

淡水池の落葉分解期における微小動物群集の動態*

草野 晴 美**・渡 辺 泰 徳**

Dynamics of a microphagotroph community in a small freshwater pond

Harumi KUSANO** and Yasunori WATANABE**

Abstract: A microphagotroph community was studied in the course of leaf-litter decomposition in a small pond. The mechanism of community dynamics was studied by (1) analyzing a changing pattern of taxa composition and controlling factors with multivariate analysis, and (2) comparing populatin dynamics and food habits between dominant taxa. The important factors affecting the change of taxa composition were water temperature, amount of detritus on leaf-litter surface, and densities of bacteria and small flagellates. However, dry weight loss of leaf litter did not affect the taxa composition. Thus, the leaf litter influenced the the dynamics of microphagotroph community through its decomposers; i. e., litter-feeding macrobenthos producing detritus on litter surface and bacteria as food resources of microphagotrophs. In addition, predation and interspecific competition between microphagotrophs also affected the dominant-taxa replacement, when the environmental conditions described above were relatively stable.

Seasonal and short-term successions of various inland-water communities are discussed, and perspectives in community ecology of microphagotrophs is suggested.

1. はじめに

微小動物とは、原生動物と輪虫、線虫、腹毛類などの微小後生動物を含む微小食餌栄養動物 (microphagotrophs) を示す。これらは、河川、湖沼など様々な陸水に広く分布し、一般に増殖速度が高く、不安定な動態を示す場合が多い。それ故に食物連鎖においては、微小動物の現存量から推測される以上の役割を果すと考えられている (FENCHEL, 1967)。また、代謝回転率が高いため、栄養塩の回帰に重要な役割を果すという報告もある (JOHANNES, 1964, 1965, BARSDATE & PRENTKI, 1974)。微小動物の体サイズはおよそ 1 mm 以下であり、その食物は主として、細菌、微小藻類、あるいは他の微小動物である。特に細菌食者は、細菌の密度を抑えるこ

とによって細菌の活性を高め、有機物の分解を促進すると言われている (WATANABE, 1975, FENCHEL & HARRISON, 1976)。また、原生動物、後生動物を問わず、食物をめぐる種間競争 (MÜLLER & LEE, 1977) や捕食関係 (TAYLOR, 1980, SANDON, 1932) があるので、群集の遷移機構や変動要因の野外研究では、特定の分類群だけでなく、微小動物全体を調査する必要がある。

微小動物群集に関する生態学的研究は、これまでも多くなされてきたが、その目的や考え方は様々に異なっている。本報では、淡水池の落葉分解期における微小動物群集の遷移機構と変動要因について紹介し、特に微小動物のもつ生理的特性と関連させて、微小動物の群集生態学の問題点を議論したい。

2. 遷移機構の研究手法

研究の方法は、室内実験と野外観察に大別できる。前者は、主に捕食や種間競争などの種間関係によって起こる優占種の交代や微小遷移のしくみ、特定の環境要因

* 1985年1月22日受理 Received January 22, 1985

** 都立大学理学部生物学教室

〒158 東京都世田谷区深沢 2-1-1

Department of Biology, Tokyo Metropolitan Univ.,

Fukazawa 2-1-1, Setagaya-ku, Tokyo 158

の効果を解明するために行なわれている。その内容は、種構成や環境要因が厳密に制御された培養系（多くの例がある）から、野外のサンプルをそのまま用いたマイクロコスム (BICK & MÜLLER, 1973, BICK & SCHMERENBECK, 1971) まで様々であるが、一般に種組成や環境要因が制限される上、空間的に均一な系に単純化されることが多い。一方、自然条件下での微小動物の動態や環境要因の変化を詳しく調べる野外研究は、具体的な個々の生息場所で、実際どの要因によってどのように群集が変化するかを推定する目的で行なわれる。微小動物の野外観察には、採集と検鏡が必要であるが、地形の複雑な池沼や河川の付着層などでは、採集の方法も多種考案され、比較検討されている (BAMFORTH, 1982, PAUL *et al.*, 1977)。特に付着層や落葉層では、多種の生物が混在し、多数の環境要因が同時に働くので、解析が困難であるが、室内条件とのギャップを補う野外研究が必要である。

本研究においては、池底の落葉分解に伴って見られる微小動物群集の経時的な変化を観察するために、均一にそろえた落葉を入れたプラスチック容器を池底に設置した。自然の落葉層は、樹種、分解程度などの条件が不均一であり、一地点で同時に採集した落葉上の微小動物の分類群構成が異なる場合があるからである。この方法は細菌や糸状菌などの微生物の研究でよく使われるリターバックと微小動物の採集容器を兼ねたものである。野外研究では、このような人為的な操作が解析をしやすくすると考えられる。また野外研究でのもう一つの策である統計学、特に多変量解析 (USHER *et al.*, 1979) を応用した。

3. 落葉の分解と微小動物群集の変化

(1) 季節遷移

本研究は、自然教育園 (東京都港区) 内の淡水池「水鳥の沼」(900 m², 最大水深 80 cm) で行なった。周年の季節的遷移の調査で、以下のことが明らかになっている (HATANO & WATANABE, 1981)。微小動物は、夏季、特に8月に分類群数、個体数ともに最低となり、秋から翌初夏にかけて各分類群が次々に個体数のピークをもつ (図 1 および 2)。この池は、樹木で覆われているため毎年秋と晩春に多量の落葉が入り、池底で腐泥化するが、微小動物が多く見られる遷移期間は、秋の落葉が腐泥化する時期と一致する。また落葉層では水中や腐泥 (落葉層下 70~80 cm 堆積) 中よりも多様な分類群構成が見られ、微小動物が落葉の分解からはじまる腐食連鎖

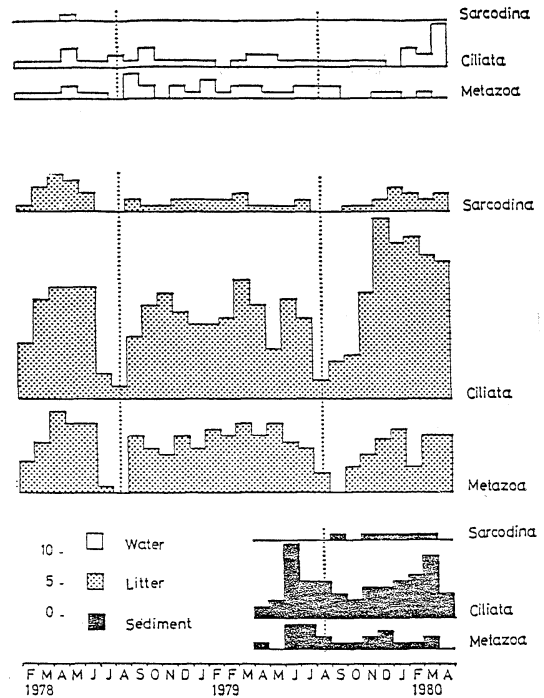


Fig. 1. Seasonal change of the number of taxa in the water, litter and sapropel layers in Mizutori-no-numa Pond, Tokyo.

に依存していることが推測された。落葉の分解は土壌、陸水においてごく一般的に見られる現象であり、微小動物が密接に関与することが指摘されながら、直接分解者ではない彼らの出現と落葉分解の関係については、ほとんど研究されていない。そこで、本研究では晩秋から晩春にかけての落葉分解過程において、落葉上の微小動物の変化を追い、その遷移機構を推定した。

(2) 落葉分解期の群集動態

調査に用いたプラスチック容器を図 3 に示す。落葉樹種の一つであるイイギリ *Idesia polycarpa* の落葉を一定のサイズ (直径 47 mm, 乾重量約 100 mg/disk) にそろえて入れ、池底の落葉層上に固定した。設置は1979年12月25日 (WS シリーズ) と1980年3月25日 (S シリーズ) に行ない、両シリーズとも1980年5月末まで毎週ないしは隔週に採取した。ここでは、特に落葉部に出現した微小動物、すなわち、落葉表面で匍匐または固着するものおよび落葉のごく周辺部 (落葉層間隙水と見なす) に浮遊するものについて述べる。微小動物の変化について以下の二つの方法で解析を行なった。第一に、2シリ

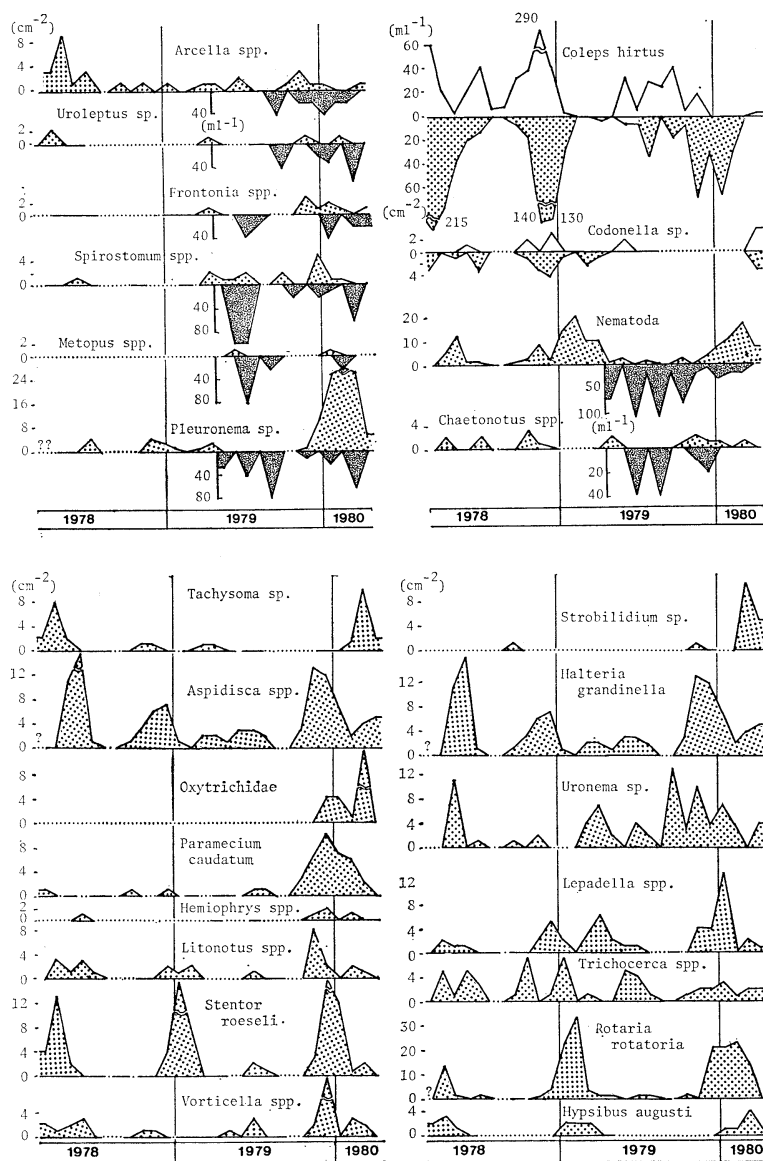


Fig. 2. Seasonal variation of microphagotroph taxa in the water (white area), litter (dotted area) and sapropel (dark area) layers.

ーズ間で分類群構成の変化パターンを主成分分析によって比較し、主成分からその変動要因を推定した。種々な分類群を含む分類群構成は非常に複雑であるため、変化のパターンを把握するためには主成分分析が、また主要因の推定には相関分析が有用である。第二に、種間関係に起因する変化は分類群数の多い野外データから統計的に把握しにくいので、優占分類群の交代や各分類群の動態と食性を比較することにより検討した。

＜落葉部の環境要因＞

水温、落葉乾重量、落葉表面のデトリタス量を図4に示す。落葉乾重量の初期の急激な減少は KAUSHIK & HYNES (1968, 1971) によれば水溶性成分の溶出を示すとみられ、両シリーズとも腐泥化後期の減少との間に停滞期が見られた。落葉表面上に蓄積するデトリタスには、落葉食性のヨコエビ *Jesogammarus* の糞が多く含まれていた。落葉表面積当たりの細菌数、小型鞭毛虫

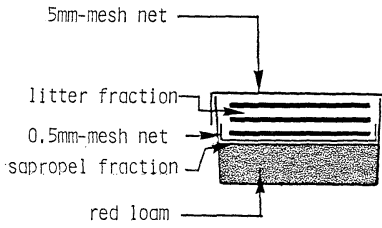


Fig. 3. The experimental vessels used for the community analysis during litter decomposition period.

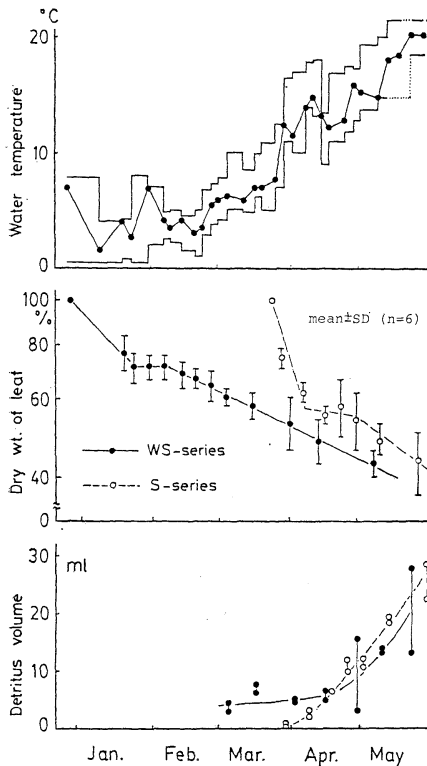


Fig. 4. Changes in environmental variables during the experimental period. Top: water temperature (max., min. and mean). Middle: Dry weight of the leaf litter. Bottom: Detritus volume on the litter surface.

(体サイズ $20\mu\text{m}$ 以下) 数を図 5 に示す。細菌数は 1 回、小型鞭毛虫数は 2 回のピークがあり、後者の場合は両シリーズで異なる時期に見られた。各要因間の相関を表 1 に示す。水温、落葉乾重量、デトリタス量は、いずれも単調変化なため、有意な相関が得られたが、他は統計学

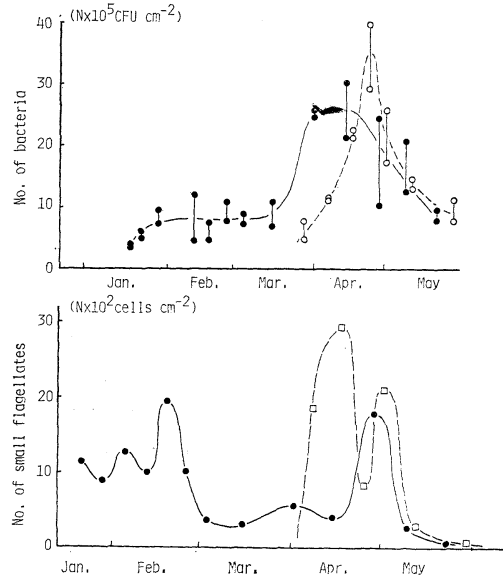


Fig. 5. Dynamics of bacteria and small flagellates ($<20\mu\text{m}$) in the leaf-litter fractions of WS-series (solid line) and S-series (broken line).

上独立な変化のパターンをもつと考えられた。

<微小動物群集の変化>

この調査期間中、落葉部に 75 分類群 (94 種以上) の微小動物が観察された。低密度 (5cm^{-2} 以下) の個体数は計数時の誤差が相対的に大きくなるため、主要出現分類群 (5cm^{-2} , かつ 15 サンプル以上に出現) を対象にして構成の変化を両シリーズで比較し、変動要因を推定した。まず 25 主要分類群をその動態パターンに従い、クラスター分析によって 10 グループにまとめた (図 6)。

Coleps hirtus 等 4 種の繊毛虫はグループ化されず、独特な変化のパターンをもっていたことがわかる。次に、10 グループからなる構成の変化について主成分分析を行った。その結果、第三主成分までで、総分散の 62% (I, 23.66%, II, 20.42%, III, 18.00%) を占めた。第一、二主成分空間での各サンプル (グループ構成)、各グループの成分負荷を図 7 (上) に示す。構成の変化 (図中の数字が時系列を示す) を第一主成分について見ると、両シリーズとも単調増加で、S シリーズは WS シリーズの後半期に相当する。このことから、第一主成分は水温に関連したグループ構成の変化を説明すると予想される。第一主成分は、水温、落葉乾重量、デトリタス量のいずれにも有意な相関をもつが、落葉乾重量は扁相

Table 1. The correlation matrix of the five environmental factors in Mizutori-numa Pond.

	water temperature	detritus volume	dry weight of litter	density of bacteria
detritus volume	0.772*			
dry weight of litter	-0.728*	-0.636*		
density of bacteria	0.385	0.212	-0.344	
density of flagellates (<20μm)	-0.209	-0.383	0.296	0.062

* significant at the 1% level.

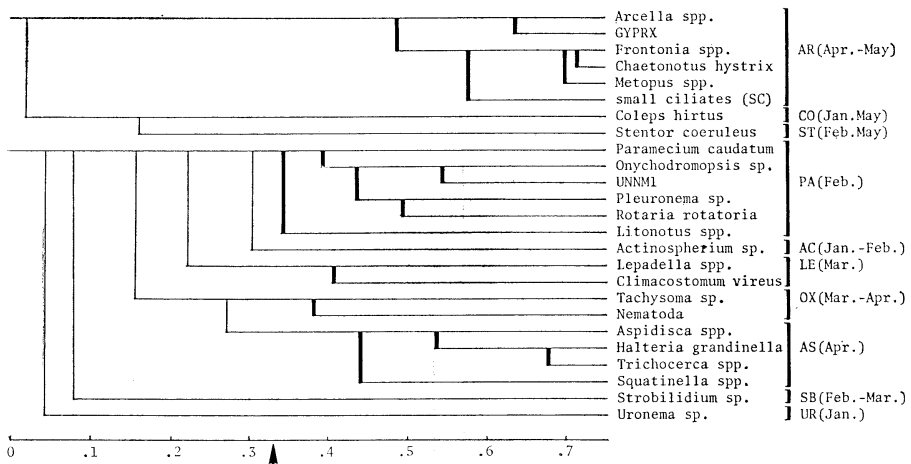


Fig. 6. Cluster analysis for the 25 common taxa in leaf fractions. The thick vertical lines join taxa found to be associated at 5% level. Respective groups of associated taxa are expressed by two capitals with their peak periods in parentheses.

係数が低く ($r_p = -0.191$), 主に水温 ($r = 0.821$, $p < 0.001$, $r_p = 0.500$) とデトリタス量 ($r = 0.807$, $p < 0.001$, $r_p = 0.448$) の効果が重要であると考えられた。FINLAY (1980) は、重回帰分析によって富栄養化した小池底泥の繊毛虫数が、酸化還元電位 (Eh) と密接な関係をもつことを示しているが、本研究では、デトリタスの蓄積が落葉表面の Eh の低下など、微小動物の微小環境条件に影響する可能性があると考えた。図 8 に本調査におけるデトリタス量と微小動物の分類群多様度 (シャノン・ウィーバー指数 H') を示す。 H' は、デトリタスの堆積が落葉表面で厚さ平均 0.3~1.0mm の時に高い値を示し、それ以上多くなると再び低下する。5月の H' の低下は水温 (18~22°C) の影響ではなく、デトリタス蓄積による落葉部の還元化によるものと推測される。同様に第二主成分についてみると、両シリーズとも一山型の変化をしており、そのピークはどちらも4月にあ

る。このことから第二主成分に要因として細菌数 ($r = 0.589$, $p < 0.001$) が考えられた。しかし、単独要因としては決定係数が低く ($r^2 = 0.347$), 他の要因の影響が大きいと推測される。細菌数の第二主成分への回帰は、細菌の増加期で $y = 0.14x - 1.55$, $r = 0.67$ (y : 第二主成分, x : 細菌数 (10^{-5} cm^{-2})), 減少期では $y = 0.14x - 2.34$, $r = 0.70$ と、定数項のみに差が見られ、第二主成分の同じ値に対して減少期の細菌数が高かった。おそらく、統計学上独立として扱った要因間に因果関係が存在し、影響しあっているためであろう。例えば、落葉食性のヨコエビは、落葉上の微生物をも摂食する (KAUSHIK & HYNES, 1971) が、糸状菌を選択的に消化し、細菌はそのまま排泄するという報告がある (BÄRLOCHER & KENDRICK, 1973)。一般に陸水における落葉の分解では、糸状菌の果たす役割は大きい (BÄRLOCHER, 1974) が、ヨコエビの生息は糸状菌を減少させる。従って、そ

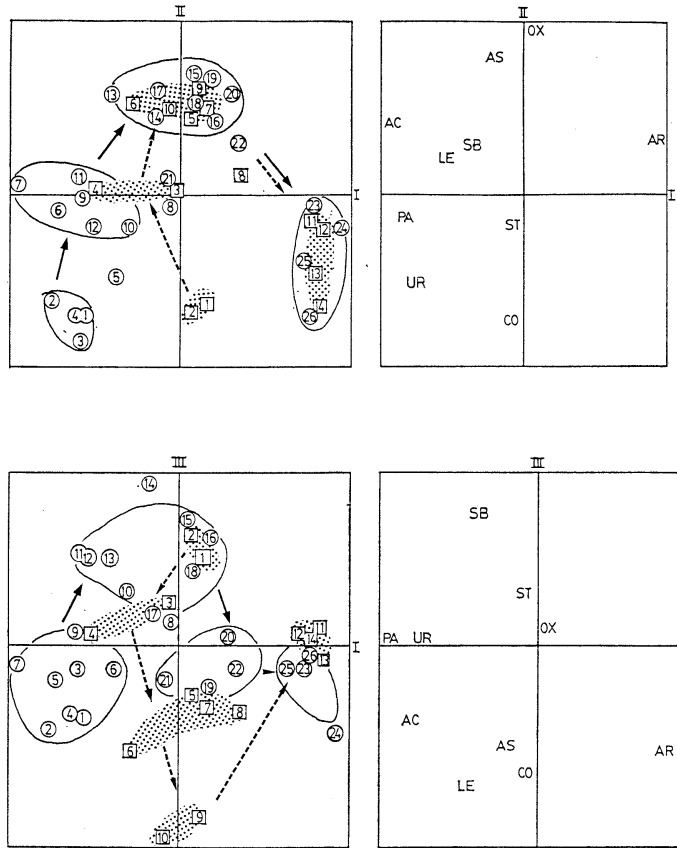


Fig. 7. Plots on the first three axes of principal component analysis of ten taxa groups. The left figures show the relative positions of 40 litter fractions. The numerals in circles and squares indicate the time series in WS-(enclosed in solid line circles) and S-(shade area) series, respectively.

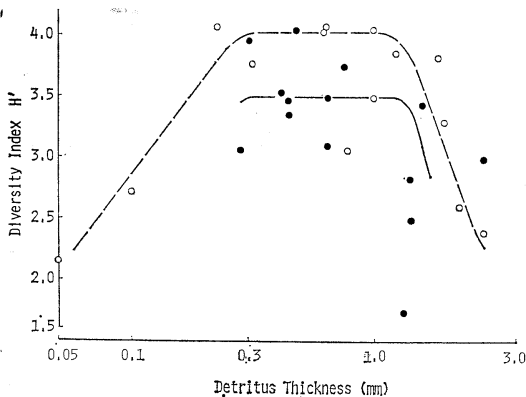


Fig. 8. The correlation between the diversity index $[H']$ and detritus thickness accumulated on leaf litter.

の糞を多く含むデトリタスでは細菌の成長が促進される可能性がある。図7(下)は、第一、三主成分空間にプロットした場合を示す。第三主成分についてみると、4月に、WS、S両シリーズ間で異なる変化が認められた。また、第三主成分は5月を除いて小型鞭毛虫数の増減とほぼ逆の変化をしている。しかし、相関係数は有意ではあるが低く ($r = -0.432$, $p < 0.01$), 第二主成分と同様他要因の影響が大きいと考えられる。

さらに、クラスター分析によるグループ化と各グループの成分負荷から、分類群間やグループ間の実現ニッチの差異の程度を読みとることができる (MIRACLE, 1974)。本研究での実現ニッチとは、環境要因が変化する過程で時間軸上に表わされたものであり、食物網における位置を含まない。また、各グループの成分負荷が、

Table 2. Dominant taxa replacement in WS-series. The dominant and subdominant taxa were defined here about their densities of more than 25 cm⁻² and 10 to 25 cm⁻² leaf surface, respectively.

WS-series date	dominant	subdominant
Jan. 22	Coleps	Uronema
Jan. 29	Coleps	Pleuronema
Feb. 5	Coleps	Pleuronema
Feb. 13	—	Coleps, Pleuronema Nematoda
Feb. 19	—	Coleps, Nematoda
Feb. 26	Strobilidium	Coleps, Pleuronema
Mar. 4	Strobilidium	Nematoda, Rotaria Pleuronema
Mar. 16	Nematoda	Tachysoma, Hypsibus
Apr. 2	Nematoda	Aspidisca
Apr. 15	UNSCX Nematoda	Aspidisca, Coleps
Apr. 29	UNSCX	Nematoda, Coleps
May 10	UNSCX	Coleps, Frontonia
May 23	UNSCX, Coleps	Fronthnia

そのニッチの成分に関する要因の特性を直接示すものではない。特に餌との関係では、次節で述べるように動態に時差が生じるからである。しかし、この方法は、同じ食性タイプが多種重複して出現する場合、主要因と同時に各々の出現パターンを把握できる利点がある。

<微小動物の種間関係>

調査期間中にWSシリーズの落葉部で優占した微小動物を表2に示した。ここでは、優占者を密度 25 cm⁻² 以上のもの、準優占者を 10-25 cm⁻² のものとして記載した。それによると、1~2月には自由遊泳性で小型の繊毛虫とその捕食者（これも自由遊泳性繊毛虫）が優占し、その後4月中旬にかけて匍匐性の繊毛虫や線虫に交代した。このような優占者の交代は、室内の実験やマイクロコスムで報告されるパターン（HAMM, 1964; BICK, 1960）とよく似ている。2月末から4月中旬にかけての期間は、環境要因が比較的一定した時期であり、微小動物の種間関係、すなわち餌をめぐる競争や捕食によって優占者が交代したと推測される。

微小動物には雑食性デトリタス食性の種が多い。このため、個々の分類群の動態を比較することによって捕食や競争の程度を知ることは困難であるが、食性から種間関係が推測できる2~3の例について検討した。小型繊

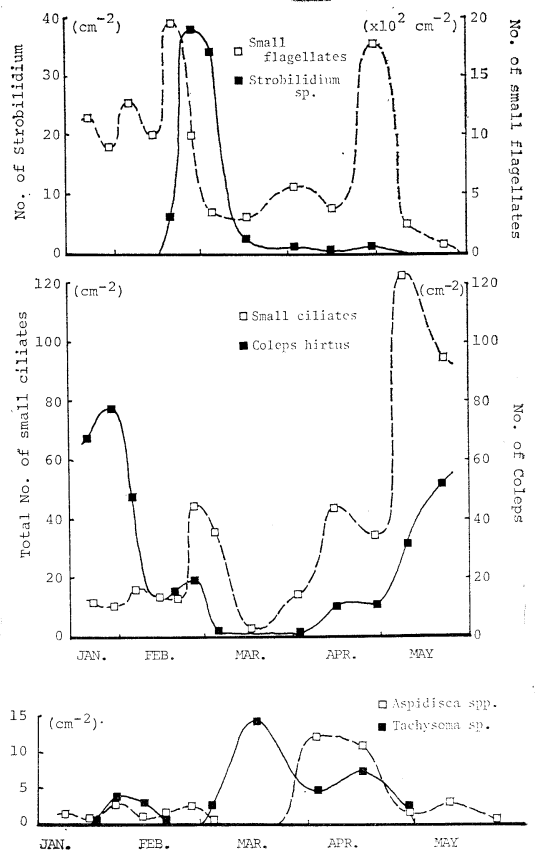


Fig. 9. Dynamics of prey predator interaction (top and middle), and of ecologically close interaction (bottom).

毛虫には、細菌食性と小型鞭毛虫食性のものが見られた。湖沼のプランクトンとしてよく出現する小型繊毛虫 *Strobilidium* sp. と餌の小型鞭毛虫の動態を図9（上）に示す。二者の2月から3月にかけての個体数ピークには約一週間の時差があり、*Strobilidium* が小型鞭毛虫に大きな影響を与えたことが考えられる。但し、4月以降、*Strobilidium* はおそらく食物以外の要因によって増加せず、4月の鞭毛虫数のピークには無反応であった。*Strobilidium* を含む小型繊毛虫全体（体サイズ 30 μm 以下）とその捕食者 *Coleps hirtus* の動態を図9（中）に示す。餌となる小型繊毛虫は、*Uronema*, *Halteria*, *Strobilidium* およびその他 30μm 以下の未同定繊毛虫 (UNSCX) を合計したものである。*Coleps* は雑食性であるが、*Frontonia* や *Stentor* 等の雑食者が藻類や鞭毛虫をより好むのに対して、小型繊毛虫をよく摂食する。小型繊毛虫の捕食者として、他に肉食性の *Litono-*

tus や *Hemiphrys* が2月に出現したが、低密度 (4 cm^{-2} 以下) であった。1月の *Coleps* の個体数ピークは、晩秋の小型繊毛虫数ピーク (図2参考) に続くものと推測される。同じことが5月にも繰り返されている。また、3月初回の小型繊毛虫数の低下は、*Strobilidium* の減少と細菌食性 taxa が匍匐型微小動物に交代したことによると考えられる。このような小型繊毛虫と *Coleps* の動態は、BICK (1958) によってやはり淡水池の藻葉層で報告されている。

図9 (下) は、3月から4月にかけて優占した2 taxa の下毛目繊毛虫の動態を示す。グループ OX および AS に属する *Tachysoma* と *Aspidisca* は、共に基底表面を匍匐し、主として細菌食性の生態的近縁者である。*Tachysoma* は周年の季節遷移において *Aspidisca* より出現期間が短い (図2) が、WS シリーズで両者は約1か月間密度 5 cm^{-2} 以上で混在し、また全期間で個体数ピークが互いにずれた振動が見られた。このことは両者が混在する時の種間競争を予想させる。

4. 微小動物群集の遷移機構

本調査池「水鳥の沼」では、落葉層存在期に多くの微小動物が出現するが、落葉の分解過程における分類群構成の変化に対する環境要因の作用機構は図10のようにまとめることができる。全期間を通して、微小動物の出現は、水温によって強く影響される (季節的遷移)。一般に、水温は微小動物の増殖に直接影響するが、調査中の優占種の交代は必ずしも水温の勾配に沿ったものではなかった (表2)。従って、落葉の分解が、その分解程度 (落葉乾重量) ではなく、デトリタスを増加させる落葉食性マクロベントスや細菌などの分解者を通して微小動物に影響するのと同様に、水温もまた、それら他生物

を介して間接的に影響するところが大きいと考えられる。しかし、この分類群構成の変化の中には、環境要因の変化から独立した分類群の交代 (種間関係に基づく遷移) が組みこまれていることが推測された。自然界に出現する微小動物の分類群構成の変化は、個々の場所の環境条件やそこに生息する他の生物との関係によって決定され、場所によって様々に異なるパターンを示す。河川では、微小動物は主として底泥や付着層に存在し、やはり季節的な変化を示すことが報告されている (SUEHIRO & TEZUKA, 1981)。しかし、そのような周年変化とは別に降雨増水による付着層の剝離や有機物、細菌の流入など、一時的な環境の変化の直後に数日間の遷移が起こると言われている (SUEHIRO, KUSUOKA とともに未発表)。これは、微小動物相互の捕食や種間競争によって、各季節ごとに見られる一時的な平衡状態への回復と考えられている。本調査池水鳥の沼は水位の安定した静水であるが、気候要因の変化とは別に、落葉の投入、秋と春の細菌数の増加、他生物の働きによる影響など、微小動物にとっては一年に数回の大きな環境の変化があると考えられる。季節遷移やそこに組みこまれている短期間の群集遷移は、そうした微小動物にとつての環境の安定性という側面からも解析されるべきであろう。

5. 微小動物の群集生態学について

微小動物の群集構造やその変化に関する研究で、考えなければならない問題が二点ある。第一に、一般に微小動物の野外研究は、生活史のうちの成長、分裂期の個体だけを見ているのであって、休眠期にあるものを無視している。多くの微小動物では、嚢子や耐久卵によって成長に不適当な環境条件下をすごすことが知られており、繊毛虫では休眠嚢子を形成する種としない種では、環境

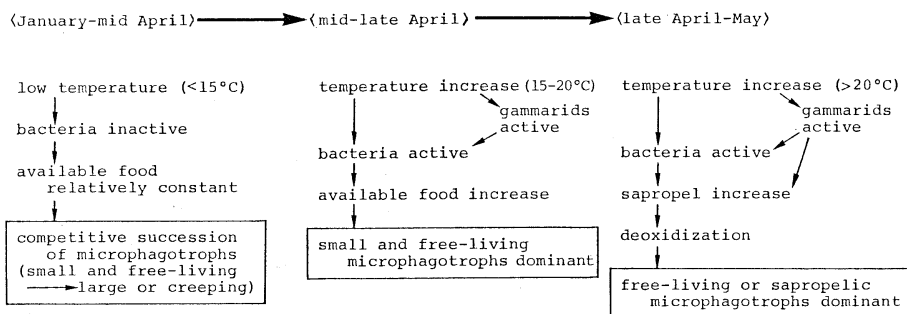


Fig. 10. Summary of the causal relation between water temperature and the dynamics of microphagotroph community in Mizutori-no-numa Pond during a litter decomposition period.

条件の変化に対して異なる動態を示すと言われている (TAYLOR, 1981)。季節的遷移に休眠期が組み込まれているならば、微小動物の「群集」は本来休眠期にあるものも含めるべきであろう。この事は、微小生物の群集遷移が大型生物のそれと性質を異にする特徴であると同時に、野外における群集の把握を困難にしている。

第二の点は、微小動物の「群集 (または個体群)」の空間的な理解である。隔離された静水池沼は、流水によって受動的な拡散が絶えず起きている河川に比べて、一つの生息場所として扱いきやすい。本調査池水鳥の沼も微小動物の自由遊泳による移動可能な一つの生息場所であり、その中に含まれる微小動物を一つの群集として考えることができる。その場合、甲殻類などのプランクトンにおける池沼内空間分布の研究 (TERAGUCHI, *et al.*, 1983, MIRACLE, 1977) と同様、群集の空間的な大きさや群集内部の空間的变化を環境の物理化学的構造との関連から理解する必要がある。MAGUIRE (1964) は原生動物の隔離された水域への移入について報告している。いわゆる生息場所外の環境が問題になる受動的な分散は、野外の微小動物の最も特徴的な側面であるにも関わらず、定量化が困難なため未開拓である。また、池内の微小動物は、個体数変化と同時に垂直分布 (GOULDER 1975, 1980) や水平分布 (草野, 未発表) の変化も起きており、種によって分布変化の機構やパターンが異なることが確められている。こちらの問題は、生息場所内の環境構造と微小動物の遊泳能力や誘引物質等に対する反応との関係に関するものである。以上のように休眠機構や行動などの生理的特性を考慮しつつ野外での動態を研究することは、これまで主に環境指標や腐食連鎖の一端として扱われてきた微小動物生態学の新しい方向と考えられる。

文 献

- BÄRLOCHER, F. & B. KENDRICK (1973): Fungi in the diet of *Gammarus pseudolimnaeus* (Amphipoda). *Oikos*, **24**, 295-300.
- BÄRLOCHER, F. & B. KENDRICK (1974): Dynamics of the fungal population on leaves in a stream. *J. Ecol.*, **62**, 761-791.
- BARSDATE, R. J. & R. T. Prentki (1974): Phosphorus cycle of model ecosystems: significance for decomposer food chains and effect of bacterial grazers. *Oikos*, **25**, 239-251.
- BAMFORTH, S. S. (1982): The variety of artificial substrates used for microfauna. *In* Artificial Substrates (ed. J. CAIRNS, Jr.), Ann Arbor Sciences Pub.
- BICK, H. (1958): Ökologische Untersuchungen an Ciliaten fallaubreicher Kleingewässer. *Arch. Hydrobiol.*, **54**, 506-542.
- BICK, H. (1960): Ökologische Untersuchungen an Ciliaten und anderen Organismen aus verunreinigten Gewässern. *Arch. Hydrobiol.*, **56**, 378-394.
- BICK, H. & H. P. MÜLLER (1973): Population dynamics of bacteria and protozoa associated with the decay of organic matter. *Bull. Ecol. Res. Comm.*, (Stockholm) **17**, 379-386.
- BICK, H. & W. SCHMERENBECK (1971): Vergleichende Untersuchung des Peptonabbaus und der damit verbündeten Ciliatenbesiedlung in strömenden und stagnierenden Modellgewässern. *Hydrobiologia*, **37**, 409-446.
- FENCHEL, T. (1967): The ecology of marine microbenthos. I. The quantitative importance of ciliates as compared with metazoans in various types of sediments. *Ophelia*, **4**, 121-137.
- FENCHEL, T. & P. HARRISON (1976): The significance of bacterial grazing and mineral cycling for the decomposition of particulate detritus. *In* The Role of Terrestrial and Aquatic Organisms in Decomposition Processes (ed. J. M. ANDERSON & A. MACFADUEN), Blackwell Scientific Publications.
- FINLAY, B. J. (1980): Temporal and vertical distribution of ciliophoran communities in the benthos of a small eutrophic loch with particular reference to the redox profile. *Freshwater Biol.*, **10**, 15-34.
- GOULDER, R. (1975): The effects of photosynthetically raised pH and light on some ciliated protozoa in a eutrophic pond. *Freshwater Biol.*, **5**, 313-322.
- GOULDER, R. (1980): The ecology of two species of primitive ciliated protozoa community found in standing freshwaters (*Loxodes magnus* Stokes and *L. striatus* Penald). *Hydrobiologia*, **72**, 131-158.
- HAMM, A. (1964): Untersuchungen über die Ökologie und Variabilität von *Aspidisca costata* (Hypotricha) im Belebtschlamm. *Arch. Hydrobiol.*, **60**, 286-339.
- HATANO, H. & Y. WATANABE (1981): Seasonal change of protozoa and micrometazoa in a small pond with leaf litter supply. *Hydrobiologia*, **85**, 161-174.
- KAUSHIK, N. K. & H. B. N. HYNES (1968): Experimental study on the role of autumn-shed leaves in aquatic environments. *J. Ecol.*, **57**, 229-243.
- KAUSHIK, N. K. & H. B. N. HYNES (1971): The fate of the dead leaves that fall into streams. *Arch. Hydrobiol.*, **68**, 465-515.

- JOHANNES, R. E. (1964): Phosphorus excretion and body size in marine animals: microzooplankton and nutrient regression. *Science*, **146**, 923-924.
- JOHANNES, R. E. (1965): Influence of marine protozoa on nutrient regeneration. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 434-442.
- MAGUIRE, B. Jr. (1963): The passive dispersal of small aquatic organisms and their colonization of isolated bodies of water. *Ecol. Monogr.*, **33**, 161.
- MIRACLE, M. R. (1974): Niche structure in freshwater zooplankton: a principal components approach. *Ecology*, **55**, 1306-1316.
- MIRACLE, M. R. (1977): Migration, patchiness, and distribution in time and space of planktonic rotifers. *Arch. Hydrobiol. Beih.*, **8**, 19-37.
- MÜLLER, W. A. & J. J. LEE (1977): Biological interactions and the realized niche of *Euplotes vannus* from the salt marsh aufwuchs. *J. Protozool.*, **24**, 523-527.
- PAUL, R. W. Jr., E. L. KUHN, J. L. PLAFKIN, J. CAIRNS, Jr., & J. G. CROXDALE (1977): Evaluation of natural and artificial substrate colonization by scanning electron microscopy. *Trans. Amer. Micros. Soc.*, **96**, 506-519.
- SANDON, H. (1932): *The Food of Protozoa*. Cairo Univ. Press.
- SUEHIRO, S. & Y. TEZUKA (1981): Seasonal change in ciliate populations in the bottom sediment of a polluted river. *Jap. J. Limnol.*, **42**, 1-7.
- TAYLOR, W. D. (1980): Observations of the feeding and growth of the predacious oligochaete *Chaetogaster landi* on ciliated protozoa. *Trans. Amer. Micros. Soc.*, **99**, 360-368.
- TAYLOR, W. D. (1981): Temporal heterogeneity and the ecology of lotic ciliates. In *Perspectives in Running Water Ecology* (ed. M. A. LOCK & D. D. WILLIAMS), Plenum Press, N. Y.
- TERAGUCHI, M., D. E. STUCKE & M. M. NOGA (1983): Spatial dynamics of *Mesocyclops edax* (S. A. FORBES), *Tropocyclops prasinus maximus* (KIEFER), *Diaptomus pallidus* (HERRICK), *Ceriodaphnia lacustris* (BIRGE), *Bosmina longirostris* (O. F. MÜLLER), *Daphnia parvula* (FORDZCE) and Nauplii in a Northeastern Ohio Pond. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, **68**, 863-883.
- USHER, M. B., P. R. DAVIS, J. R. W. HARRIS & B. C. LONGSTAFF (1979): A profusion of species? Approaches towards understanding the dynamics of the populations of the micro-authropods in decomposer communities. In *Population Dynamics* (ed. R. M. ANDERSON, B. D. TURNER & L. R. TAYLOR), Blackwell Scientific Pub., Melbourne.
- WATANABE, Y. (1975): Effects of partial sterilization on epibenthic microbial community of river bed. *Jap. J. Ecol.*, **25**, 53-60.