

1. はじめに

水源の富栄養化によって原水中に大量の藻類が増殖し、上水道に多くの問題点を提起している。藻類の種類に起因することになるが、異臭味、毒性そして凝集阻害やろ過閉塞などである。障害は、浄水段階におけるものと、最後の水道水にまで残るものとがあり、それぞれに深刻で難しい問題である。

浄水段階での障害は、凝集、沈殿およびろ過という浄水プロセス全体に関わるものである。もともと密度の大きな無機物の処理のために発達してきた急速ろ過システムは、藻類に対しては不向きである。それは、コロイド状物質に比べてサイズが大きいけれども、藻類自体の密度が小さいこと¹⁾、藻類の代謝有機物が凝集剤と反応して凝集阻害をおこすこと^{2), 3)}、生物であるため性状が一定せず、凝集現象に複雑さが加わることなどが問題となっている。

本報告は、特にろ過閉塞の原因として知られている針珪藻に着目し、その凝集について検討した。凝集阻害については、藻類の代謝有機物が水中に溶解した後の影響が議論されているが、藻類の表面においても凝集現象に影響を与えるという観点から考察を試みた。つまり、藻類の凝集について、現象を藻類の生物活性との関係や電子顕微鏡による観察を通して考察したものである。

2. 針珪藻の凝集

図-1は、ニッチアの増殖曲線を示したものである。このニッチアの増殖の各時期ごとに藻類の ζ -電位分布をゼータメータで測定し、ジャーテストを実施した。凝集条件は、pH=7.0、アルカリ度50mg/l、ニッチアの個数濃度を2,000個/mlに調製し、凝集剤は、硫酸アルミニウムである。図-2はジャーテストの際の原水、沈殿水および上澄み水それぞれの水中のニッチアの ζ -電位分布の一例を示したものである。まず、この種の藻類は、粘土粒子などと同様に負に帯電しており、自然水中では平均-30~-35mV程度の ζ -電位持っていることが確認できた。したがってこれらをアルミニウム系の凝集剤で処理すると、荷電の中和がおこることは、粘土系の凝集と全く同じと言える。図-2から原水中のニッチアの ζ -電位分布に対して、凝集剤添加後のニッチアは、沈殿、上澄みそれぞれの水中において、5~6mV程度絶対値が小さくなるがわかる。また、図-3は、それら3つの水中の ζ -電位の50%値を培養日数との関係でまとめたものである。図-3において原水中のニッチアの ζ -電位およびその分布は、増殖時期によって、大きく異なることがわかる。つまり、初期の増殖期には、-30mV程度だったものが、対数増殖期あるいは、定常期に近くなると-35mVぐらいになり、その後定常期に入って一時-28mVにまで絶対値が小さくなるが、やがて内生呼吸期になって、-28から-29mVで推移する。これは、生理活動

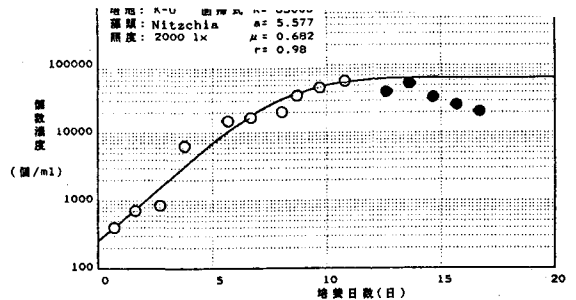


図-1 ニッチアの増殖曲線

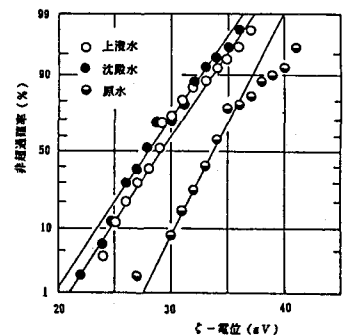


図-2 ニッチアの ζ -電位分布

の活発な対数増殖期などでは、原水中の藻類の ζ -電位が大きい、定常期や内生呼吸期になると、若干小さくなることを示している。この現象は、原水中の藻類の ζ -電位の違いについては、生物活性の高い場合には、細胞壁極く近傍に、負荷電を増長する藻類生産有機物が多量に存在することを仮定することにより説明することができる。これはいわゆる荷電の中和と水酸化アルミニウムの付着の結果と考えることができる。ただし、この傾向についても、図-3をみるとやはり、藻類の増殖時期によって大きく異なっていることがわかる。つまり、マイナス側に大きな値を持っている対数増殖期には、藻類の表面荷電が中和される効率が低い。しかし、もともと原水中のニッチアの ζ -電位の絶対値が比較的小さいこともあって、内生呼吸期では、荷電が中和される割合が低いとみえる。その観点からいうと、図-3における培養日数11日目のニッチアは、原水中の ζ -電位の中和現象が特異的といえる。また、図-4は、ジャーテストの結果、凝集剤の最適注入量とその時の除去率を、ニッチアの培養日数との関係で示したものである。図-4によって、ジャーテスト後の凝集剤の最適量を比較してみると、定常期になってその量は低下し、定常期、内生呼吸期ではほぼ一定値となる。図-3でわかるように、対数増殖期では藻類の ζ -電位がマイナス側に大きいために、凝集剤量も増加したものと考えることができる。このような藻類の表面の電位と荷電の中和現象については、図-5のように模式的に考えることができる。

つまり、生存中の藻類の表面には、藻類の生産した粘質の有機物が付着して負の電荷を増している。対数増殖期になると、この生産量が増えてマイナス荷電が最も多くなる。やがて定常期から内生呼吸期にいたると藻類の活性も弱まって、表面の粘質有機物は、藻類表面から剥離することになる。凝集剤が添加されると、マイナスに帯電している藻類表面と藻類生産粘質類の双方へのアルミニウムの吸着され、荷電の中和が進行する。この場合、藻類表面より粘質類への選択的に吸着が起こると考えると、対数増殖期での荷電中和量が多いという点を説明ししやすい。

3. 電子顕微鏡による現象の考察

3. 1 藻類の活性と単体の表面

図-1に示したニッチアの培養の各時期に、電子顕微鏡による表面状態の観察と、ジャーテストの結果の上澄みと沈殿水中のそれぞれのフロックや表面の状態を観察した。写真-1、2は、それぞれ①対数増殖期（培養日数 $t=8.7$ 日）におけるニッチア、②内生呼吸期（ $t=16.7$ 日）のニッチアの表面状態を示したものである。この表面状態で特徴的なことは、生物活性が活発

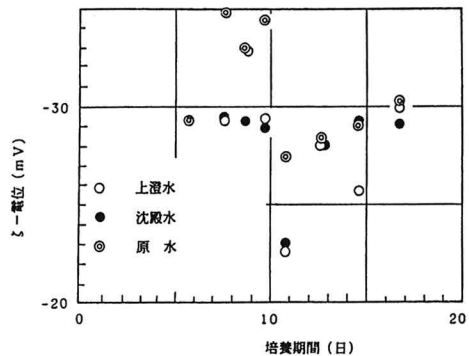


図-3 培養期間と平均 ζ -電位の関係

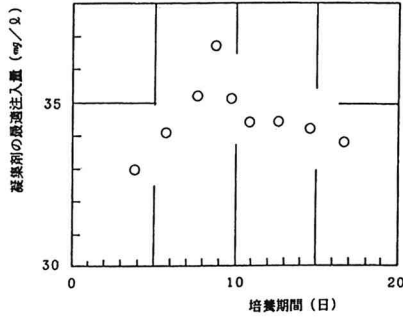


図-4 培養期間と凝集剤最適量の関係

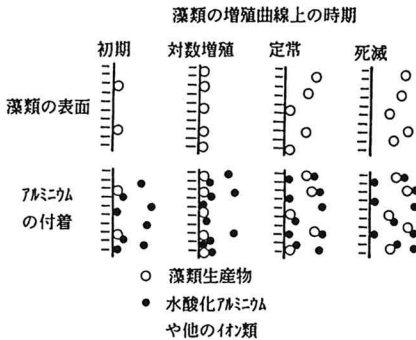


図-5 表面電位と荷電中和の模式図

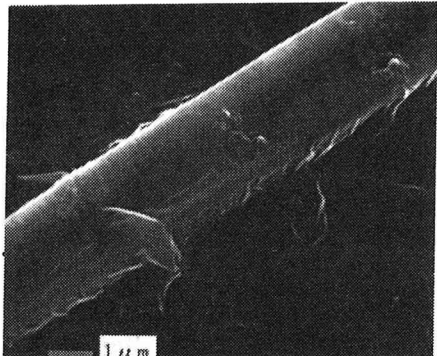


写真-1 対数増殖期のニッチアの表面

で分裂が盛んに行われている対数増殖期のニッチアの表面は、非常に荒い感じなのに比較して、ピークを過ぎた内生呼吸期のそれは非常に滑らかなように見えることである。

3. 2 フロックと水酸化アルミニウムの役割

同じく写真-3、4は、フロックあるいは表面の状態を示したものである。写真はそれぞれ、③ $t=16.7$ 日のニッチアを凝集させた上澄み水中のニッチア、④ $t=14.6$ 日のニッチアを凝集させた沈殿水中のフロックを示している。まず、藻類表面の付着物に着目してみると、写真-1、2がジャーテストの原水中の藻類のもので、付着物が全く見られなかったのに対して、沈殿水中の藻類の表面にはよりたくさんの付着物がみられる。この付着物は、凝集剤を添加したことによる水酸化アルミニウムと考えるのが妥当であろう。この水酸化アルミニウムは、やはり沈殿水中の藻類に多く付着していたことは、水酸化アルミニウムが藻類表面に付着し、それが橋渡し役を果たして藻類のフロック化が進行していると考えることができる。水酸化アルミニウムの付着は、はじめ藻類表面の特定の点におこり、やがてその面積が拡大していく。表面の厚さは、全体で一様とはならないようである。

4. おわりに

ろ過池閉塞の原因藻類である針珪藻に着目して、凝集現象を生物活性との関係で考察した。本論での結論をまとめると次のとおりである。

- (1) 藻類の荷電は、増殖期では表面に藻類の生産した粘質の物質があつて負側に増加する。対数増殖期にはその傾向が顕著であるが、定常期や内生呼吸期にはこれらの粘質物が水中に剥離する。凝集剤の添加により、荷電の中和が起こるが、藻類表面より粘質類へのアルミニウム吸着が選択的に起こると考えられる。
- (2) 水中の水酸化アルミニウムは、藻類表面に付着し、それがつには架橋作用を生じてフロックを形成すると考えられる。水酸化アルミニウム量の付着の少ない藻類は、フロック形成能力が弱く、フロックの沈降速度が大きくなって、沈降もしにくい結果、上澄水中に残留する。

参考文献

- 1) Reynolds, C. S. (1975). The Ecology of Freshwater Phytoplankton, Cambridge University Press.
- 2) Bernhardt, H (1982). Investigation of Algal Born Organic Substances and Their Effect on Water Treatment, Proc. of the Japanese-German Workshop on Waste Water and Sludge Treatment, pp. 583-637.
- 3) 真柄泰基、国包章一、相沢貴子 (1986). 藻類の生産する有機物の凝集阻害に関する基礎的研究, 日本水道協会雑誌, 第55巻, 第4号, 33~39.

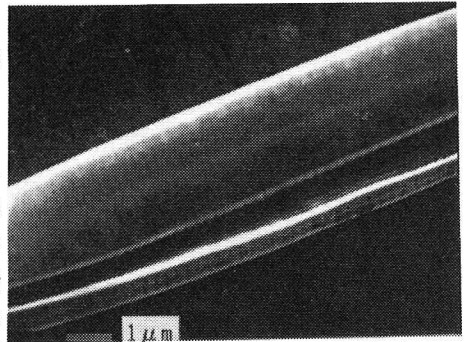


写真-2 死滅期のニッチアの表面

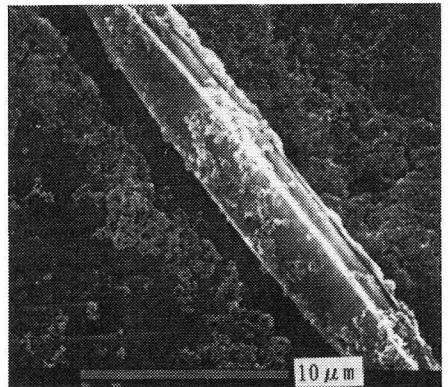


写真-3 上澄水中のニッチアの付着物

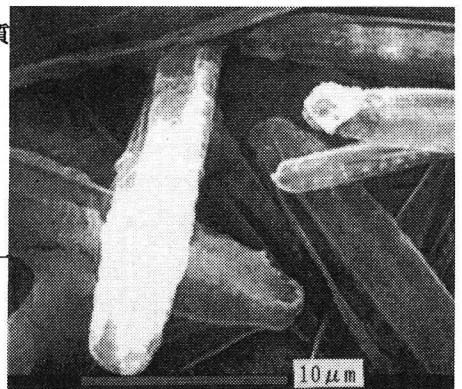


写真-4 沈殿フロック