浮游性珪藻 *Synedra* の増殖傾向ならびに形態の変異

横浜市水道局 小 出 悟 郎

A study on the growth and form variation planktonic diatom *Synedra*

by Goro Koide

はじめに

珪藻類の *Synedra* 属の内 Plankton 生活をする 2, 3 の種類はしばしば湖や貯水池に大量に増殖し、湖や貯水池を水源とする上水道施設では滷過池の砂層上部に堆積して滷過池が閉塞する障害を起している。^{1) 2) 3)} また *Synedra* は水に異臭をつけるともいわれている。⁴⁾

浮游性の *Synedra* には *Synedra ulna* の変種と *Synedra acus* ならびに同種の変種、*Synedra rumpeus*, *Synedra minuscula*^{5) 6)} などが知られているが、滷過障害を起す種類は主として *Synedra ulna*, *Synedra acus* のそれぞれの変種である。

筆者は横浜市水道の水源である相模湖で1954年から1970年の17年間に増殖した浮游性の *Synedra* について増殖傾向を水温ならびにアルカリ度の傾向から検討し、さらに相模湖および琵琶湖、芦の湖、愛知池（愛知県）の浮游性の *Synedra ulna*, *Synedra acus* の殻長、殻巾、条線数 (Striae) について計測し、形態的な比較検討を行なった。

本文に入るに先立ち、本研究に協力され種々の助言をくださった横浜市水道局水質試験所、菅野明男所長はじめ同所員各位に深謝する。特に磯村康博、青木節男両君には Plankton の計数をわずらわせた、その労に感謝の意を表する。

調査方法と試料

1) 増殖傾向の調査

1954年から1970年の17年間毎月1回相模湖で行なった定期調査の資料⁷⁾ から *Synedra* の増殖状況、水温、アルカリ度のデーターと、相模湖を水源とする西谷浄水場着水井水の1970年のデーターを整理検討した。

2) 形態の調査

試料は相模湖の1954年8月、1957年4月と7月、1967年2月、1968年9月の5試料と琵琶湖の1970年6月、芦の湖1969年8月、愛知池1968年12月の3試料、計8試料でいずれも *Synedra* が優占的に増殖した時期に採取したものである。

これらの試料は過マンガン酸カリウム (KMnO_4) による酸処理⁸⁾ ののち、プリウラックスで封じ永久プレパラートとして個々の細胞の写真を撮り、写真から殻長、殻巾ならびに 10μ 中の Striae 数を測定した。なお Striae と殻巾は図1に示すように中央結節 (Central area) に接するところで測定した。

図 1. *Synedra* の模式図

調査成績と考察

1) 増殖傾向

相模湖の表層水について毎月1回行なった調査から1954年～1970年の17年間の浮游性の *Synedra ulna* と *Synedra acus* の増殖状況を示すと図2の如くである。

同湖水の *Synedra* が 20 cell/ml 以上になった場合を一応増殖状況にあったと見ると、増殖の時期は3月から12月の長期に及んだ。

(1) 水温

相模湖の *Synedra* の増殖について月別の出現頻度は

図 2. 相模湖における1954年から1970年間の
Synedra の増殖傾向

7月～9月が大きく、一応夏季の高水温が増殖に適するように見られる。しかし11, 12月と2月の冬季の低水温時でも *Synedra* がしばしば出現しており、増殖が起

た時期の水温は max. 29.0°C, min. 6.8°C, range は22.2°Cと巾が広い。

また筆者は相模湖に接続する津久井湖（人工湖）で1967年2月に *Synedra* が 200 cell/ml に及んだ増殖を記録しており⁹⁾、当時の水温は 4.5～11.0°Cであった。

(2) アルカリ度

i) 符号検定¹⁰⁾

相模湖に増殖した珪藻の内、*Synedra*, *Cyclotella* (*Stephanodiscus* を含む), *Fragilaria* とアルカリ度の増減を図3のごとく、藻類の細胞数(*Fragilaria* では群体数)が前回の調査時より増加した場合(+), 減少した場合(-), 横ばいを(0)とし、同様にアルカリ度の上昇を(+), 下降を(-), 横ばいを(0)とすると、藻類とアルカリ度との符号が同じ場合(++または--), 符号が異なる場合(+--または-+-), 藻類とアルカリ度のいずれか一方が0となる場合とがあり、以上の符号の関係を17年間で集計

したものが表1である。

表1の各々の種類について二項確率紙に符号が同じ場合を縦軸に、符号の異なる場合を横軸にとり、実測三角

図 3. 相模湖における藻類の消長とアルカリ度の変動の符号検定の例

表1 藻類とアルカリ度の増減の符号の関係

			<i>Synedra</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Fragilaria</i>
符号が同じ場合	藻類, アルカリ度共増加	++	22	28	9
	〃 減少	--	47	50	22
符号が異なる場合	藻類が増, アルカリ度減	+-	14	32	9
	藻類が減, アルカリ度増	-+	26	68	20
符号の一方が0の場合	アルカリ度が横ばい	+(-) 0	9	13	4
	藻類が横ばい	0 + (-)	10	16	4

図4. 二項確率紙での藻類とアルカリ度の符号検定

形をえがくと図4の如くなる。

すなわち *Synedra* では実測点 (47, 26) は 50 % 按分線に対し両側に平行に引かれた有意水準 5 % の線外にあり, *Cyclotella* と *Fragilaria* では実測点が線内にある。したがって各種類の増殖とアルカリ度の増減の関係は *Synedra* のみ有意水準 5 % で有意であり, *Cyclotella* と *Fragilaria* は関係があるとはいえない。

ii) 度数分布と平均値

Synedra の増殖した場合と増殖時以外のそれぞれのアルカリ度のヒストグラムを図5に示した。

Synedra の増殖時のアルカリ度は一般に高く, 増殖時以外のアルカリ度のヒストグラムに比較して山は右にずれた型となる。それぞれの平均値, 分散, 最高最低値と range は表2に示した。

増殖時と増殖時以外のアルカリ度の平均値が異なっているので, 両者の母平均の差の検定を行なうと次の如く

図5. アルカリ度のヒストグラム

である。

母平均の差の検定

① $H_0: \mu_A = \mu_B$

② 表2より, $\bar{x}_A = 44.3$, $\bar{x}_B = 41.4$,

$s_A^2 = 22.087$, $s_B^2 = 21.407$, $n_A = 42$, $n_B = 163$

表2 *Synedra* の増殖時と増殖時以外の時のアルカリ度の平均値, 分散, 最高, 最低値と range

	mean	variance	max.	min.	range
<i>Synedra</i> 増殖期	44.3	22.087	36	57	21
増殖期以外	41.4	21.407	26	55	29

$$\textcircled{3} \quad Z_o = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{\sigma_A^2}{n_A} + \frac{\sigma_B^2}{n_B}}} = \frac{44.3 - 41.4}{\sqrt{\frac{22.087}{42} + \frac{21.407}{163}}} = 3.58$$

$$\textcircled{4} \quad Z_o > 1.96 \therefore \text{危険率 } 5\% \text{ で } \mu_A \neq \mu_B$$

但し, 増殖時の標本数 n_A が 42 と小さいので $s_A^2 = 22.087$ を σ_A^2 に代入することはいささか問題がある。すなわち, 増殖時と増殖時以外ではアルカリ度の母平均が異なっているといえそうである。

iii) 浄水場着水井水での比較

横浜市の西谷浄水場は相模湖を水源としており, 同浄水場の着水井水では 1 週間に 2 乃至 3 回の生物定量と毎日 1 回アルカリ度の測定を行なっている。

したがって相模湖での毎月 1 回の調査よりもアルカリ度, 藻類の遷移は詳細に知ることができる。しかし同湖より着水井に水が到達するに要する時間は 2 乃至 3 日で, 途中貯水量 $883,000 \text{ m}^3$ の相模原沈殿池を経由する。しかも同沈殿池では *Synedra* のような水道障害生物の増殖が著しい時は殺藻処理のため硫酸銅の注入を行なうので着水井水の生物数, アルカリ度は相模湖の状況そのものとはいえないが, おおよその傾向は知ることができる。

図 6 に 1970 年の着水井水で *Synedra* の増加した期間

の細胞数とアルカリ度の移動平均 (3 日週期) ならびに相模原沈殿池での硫酸銅注入状況を示した。

Synedra の第 1 回目の増殖は 6 月上旬より起り, 6 月 8 日に増加の山が見られた。この増加の傾向はアルカリ度の上昇と一致している。その 17 日にアルカリ度が下降すると共に *Synedra* も減少した。

第 2 回目の増殖は 6 月下旬より 8 月下旬の約 2 ヶ月間にわたったが, この期間中増加の山は 4 回あり, 細胞数は回を追うごとに増加している。また減少の谷は 3 回あり, はじめの谷はアルカリ度の一時的減少と同時に起った。あとの 2 回は硫酸銅による殺藻処理を行なった後におこっており, 殺藻処理の効果が大きいと考えられる。

この第 2 回目の増殖期のアルカリ度は一時的な減少はあったにしても 6 月下旬より 8 月下旬の全期間を通じて上昇の傾向が認められた。

第 3 回目の増殖期は 9 月中旬から翌 1971 年 3 月におよぶ長期間にわたったが, 9 月上旬から中旬にかけてアルカリ度の上昇があり, これよりやや遅れて *Synedra* は増加し, 10 月 10 日にアルカリ度が 45 ppm と高い値になった時 *Synedra* も $2,000 \text{ cell/ml}$ と最高の細胞数となっている。

図 6. 西谷浄水場着水井における 1970 年の *Synedra* の消長とアルカリ度の移動平均並びに相模原沈殿池の硫酸銅注入状況

そのアルカリ度は41~43 ppmとわずかに下降したのち横ばいの状況で12月末まで続いているが、*Synedra* は10月中旬に200~300 cell/mlに減少し、以後100 cell/ml程度で12月末まで細胞数は横ばい状況であった。

10月中旬の*Synedra*の減少は9月末から硫酸銅の注入が行なわれており、また10月中旬にはアルカリ度も2~3 ppm減少しているため、殺藻処理の効果かアルカリ度の下降が原因か判然としない。

(3) 考察

珪藻の増殖には幾多の要因が考えられるが最も普通には水温、日光、栄養塩類などが考えられる。

珪藻の増殖にたいする水温の影響について小久保¹¹⁾は「それがまだ冬期最低に止まっているうちに珪藻の増殖を始めることもあり、また珪藻増殖時の水温が地方によって異なること、同一地方でも年によって水温が異なる等のことによっても水温の支配力が第一義的なものでないことがわかる」とし、また一方では浮游性の淡水産*Synedra*の増殖適温は10°Cと記述している。

相模湖に増殖した*Synedra*では増殖が起った時期の水温は範囲が広く、一般に夏季に多く増殖するが冬季でもしばしば増殖しており、したがって水温は増殖要因として一義的でなく、増殖適温の推定はできない。

次いで栄養塩類では藻類の増殖の制限要因といわれる磷、窒素類のデータが充分でなく、アルカリ度についてのみ検討した。

アルカリ度は普通、水中の重炭酸塩、炭酸塩または水酸化物などのアルカリ分を炭酸カルシウムのppmで表わしたものである。¹²⁾

藻類は水に溶解している炭酸(CO_2 , HCO_3)を利用し、光合成により炭素を同化して増殖する。したがって水中の炭酸の存在は窒素や磷などの栄養塩類と同様、藻類の増殖の要因として重要であろう。

松江、平野¹³⁾は養鰻池でのアルカリ度、水温、pHの正確な測定が“水変り”と呼ばれる藻類の増殖の予測に必要であることを述べている。

また里見¹⁴⁾は*Chlorella*と*Scenedesmus*の培養実験から栄養塩類の窒素と磷の比とアルカリ度の関係を「増殖率に影響を及ぼす要因の内、重炭酸イオン(HCO_3)を利用し難い*Chlorella*ではアルカリ度についてN-P比が、 HCO_3 を利用し得る*Scenedesmus*ではN-P比についてアルカリ度が重視されねばならない」とのべ、さらに*Scenedesmus*における HCO_3 の生体内代謝経路について推定を行なった。

*Synedra*は HCO_3 を利用し得るか否かが明らかでないが、同種の相模湖での増殖傾向とアルカリ度の増減とは符号検定によって有意の関係があり、また増殖時のアル

カリ度と増殖時以外のアルカリ度とを比較すると前者の方が一般的に高く、母平均でも有意差がありそうなこと、さらに西谷浄水場着水井における*Synedra*の増減とアルカリ度の増減とがかなり一致するなど、*Synedra*の増殖の要因としてアルカリ度は重要であり、アルカリ度の上昇期には*Synedra*の増殖が起りやすいといえそうである。

2) 形態の変化

相模湖の*Synedra*が前述の如く水温や季節にあまり関係なく増殖するのは、出現する種類が増殖期により異なるのではないかと疑われた。

そこで同湖に出現した*Synedra ulna*と*Synedra acus*について形態的な変化を検討し、さらに琵琶湖、芦の湖および愛知池のこれらの種類とも比較した。

各試料の個々の細胞の写真を図7、8に示した。

(1) 外観

i) *Synedra ulna*

相模湖の*Synedra ulna*の浮游性種(図7-1~4)は増殖した年や時期が異なっても頭端部、疑縦溝(Pseudoraphe)ならびに中心区(Centralarea)などの形状は区別しがたい。

芦の湖(図7-5)のものは頭端部が卵形に広がり先端がとがったvar. *spathulifera*型(図7-5c)あるいは首形になったvar. *danica*型(図7-5a)両者の中間形と変化に富み、相模湖のものとは区別し得る。

ii) *Synedra acus*

相模湖の種類(図8-1~3)は細長いもの、太く短いものなど変化に富んでいるが、この変化には増殖の年や時期での特徴は認められない。

芦の湖(図8-4)のものは細長く、繊細であり、愛知池(図8-5)では太く短い。琵琶湖(図8-6)のものは相模湖のものと同様変化に富み、外観からは相模湖産と琵琶湖産の区別はできない。

(2) 計測値からの比較

殻長、殻巾ならびに10 μ 中の条線数(Striae)の統計値を表3に、また図9は計測値を図示したものである。

図9では殻長、殻巾は平均値を、Striaeはモードを+印で、直線で示した部分は殻長、殻巾は平均値の両側に標準偏差の3倍(3 σ)を、Striaeはレンジである。

i) *Synedra ulna*

相模湖のものは殻長、殻巾で時期による違いはほとんど認められず、Striaeは1954年8月、1957年4月の試料はモードが12本、1957年7月と1968年9月では11本とわずかな違いがある。

しかし相模湖の試料全体では殻長、殻巾ならびにStriaeともヒストグラムは正規分布型となるので、区別を

図 7. *Synedra ulna*

1. Sagami-ko 1954 August
2. Sagami-ko 1957 April
3. Sagami-ko 1957 July

4. Sagami-ko 1968 September
5. Ashino-ko 1969 August

図 8. *Synedra acus*

1. Sagami-ko 1954 August
2. Sagami-ko 1957 April
3. Sagami-ko 1957 July
4. Sagami-ko 1967 February

5. Ashino-ko 1969 August
6. Aichi-ike 1968 December
7. Biwa-ko 1970 June

表3 *Synedra ulna*, *Synedra acus* の殻長, 殻巾, 10 μ 中の Striae 数の計測値

			n	Length mean s.d.		Breadth mean s.d.		Striae mean range		L/B
<i>Synedra ulna</i>										
Sagami-ko	1954	Aug.	25	218.4	24.4	5.4	0.67	11.5	10-13	40.4
	1957	Apr.	47	250.9	15.1	6.0	0.57	11.7	11-14	41.8
	1957	July	20	231.5	32.1	5.4	0.45	11.0	10-12	42.9
	1968	Sept.	52	275.4	26.7	5.5	0.40	10.8	10-12	50.1
Ashino-ko	1969	Aug.	48	230.5	15.5	4.7	0.35	10.3	9-11	48.1
<i>Synedra acus</i>										
Sagami-ko	1954	Aug.	57	210.3	20.5	3.9	0.46	11.8	11-15	52.6
	1957	Apr.	40	239.4	43.5	4.6	0.25	13.2	12-14	52.0
	1957	July	76	135.2	41.4	3.8	0.42	13.1	12-15	39.8
	1967	Feb.	42	225.3	17.2	3.3	0.36	11.3	9-13	68.3
Ashino-ko	1969	Aug.	49	204.9	14.2	2.5	0.27	14.9	13-16	82.8
Aichi-ike	1968	Dec.	67	98.4	20.3	4.7	0.39	14.1	13-15	20.9
Biwa-ko	1970	June	77	206.4	23.5	3.2	0.48	14.5	13-16	64.5

図9. *Synedra ulna*, *Synedra acus* 殻長, 殻巾
及び10 μ 中の Striae 数の Range

するほどの意味は無いと考えられる。

芦の湖のものは殻巾が4.7 μ とせまく, また Striae が平均10.3本と相模湖のものより明らかに少ない。

ii) *Synedra acus*

相模湖のものは殻長一般巾の比が15乃至60と変化があるが, この変化は増殖の年や時期により特定の傾向は見られない。Striae は2月のものが11本と他の月のモード13本に対し, やや少なかった。しかし殻長, 殻巾ならびに Striae の試料全体でのヒストグラムはいずれも正規分布型となる。

芦の湖のものは Striae が平均14.9本と多く, また殻巾も同2.5 μ と狭いので相模湖のものとは異なると思われる。

愛知池では殻長が短かく, 殻巾が広い, したがって殻長一般巾の比は調査した4湖沼の内, もっとも小さく20.9である。Striae も13~14本と変化が少なかった。

琵琶湖のものは殻長一般巾の比が64.5と相模湖産に

近い。Striae は相模湖のものに比して多く14本以上のものが多数みられた。

(3) 考察

外観ならびに計測値から見た相模湖の *Synedra ulna*, *Synedra acus* の両種はいずれも増殖の年あるいは時期による決定的な相違点は認められず, 年や時期が異なっても, それぞれ同一の変種といえる。

Synedra ulna では外観, 計測値から *Synedra ulna* var. *danica* (Kütz.) Grun. に該当する。

Synedra acus は Fr. Hustedt⁵⁾によれば基本型は殻巾が5~6 μ , var. *radians* は2~4 μ としている。相模湖のものの殻巾は2~5.8 μ であり, 基本型と var. *radians* が混在すると考えられるが, 殻長や殻巾のヒストグラムが正規分布型となるので両種の区別はつけがたい。

芦の湖でも *Synedra ulna* と *Synedra acus* の両種がみられたが, 同湖の *Synedra ulna* は頭端部の変化が著るしいこと, 殻巾, Striae 数共に小さいことから相模湖の変種とは別のものと考えられたが, 変種名の確認はできなかった。

芦の湖の *Synedra acus* は殻巾が狭く, 全体的に繊細で Striae も多いことから *Synedra acus* var. *angustissima* Grun. に該当すると考える。

愛知池ならびに琵琶湖では *Synedra acus* のみで *Synedra ulna* はえられなかった。

愛知池のものは *Synedra acus* Kütz. の基本型であり, 琵琶湖のものは外観からは相模湖のものと区別し得ない。

しかし *Striae* は相模湖のものより多く, *var. angustissima* に近いが, 同変種よりも殻巾が広く *Synedra acus* *var. radians* (Kütz.) Hust. ではないかと考える。

要 結

1. 湖や貯水池にしばしば大量に増殖し, これらの水域を水源とする水道施設に汙過池閉塞や異臭などの障害を生ぜしめる *Synedra ulna*, *Synedra acus* の増殖傾向と水温, アルカリ度との関係を調査し, さらにそれぞれの種について形態の検討を行なった。

2. 増殖傾向の調査は相模湖における1962年から1970年の間の毎月1回と西谷浄水場着水井における1970年の毎週2乃至3回の調査資料を検討した。

3. 形態の調査は *Synedra* が優占的に増殖した時期の相模湖5試料, 琵琶湖, 芦の湖, 愛知池の各々1試料について外部形態の観察, 殻長, 殻巾, 10 μ 中の *Striae* 数の計測を行ない比較検討した。

4. 相模湖の *Synedra ulna*, *Synedra acus* の増殖した時の水温範囲は6.8~29.0°Cであり, 季節的には3月~12月に増殖が起っている。したがって両種の増殖の要因として, 水温の影響は一義的なものとはいえない。

5. 相模湖の過去17年間の *Synedra* の増殖とアルカリ度の変動の傾向を符号検定したところ, 有意水準5%で有意性が認められた。また増殖時と増殖時以外のそれぞれのアルカリ度のヒストグラムから母平均の差の検定を行なった結果は, 両者の母平均は異なるといえそうである。さらに1970年の浄水場着水井のアルカリ度と *Synedra* の遷移がかなり一致するなど, アルカリ度の上昇期には *Synedra* の増殖が起りやすいといえそうである。

6. 相模湖に浮游性種として出現した *Synedra ulna* は形態の外観ならびに計測値から *Synedra ulna* *var. danica* (Kütz.) Grun. と同定した。同種は相模湖に前述の如く, ほとんど季節を問わず増殖するが季節による変異は特に認められない。芦の湖の種類は頭端部が *var. danica* 型, *var. spathulifera* 型, 両者の中間型と変化に富み, 殻巾が狭く, *Striae* の数が多い。したがって相模湖の種類とは明らかに区別しうるが, 種名の同定は出来なかった。

7. 相模湖の *Synedra acus* は基本型と *Synedra acus* *var. radians* (Kütz.) Hust. が混在すると考えられるが, 殻巾や殻長のヒストグラムは正規分布型となり, 両種の間の変異は連続的であるので区別はつけがたい。また増殖の時期による変異は特に認められなかった。芦の湖のものは殻巾が狭く, 全体的に繊細で *Striae* 数も多いことから *Synedra acus* *var. angustissima* Grun. と同定した。愛知池のものは殻長が短かく殻巾が広い, *Synedra*

acus Kütz. の基本種であり, 琵琶湖のものは *Striae* の数が多く, 殻巾は狭い *Synedra acus* *var. radians* (Kütz.) Hust. ではないかと考える。

参 考 文 献

- 1) 乙幡恵: *Synedra acus* によるろ過障害とその処理. 第4回日本水処理生物学会研究発表会要旨. 1942.
- 2) 小島貞男: 上水道の生物学(1). 用水と廃水, **9**, 10, 725~740. 1967.
- 3) 梶正一: *Synedra acus* によるろ過障害について. 大阪府水道局水質試験所報告, No. 10. 1968.
- 4) 八木正一: 上水道における生物起因の異臭の除去について. パイオテク, **2**, 10, 講談社. 1971.
- 5) Hustedt, Fr.: Bacillariophyta. Heft 10 in A. Pascher (ed.). Die Süßwasser-flora Mitteleuropas. G. Fischer, Jena. 1930.
- 6) Patrick, R., Reimer, C. W.: The diatoms of the United States. vol. 1. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia. 1966.
- 7) 横浜市水道局水質試験所: 水質試験成績並びに調査報告. 第5集~第20集. 1954~1971.
- 8) 津村考平: 珪藻類の清洗処理方法について. 藻類, **9**, No. 1, 33~36. 1961.
- 9) 小出悟郎・高橋章: 昭和42年2月に起った小雀浄水場急速汙過池の閉塞障害. 日本水処理生物学会誌, **4**, 1, 1~5. 1968.
- 10) 日科技連: 二項確率紙の使い方. 1969.
- 11) 小久保清治: 浮游珪藻類. 日本學術振興会. 1955.
- 12) 日本水道協会編: 上水試験法(1960年版). 1960.
- 13) 松江吉行・平野礼次郎: 水中の総炭酸量と植物プランクトン繁殖との関係について. 陸水誌, **17**, 4, 133~140. 1955.
- 14) 里見至弘: 植物プランクトンの繁殖に適切な窒素と磷の比とアルカリ度との関係. 淡水区水産研究所研究報告, **8**, 2, 21~39. 1959.