

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」
分担研究報告書

研究課題：生物障害を起こさないための浄水処理技術の開発

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 統括研究官
研究分担者 西村 修 東北大学大学院工学研究科教授

研究要旨

ピコ植物プランクトンの凝集沈殿処理に及ぼす急速攪拌強度、攪拌時間および凝集剤種類の影響を検討し、*Synechococcus* sp.のフロックは、G 値の増加とともに増加する傾向を示し、ポリシリカ鉄(PSI)の場合 G 値 $250s^{-1}$ 、攪拌時間 90 秒、ポリ塩化アルミニウム(PACl)の場合 G 値 $200s^{-1}$ 、攪拌時間 60 秒で最大径を示すこと、それぞれ攪拌強度がさらに増加する、あるいは攪拌時間がさらに長くなるとフロック径の減少が起こることがわかった。

また、PACl に比べて PSI においてフロック径の成長促進、沈殿除去性向上が認められたものの、フロックに取り込まれない粒子が多数存在し、除去限界が存在する可能性も示唆された。

本研究成果をふまえて、H26 年度は二段凝集によって砂ろ過でピコ植物プランクトンを除去することの有効性を検討する。特に、二段凝集のメカニズムを考察するために、凝集方法（凝集剤種類、凝集剤注入量、攪拌条件）を変化させながら、形成フロックのゼータ電位、粒径分布を測定し、効果的にピコ植物プランクトンを除去する方法を明らかにする。

A. 研究目的

ピコ植物プランクトンは $0.2-2\mu m$ のサイズの小さな植物プランクトンで、ピコシアノバクテリアと真核性光合成生物からなる¹⁾。ピコ植物プランクトンおよびその代謝物質が原水に存在することで、処理水の濁度上昇、過閉塞、異臭味障害、同化可能有機物(AOC)、消毒副生成物、毒性物質等の様々な問題が発生する²⁻⁸⁾。

このようにピコ植物プランクトンによる浄水障害の発生が問題視され、様々な研究がなされてきているが、ピコ植物プランクトンの凝集阻害に関する研究は進んでおらず、凝集方法に関する基礎的情報が必要な段階にある。そこで本研究では、急速攪拌強度および急速攪拌時間がピコ植物プランクトンのフロック形成に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、実験的検討を行った。

B. 研究方法

1) ピコ植物プランクトン懸濁液の作成

本研究ではシアノバクテリア *Synechococcus* sp. (NIES-1348)を国立環境研究所より入手し、CB 培地で水温 25 ± 1 、蛍光灯下 ($18\mu mol photons/m^2/sec$ 、12-h light/12-h dark) で培養した。

200mL の三角フラスコに 100mL の CB 培地を入れ、90rpm で振とう攪拌を行い、定常期になった培養液を水道水で希釈して 1.8×10^6 (個/L)の濃度に調整し実験に用いた。

2) 凝集剤

ポリ塩化アルミニウム(PACl) とポリシリカ鉄(PSI) を用いた。

3) ゼータ電位の測定

ゼータ電位の測定には Micro-Electrophoresis Apparatus Mk II (Rank Brothers, UK) を用いた。室温 20 ± 1 、80mV の条件で、Smoluchowski 式によって計算してゼータ電位を得た。

4) ジャーテストおよび急速攪拌の方法

ピコ植物プランクトンのジャーテストは、4枚のパドルスターラー(60mm × 30mm)が設置された装置を用いて行なった。HCl あるいは NaOH にて pH を 6.5 に調整したピコ植物プランクトン懸濁液に対して所定濃度の凝集剤を注入し 150rpm、3分の急速攪拌、30rpm、30分の緩速攪拌および60分の沈降を行い、水面から 2cm 下の上澄み液を採取し分析に供した。

急速攪拌実験は同じ装置を用い、100rpm ($20s^{-1}$) から 1,600rpm ($1,110s^{-1}$) まで攪拌強度を変えて実験を行なった。攪拌時間は 30 秒から 180 秒まで行なった。フロック径は particle size analyzer (Microtract ASVR, HRA X-100, Nikkiso, Japan) にて分析した。

C. 研究結果および D. 考察

1) 最適凝集剤添加量

適切な凝集剤注入量を求めるために行なったジャーテスト実験における、凝集剤注入量とゼータ電位の関係を図 1 に示す。*Synechococcus* sp. は約 -10mV の負電荷を有していたが、凝集剤注入量の増加とともに、荷電中和が起こり、その傾向は PACl よりも PSI において速やかな荷電中和が怒ることがわかった。本結果より PACl、PSI それぞれ 200, 140mg/L の注入量で急速攪拌の影響を調べることにした。

2) フロック形成 (d50) に及ぼす急速攪拌強度および攪拌時間の影響

フロックを平均径 d50 で表し、フロック形成に及ぼす急速攪拌および攪拌時間の影響を調べた結果を図 2 に示す。*Synechococcus* sp. のフロックは、G 値の増加とともに増加

する傾向を示し、PSI の場合最大で 238.8 μm (G 値 $250s^{-1}$ 、攪拌時間 90 秒) に達した。しかし、攪拌強度が 250 から $320s^{-1}$ とさらに大きくなるとフロック径は 174.3 μm (G 値 $320s^{-1}$ 、攪拌時間 90 秒) と小さくなった。さらに G 値が増加するとフロック径も再び増加し、197.2 μm (G 値 $1,110s^{-1}$ 、攪拌時間 90 秒) になった。

また、いずれの G 値においても攪拌時間としては 90 秒において最大のフロック径となり、それ以上の時間ではフロック系の減少、すなわちフロックの破壊が生じることが明らかであった。

一方、PACl の場合も同様の傾向であったが、PSI と比較してフロック径は小さく、最大で 159.2 μm (G 値 $200s^{-1}$ 、攪拌時間 60 秒) であった。

3) フロック形成 (粒径分布) に及ぼす攪拌時間の影響

図 3 に PSI および PACl がそれぞれ最大のフロック径を示した $250s^{-1}$ および $200s^{-1}$ の G 値のときの、攪拌時間とともに変化した粒径分布の結果を示す。

PSI の場合(図 3(a))、攪拌時間 30 秒において 100 μm 程度のフロック径の形成が始まっているが、一方で 1 μm 程度の未凝集の *Synechococcus* も残存している。60 秒においては 100 μm 程度以上の径を有するフロックが大きく増加しているが、この時点でも未凝集の *Synechococcus* が確認できる。最大の d50 を示した 90 秒においては、フロック径はさらに大きくなり、10 μm 以下のフロックはほとんど無くなるが、この時点でも未凝集の *Synechococcus* が確認できる。さらに時間が増加すると、フロックの破壊が始まり、一方で未凝集の *Synechococcus* が減少する傾向が認められる。

一方、PACl の場合(図 3(b))、攪拌時間 30 秒において 100 μm 程度のフロック径の形成が始まっていることは PSI と同様であったが、1 μm 程度の未凝集の *Synechococcus* は姿を消しており、ほぼ全ての *Synechococcus* が

フロックを形成し始めたことがわかる。60秒においては100 μm程度以上の径を有するフロックが大きく増加し、その後90秒においてはフロックの破壊が始まる。

以上のように、フロックの成長・破壊に及ぼす攪拌強度と攪拌時間の影響は、PSIとPAClで同様の傾向であったが、基本的にPSIの形成するフロック径が大きいこと、一方で未凝集の*Synechococcus*が残存する傾向があることが明らかとなった。

PSIが形成するフロックの径が大きく成長することに関しては、PACl架橋作用の能力が高いからと考えられる⁹⁾。また荷電中和能力も高いことはゼータ電位の測定結果からも明らかである。このような結果にも関わらず、未凝集の*Synechococcus*が残存する理由としては、PSIは少ない凝集剤注入量で荷電中和が可能であるものの、架橋作用の能力も高いことから少ない凝集剤注入量の段階でスイープ凝集が生じ、荷電中和能力を減少させる効果があるのではないかと推測する。このような凝集特性を考慮して適切な凝集方法を開発することが今後の検討課題である。

E. 結論

ピコ植物プランクトン懸濁液の凝集処理性に関して、PACに比べてPSIはより少量で荷電中和を可能とするとともにフロック径の巨大化効果を有していることがわかったが、一方でフロックに取り込まれない粒子が、PACよりも多く存在する可能性も示唆された。

G. 研究発表

1) 論文発表

該当なし

2) 学会発表

T.S.Aktas, N.Fujimoto, N.Kishida, M.Akiba, Y.Aikawa and O.Nishimura(2013)Comparison of coagulation performance and floc characteristics of polysilica iron (PSI) and poly aluminum chloride (PACl) for water treatment.

Seventeenth International Water Technology Conference IWTC 2013, Istanbul, Turkey.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定も含む。）

1) 特許取得

該当なし

2) 実用新案登録

該当なし

3) その他

該当なし

I. 参考文献

- 1) J.G. Stockner, N.J. Antia, Algal picoplankton from marine and freshwater: A multidisciplinary perspective, Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43 (1986) 2472–2503.
- 2) F. Jutter, Physiology and biochemistry of odorous compounds from freshwater cyanobacteria and algae, Water. Sci. Technol. 31(11) (1995) 69–78.
- 3) C.D. Wu, X.J. Xu, J.L. Liang, Q. Wang, Q. Dong, W.L. Liang, Enhanced coagulation for treating slightly polluted algae-containing surface water combining polyaluminum chloride (PACl) with diatomite, Desalination 279 (2011) 140–145.
- 4) S.D. Faust, O.M. Aly, Chemistry of Water Treatment, Butterworth, 1983, pp. 137–139.
- 5) T. Nakamura, K. Soneda, M. Miyata, K. Takeyasu, Leakage of turbidity to filtrate by picophytoplankton and investigation for measures in water purification plant, Jpn. J. Water Treat. Biol. 33(4) (1997) 233–243.
- 6) T. Hoson, K. Soneda, M. Miyata, T. Takeyasu, Occurrence of picophytoplankton in Yodo river basin and its effect on turbidity control in water treatment system, J. Water Waste 44(9)

(2002) 755–762.

- 7) P. Domingos, T.K. Rubim, R.J.R. Molica, S.M.F.O. Azevedo, W.W. Carmichael, First report of microcystin production by picoplanktonic cyanobacteria isolated from a Northeast Brazilian drinking water supply, *Environ. Toxicol.* 14(1) (1998) 31–35.
- 8) W.W. Carmichael, L. RenHui, Cyanobacteria toxins in the Salton Sea, *Aquat. Biosyst.* 2(5) (2006) 5–18.
- 9) J. Shi, Y. Zhang, K. Zou, F. Xiao, Speciation characterization and coagulation of poly-silica-ferric-chloride: The role of hydrolyzed Fe(III) and silica interaction, *J. Environ. Sci.* 23(5) (2011) 749–756.

J. 謝辞

凝集剤をご提供いただきました水道機工株式会社に心より感謝いたします。

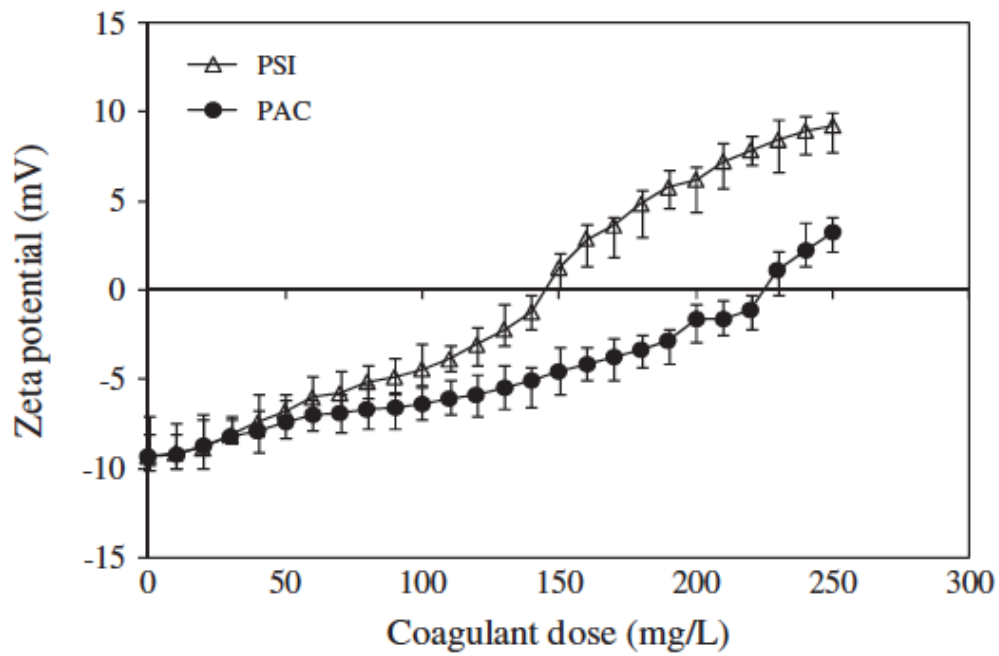


図1 *Synechococcus* sp.懸濁液で形成したフロックのゼータ電位に及ぼす凝集剤注入量の影響

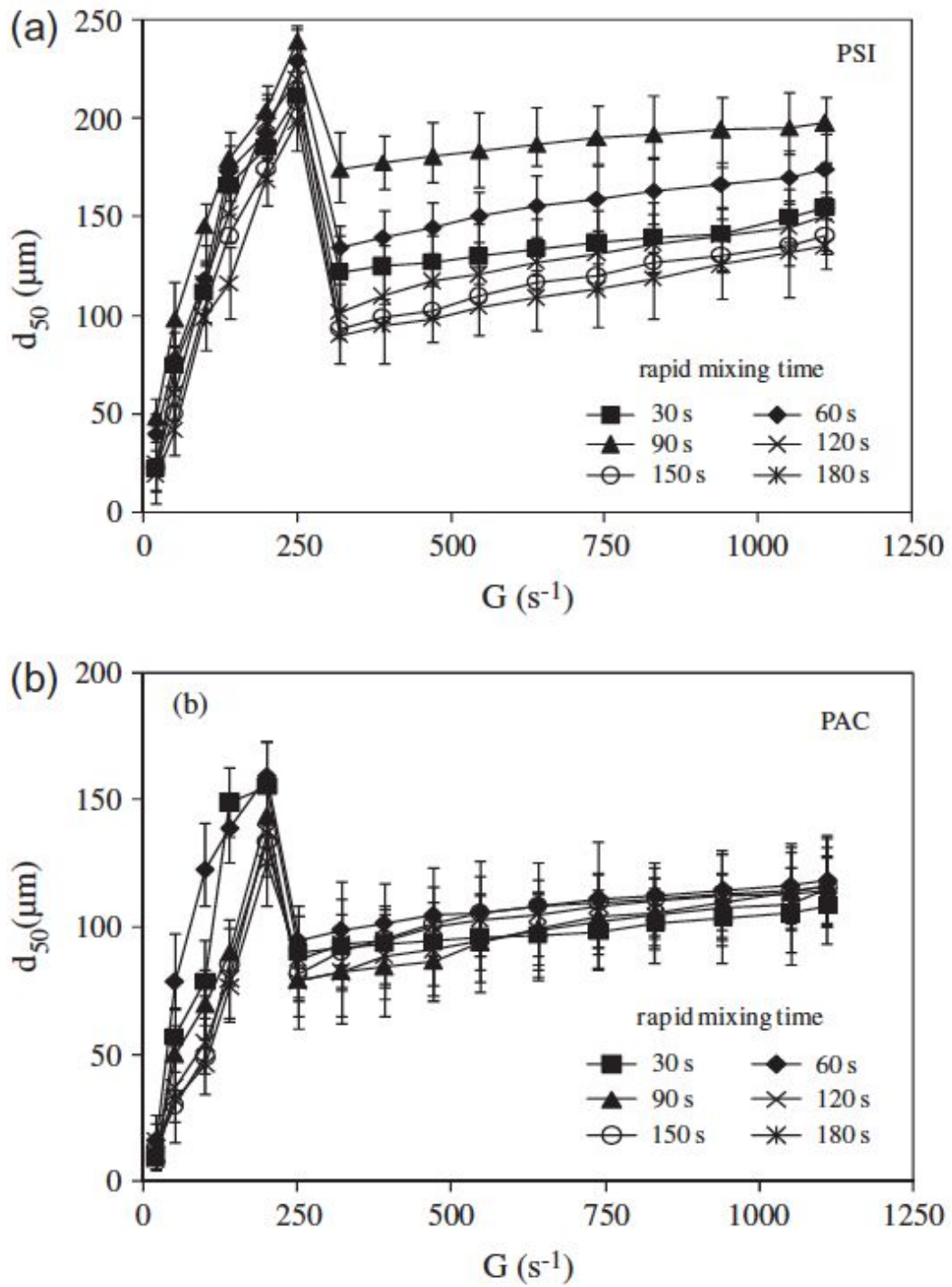


図2 *Synechococcus* sp.懸濁液で形成したフロックのサイズ(d_{50})に及ぼす攪拌強度攪拌時間の影響
(a)PSI、(b)PACl

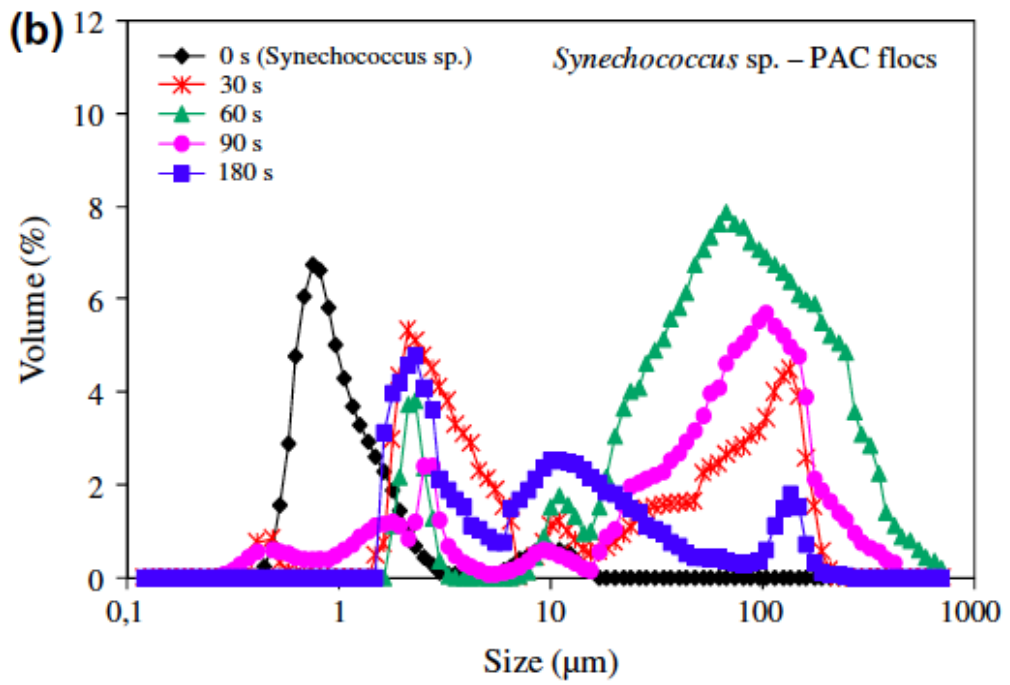
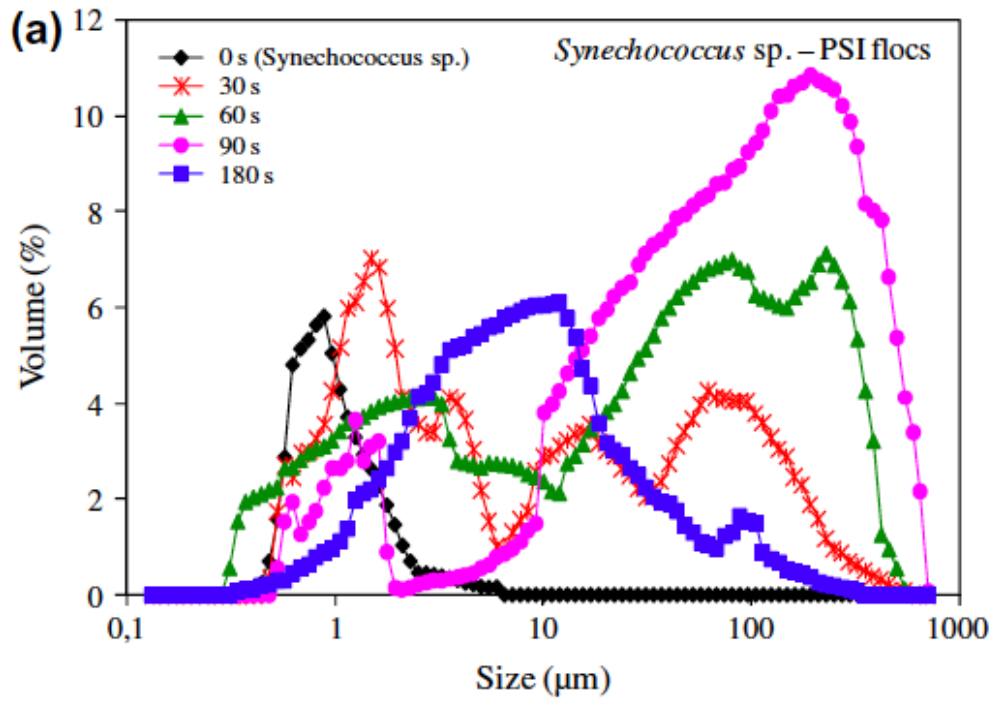


図3 *Synechococcus sp.*懸濁液で形成したフロックの粒径分布の経時変化
(a)PSI、(b)PACI