

琵琶湖の将来水質に関する調査研究

衛生工学委員会 琵琶湖の将来水質に関する調査小委員会

1. はしがき

琵琶湖の将来水質に関する調査研究はこれまでも実施されたことはあるが、琵琶湖をその湖水の富栄養化の立場からとらえたものはない。この研究は、最近における琵琶湖の著しい汚濁化にかんがみ、建設省近畿地方建設局が土木学会に委託し、琵琶湖にとって重要な富栄養化の問題について、本格的に取り組んだ最初のものである。

調査にあたって、土木学会衛生工学委員会に「琵琶湖の将来水質に関する調査小委員会」（委員長・岩井重久）が設けられ、この小委員会によって昭和 44 年度から調査が継続されており、同 47 年度においても継続されることになっている。

琵琶湖など湖沼の水質を論じる場合、河川のような流水と異なり、富栄養化が問題となる。湖沼に流入した無機栄養塩、ことに窒素、燐、カリウムが細菌やプランクトンの栄養となって生物相を変化させたり、水道原水としての価値を減じさせたり、あるいは水産生物の種類や品質を変化させ、また低下させたりする。

この研究は、こうした湖水の富栄養化の要因である窒素や燐の挙動を明らかにし、琵琶湖の富栄養化の傾向に関して検討を行なっているが、ここに中間報告として、その成果の概要を発表することにした。

2. 琵琶湖周辺地域の現況と将来

滋賀県総合開発計画を参考として、将来の汚濁負荷量を推定するための基礎となる経済指標を、表一1 のように想定した。

3. 汚水および汚濁発生負荷量の現況と将来予測

汚濁発生負荷量の推定は、表一1 の経済指標に基づき家庭下水・肥料・工場廃水および家畜による人工原因と山林などからの自然流出によるものについて検討したが、その原単位は表一2 のとおりである。

表一1 琵琶湖周辺地域の経済指標

区 分	単 位	43 年	50 年	60 年
総人口	千人	863	1 028	1 150
工業出荷額	億円	4 052	9 304	18 908
水	千 t	224	293	291
豚	頭	10 075	26 050	35 000
牛	頭	17 486	41 850	60 000
肥料	t	8 439	9 500	10 000
窒素 N	t	9 681	9 500	10 000
燐酸 P ₂ O ₅	t	7 345	9 500	10 000
カリ K ₂ O	t			
観光客	万人	3 621	4 501	6 863
上水道用水	千m ³ /day	138	302	431
農業用水	m ³ /sec	186	191	210
し尿処理	(千人) kl/day	(271) 352	(659) 855	(659) 855
下水処理人口	千人	—	215	337

表一2 汚濁発生負荷量の推定のための原単位

区 分		原 単 位		
		単 位	窒 素	燐
家庭下水	し尿	g/人日	8.6	0.9
	雑用水	g/人日	2.4	1.0
家 畜	豚	g/頭日	31.3	20.5
	牛 鶏	g/頭日	28.0	5.6
工業廃水	食品工業	kg/day・BOD	0.164	0.0172
	皮革	kg/day・BOD	0.192	
肥 料			施肥料の 0.3	施肥料の0.05

表の原単位について補足説明すると

① 家庭下水による窒素、燐負荷は、BOD 負荷と同様に生活程度の向上によって増加し、ことに窒素負荷はたん白質摂取量に比例して増加するはずであるが、関係資料がまったくないので、経年的には変化しないものとした。

② 田・畑に施用した肥料の流亡による窒素、燐は、湖に流入する栄養塩のうちで大きな比率を占めていることは確かであるが、これらの流亡量についての富栄養化の観点からの調査研究は、わが国ではほとんどないのでイギリスの Great Ouse 河での資料を参考にして、とりあえず施用される窒素の 30%、燐の 5% が 365 日かかって流出するものとした。なお、琵琶湖周辺から肥料の流亡などについては、昭和 45 年度から詳細に実測調査をし、検討を進めている。

これらの原単位を用いて、琵琶湖流域内の発生負荷量を計算すると、表-3 のようになる。なお、この計算において、下水処理および好気性し尿処理による窒素の除去率は 30%、また、燐のそれは 50% とし、下水処理区域人口は滋賀県資料を参考にして表-1 の値とした。

表-3 窒素、燐の全発生負荷量

区 分	発 生 負 荷 量					
	窒 素			燐		
昭 和 年	43	50	60	43	50	60
家 庭 下 水	8 794	9 125	10 064	1 518	1 492	1 607
肥 料	6 836	7 678	8 083	580	580	580
工 業 廃 水	1 118	1 441	2 709	111	131	254
家 畜 糞	804	1 988	2 776	304	769	1 054
県 合 計	17 552	20 232	23 632	2 513	2 972	3 495

表-3 のように求めた窒素、燐の全発生負荷量が琵琶湖に直接流入すると、かなりの富栄養化が見られるはずであるのに、実際にはそれほど進行していない。これは、汚濁発生地点から湖に流入するまでの間に、沈殿や化学的状態の変化などによって流水中から窒素や燐が除去されるからであると考えられる。そこで、昭和 45 年度には琵琶湖流入負荷量を汚濁発生負荷量で割ったものを流出率と定義し、山林、家庭下水および工場廃水、ならびに肥料について、それぞれ愛知川、野州川および田川のモデル河川を選定し、現地観測により流出率を求めたことにした。

稲に穂肥を与える 7 月上旬と、ほとんど田の水を落してしまう 9 月初旬とを選んで、流量及び水質観測を実施した。また汚濁発生負荷量は、表-4 の資料を用いて表-3 と同様の手法により求めた結果を表-5 に示す。7 月と 9 月との実測値にはかなりばらつきがあり、今後とも

表-4 汚濁発生負荷量の算定資料

区 分	単 位	田 川	愛 知 川	野 州 川
流 域 面 積	km ²	45.4	124.3	359.5
山 地 面 積	km ²	17.8	124.3	273.2
工 業 出 荷 額	万円	415 421	5 265	3 343 617
豚	頭	—	—	1 287
牛	頭	560	5	2 628
肥 料	t	1 026	39	4 430

表-5 汚濁物質流出率算定総括表

区 分		BOD	窒 素	燐
田全流川域	計算値 (kg/day)	513.2	296.5	30.2
	実測値 (kg/day)	204.8	112.1	33.7
	流出率	0.399	0.100	0.146
愛知川流日域	計算値 (kg/day)	58.4	26.4	2.7
	実測値 (kg/day)	140.5	251.9	6.49
	流出率	2.40	1.729	0.483
野頭域川石土部流	計算値 (kg/day)	7 962.9	1 433.1	173.0
	実測値 (kg/day)	311.0	776.4	15.10
	流出率	0.039	0.073	0.015

観測を継続する必要があるが、とりあえず平均値をもって実測負荷とした。また田川全流域は肥料の流出率を求めるために選ばれたのであったが、実際には家庭下水による負荷が相当に存在し、肥料のみの流出率を求めるのが困難であったので、今回は人工原因のものに対する平均流出のみを求めることとし、肥料の流出率については今後の調査にまつことにしたが、これは現在、日野川流域のモデル地において調査中であることを断わっておく。

流出率の計算にあたって、まず人工原因の少ない愛知川について山林よりの流出率を求めるため、人工原因の流出率を仮定してその負荷を求め、実測負荷からこれを差引いて山林からの原単位を推定することにした。次にこの原単位が変らないものと仮定し、田川、野州川、山林よりの負荷を求め、それぞれの実測負荷からこれらを差引いて、人工原因による流出率を求めた。さらに、この流出率と最初に仮定した流出率とが一致するようになるまで同様の計算を繰り返した。この結果、山林からの自然の窒素、燐の流出原単位は；

窒素：1.9 kg/cm²・day 燐：0.05 kg/cm²・day

また、人工原因の窒素、燐負荷流出率は

窒素：20% 燐：13%

となった。山林からの自然流出の原単位については、県全体の地質がほぼ等しく、単位面積あたりの窒素、燐流出が一定であると考えたが、とくに燐については花崗岩地帯からの溶出がかなりあることがわかった（詳細については現在調査中）ので、さらに検討する必要があるが、今回は前記の流出率を用いて琵琶湖に流入する負荷量を推定することにした。その値は表-6 のとおりである。

表-6 琵琶湖に流入する負荷量を推定値 (単位 kg/day)

区 分	琵琶湖への流出量					
	窒 素			燐		
昭 和 年	43	50	60	43	50	60
家 庭 下 水	1 759	1 925	2 013	197	194	209
肥 料	1 367	1 536	1 661	76	76	76
工 業 廃 水	224	288	542	14	17	33
家 畜 糞	161	398	555	40	100	137
山 林	3 404	3 404	3 404	117	117	117
計	6 755	7 551	8 130	444	504	572

4. 琵琶湖水質の過去と現況

琵琶湖の水質に関しては、滋賀県水産試験場が昭和 24 年以降北湖の彦根・安曇川ライン付近において、また、大阪市水道局が同じく昭和 24 年以降三井寺沖において毎年観測している。全湖的な調査は、建設省が委託した生物資源調査団が昭和 38 年、39 年に行っており、全湖の定期的な水質調査は、建設省（分析は滋賀県衛生研究所に委託）が昭和 41 年以来、湖中の 57 地点（昭

表-7 最近の琵琶湖三井寺沖の水質

年度(昭和)	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
濁度	3.8	4.4	7.0	6.0	9.3	16.6	7.0	10.2	7.4	6.3	6.5	6.0
アンモニア性窒素(mg/l)	0.034	0.030	0.038	0.047	0.052	0.049	0.028	0.028	0.016	0.023	0.028	0.063
BOD(mg/l)	1.20	1.14	1.28	1.45	1.09	1.53	1.68	1.46	1.70	1.63	1.95	1.83
比導電率	79.0	81.5	84.0	87.1	88.1	96.5	89.4	91.6	92.8	96.5	99.4	99.5
大腸菌群数(100m/中)	230	450	780	880	1300	1400	1400	470	1500	3800	2100	1800

注：大阪市水道局調査

和44年以降は48地点)について春・夏・秋・冬の年4回実施している。また、昭和40年度には、奈良女子大学動物学教室へ委託し、生物学的な水質判定からみた汚染地図を作成した。これらの結果は、表-7,8 および図-1,2 のとおりである。

表-8 琵琶湖全域の最近の水質

区分	昭和41年	昭和42年	昭和43年	昭和44年	昭和45年
北湖					
濁度	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
BOD(ppm)	0.59	0.69	0.45	0.58	0.47
COD(ppm)	0.67	0.73	0.83	0.77	0.74
大腸菌群数(100ml/中)	800	37	96	27	28
南湖					
濁度	5.0	5.5	5.0	4.4	4.7
BOD(ppm)	1.18	1.33	1.22	1.52	1.53
COD(ppm)	1.19	1.15	1.32	1.19	1.24
大腸菌群数(100ml/中)	980	190	780	780	570
瀬田川					
濁度	5.2	6.7	12.2	4.7	4.0
BOD(ppm)	1.33	1.30	0.90	1.63	1.92
COD(ppm)	1.13	1.16	1.50	1.22	1.27
大腸菌群数(100ml/中)	6500	66	1100	1500	2800

(近畿地建調査)(数値は平均値)

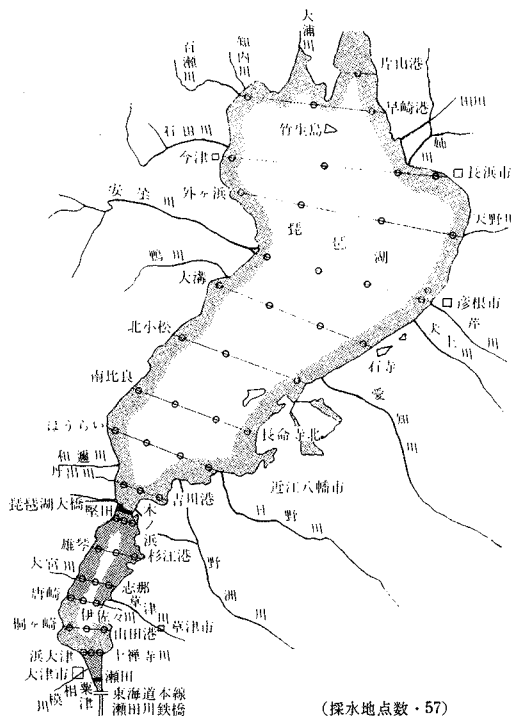
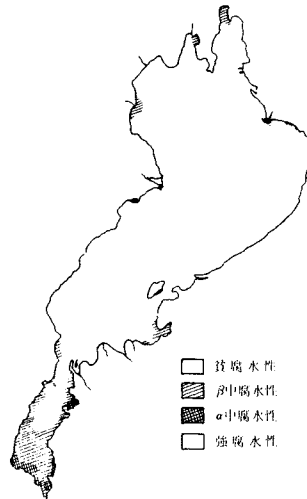


図-1 琵琶湖水質調査採水地点(○印)略図



(昭和41年度)

図-2 琵琶湖の生物学的判定による汚染地図

5. 琵琶湖の将来水質の予測

(1) 窒素、磷の将来負荷量

昭和50年,55年,60年の窒素、磷の負荷量の湖内における収支を計算することにするが、そのためには現在の湖内における窒素、磷の存在量を知ることが必要となる。そこでまず、昭和38年および44年の窒素、磷の湖内

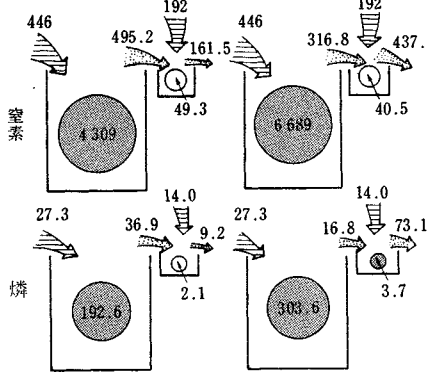
残留分について計算した結果を用い、さらに表-6を参照して将来における負荷量を推算すると表-9を得た。昭和44年についてのこうした収支計算を図に示せば、図-3のとおりとなる。

表-9はあくまで種々の仮定にたった試算の結果を示すものであって、このように大きな濃度の栄養塩が水中に存在を続け、生物に利用され続けるものとは考えられず、一部は有機物の形で、また一部は無機塩の形で底泥に加わるものと思われる。それにしても、これらは湖から除去されたわけではなく、むしろ蓄積を続け、なにかの折に負荷源として動員される可能性を保持しているのである。

(2) 汚染地図の作成

津田(昭和43年)は、湖の富栄養化の指標として、栄養塩類・溶存酸素・透明度・水色・懸濁物質・pHなどが物理・化学的指標となることを述べ、またその生物学的指標としては、底生動物・植物プランクトン・魚類をあげている。今回の調査では、沿岸の付着生物・プランクトン・底泥中の微生物を検討し、あわせて溶存酸素・水色・透明度の測定値をも資料として、おもに生物学的な立場から汚濁の状態を把握し、図-4のような琵琶

春季3ヵ月(5月代表) 1969年 夏季3ヵ月(8月代表)



1969年(昭和44年)春季3ヵ月, 同様に夏季3ヵ月における北湖, 南湖の窒素, 燐収支を示す(単位 t)

図-3 春期, 夏期別の窒素, 燐収支図

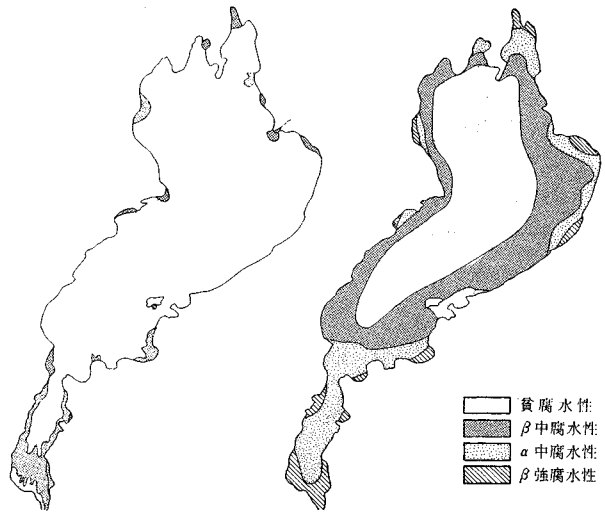


図-4 昭和41年の現況 図-5 昭和60年の推定

表-9 表-6をベースにして算定した将来負荷量

(1) 北湖

区分	北湖に流入する量 (t)		累計 (t)		湖内残留分 (t)		北湖容積 $26.6 \times 10^9 \text{m}^3$ で割って ppmを出す ($\text{mg/l} = \text{kg/m}^3$)	
	窒素	燐	窒素	燐	窒素	燐	窒素	燐
44年末から50年末まで(45年始から)6か年間に	11639	742	11639	742	1199	250	0.045	0.017
50年末から60年末まで5か年間に	10130	679	21769	1421	2242	861	0.084	0.032
55年末から60年末まで5か年間に	10520	720	32289	2141	3326	1460	0.125	0.055

(2) 南湖

区分	南湖に流入する量 (t)		累計 (t)		湖内残留分 (t)		南湖容積 $16 \times 10^9 \text{m}^3$ で割って ppmを出す	
	窒素	燐	窒素	燐	窒素*	燐**	窒素	燐
44年末から50年末まで6か年間に	4811	348	4811	348	1708	0	10.6	0
50年末から55年末まで5か年間に	4292	313	9105	661	3232	0	20.2	0
55年末から60年末まで5か年間に	4510	336	13624	997	4836	0	30.2	0

注: ① *累計に 0.355 を掛ける. ② **累計に 0 を掛ける.

琵琶湖の汚染地図を作成した。

さらに、琵琶湖の汚染対策が今後行なわれないままの状態が続けば、昭和60年頃には図-5に示すような痛ましい姿になるであろうと予測された。

琵琶湖をこのような状態にさせないためには、下水処理、とくにその三次処理等による窒素、燐の除去を早急に実現させなければならないことはもちろんであるが、下水道では処理できない肥料の流出についての対策をも

検討しなければならないことを痛感した。

6. 今後の調査

本研究はまだ中途段階であり、とくに肥料による流出の把握は重要であるほか、宅地開発などの土地造成工事に伴う花崗岩地帯からの燐の溶出、琵琶湖流入水量の2割程度を占める地下水からの窒素、燐の流出など、今後さらに検討を続けなければならないような問題点が、これまでの調査により明らかとなった。ゆ

えに、今後はこれらの諸調査を継続して究明していく一方、これまでの成果をもとにして本研究の総合的取りまとめの方針を再検討し、研究を続行していきたいと思っている。

なお、本研究では窒素や燐の除去のための、下水や廃水の処理法についても考察を加えているが、紙面の都合上この報告では省略した。

(委員長・岩井重久/執筆・永末博幸)

第8回衛生工学研究討論会講演論文集

● B5・138 ページ/1500 円 (〒 100 円) / 1972 年 1 月開催の 12 論文を収録 ●