川床の付着藻類群集組成および構造 に基づく群集形成過程への考察

A consideration to colonization process based on the species component
and structure of attached algal communities on the river bed.

伯耆 晶子¹⁾, 渡辺 仁治²⁾ (奈良女子大学理学部生物学教室)

Akiko HOUKI¹⁾ and Toshiharu WATANABE²⁾

Department of Biology, Faculty of Science, Nara Women's University¹⁾²⁾

はじめに

河川の横断面を見ると、多くの場合流速や底質が微妙に異なる川床のモザイクと考えられよう。今回、比較的上流部の河川形態を示す奈良県吉野郡の四郷川において、河川の横断線に沿って流速と底質の異なる5地点を選び、それぞれの地点の付着藻類群集の採集を行なった。これらの藻類群集の種組成や群集構造は互いに多少とも異なる。渡辺(1974)は、河川の横断線に沿った川床の付着藻類群集の生産量について、流速の小さい岸近くの群集から流速の大きい流心部の群集への種組成の違いを生産量と関連させて検討している。また、Margalef(1965)やKevernら(1965)は流速の違いによる付着藻類群集の生産量を考察した。これらの研究は生産生態学の視点から群集組成の相異をみたものであった。筆者らは、群集組成や構造の相異を採集地点の流速及び被付着物の安定性と関連づけ、群集遷移の視点から、それらの群集を把握しようと試みた。

1. 方法

サンプルの採集は、奈良県吉野郡吉野川水系高見川の支流である四郷川において1983年7月に行なった。Fig. 1. に採集地付近の概略図と川の横断面図及び採集地点(St.A-E)を示す。採集地付近は川幅約25 mでゆるくカーブしており、中州をはさんで片側のSt.B, St.C周辺は底質が固い岩盤の早瀬、もう片側のSt.D, St.E周辺は沈み石や浮き石の多い瀬となっている。カーブの内側の岸近くのSt.A付近の流速は、すぐ上流に形成された砂州のためにかなりゆるやかになっている。

採集にあたっては、一横断面上に流速及び底質の異なる

5地点(St.A-E)を選定し、ヘラ、金属性ブラシ、ピンセットを藻類群集の付着の状況に応じて使用した。各地点では回転式流速計を用いて水面直下の流速を測定し、水深、水温、pH、電気伝導度の測定も行なった。採集したサンプルは、3%ホルマリンで固定し、群集の種組成は光学顕微鏡(LM)を用いて観察し、群集構造の観察には走査型電子顕微鏡(SEM)も用いた。また、群集中のケイ藻のみの種組成を調べるために、サンプルの一部を硫酸処理し常法により永久プレパラートを作成後、各Taxonごとに個体数を計測してケイ藻についての相対頻度を求めた。さらにその結果より、各地点の類似度百分率(Percentage Similarity)を次のWhittakerの式(Whittakerら, 1958)により算出した。

$$PS = \sum_i \min(a, b)$$

PS: 群集A, 群集B間の類似度百分率

a: 群集A, 群集Bに共通して出現するTaxonのうちi番目のものの群集A中での相対頻度(%)

b: 群集A, 群集Bに共通して出現するTaxonのうちi番目のものの群集B中での相対頻度(%)

2. 結果

(1) 各採集地点の環境条件と藻類群集

各採集地点の水面直下の流速・水深・川床の状態をTable 1. に示す。pHは7.6、水温18.0~19.5°C、電気伝導度73~75 $\mu v/cm$ と各地点ではほとんど変化がなく、水質に関する条件はどの地点もほぼ同じとみなすことができる。

Fig. 1. Sampling Stations (St. A-St. E) on cross section of the River Sigo-gawa.

Table 1. Current velocity of upper layer, depth and condition of river bed at each sampling station.

	St. A	St. B	St. C	St. D	St. E
current velocity of upper layer	5-10 cm/s	100 cm/s		50-60 cm/s	
depth	7 cm	30 cm	15 cm	15 cm	0-10 cm
condition of river bed	sand & mud	stones	rock	pebbles & stones	

Table 2. Algae in the community occurred in each sampling station.

	St. A	St. B	St. C	St. D	St. E
Blue—green algae					
<i>Phormidium autumnale</i>	—+				
<i>P. favosum</i>	—+				
<i>Homoeothrix janthina</i>		+++	+++	+++	—+
<i>Entophysalis lemaniae</i>		++	++	++	+++
<i>Merismopedium glaucum</i>	—+				
<i>M. minima</i>	—+				
Green algae					
<i>Cosmarium hammeri</i>	—+				
<i>C. sp.</i>	—+				
<i>Gonatozygon monotaenium</i>	—+				
<i>Scenedesmus acutus f. costulatus</i>	—+				
Diatoms	+++	—+	—+	++	++

+++ : very rich, +++ : rich, ++ : common, —+ : rare

St.A は岸近くの流速 5-10cm/s 程度のゆるやかな流れの地点である。底質は砂泥で、その表面に褐色の藻類群集が見られたが、それらは水を動かすと簡単に剥離した。St.B, St.C は水面下流速 100 cm/s のかなり激しい流れの中の地点で、藻類群集は石礫 (St.B) や岩盤 (St.C) 上に比較的薄く強固に付着していた。流速 50-60cm/s の

瀬では、沈み石の表面を全体に覆うように付着していた群集の存在する地点を St.D, また、やはり石に付着した群集ではあるが、St.D とは明らかに異なる黒褐色の斑点状の群集の見られる地点を St.E とした。

(2) 藻類群集の種組成

Fig. 2. は St.A~St.E で観察された藻類群集である。

Fig. 2. The community occurred in each sampling station.

1. St. A : Epipelagic diatoms and planktonic green algae. ($\times 800$)
2. St. B (St. C, St. D) : *Homoeothrix janthina*-*Entophysalis lemaniae* community. ($\times 800$)
3. St. E : *Entophysalis lemaniae* colony. ($\times 2000$)
4. St. E : Young short filaments of *Homoeothrix janthina* which are 5-12 μ m long on *Entophysalis lemaniae* colony. ($\times 800$)

各地点の種組成とおおよその現存量をTable 2. に示した。ケイ藻については種組成と各 Taxon の相対頻度を求めてTable 3. に示した。

St.A はほとんどがケイ藻の群集で、*Navicula*, *Nitzschia* の相対頻度が比較的高い。ラン藻の *Merismopedium* 及び緑藻のすべての種は通常プランクトンと

して出現するものである。

一方、St.B, St.C, St.D での石礫又は岩盤上の藻類群集では、いずれもラン藻の *Homoeothrix janthina* が優占種であった (Fig. 2.-2)。顕微鏡下で観察すると、*Homoeothrix janthina* の糸状体には、*Achnanthes japonica*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta* などのケイ藻が混在し、

基部には褐色の *Entophysalis lemaniae* が群体となって付着していた。 *Homoeothrix janthina* の糸状体は巾2.5～3.0 μm 程度で、大きなケイ藻が直接付着するには細すぎると見られ、ケイ藻は主に糸状体の密集している間隙

Table 3. Relative frequencies (%) of diatom taxa in the community at each sampling station.

Taxon	Station	St. A	St. B	St. C	St. D	St. E
<i>Melosira varians</i>		0.3	—	—	—	—
<i>Fragilaria vaucheriae</i>		0.4	—	—	—	0.6
<i>Synedra socia</i>		0.6	0.4	0.8	1.8	4.9
<i>S. rumpens</i> var. <i>familiaris</i>		—	0.4	—	—	0.2
<i>S. ulna</i>		—	—	—	—	0.2
<i>S. ulna</i> var. <i>ramesi</i>		—	0.6	—	—	0.6
<i>S. ulna</i> var. <i>biceps</i>		—	—	—	—	0.2
<i>Achnanthes japonica</i>		5.6	54.1	75.0	36.0	9.0
<i>A. lanceolata</i>		1.6	1.8	0.4	2.3	3.9
<i>A. minutissima</i>		6.0	—	0.4	—	4.9
<i>A. linearis</i>		—	—	3.1	2.0	—
<i>A. hungarica</i>		—	—	—	—	0.4
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>		9.9	18.6	7.9	12.9	24.9
<i>C. placentula</i> var. <i>lineata</i>		0.6	0.2	—	0.5	0.6
<i>C. pediculus</i>		0.3	—	—	0.2	0.4
<i>Flustulia rhomboides</i>		—	—	2.0	—	—
<i>Navicula cryptocephala</i>		7.8	—	—	1.1	0.4
<i>N. cryptocephala</i> var. <i>veneta</i>		8.2	0.4	—	0.9	4.7
<i>N. cryptocephala</i> var. <i>exilis</i>		4.7	1.8	2.4	4.5	2.8
<i>N. decussis</i>		3.7	0.9	—	—	4.6
<i>N. viridula</i>		8.3	0.4	0.4	—	0.4
<i>N. oppugnata</i>		2.0	—	—	4.1	0.2
<i>N. pseudogracilis</i>		6.1	—	—	—	—
<i>N. pupula</i> var. <i>capitata</i>		—	—	0.8	—	—
<i>N. bacillum</i>		0.6	—	—	—	—
<i>N. gottlandica</i>		—	—	—	0.5	—
<i>Gomphonema angustatum</i>		1.1	6.1	2.4	9.7	11.3
<i>G. olivacium</i>		—	—	—	0.5	0.2
<i>Cymbella sinuata</i>		2.2	4.9	—	1.4	15.2
<i>C. minuta</i>		2.0	4.9	2.0	12.9	4.7
<i>C. turgidula</i> var. <i>nipponica</i>		0.6	0.4	0.8	2.3	0.4
<i>Nitzschia palea</i>		17.9	1.0	0.8	2.9	2.6
<i>N. amphibia</i>		3.2	1.5	—	2.3	0.4
<i>N. dissipata</i>		3.6	0.6	—	0.5	—
<i>N. frustulum</i> var. <i>perpusilla</i>		0.9	0.7	0.8	0.5	1.1
<i>N. linearis</i>		0.3	0.3	—	0.2	—
<i>Surirella angustata</i>		1.1	—	—	—	0.2
<i>S. linearis</i>		0.2	—	—	—	—
<i>S. ovata</i> var. <i>pinnata</i>		0.2	—	—	—	—
Number of taxon		29	20	15	22	28

Table 4. Percentage similarities between diatom communities occurred in sampling stations.

	St. A	St. B	St. C	St. D
St. B	31.0			
St. C	23.0	71.3		
St. D	38.4	70.0	56.0	
St. E	45.9	52.5	27.7	50.9

に粘液物質などと共に群がって生育していた。*Entophysalis lemaniae* の群体にもケイ藻が混在しているのが見られた。さらに SEM による観察で *Entophysalis lemaniae* 群体中にバクテリアの存在が認められた。

Homoeothrix janthina が優占種である水面直下流速 100cm/s の St.B, St.C 及び 50-60cm/s の St.D の 3 地点の群集は顕微鏡観察をした限りでは Table 2. に示したようにほとんど相異は認められなかったが、ケイ藻の種類組成とそれらの相対頻度は Table 3. に示すように異なっていた。すなわち、St.B, St.C でのケイ藻の種類数と現存量は St.D のそれらと比べて少なく、そのうち *Achnanthes japonica* の相対頻度が高いのが特徴である。また、St.B よりも水表面に近い岩盤上の地点 St.C における群集中の *Achnanthes japonica* の相対頻度の方が St.B よりも高かった。さらに、*Cymbella minuta*, *Gomphonema angustatum*, *Navicula cryptocephala* 及びその変種、*Nitzschia amphibia* は逆に St.C で最も相対頻度が低く、St.D で高い傾向があった。St.D では群集が最も発達して現存量が多く、*Phormidium favosum* の侵入が見られた。ケイ藻も St.B, St.C と比較すると種類数・現存量共に富み、多様性が大きかった。

St.E の群集はほとんどが *Entophysalis lemaniae* であった (Fig. 2-3)。表面のところに長さ 5-20 μm 程度の *Homoeothrix janthina* の糸状体が生育しはじめてるのが観察できた (Fig. 2-4)。群集中のケイ藻については種類数が多く、ことに *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Cymbella sinuata*, *Gomphonema angustatum*, *Synedra socia* の相対頻度が他の地点と比べて高かった。

各ケイ藻群集間の類似度百分率を Table 4. に示す。類似度は、St.B-C 間の (71.3%), St.B-D 間 (70.0%), St.D-C 間 (56.0%) で高く、St.B-E 間 (52.5%), St.D-E 間 (50.9%) でそれに次ぐ。St.A は St.E とは 45.9% の類似度を示すが他の地点との類似度は低い。

3. 考 察

(1) 群集の形成過程

LM, SEM を用いての観察によって、*Entophysalis lemaniae* の群体にはバクテリア及びケイ藻が混在しているのが認められた。植田 (1975) は、ガラス管に水を流した実験において、ガラス壁にはまずバクテリアの群集が着生し、次いでケイ藻が侵入増殖後ラン藻を主組成とする群集へと遷移が進んだことを観察している。また、Hoagland ら (1981) も湖においてスライドグラスに付着する藻類群集の colonization を調べる実験を行ない、SEM による経時観察により、バクテリア→ケイ藻→糸状藻類の順に遷移が進むと述べている。他のいくつかの水界における付着藻類の遷移についての研究 (McIntire, 1971; Brown ら, 1973; Dickman, 1975) でも遷移の初期の段階でバクテリアが出現すると述べられている。*Homoeothrix janthina* 群集は日本のどの河川でも見られる最もポピュラーな群集 (渡辺, 1968) であるが、その群集が形成される場合にも、初期の第 1 段階でバクテリアが出現するものと考えられる。

次に、St.E の *Entophysalis lemaniae* 群集の上にはところどころに *Homoeothrix janthina* の短い糸状体が見られたこと、St.B, St.C, St.D での *Homoeothrix janthina* 群集の基部には必ず *Entophysalis lemaniae* が付着していたこと、また、St.E と St.B, St.D とのケイ藻群集の類似度が高いことから、おそらく St.E の *Entophysalis lemaniae* 群集は St.B, St.C, St.D に見られる *Homoeothrix janthina* 群集の前段階であると考えられる。したがって群集形成の第 2 段階には *Entophysalis lemaniae* 及び *Cocconeis*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Synedra* などの、St.E で他の地点と比べて多く出現し、epilithic な性質を持つケイ藻が出現するものと思われる。また、*Entophysalis lemaniae* の群体が St.E で岩石にかなりしっかりと固着していたこと、また底質の不安定な St.A では *Entophysalis lemaniae* が全く見られなかったことから、*Entophysalis lemaniae* も又前述のケイ藻と同様 epilithic な性質を持ち、生育には安定した付着基質が必要であるのかもしれない。したがって付着基質が不安定な場合には、St.A に見られたような本来浮遊生活をするラン藻 (*Merismopedium*) と緑藻及び匍匐運動を行なうケイ藻の *Navicula*, *Nitzschia* などを主体とする群集が構成されるのであろう。このことは、付着基質が安定であるか否かが群集形成に大きな影響を与えることを示唆する。

実際に、*Entophysalis lemaniae* とケイ藻のどちらが先

に出現したかについてこの報告でははっきり述べることはできない。どちらにもその可能性はあると言えよう。

St.A が St.E と最も類似度が高い (45.9%) ことから、今仮に、St.A は群集形成において St.E の前段階であると考えてみよう。すなわち、St.A では砂泥の表面上の藻類群集は、水流によって砂泥が攪乱されると砂泥粒子の磨擦により容易にはぎ取られるため、遷移の初期の極めて短い期間の変動を繰り返しており、*Entophysalis lemaniae* が出現するまでには至らないという見方をすると、ケイ藻の出現は *Entophysalis lemaniae* に先だったものであるとも考えられる。しかし、St.A と St.E のケイ藻群集の見かけの現存量を比較すると St.A の方がはるかに多く、また相対頻度の上位を占めるケイ藻の種も異なる。したがって St.A が St.E への遷移過程の一断面であるとは考えにくい。

第3段階として、*Entophysalis lemaniae* の群体上に *Homoeothrix janthina* が生育を始め、epilithic, epiphytic

のどちらかの性質を持つ *Cocconeis*, *Achnanthes* が増える。さらに、*Homoeothrix janthina* や他の糸状藻類の生長・増殖に伴い、*Navicula*, *Nitzschia* など藻類群集形成後それらの糸状体の間で生活する metaphytic な (Round, 1981) 性質を持つケイ藻が増殖するものと思われる。以上の群集形成過程を Fig. 3. に模式的に示した。

(2) 付着藻類群集に対する流速の影響

流速の付着藻類群集に対する影響を調べた研究は、これまでに環境要因のコントロールが可能な人工水路を用いていくつか行なわれている (Margalef, 1965; Whitford ら, 1961, 1964; Kevern ら, 1965; McIntire 1966, 1968 a, b; Sperling ら, 1969; 安岡, 未発表) が、それらの多くは流速と、一次生産・呼吸量・物質代謝・現存量の経時変化との関係を調べたものであった。それらの報告によると、すべて流速が大きい方が一次生産速度・呼吸量・代謝速度・現存量が大きくなるという結果になっ

Fig. 3. Colonization process of *Homoeothrix janthina* community on the river bed. ($\times 700$)

1. Bacterial colony (a).
2. *Entophysalis lemaniae* colony (b) and epilithic diatoms (c : *Cocconeis*, d : *Gomphonema*, e : *Cymbella*, f : *Syedra*).
3. Young short filaments of *Homoeothrix janthina* (g) and diatoms (h : *Achnanthes*) on *Entophysalis lemaniae* colony.
4. Metaphytic diatoms (i : *Navicula*, j : *Nitzschia*) and *Phormidium* (k) in *Homoeothrix janthina* (g) community.

ている。単位時間あたりに供給される栄養塩や溶存酸素量は流速が大きい程多いことから、これらの結果は当然と見ることもできる。しかし、それらは0-45 cm/sの流速の範囲内での研究であり、日本の自然河川における流速の範囲から考えるとかなり小さい範囲内での研究であった。流速が大きい場合には確かに物質の供給能率は大きくなる反面、水流による物理的な圧力の大きさやその不規則な変動などが群集に与える影響も無視することはできない。水流による圧力は流速に比例して大きくなり、渦流などによる水の攪乱が及ぼす圧力の変化も激しくなる。

このような視点から見ると、比較的流速の大きい St.B, St.C (水面下流速100cm/s) では、それよりも流速の小さい St.D (50-60cm/s) と比べて群集中のケイ藻の現存量・種類数が少ない (Table 2.) のはその影響によるものだと考えられよう。

また、McIntire (1968a) は、流速の群集構成への影響についての実験を人工水路で行ない、付着藻類を、流速の大きいところで優占するが流速の小さいところでは優占しないもの、その逆のもの、両方において優占するものとに区分している。四郷川の群集中に出現したケイ藻のうち、*Synedra ulna*, *Achnanthes lanceolata*, *Cocconeis placentula*, *Navicula cryptocephala*, *Gomphonema angustatum* は McIntire が第1のグループとした種であり、*Melosira varians* は第2, *Achnanthes minutissima* は第3のグループの種である。

実際にそれらの種の出現した地点の流速と、その地点での相対頻度とを検討してみると、*Melosira varians* は St.A (流速5~10cm/s) にのみ、*Achnanthes minutissima* は St.A と St.C (流速100cm/s), St.E (流速50~60cm/s) に出現しているので、これらはいずれも McIntire の報告と合致するといえる。ところが *Navicula cryptocephala* は St.A で最も多いので McIntire の第1のグループに属する種とは見なし難く、第2のグループに入れるべき種と考えられる。また、*Synedra ulna*, *Achnanthes lanceolata*, *Cocconeis placentula*, *Gomphonema angustatum* については、流速50-60cm/s の St.D・St.E では St.A での相対頻度より高いが、さらに流速の大きい St.B・St.C では低かった。McIntire の実験が流速0, 14, 35cm/s の条件下で行なわれたことを考慮すれば、これらの種は止水域よりも流水域に多く出現するが、100cm/s という非常に大きな流速の水圧には耐え難いと考えられる。

Patrick (1977) は流れの速いところでは *Achnanthes*, *Cocconeis* が見られ、やや流れの遅いところでは *Synedra*, *Gomphonema*, *Cymbella* の様々な種が出現し、止水域の

堆積物の中や表面には *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella* などの属が見られると述べている。

我々の結果は、これらの記述と一部の例外を除き、ほぼ一致する。

こういったケイ藻の個々の種の出現に対する流速の物理的な影響は、おそらくそれらの群集中における生活形態と密接に関係があると思われる。縦溝殻面で被付着物に固着する性質を持つ *Achnanthes*, *Cocconeis* は大きな水圧にも耐えられるであろうし、粘液物質の“pad”や柄を持つ *Synedra*, *Gomphonema*, *Cymbella* はある程度の水圧に対して抵抗力を持つであろう。また、基質に固着しない *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella* は流速の小さいところでしか多く出現しないのであろう。したがって、流速の付着藻類の群集構成に対する影響を調べるためには、個々の種の群集内での生活形態についても、さらに詳しく研究される必要があると考える。

4. 要 約

川床地形の複雑な河川の横断線上において、流速・底質の異なる5地点を選定し、異なる群集組成を持つ付着藻類群集を採集した。群集の主な優占種はラン藻の *Homoeothrix janthina* B.et.F. Starmach 及びケイ藻であった。各地点の群集の種類組成の違いは、流速及び川床の状態の違いを反映していると考えられる。流速の比較的大きい地点 (100cm/s, 50-60cm/s) では *Homoeothrix janthina* が優占種となり、流速の小さい地点 (5-10cm/s) ではケイ藻が優占種となった群集が見られた。それぞれの群集中のケイ藻の種組成にも相異が見られた。付着藻類群集組成の違いより、群集の形成過程、及び水流の物理的圧力と被付着物の安定性が群集構成に及ぼす影響について考察を行なった。

5. 文 献

- 1) Brown, S.D., and A.P. Austin : Spatial and temporal variation in periphyton and physico-chemical conditions in the littoral of a lake. Arch. Hydrobiol., 71, 183-232. (1973)
- 2) Dickman, M. : Changes in periphyton community structure following diatom inhibition. Oikos, 25, 187-193. (1974)
- 3) Hoagland, K. D., S. C. Roemer, and J. R. Rosowski : Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). Amer. J. Bot., 69 (2), 188-213. (1982)

- 4) Kevern, N. R., and R. C. Ball : Primary productivity and energy relationships in artificial streams. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 74-87. (1965)
- 5) Margalef, R. : Ecological correlations and relationship between primary productivity and community structure. In C.R.Goldman [ed.] Primary productivity in aquatic environments. p. 335-364. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 18 Suppl, Univ. California Press, Berkeley. (1965)
- 6) McIntire, C.D. : Some factors affecting respiration of periphyton communities in lotic environments. *Ecology*, 47, 918-929. (1966)
- 7) McIntire, C.D. : Structural characteristics of benthic algal communities in laboratory streams. *Ecology*, 49, 520-537. (1968a)
- 8) McIntire, C.D. : Physiological-ecological studies of benthic algae in laboratory streams. *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, 40, 1940-1952. (1968b)
- 9) Patrick, R. : Ecology of freshwater Diatoms and Diatom Communities. In D.Werner [ed.] *The Biology of Diatoms*. p.284-326. Blackwell Sci. Pub., London. (1977)
- 10) Round, F.E. : The ecology of algae. In *Algae and Man*. p.138-184. Pleum Press, New York. (1964)
- 11) Round, F.E. : Phytobenthos. In *The Ecology of algae*. Cambr. Univ. Press, p. 155-242. (1981)
- 12) Sieburth, J.McN. and C.D.Thomas : Fouling on eel grass (*Zostera mariana* L.) *J. Phycol.*, 9, 146-150. (1973)
- 13) Sperling J.A., and R. Grunewald : Batch culturing of thermophilic benthic algae and phosphorus uptake in a laboratory stream model. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 944-949. (1969)
- 14) 植田勝己 : 実験水路における藻類群集の動態. 陸水富栄養化とその対策, 1, 43-44. (1975)
- 15) 渡辺仁治 : 大和吉野川の藍藻. 陸水雑, 29, 2, 159-167. (1968)
- 16) 渡辺仁治 : 奈良県吉野川の瀬における付着藻類の生産と植生. *Ann. Sci. Kanazawa Univ.*, 11, 107-120. (1974)
- 17) Whitford, L.A., and G.J.Schumacher : Effect of current on mineral uptake and respiration by a fresh-water alga. *Limnol. Oceanogr.*, 6, 423-425. (1961)
- 18) Whitford, L.A., and G.J.Schumacher : Effect of a current on respiration and mineral uptake in *Spirogyra* and *Oedogonium*. *Ecology*, 45, 168-170. (1964)
- 19) Whittaker, R.H., and C.W.Fairbanks : A study of plankton copepod communities in the Columbia basin, south eastern Washington. *Ecology*, 39, 46-65. (1958)
- 20) 安岡知香 : 人工水路による河川性のマットの動態に関する研究—特に剝離現象と流速について. (未発表)