

(46) 渦鞭毛藻 *Peridinium bipes* の鉛直移動が栄養塩循環に及ぼす影響

INFLUENCE OF VERTICAL MIGRATION OF DINOFLAGELLATE, *Peridinium bipes*
ON NUTRIENTS CYCLING

井上徹教*・井芹寧**・長谷部崇***・西元誠***・小松利光*

Tetsunori INOUE*, Yasushi ISERI**, Takashi HASEBE***, Makoto NISHIMOTO***,
Toshimitsu KOMATSU*

ABSTRACT; Field observations have been made with respect to the diel vertical migration of dinoflagellate, *Peridinium bipes* and nutrient concentration profiles in a thermal stratified reservoir. Results showed that *P. bipes* could take nutrients and photosynthesize by migration in a calm thermal stratified mesotrophic reservoir. Faster migration from surface layer to middle layer was advantageous to take nutrients, and the possibility of active migration of *P. bipes* was suggested from the estimation of setting velocity. Furthermore, observational results suggested that *P. bipes* migration played an important role in nutrient cycling in a stratified reservoir.

KEYWORDS; *Peridinium bipes*, vertical migration, nutrient cycling, thermal stratified reservoir

1. はじめに

近年、ダム湖・貯水池等の閉鎖水域において、特定の植物プランクトンの異常増殖に伴うアオコや淡水赤潮の発生が問題となっている。例えば、児島湖では水田で発生した *Euglena* spp. が用水路を介して流入し、淡水赤潮を引き起こした例が報告されている¹⁾。

アオコや淡水赤潮に関する問題を考える上では、どの植物プランクトン種が優占するのかが問題となるが、一般的には水温、栄養塩濃度、日射量、動物プランクトン等による捕食圧等の項目について検討がなされ、汽水湖の場合には塩分濃度も重要なパラメーターとなる。これらのパラメーターについては多くの研究事例があり、例えば Lynch and Shapiro (1981)²⁾ は Pleasant Pond で行った長期にわたる隔離水塊実験により、栄養塩や捕食圧等が植物プランクトンの群集構造に及ぼす影響について考察している。また、Cuker *et al.* (1990)³⁾ や Threlkeld and Soeballe (1988)⁴⁾ は濁度が植物プランクトン群集構造に与える影響についても言及している。

中でも特に重要と考えられるものは栄養塩の影響であるが、活発な一次生産(光合成)が期待される表層中に含まれる栄養塩だけでは、個体群の維持が困難と思われる事例も見受けられる。その一例として、中栄養から貧栄養のダム湖における優占が多く見られる⁵⁾ *Peridinium bipes* を挙げることができる。池田ら (1997)⁶⁾ は *P. bipes* の増殖に対する水温、光強度、栄養塩濃度等の影響について比

* 九州大学大学院工学研究院環境都市部門 (Dept. of Environmental and Urban Eng., Graduate School of Eng., Kyushu Univ.)

** 西日本技術開発 (West Japan Engineering Consultants)

*** 九州大学大学院工学研究科海洋システム工学専攻 (Dept. of Maritime Systems, Graduate School of Eng., Kyushu Univ.)

増殖速度、半飽和定数の観点から整理し、*P. bipes*は同属種や*Microcystis aeruginosa*に比べて低栄養で増殖できるものの、珪藻類・藍藻類・緑藻類と比べると必ずしも有利とは言えないと結論している。また、西堀ら(1991)⁷⁾も*P. bipes*の窒素要求に関する増殖生理特性のみから現場における赤潮発生過程を説明する事は困難としている。

それにも拘らず本種が優占できる理由として、ダム湖特有の流動特性が挙げられる。つまりダム湖では、下流側から上流側に吹く風に伴う流れ(吹送流)や、湖内表層水より低い水温の河川水が中層へと潜り込む作用により、表層水が潜入点(plunging point)において下層へ連行されるため形成される上流方向への補償流等が存在する。これらの作用により、自身の持つ走光性により日中表層へと集積している*P. bipes*はダム湖上流端に集積するとともに、潜入点において栄養塩を含んだ河川水と混合され増殖に必要な栄養塩を摂取する事ができる⁸⁾。しかし中層に潜り込んだ*P. bipes*は走光性を持つために、再度表層へと移動し光合成を行う事が可能となる⁹⁾。このように、ダム湖上流端において一種の連続培養系が形成されていることが、移動性を有しない他の藻類と比較して*P. bipes*が栄養塩摂取及び光合成において優位な条件を有することになり、その水域における優占につながっていると考えられている^{10), 11)}。

以上が*P. bipes*が優占する水域での栄養塩摂取、光合成を行う機構であり、走光性による*P. bipes*の移動が増殖に重要な役割を果たしていると考えられている。これに対してKishimotoら(1999)¹²⁾は*P. bipes*の表層への移動について、走光性ではなく「走地性」によるものとの見解を示し、*P. bipes*の移動について一石を投じている。この様に*P. bipes*の移動に関する研究は少なくないものの、多くの知見は上層へと向かう移動についてのものであり、下降に関する知見は少ないようである。

一方、プランクトンの移動が水域の物質循環に果たす役割の代表的なものとして、マリンスノーにより海洋表層の炭素、栄養塩等が深層へと輸送される「生物ポンプ」が挙げられるだろう。生物ポンプによる物質循環については、すでにその定量化が試みられており多くの成果があげられている(例えば山中, 1999¹³⁾など)。しかしこれらの知見はプランクトンの死滅に伴う沈降といった受動的な移動に関するものであり、活性のあるプランクトンの能動的な移動が水域の物質循環に果たす役割についてはあまり考察されていない。

以上を研究背景とし、筆者らはダム湖のような流動が見られない小規模な貯水池においても*P. bipes*が優占する事を確認したため、その能動的な鉛直移動を考慮した栄養塩の摂取機構、及びそれに伴う物質循環に関する検討を行ったのでここにその結果を報告する。

2. 現場観測

2.1 貯水池及び観測点

現場観測は福岡県粕屋郡久山町に位置する井牟田池で行った(図-1)。井牟田池は北東部の小川の流入口以外はほぼ100m×100mの正方形の形状をとる、最大水深が約5mの貯水池である。岸から10m程度離れた地点で水深は4mを超えるため、池の鉛直断面は台形に近い形状となる。このため水質項目に関しては、水平方向の変化はほとんど見られない。そこで、観測は池の最大水深を取る点(Stn. O

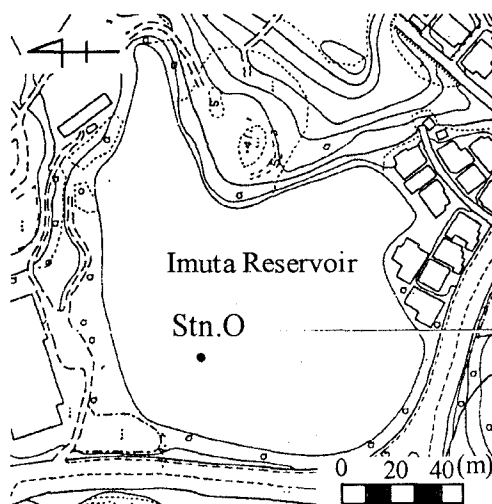


図-1 観測地点概略図

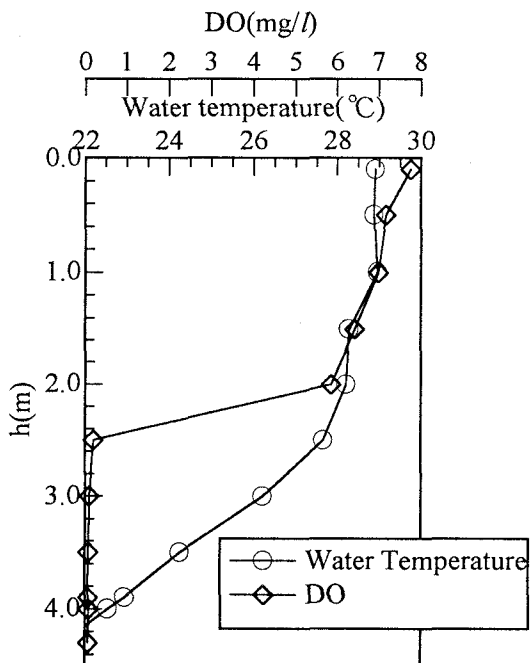


図-2(a) 水温、DO濃度の鉛直分布

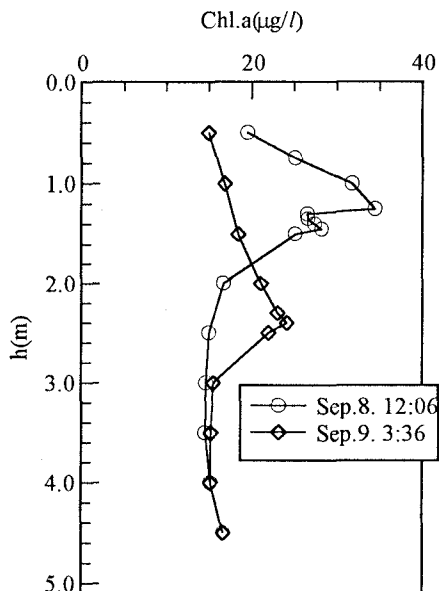


図-2(b) Chl. a濃度の鉛直分布

表-1 確認された主な植物プランクトン
(単位は *A. macrospora* のみ N/ml、他は cells/ml)

Species name	Surface layer							
	1999/9/9 6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	0:00	3:00
<i>Peridinium bipes</i>	58	180	422	48	70	76	62	38
<i>Anabaena macrospora.</i>	1112	1244	1186	1708	1208	1248	1150	1332
<i>Microcystis aeruginosa</i>	720	3120	1200	2640	480	1200	720	360
<i>Pediastrum spp.</i>	352	153	128	279	810	288	216	342
<i>Closterium gracil</i>	12	6	0	4	24	22	6	16
<i>Synedra acus</i>	1	2	2	1	2	2	4	2

Species name	Middle layer							
	1999/9/9 6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	0:00	3:00
<i>Peridinium bipes</i>	340	68	70	32	254	418	654	748
<i>Anabaena macrospora.</i>	394	382	528	420	372	332	372	324
<i>Microcystis aeruginosa</i>	1680	720	2400	80	960	1680	1200	480
<i>Pediastrum spp.</i>	135	153	414	310	720	216	243	306
<i>Closterium gracil</i>	6	6	16	12	32	30	12	16
<i>Synedra acus</i>	18	10	2		10	14	6	10

Species name	Bottom layer							
	1999/9/9 6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	0:00	3:00
<i>Peridinium bipes</i>	18	12	1	12	4	2	2	4
<i>Anabaena macrospora.</i>	10	18	7	18	12	4	10	0
<i>Microcystis aeruginosa</i>	360	240	100	50	20	60	0	0
<i>Pediastrum spp.</i>	612	675	414	243	234	324	198	225
<i>Closterium gracil</i>	10	9	13	18	24	30	18	18
<i>Synedra acus</i>	8	12	3	12	10	4	2	4

とする)において、鉛直方向の分布に関して行うこととした。

2. 2 予備調査

本調査に先立ち、予備調査としてStn. 0における水質項目の鉛直分布の観測を行った。測定は多項目水質計 (HydroLab, DS4) を用いて行った。観測結果の一例として図-2に1999年8月19日10時における水温、溶存酸素(DO)濃度、及び1999年9月8日12時、同9日3時におけるChl. a濃度の鉛直分布を示す。水温は水深の増加に伴いほぼ一定の割合で減少しており、明確な水温躍層の位置は確認されないものの、DO濃度の分布からは水深2.3m付近にはっきりとした躍層が存在する事が確認できる。これを反映して、昼間(12時6分)のChl. a濃度のピークの位置は水表面から約1mであるのに対し、夜間(3時36分)には約2.4mの位置にあることがわかる。この昼間と夜間のChl. a濃度の分布の違いは植物プランクトンの移動によるものと考え、以下の本調査を行った。

2. 3 本調査

2. 3. 1 測定方法

上記の予備調査の結果から、観測点はStn. 0における水表面から1.0m(表層)、2.4m(中層)、3.5m(底層)の3点で行うこととした。採水はウォーターサンプラー(ISCO社製、3700型、6700型)を用いて、1999年9月9日午前6時から同10日午前3時まで3時間毎に行った。観測期間中の天候は非常に穏やかで降雨も無かったことから、大きな河川水の流入や風による顕著な混合は無く水温成層は維持されていたものと考えられる。サンプルは10日午前中に実験室へ持ち帰り、Chl. a濃度及び栄養塩濃度の測定を行った。また、植物プランクトンの種類別の個体数カウントも行った。

2. 3. 2 植物プランクトンに関する測定結果

植物プランクトンの種類別の個体数カウントの結果、藍藻の*Anabena macrospora*、*Microcystis*

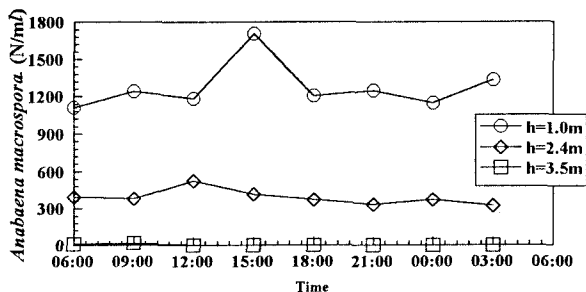


図-3(a) *A. macrospora* 群体数の経時変化

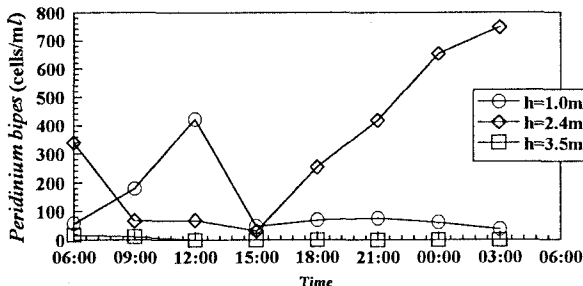


図-3(b) *P. bipes* 個体数の経時変化

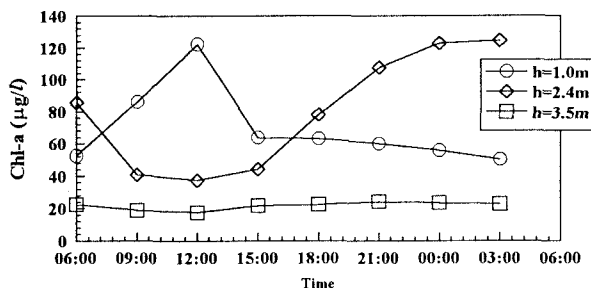


図-4 Chl. a 濃度の経時変化

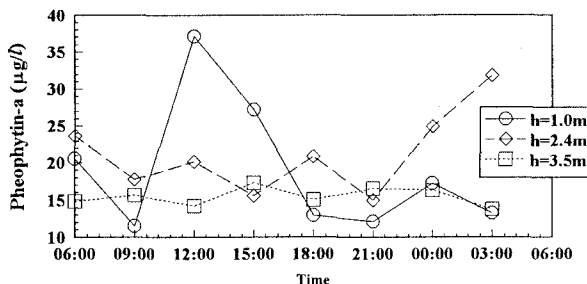


図-5 フェオフィチン濃度の経時変化

aeruginosa、渦鞭毛藻の *Peridinium bipes*、緑藻の *Closterium gracil*、*Pediastrum simplex*、珪藻の *Synedra acus* 等の出現が確認された(表-1)。個体(群)数及び個体(群)の大きさを考慮すると、この時優占していたのは *A. macrospora*、*P. bipes* の2種であったと考えられる。図-3に *A. macrospora*、*P. bipes* の各層毎の個体数の経時変化を示す。*A. macrospora* に関しては、表層は1110~1710N/ml、中層は324~528N/ml、底層は1~18N/mlとなっており、細胞は表層に継続的に集積し、顕著な鉛直運動は確認されなかった。これに対し *P. bipes* については表層の細胞数は38~422cells/ml、中層は324~748cells/ml、底層は1~18cells/mlであり、表層及び中層で細胞数が比較的多く、変動も大きくなっている。なかでも表層では12時に、中層では3時に最大値を取っており、このことから日中における表層への細胞の集積、夜間における中層への沈降が示唆される。

図-4に各層毎のChl. a濃度の経時変化を示す。表層では6時以降濃度が上昇、12時付近で濃度が最高となった後減少し、15時から翌3時まではほとんど変化が見られない。これに対して中層では6時から濃度が減少し、12時付近で濃度は最低となる。その後15時から濃度は増加し始め、3時付近で最大値を取る。なお、底層では時間的な濃度変化はほとんど見られず、低い値を保っていた。これらから、植物プランクトンは水深1.0m付近の表層から2.4m付近の水溫躍層下部の間で日周移動を行っているものと考えられる。

図-5に各層毎のフェオフィチン濃度の経時変化を示す。定性的な傾向はChl. a濃度と同様であるが、中層のフェオフィチン濃度の増加はChl. a濃度よりも約6時間遅れて始まっている。フェオフィチンの挙動は死滅した藻類の挙動を表すもの¹⁴⁾と考えると、活性のある植物プランクトンと活性の無い植物プランクトンでは沈降速度が異なっていることが示唆される。この点については3.1で考

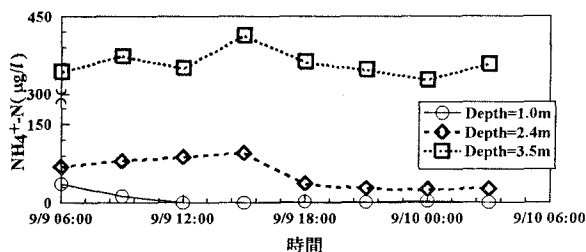


図-6(a) $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の経時変化

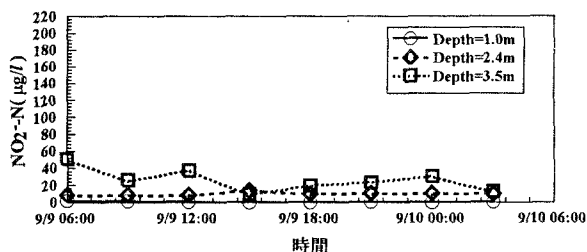


図-6(b) $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の経時変化

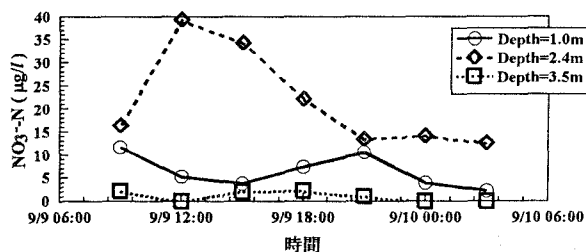


図-6(c) $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経時変化

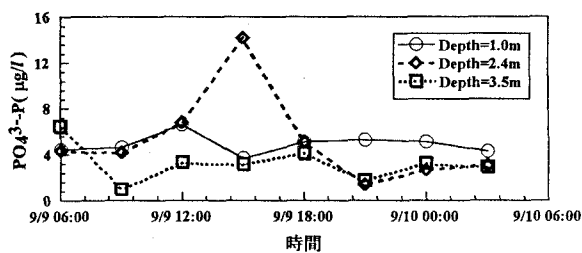


図-6(d) $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度の経時変化

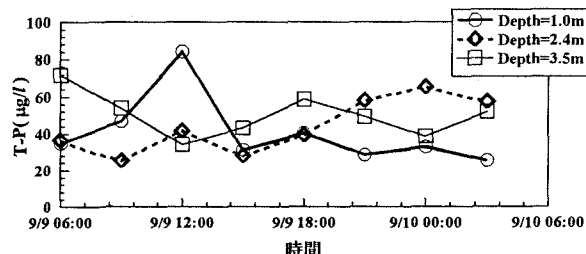


図-6(e) T-P濃度の経時変化

察する。

2. 3. 3 栄養塩の測定結果

図-6に各層毎の栄養塩濃度の経時変化を示す。

まず底層では $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が高濃度で推移しており、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 濃度も10~50 $\mu\text{g/l}$ 程度の値を示しているのに対して、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ はほとんど存在しておらず、還元的な様子が窺える。これに対し、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度やT-P濃度は他の層と同程度の値で推移している。

表層においては、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は0~37 $\mu\text{g/l}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 濃度は0~2 $\mu\text{g/l}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度は2~12 $\mu\text{g/l}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度は4~7 $\mu\text{g/l}$ といずれも比較的低濃度で推移していたのに対し、Chl. a濃度は120 $\mu\text{g/l}$ を上回る場合があった(図-4、図-6)。道奥(1998)¹⁵⁾はN濃度<150 $\mu\text{g/l}$ 、P濃度<20 $\mu\text{g/l}$ 、Chl. a濃度

<3 $\mu\text{g/l}$ を貧栄養湖、N濃度>150 $\mu\text{g/l}$ 、P濃度>20 $\mu\text{g/l}$ 、Chl. a濃度>5 $\mu\text{g/l}$ を富栄養湖と分類しており、これによると観測期間中の井牟田池表層は栄養塩濃度からみると貧栄養、Chl. a濃度からみると富栄養であったといえる。したがって観測期間中は、図-4に見られる高いChl. a濃度を示す植物プランクトン個体群を表層に含まれる栄養塩だけで維持することは困難であったと考えられる。

中層において特徴的であるのは、15時から21時にかけての $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度の減少と、15時から0時にかけてのT-P濃度の増加である。この時間帯は表層のChl. a濃度は減少し、中層におけるChl. a濃度が増加していることから、植物プランクトンが表層から中層へと沈降し、中層において栄養塩を摂取している可能性が考えられる。この点については3. 2で考察を行う。

3. 考察

3. 1 *Peridinium bipes*の鉛直移動

表層及び中層におけるChl. a濃度と*P. bipes*個体数との相関を図-7に示す。これらの間には明瞭な正の相関が見られる。また、観測期間中、植物プランクトンとして*A. macrospora*、*M. aeruginosa*、*P. bipes*が主として確認されたが、*A. macrospora*の各層における群体数は時間的にほとんど変化していない点、*M. aeruginosa*が栄養塩総量に占める割合は明らかに*P. bipes*に比べて小さい点などを考慮して、以下の考察では表層及び中層におけるChl. a濃度の増減は*P. bipes*の鉛直方向の移動によるところが大きいと考え議論を進める。

さて、図-4を見ると表層のChl. a濃度の減少速度が最も大きくなるのは12時から15時までの間であり、一方中層のChl. a濃度の増加は時間的な幅があるものの増加速度が大きいのは15時から21時の間である。そこで活性の高い*P. bipes*は表層から中層まで(距離1.4m)4.5時間で沈降したと仮定すると、その沈降速度は0.31m/hourと見積もられる。一方、図-5を見ると表層におけるフェオフィチン濃度の減少は12時から18時の間で生じ、中層のフェオフィチン濃度の増加は21時から3時の間に見られるので、表層から中層まで9時間で沈降したと仮定すると、活性の無い*P. bipes*の沈降速度は0.16m/hourと見積もられる。ここで*P. bipes*の形状は直径44 μm の球形¹⁾、密度は1.04g/cm³と仮定しStokesの沈降速度公式を用いると、その等速沈降速度は0.18m/hourとなる。このため活性の無い(低い)*P. bipes*の沈降速度は、ほぼStokesの沈降速度公式に従うものと考えられる。これに対して活性の高い*P. bipes*は、何らかの機構により沈降速度を高めている可能性がある。

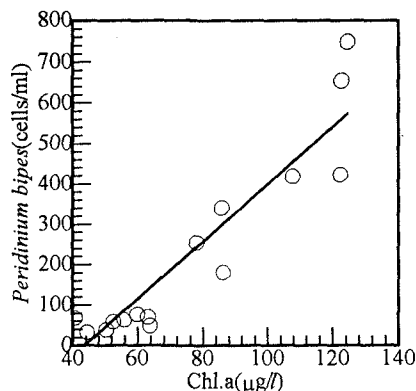


図-7 Chl. a濃度と*P. bipes*個体数との相関

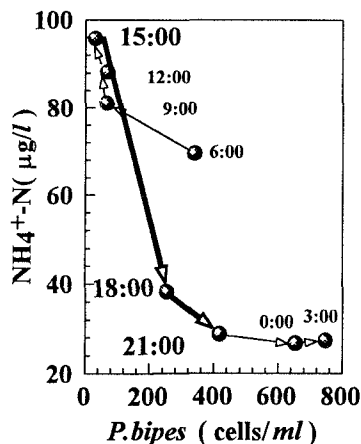


図-8(a) *P. bipes* 個体数と $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度との関係

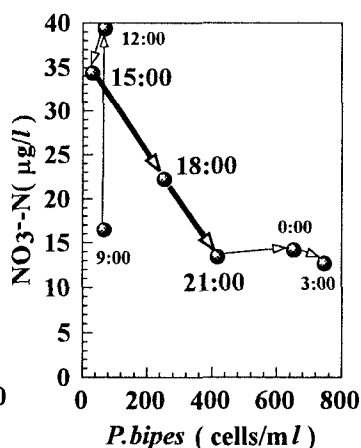


図-8(b) *P. bipes* 個体数と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度との関係

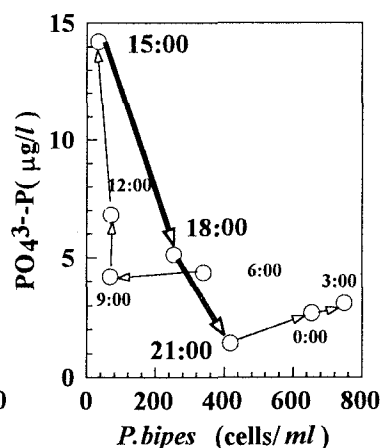


図-8(c) *P. bipes* 個体数と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度との関係

3.2 *Peridinium bipes* の栄養塩摂取

図-8に中層における *P. bipes* 細胞数と栄養塩濃度との関係を示す。この図からは6時から9時の間の *P. bipes* の上昇に伴う中層における細胞数の減少、その後の栄養塩濃度の増加、さらに15時から21時にかけての *P. bipes* 細胞数の増加（沈降）に伴う栄養塩濃度の減少、その後の *P. bipes* 細胞数の増加にも拘わらずほぼ一定の栄養塩濃度といった推移が見取れる。21時から3時にかけて *P. bipes* 細胞数が増加するにも拘わらず栄養塩濃度が変化しないのは、特に $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度が低くこれ以上摂取できなかったためと考えられる。以下では特に15時から21時までの *P. bipes* 細胞数の増加に伴う栄養塩濃度の減少過程について考察を行う。

この間の栄養塩濃度の減少は *P. bipes* の摂取によるものであり、存在する全ての *P. bipes* が平均的に栄養塩を摂取すると仮定すると、15時から18時の間の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の摂取量はそれぞれ $0.403 \times 10^{-3} \mu\text{gN/cell}$ 、 $0.085 \times 10^{-3} \mu\text{gN/cell}$ 、 $0.063 \times 10^{-3} \mu\text{gP/cell}$ となる。これに対して18時から21時までの $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の摂取量はそれぞれ $0.028 \times 10^{-3} \mu\text{gN/cell}$ 、 $0.026 \times 10^{-3} \mu\text{gN/cell}$ 、 $0.011 \times 10^{-3} \mu\text{gP/cell}$ となった。

第一に、15時から18時における栄養塩摂取速度は、18時から21時のそれに比べて明らかに大きな値をとっていることがわかる。この原因の一つとしては、時間の経過と共に周囲の栄養塩濃度が減少することが挙げられるであろう。

次に、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の摂取速度についてみてみよう。15時から18時にかけては $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の摂取に比べ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の摂取量が多いことがわかる。これは窒素源として取りこむ場合には、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ よりも $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の方が有利であることを考えれば解し易い結果であるといえる。しかし、18時から21時にかけては $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の摂取速度はほぼ等しくなる。この原因については不明であるが、1つの仮説として次のような解釈を挙げる。18時から21時にかけては中層における $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ はほぼ枯渇しており、*P. bipes* による $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の摂取は無いか極端に少なかったと考えられる。このため $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の摂取に用いられる ATP は減少したため、その分の ATP が $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の摂取に利用可能となった、とするものである。この点については、より詳細な観測・解析が必要である。

さらに、摂取された栄養塩量の N/P 比について考察する。15時から18時の間の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の摂取量と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の摂取量の比はモル換算で約 17:1 となりレッドフィールド比に近い値となっている。

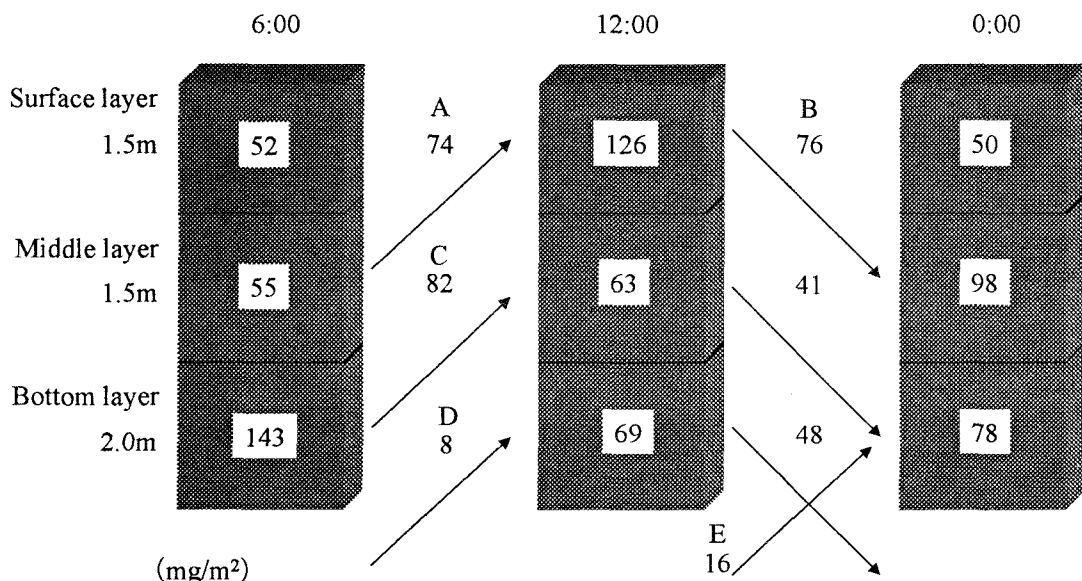


図-9 BOXモデルによるT-P收支概念図

しかし、18時から21時までの同比は11:1となり、やや窒素制限がかかった状態となっているものと思われる。上述の様に、時間の経過と共に栄養塩摂取速度が減少することも考慮すると、これらの結果は、「早く栄養塩の豊富な中層へ沈降した方が栄養塩摂取に関して有利」となることを示しており、3.1でその可能性について述べた能動的な沈降があれば、栄養塩摂取に関する他者との競合において有利となることが示唆される。

このようにダム湖のような流動が無い状態でも、*P. bipes*はより栄養塩濃度の高い中層へと自ら沈降する事によって栄養塩を摂取する事が可能であり、さらに日中表層へと移動する事でより有利な条件で光合成を行うことが可能となる。ダーリー (1987)¹⁰⁾によると、植物プランクトンは日中の方が窒素、リンの取り込み速度が大きいとされている。しかし、本対象水域のように光環境と栄養塩環境とが必ずしも一致しない場合には、主に夜間に活発な栄養塩摂取が行われる事も十分にありえる。また、山本ら (1997)¹¹⁾は植物プランクトンの増殖は水中の栄養塩濃度よりも、細胞内の栄養物質質量に依存するとしている。*P. bipes*の場合にも同様の機構は存在すると考えられるが、本対象水域のように植物プランクトンの個体群と比較して水中の栄養塩含有量が少ない場合には、個体の増殖速度は水中からの栄養塩供給量に依存するものと考えられる。

3.3 *Peridinium bipes*の鉛直移動に伴う物質循環

次に表層及び中層の厚さを各1.5m、底層厚さを2.0mと仮定し、BOXモデルを用いて*P. bipes*の鉛直移動に伴う物質循環量を見積もってみる。図-9に早朝(6時)、日中(12時)、夜間(0時)の表層、中層及び底層におけるT-P含有量の変動、及びそれから見積もられるT-P移動量を模式的に示す。図中、各層に含まれるT-P量(BOX内の白抜き部分の数字)は水質分析により求められたT-P濃度と各層厚との積、T-P輸送量(矢印に隣接した数字)は各層に含まれるT-P量の収支から計算した。表層T-P濃度の変化は*P. bipes*の移動によるものと仮定すると、6時から12時における*P. bipes*の移動によるT-P輸送量は74mgP/m²となる(図中A)。前述の*P. bipes*によるPO₄³⁻-P摂取量を考慮すると、この内17mgP/m²は前日夜間に摂取したPO₄³⁻-P由来のものと考えられる。また、12時から0時における*P.*

*bipes*の沈降に伴うT-P輸送量は $76\text{mgP}/\text{m}^2$ と見積もられる(図中B)。この量は6時から12時にかけて中層から表層へと移動した量($74\text{mgP}/\text{m}^2$)とほぼ等しく、観測期間中は概ね定常的な栄養塩循環が行われていたものと推察される。

一方、6時から12時までの底層から中層へのT-P移動量は $82\text{mgP}/\text{m}^2$ となり(図中C)、これは底層からの拡散による可能性が挙げられる。また、各時間帯における底泥から底層へのT-P溶出量はそれぞれ $8\text{mgP}/\text{m}^2$ (図中D)、 $16\text{mgP}/\text{m}^2$ (図中E)($32\text{mgP}/\text{m}^2/\text{day}$)と見積もられた。別途行った未攪乱堆積物コアを用いた栄養塩溶出実験からは、嫌気条件下での $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 溶出速度は $8.0\text{mgP}/\text{m}^2/\text{day}$ という結果が得られている。この差異は、溶出実験においては無機溶存態の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ のみを対象としていたのに対し、今回対象としたような底層に高濃度に懸濁物が見られるような水域では、底層水中の懸濁態及び有機態の挙動も重要な役割を果たすため生じたものと考えられる。一部の藻類は溶存性有機態リンの利用が可能との報告もあるため¹⁰⁾、今後は有機態リンに関する同様の見積もりが課題となる。

以上のように、*P. bipes*の鉛直移動に伴うリンの輸送は、拡散や溶出など他の栄養塩循環機構と同オーダーの影響を持っており、顕著な流動が見られない成層の発達した貯水池においては*P. bipes*の鉛直移動が栄養塩の鉛直循環に大きく関与している事が示された。

4. 結論

成層化した貯水池において、*P. bipes*の日周的な鉛直移動の様子、それに伴う栄養塩濃度の変動に関する観測を行った。その結果、上層における栄養塩濃度が低くダム湖のような流動が無い場においても、*P. bipes*は躍層付近まで沈降して中層に含まれる栄養塩を摂取することにより増殖が可能となることがわかった。しかし中層に十分な栄養塩が含まれない場合には、より早く沈降してきた個体の方が栄養塩の摂取に関しては有利であることから、*P. bipes*が能動的に沈降する可能性が沈降速度の見積もりから示唆された。さらに*P. bipes*による栄養塩摂取量及び*P. bipes*の鉛直移動量を見積もった結果、顕著な流動が見られない成層の発達した貯水池においては*P. bipes*の鉛直移動が栄養塩の鉛直循環に大きく関与している事がわかった。

参考文献

- 1) 村上和仁・吉岡敏行・荻野泰夫・森忠繁(1998): 児島湖流域に発生した淡水赤潮、用水と廃水、Vol. 40, pp. 1053-1059.
- 2) Lynch, M., J. Shapiro (1981): Predation, enrichment, and phytoplankton community structure, Limnol. Oceanogr., Vol. 26, pp. 86-102.
- 3) Cuker, B. E., P. T. Gama, J. M. Burkholder (1990): Type of suspended clay influences lake productivity and phytoplankton community response to phosphorus loading, Limnol. Oceanogr., Vol. 35, pp. 830-839.
- 4) Threlkeld, S. T., D. M. Soeballe (1988): Effects of mineral turbidity on freshwater plankton communities: Three exploratory tank experiments of factorial design, Hydrobiol., Vol. 159, pp. 223-236.
- 5) 今村賢太郎(1995): 環境微生物図鑑(小島貞男・須藤隆一・千原光雄編), pp. 353-355.
- 6) 池田知司、大西庸介・旗持和洋・石田祐三郎・河合章(1997): 貯水池において淡水赤潮を形成する渦鞭毛藻類*Peridinium bipes* f. *occultatum*の生理的特徴について、陸水学雑誌, Vol. 58, pp. 395-403.
- 7) 西堀尚良・西島敏隆・小野田義輝・畑幸彦(1991): 淡水赤潮プランクトン*Peridinium bipes* f. *occultatum*の増殖に及ぼす照度、温度、pHおよび窒素栄養塩の影響、日本水産学会誌, Vol. 57, pp. 1729-

1735.

- 8) 山田正人・宗宮功・小野芳郎・小林尚礼 (1995) : ダム貯水池における *Peridinium* 淡水赤潮の集積機構の評価、水環境学会誌、Vol. 18、pp. 775-783.
- 9) 天野邦彦 (2000) : 貯水池における赤潮集積機構に関する研究、土木技術資料、Vol. 42、p. 8.
- 10) 香川尚徳・井芹寧・伊藤猛夫 (1984) : *Peridinium* 赤潮が発生するダム湖上流端の環境、水質汚濁研究、Vol. 7、pp. 375-383.
- 11) 井芹寧・川端善一郎・藤本健二・伊藤通陽 (1996) : 紫外線照射によるプランクトンコントロール、用水と廃水、Vol. 38、pp. 305-311.
- 12) Kishimoto, N., Y. Ohnishi, I. Somiya, M. Ohnishi (1999) : Geotaxis in the Freshwater Dinoflagellate *Peridinium bipes* f. *occultatum*, Jpn. J. Limnol., Vol. 60, pp. 299-317.
- 13) 山中康裕 (1999) : 海洋の生物地球化学物質循環モデルの開発、海の研究、Vol. 8、pp. 25-35.
- 14) 橋治国・那須義和 (1994) : クロロフィル、水の分析 (日本分析化学会北海道支部編)、第4版、p. 276.
- 15) 道奥康治 (1998) : 湖沼や貯水池の水環境、水圏の環境 (有田正光編著)、P. 257.
- 16) W. M. ダーリー (1987) : 藻類の生理生態学、基礎微生物学9、pp. 37-56.
- 17) 山本民次・中野淳也・松田治・小田新一郎・橋本俊也 (1997) : 植物プランクトン細胞内リン含量の変動に関する実験的・理論的解析、海の研究、Vol. 6、pp. 1-9.
- 18) 久納誠・丹羽薫 (1998) : 糸状藻類の採取量における水温および溶解性オルトリン酸態リン濃度依存性、水環境学会誌、Vol. 21、pp. 104-111.