

浮上分離法による藻類を中心とした 浮遊物質の湖水からの除去

猪迫耕二*・吉田勲*・垂井保典**・Rene Contreras Nakagawa***
(平成9年6月27日受付)

*鳥取大学農学部生存環境科学, **農林水産省近畿農政局, ***アントファガスタ大学砂漠研究所

Removal of the Suspended Solid Composed of Algae by the Dissolved Air Floatation Method

Koji Inosako*, Isao Yoshida*, Yasunori Tarui** and Rene Contreras Nakagawa***

*Department of Agriculture and Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori, 680, Japan

**Kinki Division, Agricultural Ministry

***Institution of Desert, University of Antofagasta, Casilla 170, Antofagasta, Chile

In this study, the possibility of application of the dissolved air floatation method (DAF) to remove the suspended solid composed of algae (SS) in the eutrophic lake was investigated. All tests were conducted on water of Lake Koyama. It can be concluded from this study as follows:

- 1) When the SS concentrations are low, it is possible to get the high removal ratio of SS without any coagulants.
- 2) When the SS concentrations are high, the high removal ratios of SS are got by the addition of the proper quantity of coagulants.
- 3) The floated SS can be composted and used as an organic fertilizer, since it contains the rich nitrogen and phosphorus.
- 4) The DAF is a very effective method to remove the SS in eutrophic lakes.

(Received 27 June 1997)

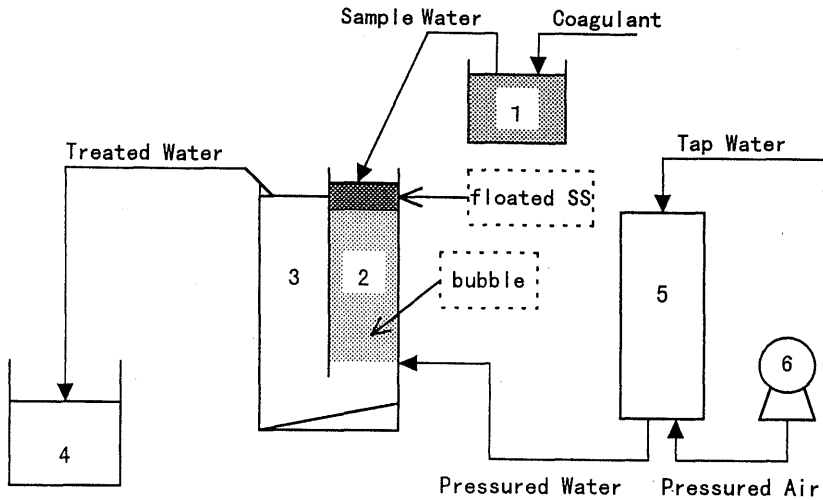
Key words: algae, coagulant, dissolved air floatation method, suspended solid

はじめに

藻類を中心とした植物プランクトンが異常発生した湖沼では、湖水の利用に様々な問題が生じている。飲料水として使用する場合であれば、藻類の存在がかび臭、ろ過閉塞、着濁等の浄水処理障害の原因[8]ともなり、農業用水として利用される場合では、農作物の生育への悪影響の他、灌漑施設における目詰まり等の水理障害に加え、一部の藻類が有する有毒物質が人間の健康障害をもたら

す[6]ともいわれている。さらに緑色に濁った水を使わねばならないことが農家における不満の種となっている。

藻類を湖水から取り除くための方法として浄水処理においては凝集沈殿法が採用されている。しかし、①藻類自身に凝集剤が効きにくいこと、②その密度が $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ に近い藻類のみのフロックでは沈降が生じにくいこと、③日光があたるようなところでは体内のガス胞によって浮力が大きくなること^[9]、などが原因となり効率のよい除去法とはなっていない。



- 1 :Raw Water Tank:A coagulant is mixed the sample water.
 2 :First Separation Tank: Pressured water is installed and micro bubbles are generated. SS flock is separated from the sample water.
 3 :Second Separation Tank: Treated water is conveyed through this tank to the last tank
 4 :Last Tank
 5 :Pressure Tank:Tap water is pressured until 3 atm and released into the first separation tank.
 6 :Compressor:Pressured air is sent to pressured Tank.

第1図 浮上分離装置の概要

ところで、下水処理などでは油分などの比較的軽い物質を除去するために浮上分離法が用いられることがある。浮上分離法によれば上述の凝集沈殿法における藻類の問題点はそのまま利点となる。

このことに着目し、本研究では藻類を主体とする浮遊物質を湖水から分離除去するために浮上分離法の利用を試みた。

浮上分離法

浮上分離とは、もともと水より密度が小さいか、何らかの前処理によって水よりも密度が小さくなった固体または液体の粒子を水面に浮き上がらせて、もとの懸濁液よりも濃厚な懸濁液と希薄な処理水とに分離する操作をいう[1]。前処理として粒子に空気の気泡を付着させるのが一般的であり、気泡の発生方法によって①加圧した水に空気を溶解させ、その後圧力を下げて気泡を発生させ

る溶解空気浮上法、②大気圧下で曝気する空気浮上法、③大気圧下で空気を飽和させ、その後減圧する減圧浮上法に分類される[4]。本法は主に下水処理や製紙・パルプ排水の処理に用いられており、沈降速度の遅い微小粒子や軽い粒子を沈殿にくらべ短時間で、かつ完全に除去することができるという特徴をもつ。

なお、本研究では上述の分類における溶解空気浮上法を採用した。

実験方法

(1) 実験装置の概要と操作方法

本研究で作成した浮上分離装置の概要を第1図に示した。装置は原水タンク、浮上分離槽（第一槽、第二槽）、処理水貯留槽、加圧タンクおよびコンプレッサーで構成される。

加圧タンク内では、コンプレッサーによる加圧（ここ

では3 atm)によって空気を強制的に水中に溶解させる。この加圧水が大気圧下にある浮上分離第一槽に放出されると溶解している過剰な空気が微細な気泡となって析出する。その析出量を解放空気量といい、ヘンリーの法則から導かれた次式より求められる。

$$A_R = \alpha s_a (\beta P_s - 1) \quad (1)$$

ここで、 A_R : 解放空気量 ($\text{mg} \cdot \ell^{-1}$)、 s_a : 空気の溶解度 ($\text{ml} \cdot \ell^{-1}$)、 α : 空気1 mlの質量 (1.3mg)、 P_s : 加圧タンク内の絶対圧力 (atm)、 β : 圧力 P_s における空気の飽和度である。 β は加圧する水の性質や加圧タンクの性能によって決まるため、実測によって決定する必要がある。本装置では0.42であった。

凝集剤 (凝集剤については後述する) を加えた供試水は原水タンクから浮上分離第一槽に流入する。供試水中の浮遊物質は、浮上分離第一槽下部から上昇してくる微細な気泡 (60~150 μm) に捕捉され、浮上する。浮遊物質を除去された水は、仕切り壁の下を潜って浮上分離第二槽を通じて処理水貯留槽へと流入する。浮上物は浮上分離第一槽の水面に堆積し、除去される。

本装置のような溶解空気浮上法では、装置の効率を表す指標としてA/S比 ($\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1}$) が用いられる。A/S比とは装置内に流入してくる全浮遊物質質量 (S mg) と全解放空気量 (A mg) の比であり、次式より求められる。

$$\frac{A}{S} = \frac{A_R \cdot R}{SS \cdot Q} \quad (2)$$

ここで、SS: 供試水中に含まれる浮遊物質濃度 ($\text{mg} \cdot \ell^{-1}$)、Q: 供試水の流入量 ($\ell \cdot \text{h}^{-1}$)、R: 加圧水の流量 ($\ell \cdot \text{h}^{-1}$) である。A/S比が小さいほど気泡が効率良く浮遊物質粒子を捕捉していることになり、除去成績が同じであれば、A/S比が小さい方がより効果的なシステムであるといえる。一般に下水処理プラントにおけるA/S比は0.005~0.06の範囲で変動するといわれており[5]、下水処理、製紙・パルプ排水処理などでの調査結果によると密度の濃い浮上物が得るための最適A/S比は0.01~0.02以上とされている[3]。

本実験では、加圧水として水道水を用いているため、処理成績を供試水と処理水における浮遊物質の濃度差で表すことはできない。そこで、ここでは次式より計算される浮遊物質全量の除去率で処理成績を表現することとした。

$$RR = \frac{S_{\text{sample}} - S_{\text{treatment}}}{S_{\text{sample}}} \times 100 \quad (3)$$

ここで、RR: 浮遊物質除去率 (%)、 S_{sample} : 供試水中の全浮遊物質質量 (mg)、 $S_{\text{treatment}}$: 処理水中の全浮遊物質質量 (mg) である。 S_{sample} は1回の実験終了後、得られ

た処理水全量をろ過することによって求めた。

(2) 供試水

本実験では鳥取市西部に位置する湖山池の表面水を供試水として用いた。本池は富栄養湖として知られており、毎年アオコの大発生が認められる。湖山池の植物プランクトンに関する研究には福田[2]あるいは南條らによる一連のもの[7]があるが、いずれも *Microcystis* 属や *Anabena* 属が夏季における優占種であることを報告している。このことは、筆者等の顕微鏡による観察でも確認された。

(3) 凝集剤

前述したとおり、藻類はそれ自身の特徴により、浮上分離させやすいと考えられる。しかし、供試水中の浮遊物質は藻類だけではない。加えて、浮上分離槽内に第一槽から第二槽に向かう水の流れが緩やかではあるが存在するため、可能なかぎり速やかに浮上させることも必要となる。そこで、本実験では凝集剤の添加濃度を0, 25, 50, 75, 100 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ と変化させて、処理成績に与える凝集剤の効果を調べることにした。凝集剤には様々な物があるが、ここでは、最も基本的と考えられる硫酸アルミニウムを使用した。

実験結果と考察

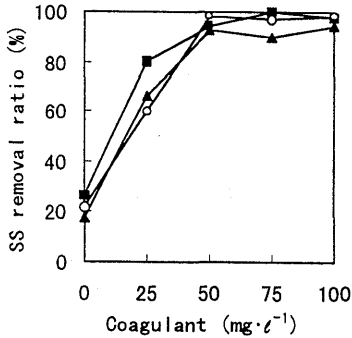
(1) 凝集剤の添加濃度とフロックの形状

前述したとおり、藻類には凝集剤が効きにくいといわれている。そこで、まず、凝集剤の添加濃度とフロック形成についての予備実験を行った。

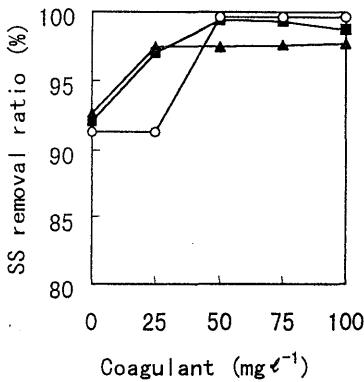
供試水1.0 ℓ に対し凝集剤を0, 25, 50, 75, 100 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 添加した場合のフロックの形状を観察した。供試水中に分散していた浮遊物質は25 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ の凝集剤でわずかなフロックが形成され、50 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ で綿状となった。ただし、この段階では沈降はしなかった。75 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ でゆっくり沈降するようになり、100 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ では沈降速度が速くなった。これらのフロックの状況と浮上分離法の特徴とをあわせて考察すると、最適添加濃度は50 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 程度と予想された。

(2) 浮遊物質除去実験

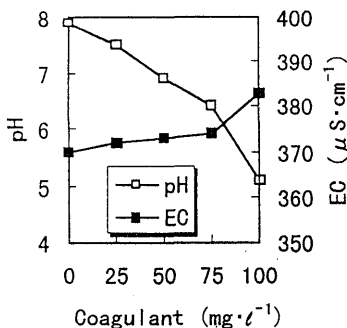
供試水の流入流量を10, 20, 30 $\ell \cdot \text{h}^{-1}$ とした3ケースについて、それぞれ、凝集剤添加濃度を0, 25, 50, 75, 100 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ と変えて行った浮遊物質除去実験の結果を第2図に示す。図より、凝集剤添加濃度50 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 以上では流入流量に関係なく除去率は90%以上の高い値を示すことが分かる。本実験における供試水の浮遊物質濃度は2,700 $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ と極めて大きく、A/S比は0.005であった。このことは浮遊物質の粒子数に対し、気泡数が少ないことを意味している。したがって、流入水のフロック形成が悪い場合は、粒子が気泡を捕捉しきれず、除去率が低くなったと考えられ



第2図 凝集剤添加量, 流量とSS除去率との関係
SS濃度は一定(2,700mg·l⁻¹)
▲:10 l·h⁻¹, ■:20 l·h⁻¹, ●:30 l·h⁻¹



第3図 凝集剤添加量とSS除去率との関係
▲:実験1(SS=22mg·l⁻¹,Flow=10h·l⁻¹)
■:実験2(SS=50mg·l⁻¹,Flow=20h·l⁻¹)
●:実験3(SS=70mg·l⁻¹,Flow=30h·l⁻¹)



第4図 凝集剤添加によるとpHとECの変化

る。逆にフロック形成が良好であった添加濃度 50mg·l⁻¹ 以上の場合は, 気泡がフロックによく接着したため, 高い除去率が得られたと考えられる。

第3図に浮遊物質濃度と供試水の流入流量が異なる場合の3回の実験結果を示した。これによるといずれの条件でも添加濃度 50mg·l⁻¹ 以上では除去率はほとんど変化しない。なお, 第3図では凝集剤無添加でも90%以上の除去率が得られている。A/S比は実験1, 実験2, 実験3で, それぞれ, 0.34, 0.22, 0.75であり, 第2図の場合に比べて著しく大きい。このことは第2図の場合とは逆に, 供試水中の浮遊物質濃度に比べ解放空気量が卓越していることを意味している。すなわち, 藻類を主体とする浮遊物質の場合, 自身の浮上性も強いいため, その濃度がある程度小さければ凝集剤無添加でもかなり高率な除去が期待できる。

次に凝集剤添加濃度の違いによるpHとECの変化を第4図に示した。pHは凝集剤の添加濃度が増すにつれて急激な低下を示している。これは使用した硫酸アルミニウムが強酸性であることに起因している。選択した凝集剤によっては処理水のpH調整等が必要となることもある。使用する凝集剤の添加濃度はこの点も考慮して決定する必要がある。なお, ECについては添加濃度による増加はあまり見られなかった。

以上の結果から, 本研究で用いた装置では凝集剤添加濃度は50mg·l⁻¹程度が適当であり, 浮遊物質濃度が解放空気量に対して十分小さければ(A/S比が大きければ)凝集剤無添加でも高率の除去が可能であることが示された。ただし, 最適A/S比の範囲を明らかにするには及ばなかった。

なお, 浮上物中の窒素, リン濃度は乾燥重量あたり, それぞれ, 77mg·g⁻¹, 4.5mg·g⁻¹であり, 集落排水処理施設(鳥取県日吉津処理場)の乾燥汚泥の成分(T-N22mg·g⁻¹, T-P12mg·g⁻¹,)と比較すれば, 浮上物に含まれるT-Nは乾燥汚泥の約1.5倍となった。このことは, 凝集剤のアルミニウム成分が浮上物中に含まれないならば, 浮上物は有機質肥料として利用できる可能性があることを示唆している。また, 同時に, 本システムによって湖沼からより多くの窒素・リンが除去できることも示唆している。

結 論

本研究では, 浮上分離装置を用いて藻類を主体とする浮遊物質の湖水からの分離除去実験を行った。その結果, 実験室レベルではあるが以下のことが明らかとなった。

- (1) 浮遊物質濃度が非常に大きい場合も凝集剤の添加によって90%以上の除去率が得られる。
- (2) 凝集剤として硫酸アルミニウムを使用した場合の

最適添加濃度は $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 程度である。

(3) A/S 比がある程度大きければ、凝集剤無添加でも高率な除去が期待できる。

(4) 浮上物は多量の窒素及びリン成分を含有しており凝集剤による影響をなくすことができれば、資源としての利用の可能性が考えられる。

これらの成果から、藻類を主体とする浮遊物質の分離除去に浮上分離法は極めて有効であることが示された。今後、最適 A/S 比の決定やより効果的な凝集剤の選定を行う必要がある。

引用文献

- 1) 合田健：水質工学応用編，丸善，東京(1976)，p. 27
- 2) 福田啓子：湖山池における植物プランクトンの季節変化，鳥取大学教養部紀要，23：137-150 (1989)
- 3) 井出哲夫：水処理工学—理論と応用—第二版，技報堂出版，東京(1990)，p. 96
- 4) 松尾友矩：水質環境工学，技報堂出版，東京(1993)，p. 189
- 5) 松尾友矩：前出，p. 191
- 6) 水環境工学編集委員会：人と自然の水環境をめざして—水環境工学—，農業土木学会，東京(1995)，p. 59
- 7) 南條吉之，田中賢之介，福田明彦，宮原典正：アオコの増殖と水温の関係，鳥取県衛生研究所報，33:52-54 (1993)
- 8) 斎藤昭二：藻類による浄水処理障害—かび臭，ろ過閉塞，着濁，水道協会雑誌，705:2-16(1993)
- 9) 佐藤敦久：水環境工学—浮遊物質からみた環境保全—，技報堂出版，東京 (1987)，p. 177