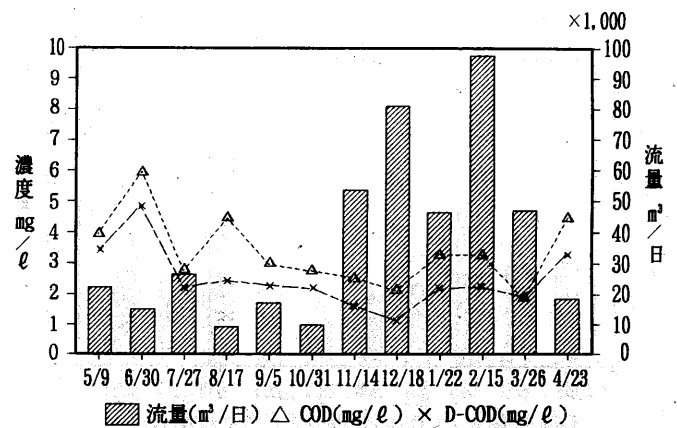


図4-1 北潟湖流域11-1の流量、COD濃度時系列

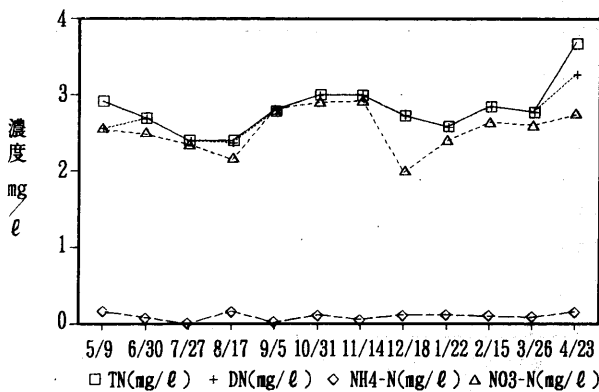


図3-2 北潟湖流域3-5のN濃度時系列

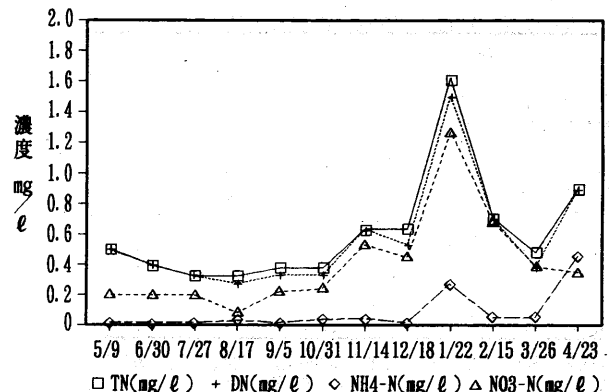


図4-2 北潟湖流域11-1の濃度時系列

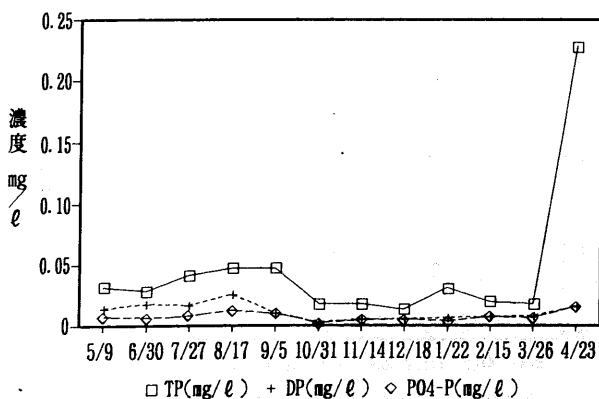


図3-3 北潟湖流域3-5のP濃度時系列

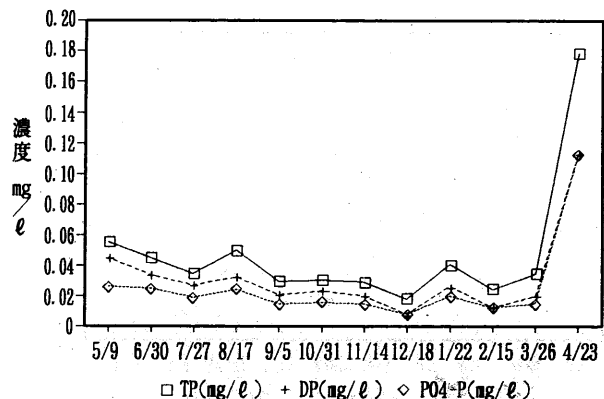


図4-3 北潟湖流域11-1のP濃度時系列

いピークがあらわれているが、これは代かき・田植え時期によるものと思われる。

なお、図5の11-1地点で1月22日にNの濃度が一時的に高くなっているのは、前日までに7mm前後の雨が数日間降り続いていたためと思われる。また、2月14日に流量が最大となっているが、これは、当日気温が18.9℃まで上昇したため山林部の融雪（平野部は雪なし）によるものと思われる。³⁾

11-2地点の山林負荷濃度については、年間を通じてほぼ一定した値となっていた。なお、11-2地点上流の植生は針

葉樹林が主なものであった。

3.3.2 三方五湖流域

農業系（主に耕作田）の調査地点10地点を比較したところ、3-2地点のP濃度が低めであるが、北潟湖流域のような流域毎の大きな特徴は特になかった。三方五湖流入河川のうち最大の流量を持つ鱒川の9-1地点の6～3月の時系列をみると、図5のとおり、CODが梅雨時の長雨のせいで6月22日に高くなっている他は、大きな変化は見られない。これは、4～5月の調査を実施していないため、北潟湖流域で見られたように代かき、田植え時期によるN、P

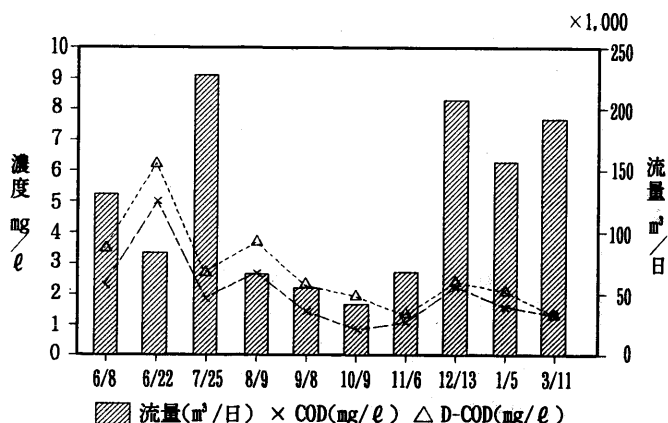


図5-1 三方五湖流域9-1の流量、COD濃度時系列

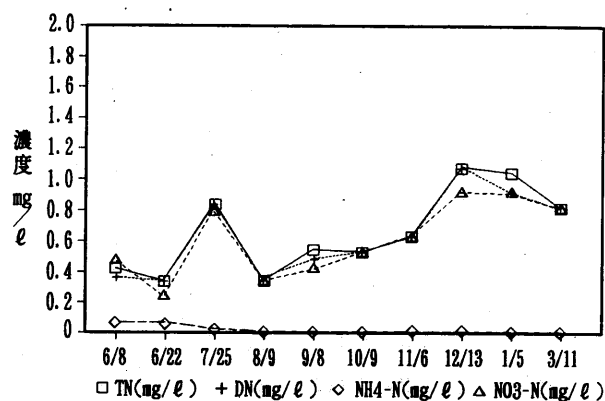


図6 三方五湖流域5-2のN濃度時系列

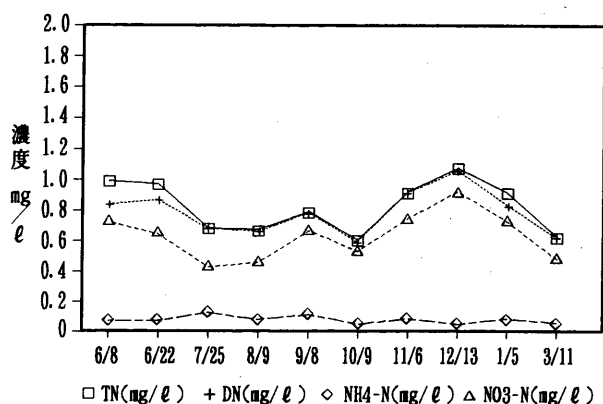


図5-2 三方五湖流域9-1のN濃度時系列

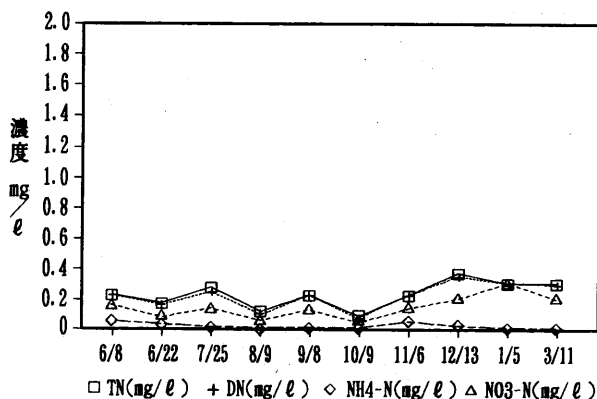


図7 三方五湖流域8-1のN濃度時系列

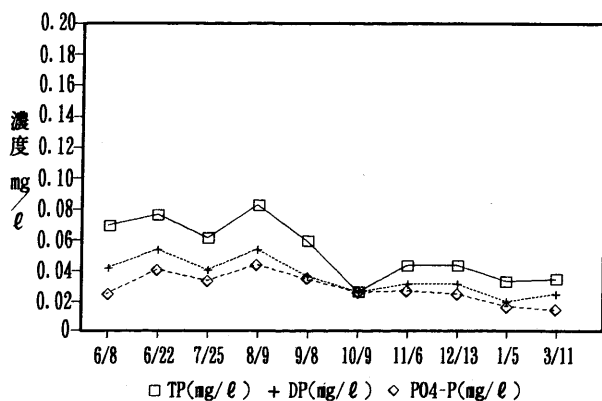


図5-3 三方五湖流域9-1のP濃度時系列

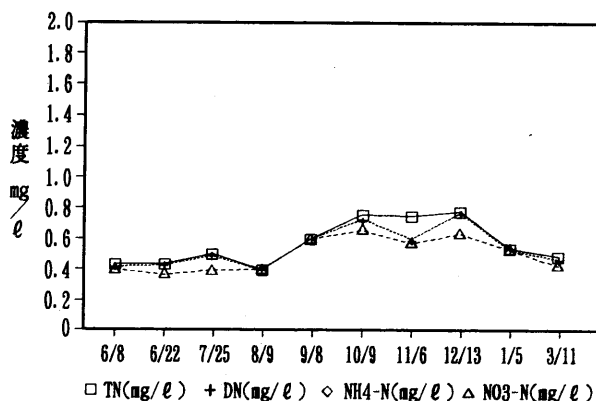


図8 三方五湖流域9-2のN濃度時系列

濃度の上昇が把握できなかったためである。流量については8～11月以外が大きくなっているが、流域9のタンク容量が大きいので、梅雨時、冬場では前々日の降雨の影響が残っていたためであろう。

山林系の調査地点は、流域5の5-1、5-2地点と、流域8の8-1地点(三方観音川上流の山林負荷)、流域9の9-1地点(鱒川上流の山林負荷)であった。図6～8のとおり各流域毎の山林負荷濃度について比較すると、流域5については、N濃度が12～3月にかけて1mg/ℓ前後となり2倍近く高くなっており、流域8・9も冬場ややN濃度が高くなる傾向がみられる。これは、流域5の植生が広葉樹林が主であるのに対し、流域8・9は混合樹林であるためと推定される。

3.4 基底濃度(C3)の比較

表4および図9-1～3に、農業系(主に耕作田)、山林系の基底濃度(C3)を示した。これは、各地点毎の基底濃度を、以下に述べるような農業系の代かき時の濁水の影響や、山林系の落葉によるN濃度上昇のような特徴のある月を別とし平均値を求めたものである。但し、北潟湖流域2・3については類似の傾向を持つため6地点の基底濃度の平均値とし、同じく、三方五湖流域5の2地点および農業系10地点についても平均値とし、一つの値とした。

農業系のN濃度については、北潟湖流域2・3・10と、三方五湖全流域や北潟湖流域11を比較すると、北潟湖流域10で約2倍、北潟湖流域2・3で約4倍高くなっている。特に北潟湖流域10では、4月にNH₄-N濃度が非常に高くなっている。P濃度では、北潟湖流域2・3が他の流域に比べ低く、北潟湖流域10が高い傾向にある。土壌の酸化・還元条件やリン酸吸収係数が大きく支配しているものと思われる。また、北潟湖流域10では4月にT-Pが通常時の約11倍以上と高くなっている。この代かき、田植え時期による河川の汚濁については、琵琶湖研究所にてSS濃度の詳細な調査が行われており、代かき時にピークが表れ、その後約1ヶ月間にわたり汚濁が続くとの報告がある。三方五湖流域では、4・5月の調査を行っていないため、年間の負荷量算出時には考慮する必要があるだろう。

山林系については、N濃度が三方五湖流域5が12～3月に通常時に比べ約2倍の濃度になっているが、これは植生

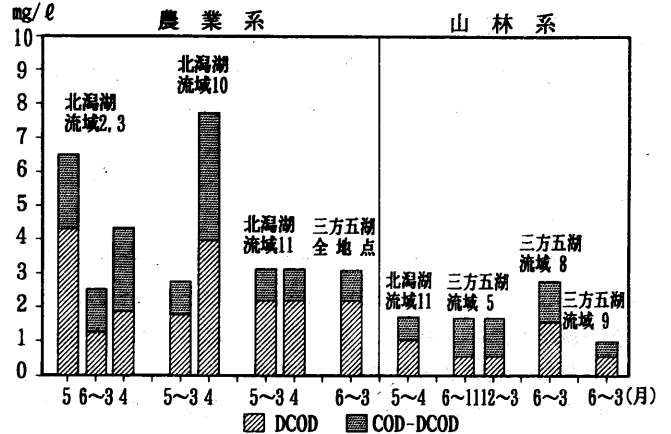


図9-1 基底濃度(COD)の比較

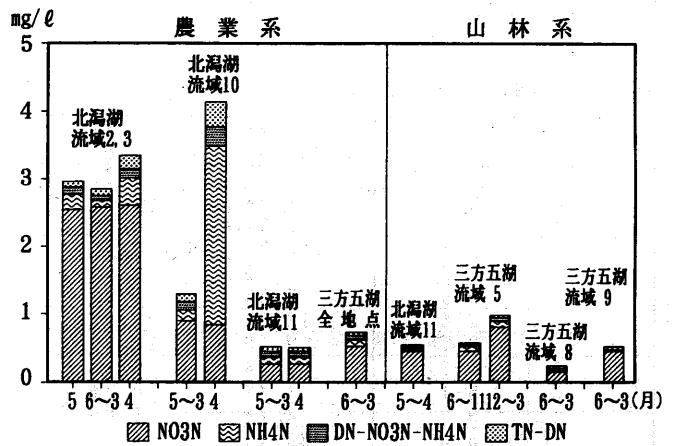


図9-2 基底濃度(N)の比較

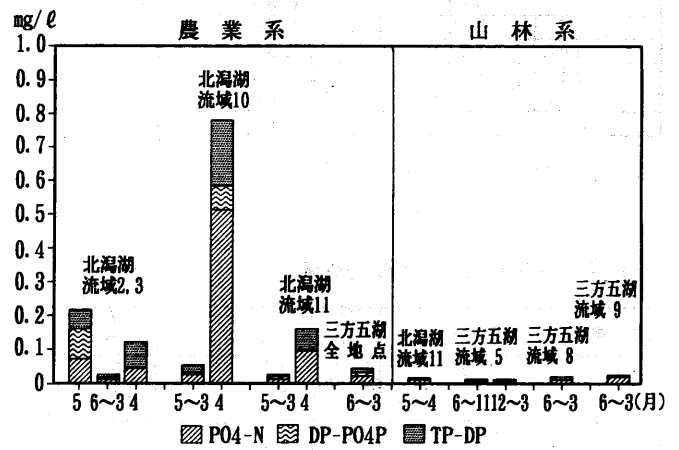


図9-3 基底濃度(P)の比較

表4 農業系, 山林系の基底流出濃度(C3)

用途別	湖沼名	流域No.	流域毎No.	月	COD (mg/ℓ)	D-COD (mg/ℓ)	TN (mg/ℓ)	DN (mg/ℓ)	NH ₄ -N (mg/ℓ)	NO ₃ -N (mg/ℓ)	TP (mg/ℓ)	DP (mg/ℓ)	PO ₄ -P (mg/ℓ)
農業系 (耕作田)	北潟湖	2, 3	1, 5, 6, 7	5	6.5	4.3	2.91	2.83	0.20	2.56	0.228	0.179	0.067
				6~3	2.5	1.3	2.80	2.74	0.08	2.58	0.026	0.012	0.008
				4	4.2	1.8	3.33	3.08	0.34	2.63	0.139	0.051	0.050
				5~3	2.8	1.8	1.27	1.17	0.13	0.93	0.067	0.041	0.032
		10	1	4	7.8	4.0	4.15	3.75	2.63	0.83	0.783	0.597	0.526
				5~3	3.3	2.3	0.52	0.48	0.06	0.34	0.035	0.024	0.018
				4	3.3	2.3	0.52	0.48	0.06	0.34	0.176	0.113	0.111
				6~3	3.1	2.3	0.70	0.66	0.07	0.50	0.050	0.033	0.026
		11	1	5~3	3.3	2.3	0.52	0.48	0.06	0.34	0.035	0.024	0.018
				4	3.3	2.3	0.52	0.48	0.06	0.34	0.176	0.113	0.111
山林系	北潟湖	11	2	5~4	1.8	1.0	0.51	0.49	0.02	0.45	0.02	0.014	0.012
				6~11	1.8	0.7	0.57	0.54	0.03	0.54	0.014	0.006	0.004
				12~3	1.8	0.7	1.04	1.00	0.01	0.94	0.014	0.006	0.004
		5	1, 2	6~3	2.7	1.7	0.25	0.23	0.02	0.18	0.018	0.012	0.008
				6~3	1.1	0.7	0.56	0.54	0.02	0.51	0.025	0.022	0.020
				6~3	1.1	0.7	0.56	0.54	0.02	0.51	0.025	0.022	0.020

が広葉樹林であるためその落葉によるものと思われる。また、三方五湖流域8と9ではCOD・N濃度で異なった挙動を示しており、植生や土壌による違いではないかと推定される。その他、山林系のN濃度は農業系と比べそのほとんどがNO₃-Nであった。

3.5 平水時負荷量の概略

各調査地点の平均流量、平均濃度を求め、平水時に北潟湖、三方五湖に河川等により直接流入する1日あたりの負荷量の概略を求め、表5、6及び図10、11に示した。北潟湖については、流域2・3の生活系負荷が、一方、三方五湖については、代かき、田植え時期による負荷の増大によるデータがないため、十分な値となっていない。この他、湖沼に流入する負荷には、降雨流出負荷や地下水による滲み

出し等があるので、実際の負荷量を算出するためには、さらに検討していく必要がある。

3.5.1 北潟湖流域

年平均のCOD負荷量は288kg/日、T-N負荷量は143kg/日、T-P負荷量は5kg/日あった。負荷量割合としては、流域11がCOD負荷の3.5割、流域3がT-N負荷の4割、流域10がT-P負荷の4割を占めていた。

3.5.2 三方五湖流域

年平均のCOD負荷量は618kg/日、T-N負荷量は190kg/日、T-P負荷量は12kg/日あった。負荷量割合としては、COD負荷、T-N負荷、T-P負荷とも流域9が5割以上を占めていた。

表5 北潟湖流域の汚濁負荷量

(kg/日)

流域 No.	地点 No.	年平均 COD負荷	年平均 T-N負荷	年平均 T-P負荷	流域毎年平均 COD負荷	流域毎年平均 T-N負荷	流域毎年平均 T-P負荷
1	1-5	14.27	15.37	0.22	14.27	15.37	0.22
2	2-1	2.28	0.61	0.09			
	2-2	1.37	1.08	0.02	3.65	1.69	0.11
3	3-1	10.71	5.38	0.13			
	3-2	13.69	2.16	0.22	58.55	60.41	0.76
	3-5	7.55	6.60	0.10			
	3-6	12.87	23.92	0.10			
	3-7	13.73	22.36	0.21			
4	4-11	4.24	0.28	0.03	4.24	0.28	0.03
5	5-1	1.48	0.34	0.02	26.71	6.30	0.46
	5-2	4.78	1.05	0.12			
	5-5	20.44	4.92	0.33			
6	6-1	2.73	0.17	0.02	12.54	4.59	0.21
	6-2	9.80	4.42	0.19			
7	7-3	2.68	5.37	0.02	2.68	5.37	0.02
10	10-1	63.39	24.70	1.98	63.39	24.70	1.98
11	11-1	101.65	24.44	1.26	101.65	24.44	1.26
	11-2(*)	17.89	7.42	0.19			
		287.67	143.15	5.04	287.67	143.15	5.04

(*)11-2は、11-1のバックグラウンド

表6 三方五湖流域の汚濁負荷量

(kg/日)

流域 No.	地点 No.	年平均 COD負荷	年平均 TN負荷	年平均 TP負荷	流域毎年平均 COD負荷	流域毎年平均 TN負荷	流域毎年平均 TP負荷
1	1-3	3.37	0.56	0.04	3.37	0.56	0.04
2	2-1	45.81	12.12	0.85			
	2-2	16.26	5.34	0.33	62.08	17.46	1.17
3	3-1	36.10	11.51	0.59			
	3-2	18.06	2.79	0.11	54.15	14.30	0.71
4	4-3	8.86	1.24	0.15	8.86	1.24	0.15
5	5-1	0.37	0.24	0.00	4.02	2.36	0.05
	5-2	0.87	0.47	0.00			
	5-3	0.18	0.03	0.00			
	5-5	2.60	1.63	0.04			
6	6-1	23.54	2.71	0.33	72.14	16.65	2.57
	6-2	23.91	5.06	0.65			
	6-3	24.68	8.88	1.59			
7	7-2	16.76	6.73	0.40	16.76	6.73	0.40
8	8-1	14.78	1.35	0.07	14.78	1.35	0.07
9	9-1	322.68	104.04	6.19	322.68	104.04	6.19
	9-2(*)	10.43	5.75	0.24			
10	10-1	43.74	13.61	0.80	43.74	13.61	0.80
11	11-1	15.77	12.11	0.22	15.77	12.11	0.22
	合計	618.36	190.40	12.37	618.36	190.40	12.37

(*)9-2は、9-1のバックグラウンド

4. ま と め

平水時における北潟湖、三方五湖の流入負荷について、湖沼周辺をそれぞれの流域に分割し、平成7年5月から翌年4月までの間に、水質調査等を行った結果、次のことがわかった。

- (1) 北潟湖、三方五湖とも、山林・全耕作田の面積を合わせると、それぞれ62%、80%と大きく、湖沼の流入負荷を考える上で重要なポイントとなる。
- (2) 基底濃度は、農業系・山林系による違いと、流域の土

壌類型・植生による違いにより大きく異なることがわかった。また、農業系の代かき・田植え時期による負荷の増大が4、5月の調査で明らかにされた。

- (3) 平水時に河川等により直接流入する年平均の負荷量の概略は、北潟湖でCOD負荷は288kg/日、T-N負荷は143kg/日、T-P負荷は5kg/日あった。三方五湖でCOD負荷は618kg/日、T-N負荷は190kg/日、T-P負荷は12kg/日あった。

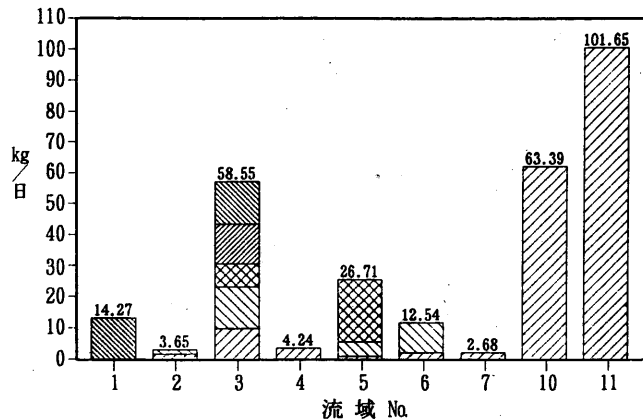


図10-1 北潟湖流域の負荷量 (COD)

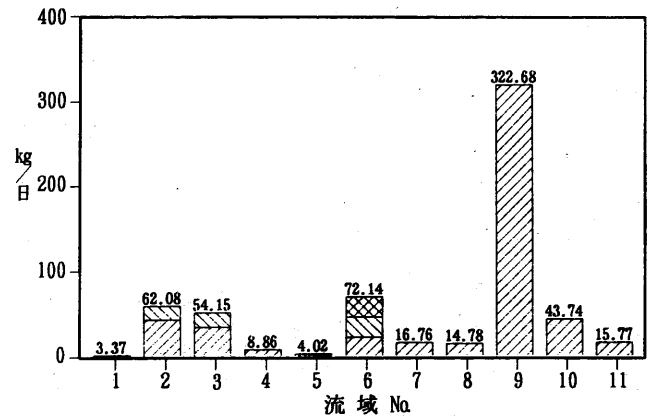


図11-1 三方五湖流域の負荷量 (COD)

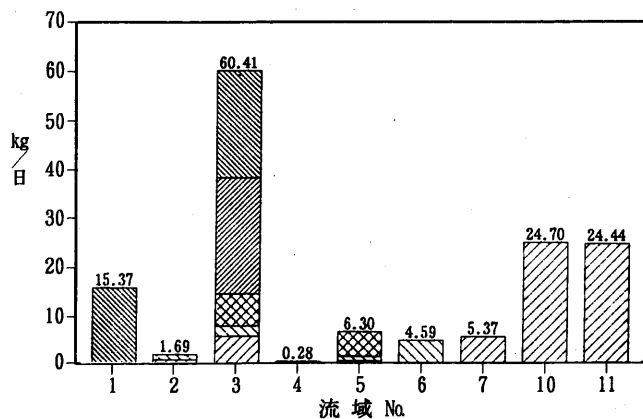


図10-2 北潟湖流域の負荷量 (N)

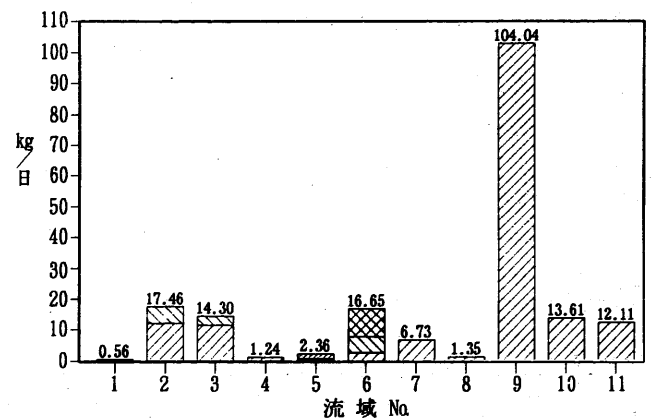


図11-2 三方五湖流域の負荷量 (N)

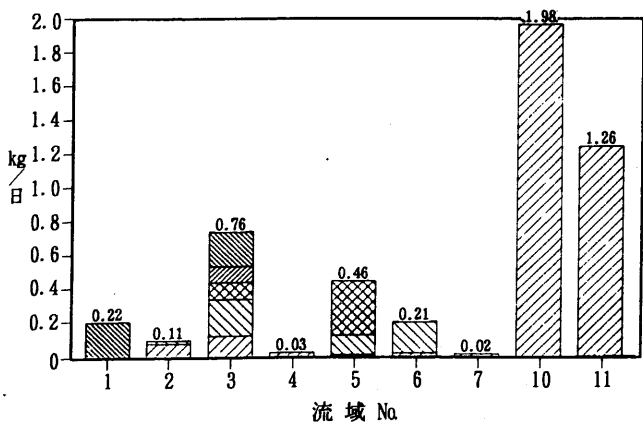


図10-3 北潟湖流域の負荷量 (P)

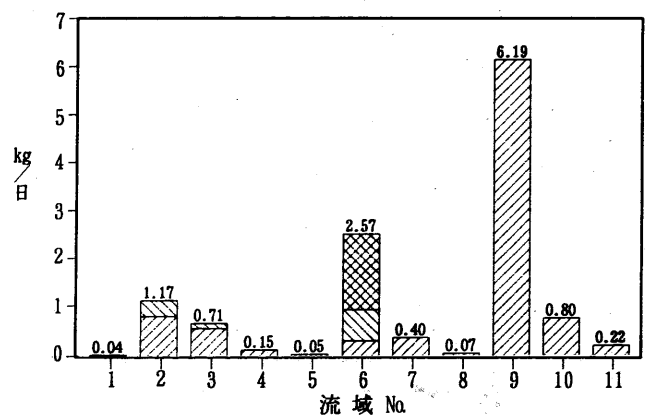


図11-3 三方五湖流域の負荷量 (P)

参考文献

- 1) 宇都宮高栄他：観音川の降雨時汚濁負荷量の解析，全国公害研究会誌 Vol. 16, pp. 25-36; 1991.
- 2) 福井県環境保全課：平成3年度湖沼負荷量背景調査，1991.
- 3) 福井地方気台：気象月報，1996.
- 4) 国松孝男、村岡浩爾：「河川のモデル解析」，技報堂出版、東京，1989.
- 5) アオコ発生要因である栄養塩類はどこから来るか，オウミアNO. 56, p2, 1996.