

湖沼の富栄養化

赤 沢 寛

1. まえがき

富栄養化は湖沼の病気にたとえられる。湖に栄養塩類が増えると、植物プランクトンの大増殖、水の華の発生、水の不快感、湖底腐泥の堆積、水中酸素の欠乏、魚類のへい死、などの症状が起る。水産上からみれば魚類生産が向上することにより好ましいようであるが、量が増えても質が悪くなる。上水道、工業用水道水源としては水質悪化による利用阻害が指摘される。また、水泳、ボートなどリクリエーションの立場からも富栄養化は好ましいことではない。人間の貧乏は歓迎されないが、湖水の貧乏は清冽で魅力に満ちている。

湖沼は、貧栄養湖→富栄養湖→沼沢→湿原→陸地、という順序で移り変わっていくが、その現象自体は地球の老化の過程における自然の遷移であり、数百年、数万年かかって変ぼうしていくものである。しかしながら、現在は自然現象のほかに、人口の増加や、物質文明の急激な進展にともなって激増する多種多様な廃出物が放出され、湖に自然状態で流入する百年分、千年分の栄養塩類が1カ年で流入することも可能であり、このような人為的加速によって非自然的な湖沼の富栄養化が、グローバル・スケールで各水域に広がりつつある現実である。

湖沼は、ひとたび富栄養化されると外部からの栄養塩流入だけでなく、湖底からの栄養供給が加わるため、富栄養化は加速度的に進行するものであり、従って、その防止対策、浄化は非常に困難な点ではあるが、その湖沼における富栄養化発生機構の究明とともに、自然保護のうえからも、最大限の努力が要請される。

2. 富栄養化を起こす要因

水中のリン、窒素などの栄養塩濃度が高くなり、その結果、生物生産性が增大する現象を富栄養化という。

水域の富栄養化については、様々な自然科学的プロセスが人為的要素と複雑にからみあって進行するので、単純には因果関係を把握しにくい、それを起す要因については多くの研究者によって指摘がなされている。すなわち、湖の生物生産に影響を及ぼすものとして、栄養素の質と量、並びに物理的因子（光、水温、水塊の混合、安定、移動など）の2要因がある。栄養素としては、リン、窒素、炭素のほか、成長促進物質としてのビタミン類（ビタミンB₁₂、その類似物、チアミン、ビオチン）、核酸系のプリン、ピリミジン、金属を可溶態に保つキレート（腐植酸、有機酸、ポリペプチドなど）そして金属イオン（鉄、マンガン、コバルト、モリブデン）等があげられており、特にリン、窒素が生物生産を大きく支配しているといわれる。富栄養化を発生させるための、リン、窒素の限界については次のようである。

- OECD水管理研究報告では、春期の濃度がPで10mg/m³、Nで200～300mg/m³をこえるとき、あるいは、湖の単位面積当りの供給負荷量が、Pで0.2～0.5g/m²/年、Nで5～10g/m²/年に達したときである。しかし、これらの目安は普遍的には適用できないとしている。
- 吉村は、水の華の発生する湖沼の大部分はNが0.2mg/l以上であったとし、Sawyerは、植物成長期の始めにおいて、Pで10mg/m³、Nで300mg/m³をこえるとき発生するらしいとしている。
- 吉村、津田は、Pで0.02mg/l、Nで0.15mg/l以上を富栄養化の示標としている。

○ 堂々らは、Pで0.04mg/ℓ，Nで0.5mg/ℓ以上を富栄養化の目安とし、N/Pが4～20のとき水華現象を生ずる回数が多くなっているとしている。

このように、リン、窒素の制限濃度は、その湖、環境によって異なり、どの湖でも適用される値は一概にはいえないようである。

津田博士によれば、富栄養化した湖と貧栄養湖の特徴を表－1のように比較している。

表－1 貧栄養湖と富栄養湖の比較

特 徴	貧 栄 養 湖	富 栄 養 湖
水 色	藍色または緑色	緑色ないし黄色、水の華のため、ときにいちじるしく着色することがある。
透 明 度	大きい（5m以上）	小さい（5m以下）
反 応	中性付近	中性または弱アルカリ性、夏季に表層はときに強アルカリ性になる。
栄養塩類(mg/ℓ)	少量(N<0.15, P<0.02)	多量(N>0.15, P>0.02)
懸 濁 物 質	少 量	プランクトンおよびその残滓による懸濁物質が多量。
溶 存 酸 素	全層を通じて飽和に近い。	表水層は飽和または過飽和、深水層では常にいちじるしく減少する。消費は主にプランクトン遺骸の酸化にもとづく。
底 生 動 物	種類は多い。酸素の不足に耐えられぬ種類。	酸素の不足に耐える種類
植物プランクトン	貧弱。主に珪藻よりなる。	豊富。夏には藍藻の水の華をつくる。珪藻、虫藻も多い。
魚 類	量は少ない。冷水性のものがいる（マス、ウグイ）。	量が多い。暖水性のものが多く（コイ、フナ、ウナギなど）。量は多い。

3. 湖沼の現状

本邦の湖沼は、最大面積674.4km²を有する琵琶湖から、直径が数10m程度の湖沼に至るまで非常に変化に富み、狭小な国土と対照的に多数が存在する。20万分の1の地形図から湖沼と称し得るものは626といわれる。

本邦湖沼の研究は、明治32年に田中阿歌麿博士が山中湖に錘鉛を下したのに始まり、その後各地の湖盆形態が明らかにされ、湖沼の環境、性質を知るための勢力的な調査結果が種々の報文に発表され、湖沼概要が世に紹介されている。湖沼の富栄養化に関する研究報告は非常に多く、プランクトン、底生動物、及び陸水学的方面から論じられ、種々の指標生物や汚染程度、栄養段階を示す判定方法等がある。湖沼の栄養型については、多くの類別方法が知られているが、最も多く用いられている吉村（1933・1937年）のものは、調和型湖沼と非調和型湖沼に大別し、前者を貧栄養と富栄養、後者を腐植栄養、酸栄養及びアルカリ栄養に分類している。

表－2は、津田松苗編「日本湖沼の診断」より、全国の主たる湖沼の栄養型を調べ、まとめたものである。

表-2 日本における主要な湖沼の栄養型

	湖名	富栄養	中栄養	貧栄養	標高 (m)	面積 (km ²)	最大 深度		湖名	富栄養	中栄養	貧・ 栄養	標高 (m)	面積 (km ²)	最大 深度
北海道	摩周湖			○	351	20.0	212	長野	野尻湖		○		654	3.9	37.5
	屈斜路湖			○	121	77.5	120.0		青木湖			○	822	1.86	58
	パンケ湖			○	461	2.8	48.8		中綱湖		○		815	0.14	12
	塘路湖	○			8	6.5	7.0		木崎湖		○		764	1.4	29.5
	阿寒湖	○			419	11.8	36.6		黒部湖			○	1,445	3.49	160
	然別湖		○		797	3.5	99.0		白樺湖	○			1,416	0.35	8.5
	豊似湖		○		310	0.03	18.6		諏訪湖	○			759	14.5	7.0
	支笏湖			○	248	76.2	363.0		河北潟	○			0.8	26.0	2.0
	倶利伽湖			○	260	4.3	147.5		柴山潟	○			1	5.0	2.8
	洞爺湖			○	83	70.0	179.2	滋賀	余呉湖	○			134	1.63	14.5
	半月湖	○			270	0.045	18.2		びわ湖			○	85	623	104
	大沼湖	○			850	0.05	15.0		" 南湖	○				58	4(平均)
	薦沼		○		450	0.05	15		湖山池	○			2	6.93	8.9
東北	十和田湖			○	401	59.05	334	中国	湖東郷池	○			4	4.1	7.5
関東	湯ノ湖	○			1478	0.33	12.5		穴道湖	○			0.7	80.0	6.4
	中禅寺湖			○	1271	11.68	161.5		神西湖	○			3	1.35	2.2
	手賀沼	○			3	10.0	2.9		蛇池	○			10	0.1	10.0
	北浦	○			1	78.8	10.0	九州	池田湖		○		66	11.0	233
	霞ヶ浦	○			1	178.0	7.0		鏡池	○			40	0.03	13.5
	印旛沼	○			0.8	21.25	1.8		小池				430	0.05	12.3
	精進湖	○			896	0.65	11.2		大浪池			○	1,239	0.25	11.6
	西湖			○	898	2.1	66.5		住吉池	○			38	0.13	31.5
	河口湖	○			822	6.1	15.4		鱈池		○		126	1.15	56.5
東	山中湖	○			982	6.5	13.2								
	芦ノ湖	○			723	6.9	42								
	本栖湖			○	902	4.9	126.0								

4. 富栄養湖の特徴

1) 透明度

透明度は湖沼の汚染度を知る最も手軽な方法である。この方法は、直径25～30cmの真白な円板を水中に沈め、円板が見えなくなる深さによって表現するもので、水中での光の減衰と密接な関係をもっている。水中での光の減衰は懸濁物質による光の吸収、散乱と水自身による光の吸収によって起る。湖水が汚れてくると水中の懸濁物質や溶存性の物質が増加するので透明度が小さくなる。懸濁物としては湖沼の場合、プランクトンが最も多いといえる。

表-3、4は、本邦と外国の代表的な湖沼の透明度をまとめたものであるが、現在ではその値が小さくなっているようである。摩周湖は1931年に41.6mと観測され世界一であったが、1974年の調査では24.6m、ちなみに1972～74年にかけての本邦主要な湖沼では、透明度が20m以上は摩周湖のみといわれる。一方、富栄養化が進んだ湖では著しく少ない値を示す。図-1は諏訪湖の一例であるが、そのほか、霞ヶ浦、琵琶湖南湖等も1m前後である。

表-3 湖水の透明度

順位	湖沼名	府 県	透明度 (m)
1	摩周湖	北海道	41.6
2	田沢湖	秋田	33.0
3	猪苗代湖	福島	27.5
4	池田湖	鹿児島	26.5
5	支笏湖	北海道	25.0
6	倶多楽湖	北海道	24.3
7	洞爺湖	北海道	23.5
8	屈斜路湖	北海道	22.5
9	沼沢沼	福島	21.0
10	十和田湖	青森・秋田	20.5

表-4 外国の湖沼の透明度

順位	湖沼名	所在地	透明度 (m)
1	バイカル湖	シベリヤ	40.5
2	テーホー湖	カリフォルニア	32.7
3	クレーター湖	オレゴン	27.0
4	クルヘン湖	ドイツ	25.0
5	コソゴル湖	モンゴル	24.6

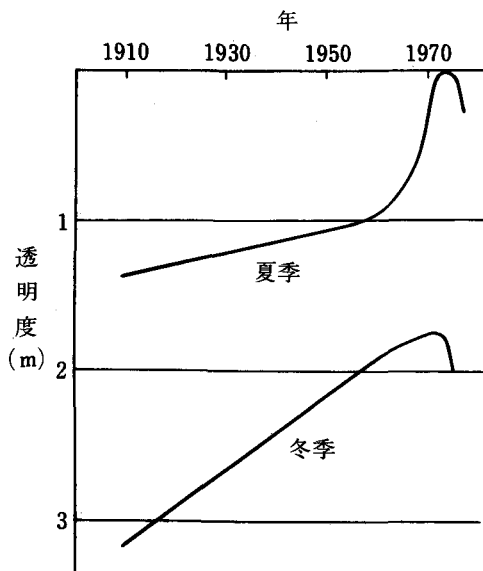


図-1 諏訪湖における透明度の変化

2) 水の色

摩周湖や本栖湖のように貧栄養湖では美しい藍色を呈しているが、富栄養湖では、黄褐色、黄緑色などを呈することが多い。相模湖では黄色がかったすみどりであり、諏訪湖では毎夏、アオコ（学名、ミクロキステイス）と称する藍藻類が大量に発生して水の華となり、湖水はグリーンに染まり、湖を源とする天竜川にも数10キロにわたって緑の水が流れる。

3) pH

天然水の最も基本的な性質はpHによって決められる。一般に湖沼水は6.8～7.6程度の中性付近が多い。富栄養湖では、有光層に大発生した植物プランクトンが光合成のため水中のCO₂をとり、日射の強い季節の昼間にかかなり高いpHとなる。相模湖では、循環期pHは7.0～7.3の範囲であるが、水温成層が形成され、植物プランクトンの活動が盛んになると、表層では最高pH10を越えることがある。

4) 溶存酸素

溶存酸素の分布状態も湖水の栄養型の示標となる。図-2の左半のように、生物生産の小さい貧栄養湖では深さによる差は殆んどなく全層飽和に近い。一方、富栄養湖では、停滞期になると表層は植物プランクトンの光合成によって酸素が放出され飽和または過飽和となる。プランクトンが死ぬと死骸は沈下し、下層で腐敗、分解するため酸素が消費され減少する（図-2右半）。夏期には日射を受けて暖かい水は上層に、冷たく重い水は下層にあり、上温下冷の成層ができ（停滞期）、酸素成層もそのまま保た

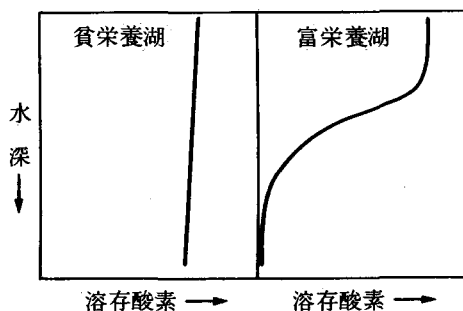


図-2 湖の溶存酸素分布

れる。冬に向うと表層が冷気に冷やされ下層に移るので上下層の水は混合(循環期)し、酸素分布は富栄養湖でも、上下の差は殆んどなくなる。

図-3は、諏訪湖における経年的な鉛直分布の推移である。

5) リン、窒素

リン、窒素で代表される栄養塩濃度は湖沼の汚染の指標として重要である。近年の湖沼の急激な変化による富栄養化は、これら塩類の著しい量の流入が主因である。植物プランクトンが塩類を摂取する形態は、リンにおいては溶存のリン酸態(PO_4)、窒素ではアンモニア態(NH_4)、硝酸態(NO_3)とされている。

富栄養化を促す栄養塩濃度については上述したが、一般的にはリン、0.02 ppm、窒素、0.15 ppm 程度である。植物プランクトンが増殖すると栄養塩類は摂取されて濃度は次第に減じる。とりこんだプランクトンが死滅すれば、一部は湖沼の上層にある間に分解して塩類を放出するが、一部は下層へ沈下する。湖底では沈下した生物の死骸が分解して塩類を放出する。富栄養化が進み下層が無酸素状態であれば急速に嫌気性分解が行われ、アンモニアやリンが放出される。これらの塩類は上層に回帰し、再び植物プランクトンに利用され、生物生産が増大することとなる。

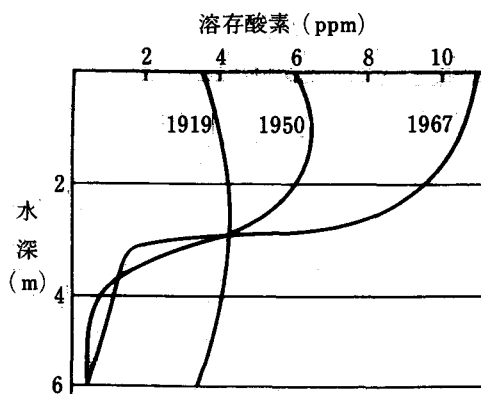


図-3 諏訪湖における溶存酸素の経年変化

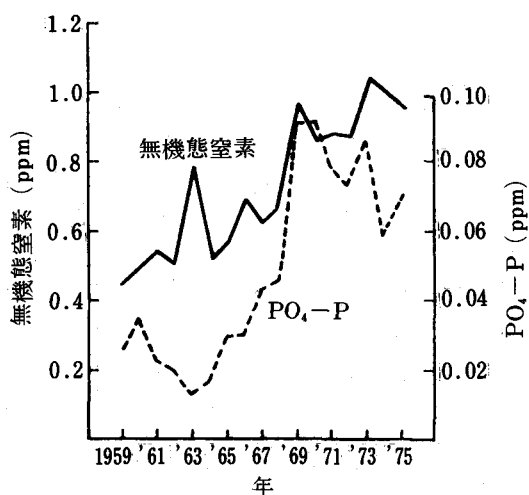


図-4 相模湖における無機態窒素、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の経年変化

図-4は、相模湖におけるリン、窒素

の経年変化を示したものである。1970年前後における富栄養湖の濃度としては、諏訪湖では、T-N、0.38、T-P、0.05、琵琶湖南湖では、T-N、0.045~0.5、T-P、0.006~0.01、印旛沼では、無機-N、0.86、可溶性-P、0.05、(いずれも ppm)等の報告がある。

6) 植物プランクトン

富栄養化が進むと水質環境条件の変化とともに生物生態系もかわる。植物プランクトンでみれば、水のきれいな貧栄養湖では *Cyclotella*、*Tabellaria* というような珪藻類が優占的であるが、少し栄養の多くなった湖では *Asterionella*、*Fragillaria* の珪藻類、さらに進むとクンショウモ、セネデスムスなどの緑藻類が優占的である。そしてもっと悪くなると *Microcystis* に代表される藍藻類が大発生する。もちろん、ここに名をあげた生物だけで、その湖のプランクトンが形成されるわけではなく他の多くの種類がまじっている。富栄養化が進むにつれ、生物生産量は増大し、また、ある特定の種の優占度が強くなり、種類数は減じてゆく。相模湖における例を図-5に示した。

5. 富栄養化による障害

1) 観光, レクリエーション

湖が富栄養化すると、水の透明度は減じ、水は黄褐色となり、さらに進むと水の華を形成し、これが大量発生し死滅すると腐敗臭を発生するようになる。従って、水泳はもちろん、ボート遊び、湖畔の散歩など、観光、レクリエーションは快適ではなくなる。諏訪湖などにみられる例である。

2) 水産

湖が富栄養化すると微生物の繁殖を促し、魚の生産量を増加する効果があるが、一般には富栄養化は水産にとっても望ましくないと考えられる。それは価値の高い種類が姿を消し、価値の低い種類がこれに代わるからである。そして、さらに富栄養化が進むと遂には魚類のへい死を起すようになる。貧栄養湖では、マス、アユ、ウグイなど美味な魚が生息するが、富栄養湖では、コイ、フナ、ワカサギなどとなり漁獲量は増える。湖の富栄養化によって漁業資源の増加を望むよりも、それを防いで貧栄養の湖水そのものの利用を図るほうが重要であろう。

3) 水道

(1) 臭気障害

富栄養化によってプランクトンが大繁殖すると、水に各種の臭気を与える。これは直接藻類が発するものと、藻類の死後、これを栄養とする放線菌や細菌によって発するものとがある。湖でのこのような臭気発生は近年著しいものがあり、霞ヶ浦、印旛沼、琵琶湖南湖、また水道専用貯水池をもつ、神戸市、呉市、高松市、長崎市など各地の水道で障害を経験している。これらの事例は、殆んど「かび臭」であるが、その除去は極めて難しく、現在では確実な方法として活性炭もしくはオゾンによる処理が有効であるも経済的には大きな負担となる。

表-5は水道水源となっている湖沼、貯水池でのかび臭の分布であり、表-6は検出された臭気成分である。

(2) 鉄、マンガン溶出

富栄養化に伴って発生する多量のプランクトンは、死滅沈降して底層で分解することとなるが、この結果、底層水は無酸素となり、底泥中の鉄、マンガンがイオンとして溶出するようになる(図-6参照)。このような湖沼を水源とする水道で

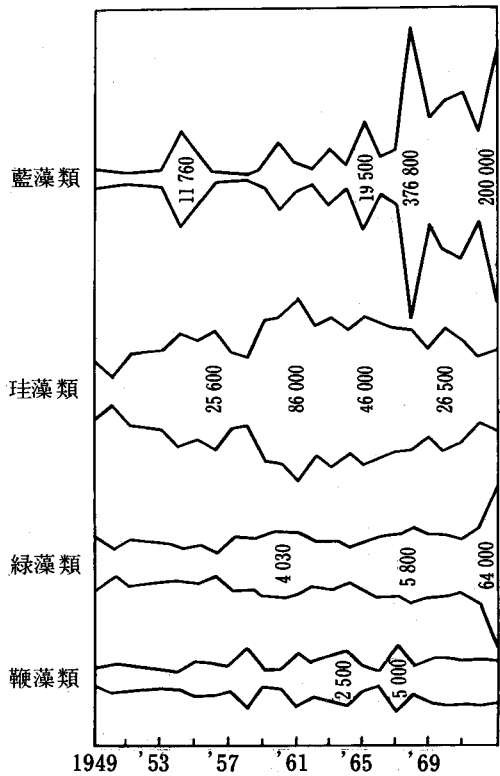


図-5 相模湖における植物プランクトンの量的変遷

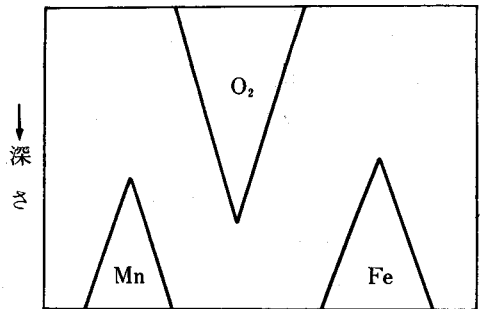


図-6 富栄養湖におけるFe, Mn, O₂の垂直分布

表-5 かび臭の分布

地 域		北海道	東 北	関 東	北 陸	中 部	近 畿	山 陽	山 陰	四 国	九 州	計
湖沼・貯水池数	貯水池 専 用	6	3	8	3	4	2	3	2	0	20	51
	多目的	3	2	8	4	6	6	6	1	3	11	50
	湖 沼	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	3
	計	9	5	18	7	10	9	9	3	3	31	104
かび臭発生池数	貯水池 専 用	0	0	0	0	0	1	3	1	0	6	11
	多目的	0	1	3	0	2	6	6	0	2	6	26
	湖 沼	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	3
	計	0	1	5	0	2	8	9	1	2	12	40
かび臭発生池数 湖沼・貯水池総数 (%)		0	20	28	0	20	89	100	33	67	34	38

(日本水道協会アンケートによる)

表-6 上水道原水に含まれる臭気成分

上 水 道 原 水	臭 気 成 分	確 認 法
琵琶湖南湖 (粒状炭吸着)	geosmin (diethyl sulfide)	G C
	(camphor) (p-methyl autophenone)	G C - M S
印幡沼 (粒状炭吸着)	geosmin (camphor)	G C - M S
千苅貯水池 (蒸留濃縮)	2-methyl isoborneol	G C - M S
山口貯水池 (粒状炭吸着)	2-methyl isoborneol	G C - M S
境浄水場原水 (粒状炭吸着)	2-methyl isoborneol	G C - M S
金町浄水場原水 (粒状炭吸着)	geosmin	G C - M S

(日本水道協会異臭味水対策専門委員会資料, 橋本, 一戸調べ)

は、鉄、マンガンによる赤水障害を起した例は、北九州市、銚子市、茨城県営水道、東京都、横浜市、川崎市などで発生した。

(3) ろ過池閉塞

富栄養化によって大量の植物プランクトンが発生するが、このような湖沼を水源とする浄水場では、これがろ過池に流入すると池のろ層を目づまりさせ、浄水作業を困難にするばかりでなく配水量が十分得られなくなる。このような事例は、東京都、横浜市、川崎市、長崎市、門司市、福岡市、呉市、銚子市、仙台市など経験され、緩速ろ過池では通常1カ月程度持続するものが4～5日でつまり、また、急速ろ過池では50時間程度持続するものが4～5時間でつまった例さえある。

6. 富栄養化をもたらす栄養源の供給

近年における湖沼の富栄養化は、湖内へのリン、窒素の人為的流入増加が最大の原因であり、琵琶湖、諏訪湖、相模湖などにおいて定量的に立証されている。例えば、流れダム湖である相模湖におい

ては、流入主河川の桂川の水質実測値より計算すれば、1970年当時、流入するリンは0.3～0.5t/日、窒素は2～5t/日、BODは3～6t/日となっている。これら物質の発生源については、生活排水、畜産排水、肥料流出などが一般的である。物質負荷量の算出については、地域の環境要因を基礎に計算される。表-7は相模湖流域の定住人口など環境要因であり、表-8は計算に用いた原単位と流出係数である。これらによる窒素、リンの地域別、発生源別の負荷量とその割合をまとめたのが表-9である。この結果より、1970年においては、湖内への窒素の流入量は5.2t/日、リンでは0.53t/日であり、発生源では、生活排水が窒素で30％、リンで50％を占めており、これらの結果より、人為的汚染が明確である。なお、リンの発生源のうち、合成洗剤に由来する分はほぼ30％であるが、最近では17％に低下している。

表-7 相模湖の水質汚濁に係る環境要因 (1970年)

要 因	単位	流 域	
		桂 川 流 域	相模湖周辺
定 住 人 口	人	153,339	16,637
観光人口(日帰り客)	人/日	7,300	9,370
“ (宿泊客)	人/日	1,960	192
別 荘 人 口	人/日	1,548	—
し尿処理対象人口	人/日	126,000	11,600
し尿浄化槽処理人口	人/日	20,300	1,300
ごみ処理量	t/日	65	6
家 畜 数(牛)	頭	1,812	1,543
“ (豚)	頭	3,062	1,073
“ (鶏)	羽	264,538	31,000
工 場 数		7,486	—
工場出荷額	百万円	44,929	—
耕 地(田)	ha	1,756	50
“ (畑)	ha	2,233	712
山 地 森 林	ha	45,360	9,956
水 源 湧 水	m ³ /sec	5	—

表-8 汚濁負荷量計算に用いた窒素・リンの原単位と流出係数

要 因	汚濁物質 項目	窒 素		リ ン	
		原単位	流出係数	原単位	流出係数
生活排水	し尿処理	9.0g/人・日	0.7	0.6g/人・日	0.75
	し尿浄化槽		0.9		0.9
	し尿農地還元		0.3		0.02
	雑用水	3.0g/人・日	1.0	0.25g/人・日	1.0
	合成洗剤	—	—	0.86g/人・日	1.0
	ごみ処理	0.252kg/t・日	1.0	0.025kg/t・日	1.0
畜産排水	牛	290g/頭・日	0.4	50g/頭・日	0.17
	豚	40g/頭・日	0.825	25g/頭・日	0.75
	鶏	2.28g/羽・日	0.31	0.57g/羽・日	0.05
工場排水	食品加工	25g/m ³ ・日	1.0	3.5g/m ³ ・日	1.0
	繊維・染色	11.4g/m ³ ・日	1.0	0.85g/m ³ ・日	1.0
	紙・パルプ	30g/m ³ ・日	1.0	3.0g/m ³ ・日	1.0
肥料出	田	98kg/ha・年	0.3	40kg/ha・年	0.04
	畑	217kg/ha・年	0.3	70kg/ha・年	0.02
農業排水		26.5kg/ha・年	1.0	0.27kg/ha・年	1.0
山地森林		1.9kg/km ² ・日	1.0	0.05kg/km ² ・日	1.0
水源湧水		345kg/日	1.0	29kg/日	1.0

表-9 相模湖水系における窒素・リンの地域別発生源別の流出負荷量と割合 (1970年)

栄養塩類	地域	桂川流域	相模湖周辺	計
	要因			
窒素	生活排水	1473(31.8) (94.3)	90(13.8) (5.7)	1563(29.6) (100)
	畜産排水	498(10.7) (67.9)	236(36.3) (32.1)	734(13.9) (100)
	工場排水	797(17.2) (100)	0(0.0) (0.0)	797(15.1) (100)
	肥料流出	656(14.2) (82.9)	135(20.8) (17.1)	791(15.0) (100)
	山地森林	861(18.6) (82.0)	189(29.1) (18.0)	1050(19.9) (100)
	水源湧水	345(7.5) (100)	0(0.0) (0.0)	345(6.5) (100)
リン	計	4630(100) (87.7)	650(100) (12.3)	5280(100) (100)
	生活排水	245(52.7) (91.1)	24(36.4) (8.9)	269(50.6) (100)
	畜産排水	81(17.4) (70.4)	34(51.5) (29.6)	115(21.7) (100)
	工場排水	66(14.2) (100)	0(0.0) (0.0)	66(12.4) (100)
	肥料流出	20(4.3) (87.0)	3(4.5) (13.0)	23(4.3) (100)
	山地森林	24(5.2) (82.8)	5(7.6) (17.2)	29(5.5) (100)
水	水源湧水	29(6.2) (100)	0(0.0) (0.0)	29(5.5) (100)
	計	465(100) (87.6)	66(100) (12.4)	531(100) (100)

7. 富栄養化防止対策

富栄養化は、すなわち、水域の汚濁化そのものであるが、わが国の水質汚濁防止法体系では、リン、窒素、について何らの規制措置を講じていない。従って、水質環境基準、各種規制法令が富栄養化防止に対し積極的な姿勢を導入するよう望まれる。

富栄養化防止は、湖への過剰な栄養塩の流入を阻止することにあるが、これら塩類の流入は人間活動が続く限り完全には止められない現実と、すでに湖に流入した塩類は湖の生態系内部に蓄積され、湖内での、生産、分解というサイクルの中を回帰するのでこれも容易なことではない。防止対策を確立する場合、少なくとも要因的、地域的な発生源を定量的に明らかにすることが重要である。以下、一般的に云われている防止施策について述べる。

1) 栄養塩類の流入を防止する方法

(1) 流路変更

湖に汚水を流入させないため流路を変更することであり、外国では、北米のタホー湖やワシントン湖、ドイツ、バイエルンのテーガー湖、シュリアー湖などで行われ、湖が回復しつつあるといわれる。

(2) かんがい処分

例えばタホー湖の場合、湖に流入している下水処理場放流水を花こう岩の沖積層からなる丘陵に間欠的に、かんがい処分した土壤に、また、陸地の植物に摂取させ除去している例がある。

(3) 下水道における三次処理

わが国における下水の高級処理としての活性汚泥法は、リン、窒素の除去機能を殆んど有していないことが致命的欠陥とされ、富栄養化の進行を許す結果となっている。アメリカ、スイスなどでは、すでに多くの場所で、主としてリン除去を実施しているが、本邦においては実用化には至っていない。有機物除去を目的とした従来法は本質的に見直す時期が到来していると判断されるので、すみやかな三次処理技術の確立と終末処理システムへの導入が期待される。

三次処理とは、リン、窒素などの栄養塩類の除去を中心とした高度処理技術のことであり、数多くの方法が検討され、その機能も優れたものいくつか実験的には成功している。三次処理には次のような方法があげられる。

○物理化学的処理

アンモニア・ストリッピング……窒素の除去

逆浸透法……無機塩の除去

○化学的処理

薬品による凝集沈でん……リンの除去

イオン交換法……無機塩の除去

塩素酸化法……窒素の除去

○生物的处理

生物学的硝化……窒素の除去

2) 湖内での対策

富栄養化が進み、湖内に多量の栄養が存在する場合は、それらの除去が必要となる。例えば、湖底の腐泥は栄養塩の大きな供給源となるので、これをしゅんせつし湖外にとりだすことは有効である。また、停滞期の間、下層に酸素欠乏がおこるので、曝気によって酸素を補給し、栄養塩の溶出を防ぐ方法がある。

3) 諏訪湖における防止対策

わが国では最も富栄養化している諏訪湖においては、昭和40年、諏訪湖浄化対策協議会が設置され、斯界の権威者によって、湖の総合的研究がなされたが、富栄養化防止対策については次のような諸点をあげている。

(1) 外部からの富栄養化要因の遮断（外的要因排除）

- 諏訪湖周辺の広域下水道を整備して、家庭下水、工場排水その他の汚水をあげて集中処理し、天竜川に放流する。
- 流入河川、水路の浄化を図るため、浄化そう放流水等の河川への流入阻止、ごみの収集処理の徹底と地域住民の協力によるごみの不法投棄の防止等清掃事業を刷新強化する。

(2) 底泥による汚濁の防止（内的要因の排除）

- しゅんせつを行うことにより、底泥の減少とその浮上の防止を図る。
- 水生植物がプランクトンとともに底泥の成因となっているので、湖水の一定水深を保持することにより、水生植物の生育を阻止する。
- 草魚の計画的放養により水生植物の除去を考慮する。

(3) 観光開発との調和による湖水の清浄保持

- しゅんせつした底泥により湖水周辺に広い緑地帯をめぐらし、湖水浄化のための緩衝地帯とする。
- 牛のふん尿は、豚のそれに比して処理しやすく、かつ、牛の放牧は観光資源として活用できるので、乳牛および肉牛を積極的に導入する。
- 家畜の汚物ならびに下水処理汚泥を活用して、芝生、森林、緑地帯、街路樹等の育成を図る。

引用および参考文献

- 津田松苗著：水質汚濁の生態学
- 津田松苗編：日本湖沼の診断
- 赤沢、橋本：相模湖富栄養化対策についての考察
- 沖野外輝夫編：富栄養化調査法
- 八木正一：日本の水道におけるかび臭
- 諏訪湖浄化対策研究委員会：諏訪湖浄化に関する研究