

〈水生生物〉

藻類生産潜在能力による鳥屋野潟の水質評価*

田村孝雄**・田村良三***・渋谷信雄***
森山登***

1. はじめに

鳥屋野潟は新潟市の市街地の南（湖心：N 37°53′, E 139°03′）に位置し、3市町村を流域とする水域面積1.62 km²、湖容積約145万 m³、平均水深0.9 m、最大水深1.4 mの天然湖沼である。湖の周囲は桜並木が続き、ボート遊びや釣りを楽しむ人も多く、公園の少ない新潟市においては貴重な市民の憩いの場所でもある。また、鳥屋野潟の水位は2カ所に設けられた排水機場により常にTP-2.0～-2.5 mの範囲に維持され、遊水地として湖の周辺に広がる水田地帯の治水対策にも重要な役割を果たしている。

しかし、昭和40年代頃からはじまった新潟市街地の都市化に伴う生活排水などの流入により、湖水の富栄養化が急速に進んだ。従来、これら富栄養化の評価は化学的酸素要求量、窒素、りん濃度や透明度そしてプランクトンの種類や量の把握等の指標を用いて行われてきた。しかし、これらの指標は富栄養化が生じた後の評価であり、未然防止の立場からは不十分な点があった。

近年、湖沼等の富栄養化を予測し、未然防止を目指すために開発・検討された藻類生産潜在能力 Algal Growth Potential（以下 AGP）試験¹⁻⁶⁾がある。この試験はリービッチの最小律を基礎とした生物検定であり、湖沼の富栄養化を予測するとともに、栄養塩の添加試験から制限栄養塩の推定も可能である。

筆者らは、鳥屋野潟の湖水について、上記の AGP 試験を実施し富栄養化の予測を行うとともに、制限栄養塩の推定およびカルソン指数による水質評価を行ったので報告する。

2. 調査方法

2・1 採水地点

調査は、図1に示した弁天橋（流入地点）、湖心、親松（流出地点）の3地点を中心に、鳥屋野潟に流入する9水路9地点および湖内20地点で行った。

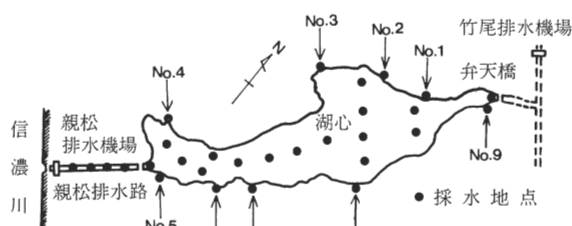


図1 調査地点

2・2 調査期間

昭和59年8月から60年2月までの毎月、および昭和60年4月、5月、6月、10月、12月の5回調査を行った。

2・3 AGP試験

AGP試験は、国立公害研究所研究報告第26号¹⁾に準じた。

(1) 培養方法

培養は、昭和59年8月から60年6月までは静置培養で、昭和60年10月以降は振とう培養を行った。培養条件は、4,000 Lux., 25℃に設定した恒温槽内で500 mlの三角フラスコに試水100 mlを入れ培養した。なお、静置培養では1日1回培養容器を振とうし、振とう培養は90回/分の連続回転振とうとした。

(2) 接種藻類

接種藻類は、貧栄養から富栄養までの広範囲の湖水で増殖可能であり、凝集しにくく安定した増殖が得られ、環境条件による形態変化も少ないことから、AGP試験の標準種の一つとなっている緑藻類の *Sele-nastrum capricornutum* をM-11培地で無菌的に継代培

* Evaluation of Eutrophication in TOYANOGATA by Determination of Algal Growth Potential (AGP)

** Takao TAMURA, Jyōetu Public Health Center, Niigata Prefecture (新潟県上越保健所)

*** Ryōzō TAMURA, Nobuo SIBUYA, Noboru MORIYAMA, Niigata Prefectural Research Laboratory for Health and Environment (新潟県衛生公害研究所)

養したものをを用いた。

(3) 前培養と接種

藻類接種時の栄養塩類の持ち込みを最少限におさえるために、M-11 培地のうち窒素，りん濃度をそれぞれ 5 mg N/l・0.2 mg P/l とした培地で培養し，対数増殖期に入った約 7 日後に炭酸水素ナトリウム (15 mg/l) で 2 回藻体を洗浄し，藻体の初期濃度が 1,000 個/ml になるように濃縮し，1 ml ずつを試水に添加した。

(4) 試水の前処理

採取した湖水は，孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過し，ろ液を試水とするろ過法と，前処理として湖水をオートクレーブにより熱分解した後孔径 0.45 μm メンブランフィルターでろ過したろ液を試水とする熱分解法を採用した。

(5) 最大増殖量

試水中のクロロフィル a の増加量が 1 日当たり 5 % 以下となった時点を藻類の最大増殖時とした。クロロフィル a 量はターナーデザイン社製蛍光光度計により測定した。なお，AGP 値は最大増殖量に達した時点において，0.45 μm メンブランフィルターでろ過し，その重量 (乾燥重量) から試水 1 l 当りの藻体の増加量に換算した。

2・4 栄養塩類添加試験

試水に栄養塩 (窒素，りん) を無菌的に添加して培養を行い，最大増殖量を測定した。添加量は，窒素：硝酸ナトリウム：1.0 mg N/l，りん：りん酸水素カリウム：0.1 mg P/l の濃度溶液を試水に 1 ml ずつ添加した。

2・5 全窒素 (T-N)，全りん (T-P) 濃度

湖沼環境調査指針⁷⁾に準じた。

2・6 カールソン指数

湖沼環境調査指針⁷⁾に従い，次式から求めた。

$$TSI(SD) = 10 \times \left(2.46 + \frac{3.69 - 1.53 \ln SD}{\ln 2.5} \right)$$

$$TSI_M(TP) = 10 \times \left(2.46 + \frac{6.71 + 1.15 \ln TP}{\ln 2.5} \right)$$

$$TSI_M(Chl) = 10 \times \left(2.46 + \frac{\ln Chl}{\ln 2.5} \right)$$

3. 結果及び考察

3・1 最大増殖量

試水 (59年12月) に藻類を添加したのちクロロフィル a 量は対数的に増加し，ろ過法では132時間で最大増殖量に達したが，熱分解法では180時間を要し，AGP 値もろ過法より高値を示した。これらの差は，ろ過法では湖水中の溶解性の栄養塩類だけが藻類の増殖に利用されるが，熱分解法ではプランクトンや浮遊物質中に含まれる栄養塩類も溶出して，藻類の増殖に利用されるためと考えられた。したがって，以下の AGP 試験は10日間の培養を目安とした。なお，熱分解法で高い AGP 値を示すことから，鳥屋野潟においては浮遊物質中にも相当量の栄養塩類が含まれており，それらが藻類生産潜在能力を高めるとともに，湖内に堆積することにより富栄養化状態が長期にわたることが懸念された。

3・2 AGP の経月変化

ろ過法及び熱分解法による AGP の経月変化を表 1 に示した。日本各地の湖沼の調査⁴⁻⁶⁾から，AGP 値は

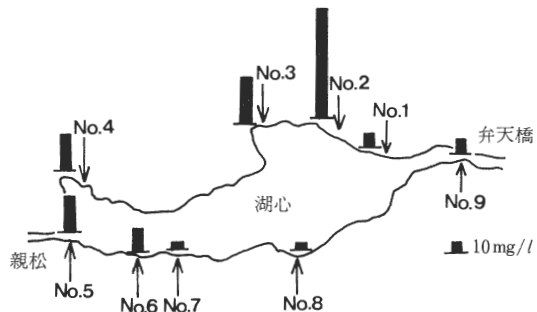


図 2 流入河川の AGP

表 1 A G P の経月変化

(単位：mg / l)

調査年月	S59・8	9	10	11	12	S60・1	2	4	5	6	10	12
弁天橋	ろ過法	15	16	9	18	12	9	10	7	17	14	21
	熱分解法	—	—	—	—	16	—	11	59	19	32	31
湖心	ろ過法	11	14	12	17	12	—	7	3	9	6	—
	熱分解法	—	—	—	—	17	—	21	56	25	30	—
親松	ろ過法	12	32	15	15	19	11	34	10	6	9	12
	熱分解法	—	—	—	—	35	—	36	95	22	30	48



図 3 湖内の AGP

概ね貧栄養湖で 1 mg/l 以下，中栄養湖で 1~10 mg/l，富栄養湖で 5~90 mg/l の範囲と考えられている。

鳥屋野潟における AGP 値はろ過法で 6~34 mg/l，熱分解法では 11~95 mg/l の範囲で変動し，鳥屋野潟は富栄養状態となる潜在能力を十分に有していることがわかった。また，湖心および親松（流出地点）の AGP 値は，夏期に低下する傾向を示した。これは 5 月から 8 月にかけては信濃川等の河川水が農業用水として多量に湖内に導入され，栄養塩類が希釈されるためと考えられた。

3・3 流入河川及び湖内における AGP 値の分布

昭和59年9月の親松地点の AGP 値が，他の地点よりかなり高値を示したことから，鳥屋野潟へ流入する

主な 9 河川と湖内 20 地点の AGP を測定し，流入河川の影響や湖内での分布を調査した。

その結果，流入河川では都市排水路 (No. 1~5) の AGP 値が高く，農業排水路 (No. 6~8) で低い傾向が顕著であった。特に No. 2 の排水路は，AGP 値も 96 mg/l と高く，また流入量も多いことから，鳥屋野潟の富栄養化に与える影響も大きく，早急な対策が望まれた。また，湖内の AGP 値は 7~28 mg/l の範囲であったが，親松排水路内の地点で 40~92 mg/l と高値を示した。これは排水路の途中に窒素，りんを大量に含む排水が流入しているためである。したがって，親松の採水地点において特に高い AGP 値を示したのは，湖内の水量を調節するために排水機が断続的に運転され，排水機の停止時は水が滞留もしくは逆流して，排水の影響が採水地点まで及んだためと考えられた。

3・4 制限栄養塩の推定

栄養塩類添加試験結果を図 4，5 に示した。

ろ過法による試験結果は，一部の測定月を除きりんを添加することにより AGP 値は高まり，りん制限の

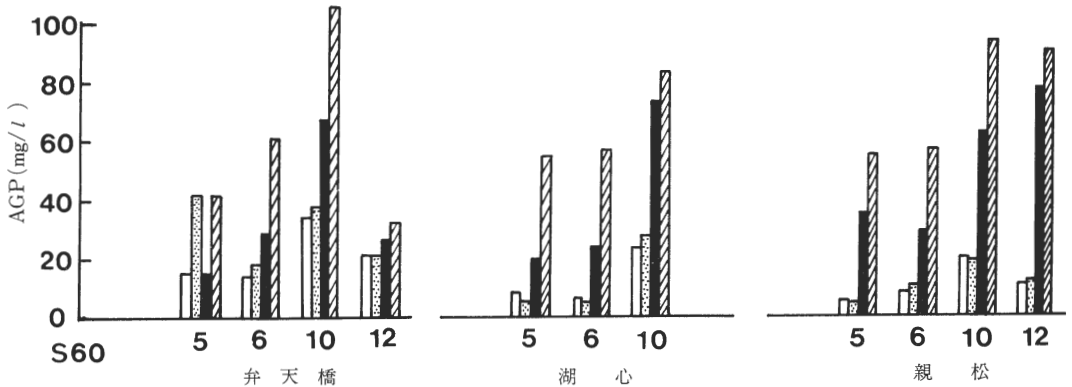


図 4 栄養塩類の添加試験（ろ過法）

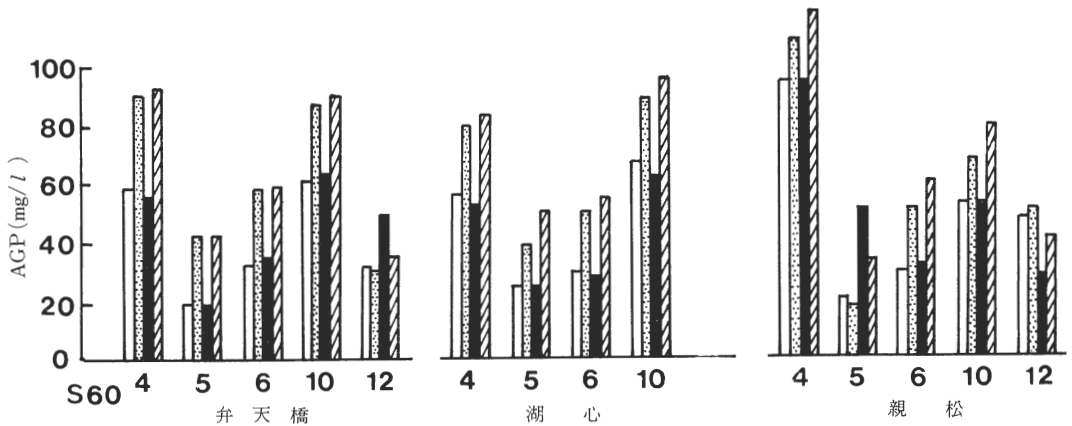


図 5 栄養塩類の添加試験（熱分解法） □…無添加，■…P 添加，▨…N 添加，▩…N + P 添加

表2 全窒素及び全りん濃度分析例

地点	項目	原液濃度 (mg/l)	ろ液		熱分解後のろ液	
			濃度 (mg/l)	原液との比率	濃度 (mg/l)	原液との比率
弁 天 橋	T-P	2.9	2.7	0.93	2.8	0.97
	T-N	1.4	1.2	0.85	1.2	0.85
	(mg/l)	5.8	5.4	0.93	5.4	0.93
	(mg/l)	2.6	2.2	0.85	2.0	0.77
橋	T-P	0.51	0.049	0.10	0.21	0.41
	T-N	0.27	0.058	0.21	0.15	0.56
	(mg/l)	0.46	0.037	0.08	0.21	0.46
	(mg/l)	0.26	0.029	0.11	0.12	0.46
親 松	T-P	3.1	2.9	0.94	2.2	0.71
	T-N	1.4	1.2	0.86	1.2	0.86
	(mg/l)	8.1	7.8	0.96	8.1	1.00
	(mg/l)	0.55	0.027	0.05	0.18	0.33
松	T-N	0.26	0.039	0.15	0.15	0.58
	(mg/l)	0.52	0.16	0.31	0.21	0.40

水質と評価された。また、熱分解法では窒素添加により AGP 値は高まる傾向を示し、概ね窒素制限の水質となることが評価できた。

これら前処理法による制限要因の違いを見るために、各々のろ液と熱分解後のろ液の全窒素と全りん濃度を測定した。全窒素濃度は、ろ液・熱分解後のろ液とも原液とほとんど差はなく、全りん濃度は著しく減少し、ろ液では原液の1/5~1/10に、熱分解後のろ液ではやや増加して原液の1/2程度となった。したがって、ろ液では全窒素濃度に対する全りん濃度比は1/50~1/100となり、りんの割合が極めて低い状態となる。一方、熱分解法では浮遊物質中のりんが溶出して、全窒素濃度に対する全りん濃度比が1/10~1/20程度に上昇するために、前処理法により制限要因の異なる結果として評価されたものと考えられた。

3・5 カールソン指数による水質評価

弁天橋、湖心及び親松地点の昭和59年8月から12月までの透明度、全りん濃度、クロロフィル-a量から求めたカールソン指数の推移を、図6に示した。

透明度から求めた指数はあまり変動はなく60~70と高値で推移し、また全りん濃度から求めた指数も70~90と高く、富栄養湖に分類された。しかし、クロロフィル-a量から求めた指数は変動が大きく、流入地点の弁天橋では54以下の中栄養湖のレベルであったが、9月と10月においては湖心と親松地点で高いカールソン指数を示し、湖内において藻類が増殖し富栄養化傾向となっていることがうかがえた。

鳥屋野潟は湖水中には有機性の浮遊物質を多く含むため、著しく透明度を下がり、また浮遊物質中にりんを多量に保持するため、透明度と全りん濃度から求めるカールソン指数では富栄養湖に分類される。しかし、クロロフィル-a量は農業用水が多量に流入する5月

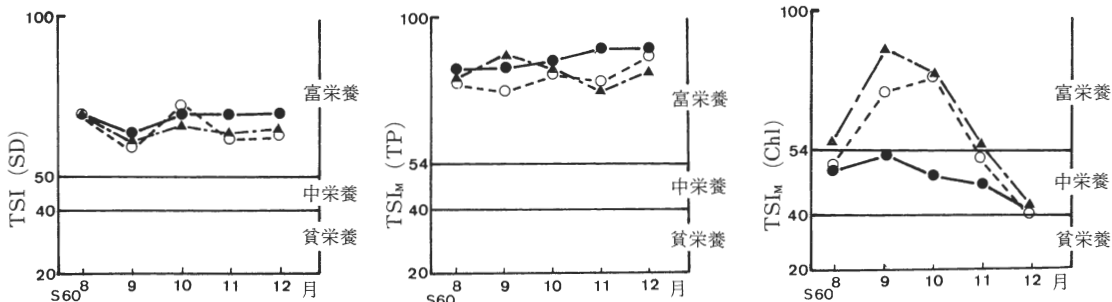


図6 カールソン指数による水質評価 ●—●弁天橋, ○……○湖心, ▲—▲親松

から8月までは滞留時間が短いために十分な藻類の増殖を待たずに湖水が置換されるが、春先や9月以降は湖水の滞留時間も長くなり、藻類の増殖に伴ってクロロフィル-a量による指数も高値になると考えられた。

以上のことから、鳥屋野潟のように有機性の浮遊物質が多く、滞留時間の短い湖沼においては、AGP試験とカールソン指数による水質評価とは一致しない場合があり、湖沼の富栄養化の評価にあたっては年間を通じ複数の指標により行う必要があると考えられた。

4. まとめ

AGP試験により鳥屋野潟の水質について検討した結果、湖水は藻類増殖に必要な窒素やりん等の栄養塩類が十分に含有しており、湖水の滞留時間が長びく等の湖沼環境の変化によっては、さらに富栄養化は進み深刻な状態となることが推測された。また、栄養塩添加試験から、ろ過法ではりん制限の、熱分解法では窒素制限の湖水と評価され、湖水中に含まれる浮遊物質中にりんが多く含まれることが判明した。したがって、鳥屋野潟の富栄養化防止対策にあたっては、流入負荷の低減と同時にこれら浮遊物質が堆積した汚泥の除去も必要であろう。

なお、AGP試験による評価とカールソン指数によ

る評価とは必ずしも一致しなかったが、これはりんを多量に含む有機性の浮遊物質が多く、しかも滞留時間が短いなど鳥屋野潟の特徴によるものであり、複数の指標により富栄養化を評価する必要があると考えられる。

—引用文献—

- 1) 須藤隆一, 田井慎吾, 八木修身, 岡田光正, 細見正明, 山根敦子: 陸水域の富栄養化に関する総合的研究 (Ⅴ), 藻類の培養試験法によるAGPの測定, 国立公害研究所報告, Vol. 26, pp. 1~53, 1981
- 2) 須藤隆一, 森 忠洋, 岡田光正: 藻類培養試験法による富栄養化の評価, 用水と廃水, Vol. 15, No. 1, pp. 107~115, 1973
- 3) 岡田光正, 須藤隆一: AGPをめぐる諸問題, 用水と廃水, Vol. 20, No. 7, pp. 765~779, 1978
- 4) 水嶋清嗣, 野村 潔, 伊藤 貢, 市木繁和: 藻類培養試験による琵琶湖の富栄養化調査, 滋賀衛環七所報, Vol. 15, pp. 136~142, 1980
- 5) 樋口澄男, 山浦源太郎, 川村 実, 宮島 勲, 鈴木富雄: 藻類培養試験による陸水の富栄養化の評価 (I) 一丸池, 琵琶湖, 諏訪湖, 木曾川—長野県衛公研報告, Vol. 2, pp. 40~46, 1980
- 6) 須藤隆一: ダム湖及び湖沼における富栄養化の評価と防止対策, 国立公害研究所研究資料, Vol. 24 (B-24-83) pp. 133~143, 1983
- 7) 社団法人, 日本水質汚濁研究協会編: 湖沼環境調査指針, 公害対策技術同友会, 1982