

## 水域の富栄養化、貧栄養化対策のための水質評価指標の検討

日大生産工(院) ○内田 航平 日大生産工 (特任) 森田 弘昭  
日大生産工 佐藤 克己 高橋 岩仁 南山 瑞彦

### 1. まえがき

我が国では1960年代～1970年代の高度経済成長期に窒素やリンなどの栄養塩を多く含んだ工場排水や生活排水の川や海への流出により内湾などの閉鎖性水域において富栄養化が発生した。富栄養化は赤潮やアオコ等の問題を発生させ、水中の貧酸素状態を引き起こす。またその見た目から景観を損ねたり悪臭などの被害も発生させ、水環境に大きな影響を与える。そこで富栄養化の対策として、水質汚濁防止法(1970年)や瀬戸内海では瀬戸内海環境保全臨時措置法(1973年)が制定され、窒素やリンの負荷量は減少させてきた。

近年、新たに貧栄養化という水中の栄養塩不足によって引き起こされる問題が発生し、海苔の品質や漁獲量の低下などの被害が発生している。貧栄養化問題の対策としては海水中の窒素濃度の下限値を設けたり、下水処理水の水質基準の見直しがあったが、完全には解決していないのが現状である<sup>1)</sup>。また栄養塩には生物にとって吸収しやすい栄養塩と吸収しにくい栄養塩があり、この区別は下水処理場で主に水質測定で使用されているT-N(全窒素)とT-P(全リン)ではできない。

そこで本研究では栄養塩の吸収の差異に影響されることのない藻類の増殖量を指標にして水質判定をおこなうAGP試験を用いて水質評価指標の検討をおこなう。また、ダム湖に流入した河川水に含まれる粒子態の栄養塩は一旦湖底に沈殿するが、長期的には湖水中に溶解し、ダムに流入した時の河川水よりも生物利用の可能性が高まるのではないかとこの仮説の検証も実施した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試水の選定

本実験では仮説の検証のため、河川の途中にダムのある千葉県の養老川水域と高滝ダム

を試水として選定し、上流の2か所と下流の2か所、そして高滝ダムの計5か所から採水した。採水地点を図.1に示す。また、採水時期が異なることでの栄養塩の負荷量や栄養塩の生物利用への影響の可能性があるため、冬期(2022年12月6日)と夏期(2023年8月10日)の2度にわたり採水した。



図.1 試水の採取地

#### 2.2 供試藻類種

本実験で使用する藻類は緑藻類のセレナストラム (*Selenastrum gracile* Reinsch) を使用した。以下、断りの無い場合、藻類とは NIES-2711<sup>2)</sup> とする。

#### 2.3 試水の前処理

試水の前処理には、ガラス繊維ろ紙を使用した吸引ろ過とオートクレーブによる滅菌を施した。

#### 2.4 試水の水質測定

水質測定はT-N、T-P、COD<sub>Cr</sub>の3種類をおこなった。

#### 2.5 初期培養<sup>2)</sup>

本実験で使用する藻類は植物育成インキュベーターにて初期培養をおこなっている。初期培養の条件は、温度が15℃、明暗周期が明:暗=10時間:14時間、培地はC培地を使用した。C培地の組成は表1の通りである。

Examination of water quality assessment indices for countermeasures  
eutrophication and oligotrophication of water areas

Kohei UCHIDA, Hiroaki MORITA, Katsumi SATO, Iwahito TAKAHASHI  
and Mizuhiko MINAMIYAMA

表 1 C 培地の組成

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	15mg
KNO <sub>3</sub>	10mg
β-Na <sub>2</sub> glycerophosphate · 5H <sub>2</sub> O	5mg
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	4mg
Vitamin B <sub>12</sub>	0.01mg
Biotin	0.01mg
Thiamine HCl	1mg
PIV metals	0.3ml
Tris(hydroxymethyl) aminomethane	50mg
Distilled water	99.7ml
pH	7.5

## 2.6 培養条件<sup>3)</sup>

培養条件は表 2 に示した通りである。

表 2 藻類培養の条件

温度	照度	回転数	初期濃度	試水の量
25℃	約900lux	90rpm	0.1mg/l	300ml

## 2.7 藻類の培養

藻類濃度 0.1mg/l にした試水 300ml を三角フラスコに入れ、振とう培養器 (図.2) にて培養をおこなった。また週に 2 回クロロフィルの吸光度の測定によりそれぞれの藻類の増殖量を把握した。最終的にクロロフィルの吸光度の値が一定になったものから培養を終了し乾燥重量により藻類の最大増殖量を求める。



図.2 振とう培養器 (EYELA 製)

## 2.8 吸光度による藻類の増殖量の測定<sup>4)</sup>

培養している試料を直接、セルに移し分光光度計で波長を 678nm と 620nm に設定し、クロロフィルの吸光度の測定をおこなう。

## 2.9 乾燥重量による藻類の最大増殖量の測定

あらかじめ、ガラス繊維ろ紙を 105℃ で乾燥させデシケーターに入れたあと、重量を計

測する。その後、クロロフィルの吸光度の測定にて値が一定になり培養が終了した試料をろ過前の重さを計測したガラス繊維ろ紙でろ過し、再び 105℃ で乾燥させる。乾燥後デシケーターにいれ、再度ガラス繊維ろ紙の重さを測定し、ろ過後とろ過前のガラス繊維ろ紙の重量の差から試料の濃度を算出する。

## 3. 実験結果

### 3.1 水質測定結果

COD<sub>Cr</sub> において、冬では高滝ダムの値が非常に高いことがわかる (表 3)。夏では 5 つの採取地で高滝ダムが一番高いものの、似たような値になった (表 4)。冬と夏を比較すると、冬から夏にかけて養老川の 4 つの採水地で値が上昇しているが、高滝ダムのみ値が大幅に減少した。

T-N においては冬では上流①だけがやや低い値が全体的に同等の値が検出された (表 3)。夏においても下流②がやや低い値となったが、全体的に同等の値が検出された (表 4)。冬と夏を比較すると上流①と上流②と高滝ダムでは冬から夏にかけて値が増加し、下流①と下流②では減少している。

T-P においては冬では全体的に低い値になり上流②と下流②以外は検出下限値を下回ってしまい測定できなかった (表 3)。夏では上流②と下流①の値と上流①と高滝ダムと下流②の値で大きな差が生じた (表 4)。冬と夏の値を比較すると、すべて増加傾向にあり中には値が 10 倍以上になっているものもあった。

また、湖沼の環境保全上の観点から定められている基準値と比較すると T-N においては冬と夏どちらもすべての採水地で高い値となった。T-P においては冬の値はすべて基準値よりも低かったのに対し夏の値ではすべて高くなった<sup>5)</sup>。

表 3 養老川 (冬) 水質測定結果

試料名	COD <sub>Cr</sub> (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
養老川上流①	9.8	1.3	ND
養老川上流②	4.6	2.1	0.08
高滝ダム	66.5	2.2	ND
養老川下流①	9.2	2.2	ND
養老川下流②	6.9	2.1	0.07

表 4 養老川（夏）水質測定結果

試料名	CODcr (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
養老川上流①	12.7	1.9	0.4
養老川上流②	14.1	2.2	1.1
高滝ダム	20.5	3.0	0.3
養老川下流①	11.7	1.6	1.3
養老川下流②	14.5	1.3	0.2

### 3.2 吸光度の測定

冬期の養老川では上流①と上流②と高滝ダムと下流①が 10~14 日目と、ほとんど同じようなタイミングで増殖が開始したが、下流②では 24 日目と増殖のタイミングがやや遅かった（図.3）。夏期の養老川では上流①と上流②と下流①が 11 日目から増殖が開始した。しかし高滝ダムと下流②は全く藻類の増殖が見られず、吸光度の値は一定であった（図.4）。

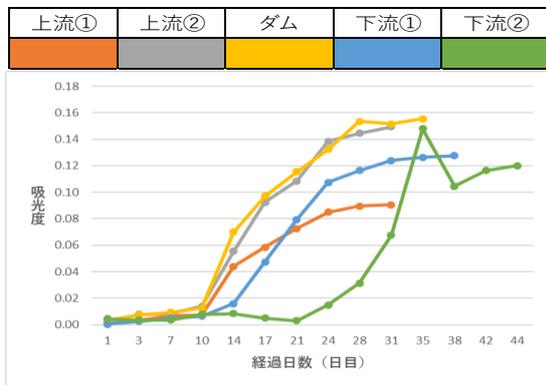


図.3 吸光度測定経過 養老川（冬）

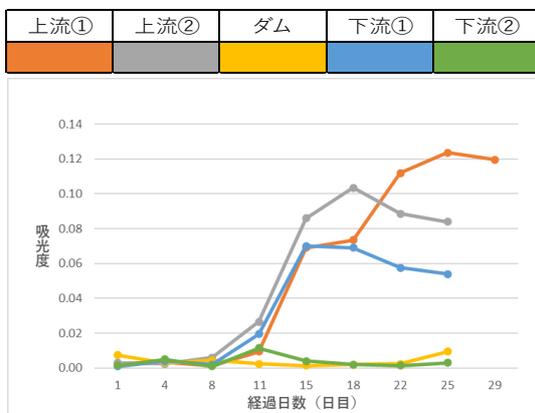


図.4 吸光度測定経過 養老川（夏）

### 3.3 乾燥重量

冬期養老川の乾燥重量では高滝ダムが一番多い結果となったが、5 つすべて同じような値になった（表 5）。夏期養老川の乾燥重量で

は上流①と上流②と下流②は同じような値になったが、培養中、藻類の増加が見られなかった高滝ダムと下流②はその他 3 種類と比較すると非常に低い値となった（表 6）。夏期と冬季を比較すると上流①と上流②と下流①において冬期から夏期にかけて多少増加しているが、同じような値になった。

AGP 試験による判定基準として AGP 値が 1.0mg/l~50.0mg/l<sup>3)</sup> だと富栄養化となるため、夏期の高滝ダムと下流②を除くすべての水域が閉鎖性水域に流入した場合、富栄養化が引き起こされる可能性が高いことが示唆された。

表 5 乾燥重量と AGP 値 養老川（冬）

	乾燥重量 (mg)	AGP値 (mg/l)
養老川上流①	8.1	26.7
養老川上流②	11.5	37.9
高滝ダム	12.7	41.9
養老川下流①	11.4	37.6
養老川下流②	9.1	30.0

表 6 乾燥重量と AGP 値 養老川（夏）

	乾燥重量 (mg)	AGP値 (mg/l)
養老川上流①	19.9	65.7
養老川上流②	14.0	46.2
高滝ダム	0.9	3.0
養老川下流①	15.0	49.5
養老川下流②	0.3	1.0

## 4. 考察

### 4.1 養老川水域の水質

冬期と夏期のどちらも養老川上下流全域にわたって、有機物濃度も T-N 濃度も高いことから人為的汚染が進行していることが伺える。また、高滝ダムの有機物濃度が上下流の河川と比較すると高いことから富栄養化現象すなわちプランクトンの増殖が起きていることが示唆される。また表 3 と表 4 を比較すると T-P 濃度の夏の値が、冬の値より大幅に増加している。よって冬から夏にかけて何らかの影響でリンの負荷量が増加することが考えられる。

### 4.2 栄養塩の生物学的利用の可能性

冬期の養老川では表 7 より、AGP/T-N は全体的には上流から下流に向かって減少している。しかし、高滝ダムの直上流と直下流の

AGP/T-N を比較すると高滝ダムの栄養塩利用が高くなっていることから湖内で栄養塩の生物利用が高まる作用が起きた可能性が示唆された。また上流①と上流②の間で窒素の量が倍近く増えているにもかかわらず、AGP 値にあまり変化がないことから上流①と上流②の間で生物にとって吸収しにくい栄養塩が増加している可能性が考えられる。

夏期の養老川において表 8 より AGP/T-N の値が増殖が見られなかった高滝ダムと下流②を除くと 3 つとも同じような値が出ていることからダム湖にて栄養塩が沈殿して溜まり続けることなく、下流に流れ出ていることが示唆された。AGP/T-P や最大吸光度/T-P にて上流①の値が他 4 つと比較した時、非常に高いことから上流①にて生物利用の高い栄養塩（リン）が増加している可能性が考えられる。また冬期の下流②の増殖が遅かったことや、夏期の高滝ダムと下流②が全く増殖しなかった原因として試水の前処理で行った滅菌処理には試水中の有機物の化学変化や可溶成分の不溶化等の可能性<sup>3)</sup>があり、そのため栄養塩の生物利用に影響した可能性が考えられる。

表 7 栄養塩当たりのプランクトン量 (冬)

	AGP/T-N	最大吸光度/T-N	AGP/T-P	最大吸光度/T-P
養老川上流①	20.3	0.07	ND	ND
養老川上流②	18.1	0.07	474.4	1.88
高滝ダム	18.8	0.07	ND	ND
養老川下流①	16.9	0.06	ND	ND
養老川下流②	14.6	0.07	429.0	2.11

表 8 栄養塩当たりのプランクトン量 (夏)

	AGP/T-N	最大吸光度/T-N	AGP/T-P	最大吸光度/T-P
養老川上流①	34.6	0.07	164.2	0.31
養老川上流②	21.0	0.05	42.0	0.09
高滝ダム	0.99	0.003	9.9	0.03
養老川下流①	30.9	0.03	38.1	0.04
養老川下流②	0.76	0.002	5.0	0.02

#### 4.3 従来の水質測定と AGP 試験の比較

表 3 と表 4 から従来の水質測定である T-N では冬から夏にかけてあまり変化は見られなかったが、T-P では冬から夏にかけて大幅に上昇した。AGP 試験では表 5 と表 6 より、夏期の高滝ダムと下流②を除くと上流①では増加していることがわかるが、上流②と下流①ではあまり変化していないことがわかる。

これらのことから AGP 試験を実施したことにより栄養塩の負荷量が増加したからと言って藻類も増加するわけではないことが示唆された。

#### 5. まとめ

養老川の河川水は全域で閉鎖性水域において富栄養化を引き起こす可能性が高いことが示唆された。実際に、閉鎖性水域である高滝ダムにおいて冬期のみではあるが高濃度の有機物が観測された。また冬期の下流②では増加のタイミングが遅くなり、夏期の高滝ダムと下流②において増加が見られなかった原因として前処理の滅菌にあると考えられるため今後、滅菌処理を施さないケースをおこなう。

AGP 試験の結果と従来の水質試験の結果を比較したところ、栄養塩負荷量が増加するからと言って藻類も増加するわけではないことが示唆された。

今後は AGP 試験の精度向上のため、貧栄養化が問題視されている水域など、いろいろな水域での実験をおこない AGP 試験の実用化に向けて検証していく。

#### 参考文献

- 1) 広島大学大学院生物圏科学研究科教授 山本民次, 「瀬戸内海を庭や畑として利用する」, Ocean Newsletter 第 369 号 2015. 12. 20, [https://www.spf.org/opri/newsletter/369\\_2.html](https://www.spf.org/opri/newsletter/369_2.html) (参照 2023-10-10)
- 2) NIEScollection 微生物系統保存施設 <https://mcc.nies.go.jp/index.html> (参照 2023-10-10)
- 3) 日本水質汚濁研究協会, 湖水環境調査指針 藻類生産潜在力調査 (AGP 試験), 公害対策技術同友会, 1982 年 11 月 24 日発行, p193~p199
- 4) 光合成の森 クロロフィル定量法 早稲田大学 植物生理学研究室, (2022) <http://www.photosynthesis.jp/proto/chlorophyll.html> (参照 2023-10-10)
- 5) 環境省 生活環境の保全に関する環境基準 (湖沼) <https://www.env.go.jp/ki jun/wt2-1-2.html> (参照 2023-10-10)