

付着珪藻類組成の主成分分析による解析 — 広島県沼田川水系¹⁾

半田信司*・中野武登**

* (社) 広島県地区衛生組織連合会 (〒730 広島市中区広瀬北町9-1)

** 広島大学理学部植物学教室 (〒730 広島市中区東千田町1-1)

HANDA, S. and NAKANO, T. 1987. Analysis of the epilithic diatom communities by principal component analysis method (The Nuta-gawa River, Hiroshima Prefecture). Jap. J. Phycol. 35: 279-288.

The epilithic diatom communities in the Nuta-gawa River, Hiroshima Prefecture were analyzed by the principal component analysis (PCA) method. The samples studied were divided into three groups of autumn, winter-spring and summer samples according to the second and third principal components. The summer samples were distinctly different from the other samples.

Except the summer samples, the other ones were divided into three groups of stand 1, 2 and 3 according to the third and fourth (or fifth) principal components. The inorganic water quality was similar in all stands. But, the type of the river bed was distinctly different at each stand. The epilithic diatom communities of the upper stream seem to be in the primary stage of its development because the bed of the upper stream is unstable. The characteristic species of the upper stream were *Cocconeis pediculus*, *C. placentula* var. *euglypta*, *Gomphonema minutum* and *Achnanthes lanceolata*. They seem to be pioneer species in this river.

Information on the dominant species was obtained from the data of relative frequency. On the other hand, other useful information were obtained from logarithmic data and presence/absence data. By using the presence/absence data, the uncommon species were overvalued. The results obtained from the data based on the cell number or degree of coverage were similar to those from the logarithmic data.

Key Index Words: community structure; epilithic diatom; principal component analysis; pioneer species; seasonal change.

Shinji Handa, Hiroshima Community Health Service Association, 9-1 Hirose-kita-machi, Hiroshima 730, Japan.

Taketo Nakano, Botanical Institute, Faculty of Science, Hiroshima University, Higashi-senda-machi, Hiroshima 730, Japan.

河川の付着珪藻類組成に関する報告は数多くなされており、本邦においても有機汚濁、濁度などの水質との関係について言及した例は多い。ところが、季節変化をはじめ、水温、日照、その他の基本的な環境因子とのかかわりあいについての考察は、充分になされていない。

本研究は、広島県沼田川水系の3地点において、年4回付着珪藻類を調査した結果をもとに、付着珪藻類組成と季節変化をはじめとした環境要因とのかかわりあいについて考察を行ったものである。解析に利用した主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA

と略称) は多変量解析の一手法で、互いに相関のある多数の変数 (複雑な多次元情報) を、互いに無相関な少数の主成分 (因子) に要約する方法で、基本となるデータの持っている複雑な情報を、より明確に解析することができる。更に、本研究では主成分分析を行う際の入力データの様式の差異による解析結果の違いについての検討も行った。

調査地点の概要及び調査時期

調査を行った沼田川水系は、広島県中央部に位置し、三原市を経て瀬戸内海へ流入している。調査地点は沼田川水系中流域にあたり、沼田川本流 (St. 3)、支流の入野川 (St. 2)、及びさらに支流の入寺川 (St. 1)

1) Contribution from the phytotaxonomical and Geobotanical Laboratory, Hiroshima University, N. Ser. No. 348.

Table 1. Inorganic water quality at the sampling stands.

	St. 1	St. 2	St. 3
Water temperature (°C)	14.7	15.1	15.0
pH	7.5 ±0.3	7.7 ±0.2	7.6 ±0.2
BOD (mg/l)	0.7 ±0.2	1.0 ±0.3	0.9 ±0.2
T-N (mg/l)	0.83 ±0.17	0.92 ±0.13	0.66 ±0.18
T-P (mg/l)	0.025±0.009	0.039±0.013	0.027±0.013
Flow (m ³ /sec)	0.08 ±0.05	0.65 ±0.40	2.69 ±1.38

(Average and standard deviation of Mar. 1984–Mar. 1985)

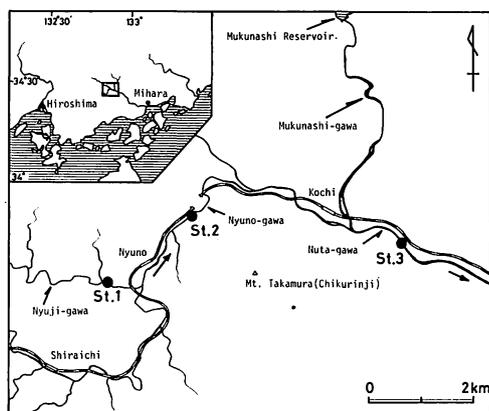


Fig. 1. Map showing the sampling stands.

で、いずれも谷部の農村地帯に位置する (Fig. 1)。各地点の水質環境については、測定項目に関する限り水温を除いて季節変動は認められなかった。1984年3月～1985年3月までの13回の調査結果の平均値と標準偏差を Table 1 に示す。これによると、各地点とも BOD が 1 mg/l 前後の比較的清浄な水域で、栄養塩に関しては St. 2 で他の地点よりやや高くなっているものの、pH、水温はほぼ同様な値となっている。一方、河川規模は各地点とも異なっており、その概況は以下のとおりである。

St. 1 : 入寺川 (幹線流路延長 7.4 km, 流域面積 10.2 km²) の下流部で、入野川への合流点手前約 1 km の地点。流れ幅 2 m 程度、流量は通常 0.1 m³/sec 以下の小流で、河床は小型の石礫からなる。

St. 2 : 入野川 (幹線流路延長 20.8 km, 流域面積 74.3 km²) の下流部で、沼田川への合流点手前約 2 km の地点。流れ幅約 5 m, 流量は通常 1 m³/sec 以下で、河床は直径 10～50 cm の石礫からなる。

St. 3 : 沼田川 (幹線流路延長 46.9 km, 流域面積 540.0 km²) の中流部にあたり、途中で椋梨川を合流する。流れ幅約 10 m, 流量は入野川の 3 倍以上に及び、

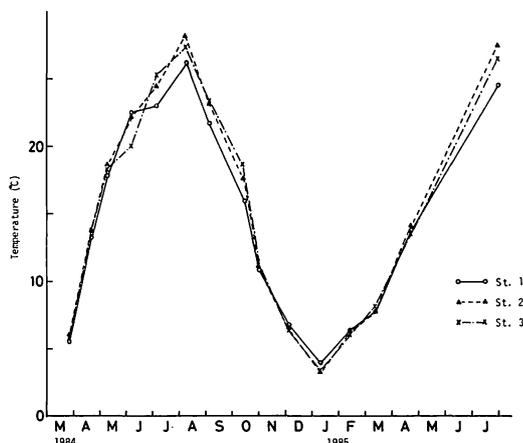


Fig. 2. Seasonal variation of water temperature.

通常 3 m³/sec となっている。河床は直径 1 m 程度の岩塊が多く、安定している。

付着珪藻類組成の調査は、1984年10月15日 (秋期), 1985年1月11日 (冬期), 4月22日 (春期), 7月30日 (夏期) に行った。Fig. 2 の水温変化図に示したように、秋期調査では17°C, 冬期調査では最低水温期にあたる4°C, 春期調査では14°C, 夏期調査では最高水温期にあたる26°C前後であり、調査地点間の差は特に認められない。

調査方法

各地点において、流速 0.5～0.7 m/sec, 水深 10～30 cm の所にある石礫 3 個を採取し、それぞれ上面に 5 cm×5 cm の方形枠を設定し、方形枠内の付着物をこすり落とし混合したものを試料とした。試料の一定量を酸処理し、プレウラックスに封入した後光学顕微鏡によって観察し、種の同定と計数を行った。

調査結果の解析に用いた主成分分析のプログラムは守谷、井口 (1972) に準じ、相関係数行列に基づいて

行った。入力データの型式として用いたのは次の 7 Case で、各 Case とも試料を変量とし、種を標本として解析を行った。

Case-0: 相対頻度 (%)。実際は 1 mm² あたりの細胞数をそのまま入力したが、主成分分析の数値処理の段階で規準化が行われるため、相対頻度を入力したものと同じ結果を得ることができる。

Case-1: 対数 (log) 処理。対数処理を行った値として負の値が出現しないよう、桁数を調整し最小値が 1 を越えるよう配慮した。

Case-2: 1・0 変換。出現した種はすべて“1”，出現しなかった種は“0”とした。

Case-3: 細胞数による 6 段階区分。出現しなかった種は“0”，5 cells/mm² 未満を“1”，以下 10 倍ごとに“2~4”を与え、5,000 cell/mm² 以上を“5”とした。

Case-4: 細胞数による 4 段階区分。出現しなかった種は“0”，100 cells/mm² 未満を“1”，100~1,000 cells/mm² 未満を“2”，1,000 cells/mm² 以上を“3”とした。

Case-5: 被度 (6 段階区分)。細胞の大きさを考慮して、プレパラート中での被度により、6 段階に区分した。

Case-6: 被度 (4 段階区分)。Case-5 と同様に 4 段階に区分した。ただし、1 細胞しか確認されなかった種は“0”とした。

結果および考察

1. 主成分分析による解析結果

(1) 全試料による主成分分析

3 地点での 4 回の調査をあわせて 25 属 88 種類の珪藻類が観察され、それぞれの種の各試料における相対頻度を Table 2 に示す。全試料による主成分分析は、この相対頻度を用いた Case-0 のほか、対数処理 (Case-1)、1・0 変換 (Case-2) について行い、その結果として各 Case ごとの第 1 主成分~第 3 主成分の寄与率、因子負荷量を Table 3 に示す。

a. 第 1 主成分についての解析

各 Case とも第 1 主成分の因子負荷量には、試料間で顕著な差は認められなかった。この第 1 主成分について、各 Case ごとの寄与率及び主要種の因子得点を Table 4 に示す。

Case-0 では、全試料で観察され相対頻度も高い *Achnanthes convergens*, *Cymbella silesiaca* の因子得点が高いほか、特定の試料で卓越して相対頻度が高かった

Cocconeis pediculus, *Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum* の因子得点が高くなっている。このことから Case-0 では、第 1 主成分として優占種の因子が抽出されたと考えることができる。

Case-2 では、1・0 変換を行っており、量的な要素が加わらないため、全試料に出現した種はすべて同等な高い評価がなされ、3.28 の因子得点を示している。一方 *Cocconeis pediculus*, *Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum* は、優占種であるにもかかわらず、出現しなかった試料があるため、低い得点となっている。つまり、Case-2 の場合、第 1 主成分は常在種の因子と考えることができる。

Case-1 では、Case-0 と Case-2 の中間的な評価がなされており、第 1 主成分の因子得点の高い種は、調査地域全域で年間を通じて出現し、相対頻度も比較的高く、本調査地域全体を代表する種と考えることができる。これによると、沼田川水系中流域を代表する種は、*Achnanthes convergens*, *Cymbella silesiaca*, *Navicula gregaria*, *N. cryptotenella*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* などである。

b. 第 2, 第 3 主成分についての解析

Case-0, 1, 2 の第 2, 第 3 主成分の因子負荷量を Fig. 3 に、因子得点を Fig. 4 に示した。

Case-0 の第 2 主成分は、寄与率 17.7% で、因子負荷量 (Fig. 3-a) は、St. 1 の秋期、春期などが負で特に高い値を示していた。そこで第 2 主成分の因子得点 (Fig. 4-a) をみると、*Cocconeis pediculus* が他の種より卓越して負で高い値を示しており、この第 2 主成分は *C. pediculus* の因子を抽出したにすぎない。同様に、寄与率 13.5% の第 3 主成分も、*Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum* の因子を抽出しているだけであった。

Case-2 では、寄与率 11.7% の第 2 主成分と、寄与率 9.8% の第 3 主成分により、試料は、秋期、冬期-春期、夏期の 3 つの集団に類別された (Fig. 3-c)。これら両主成分をあわせたものは季節変化の因子であり、水温、日照などのさまざまな環境要因が複合的に影響した結果として現われたものである。この因子に大きく関与している種を因子得点 (Fig. 4-c) からみると、秋期を特徴づける種として *Navicula bacillum*, *Fragilaria pinnata*, *Bacillaria paxillifer*, 冬期-春期を特徴づける種として *Fragilaria capucina*, *Surirella ovata* var. *pinnata* などが抽出された。また、夏期は *Gomphonema gracile* によって特徴づけられるとともに、*Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Nitzschia linearis* な

Table 2. Epilithic diatoms found in this study and their relative frequency.

Species	Relative frequency (%)												
	Stands Seasons*	St. 1				St. 2				St. 3			
		A	W	Sp	Sm	A	W	Sp	Sm	A	W	Sp	Sm
<i>Achnanthes convergens</i>	18.8	13.8	7.3	16.8	26.5	12.4	14.7	4.9	49.5	26.8	7.9	6.7	
<i>A. delicatula</i>	-	-	-	-	1.2	1.9	+	-	-	-	-	-	
<i>A. lanceolata</i>	1.1	10.8	12.2	0.6	1.3	0.6	0.9	0.4	0.1	+	0.3	0.1	
<i>A. laterostrata</i>	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>A. minutissima</i>	-	4.9	11.4	1.6	-	0.1	1.4	1.4	-	0.1	0.1	1.4	
<i>A. subhudsonis</i>	0.8	2.8	0.2	0.8	0.3	2.2	2.3	3.7	-	0.1	0.2	0.5	
<i>Amphora pediculus</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	
<i>Bacillaria paxillifer</i>	0.3	0.6	+	-	0.8	+	-	-	+	+	-	-	
<i>Caloneis bacillum</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Ceratoneis arcus</i> var. <i>hattoriana</i>	-	0.9	0.1	-	-	-	+	-	-	-	+	-	
<i>Cocconeis pediculus</i>	41.1	11.9	44.0	+	12.0	0.4	+	-	0.2	+	0.2	-	
<i>C. placentula</i> var. <i>placentula</i>	0.7	1.7	0.1	0.2	0.4	0.1	0.4	+	3.2	0.2	0.2	+	
<i>C. placentula</i> var. <i>euglypta</i>	6.6	3.5	0.3	-	12.8	0.8	0.1	-	2.3	0.4	0.1	-	
<i>Cyclotella comta</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>C. meneghiniana</i>	-	-	-	+	0.9	+	-	-	0.2	-	-	-	
<i>Cymbella aspera</i>	0.1	0.1	-	-	0.1	-	-	-	+	-	+	-	
<i>C. japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	
<i>C. naviculiformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	
<i>C. silesiaca</i>	2.8	6.9	11.4	21.6	3.4	8.1	15.8	7.3	3.6	5.0	47.1	11.7	
<i>C. sinuata</i>	-	0.2	+	0.2	-	0.2	1.3	+	-	-	0.1	+	
<i>C. tumida</i>	-	0.1	+	0.9	0.1	0.3	0.6	0.9	0.2	2.5	5.8	2.2	
<i>C. turgidula</i>	0.5	0.1	-	2.2	8.8	0.3	-	4.3	7.3	0.9	0.1	4.2	
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>capucina</i>	-	0.1	1.4	-	-	0.6	0.1	-	-	0.8	0.5	0.3	
<i>F. capucina</i> var. <i>vaucheriae</i>	0.4	0.9	0.9	0.6	0.4	1.6	2.6	1.2	1.9	1.6	5.2	13.4	
<i>F. construens</i> var. <i>construens</i>	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	0.1	0.1	-	
<i>F. construens</i> var. <i>binodis</i>	-	-	-	-	0.9	+	-	-	-	-	-	-	
<i>F. intermedia</i>	-	2.1	0.1	0.1	-	-	0.1	-	-	-	0.1	0.1	
<i>F. pinnata</i>	0.1	0.1	-	-	0.2	-	-	0.1	+	-	-	+	
<i>Frustulia rhomboides</i>	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>F. vulgaris</i>	0.3	0.9	+	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Gomphonema angustatum</i>	-	0.4	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	
<i>G. augur</i> var. <i>sphaerophorum</i>	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	
<i>G. clevei</i>	0.1	-	+	-	0.3	0.1	0.2	-	0.2	+	0.1	-	
<i>G. gracile</i>	-	-	-	0.3	-	-	-	0.1	0.1	-	-	0.1	
<i>G. helveticum</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	2.4	10.0	-	8.4	
<i>G. minutum</i>	4.7	2.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>G. olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i>	-	0.9	1.6	-	-	41.5	9.6	+	-	41.9	7.9	+	
<i>G. parvulum</i>	0.1	0.9	0.6	3.6	0.3	1.1	1.5	7.3	-	-	0.9	16.4	
<i>G. pseudotenellum</i>	3.3	2.8	3.1	3.0	0.2	0.1	0.2	1.4	-	-	2.1	0.1	
<i>Gyrosigma spencerii</i>	-	0.4	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Hantzschia amphioxys</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	
<i>Hydrosera triquetra</i>	0.1	1.0	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
<i>Melosira varians</i>	0.5	5.3	0.5	2.6	1.3	1.2	0.5	2.0	0.2	1.6	0.7	0.3	
<i>Meridion circulare</i> var. <i>constricta</i>	0.1	0.2	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>Navicula bacillum</i>	0.1	0.1	-	-	0.3	-	-	+	+	-	-	-	
<i>N. cinctaeformis</i>	0.4	0.6	-	0.9	0.2	0.1	+	14.1	-	0.6	3.7	10.0	
<i>N. clementis</i>	0.3	-	-	-	0.5	0.1	-	-	-	-	-	-	
<i>N. contenta</i>	0.1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	
<i>N. cryptocephala</i>	1.1	0.2	+	1.6	0.3	0.1	+	2.0	-	0.1	0.1	0.1	
<i>N. cryptotenella</i>	2.4	2.5	0.6	6.0	2.7	0.9	1.7	1.6	13.0	1.3	1.1	0.8	
<i>N. decusis</i>	0.3	0.2	-	-	0.2	0.2	0.1	+	0.3	0.1	0.1	+	
<i>N. elginensis</i>	-	0.1	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	
<i>N. goeppertiana</i>	-	-	-	+	0.1	-	-	0.1	-	-	+	-	
<i>N. gregaria</i>	4.7	2.1	0.6	8.4	9.6	7.4	23.7	2.2	3.9	3.4	5.2	0.1	
<i>N. lanceolata</i>	0.3	-	-	2.0	0.2	-	-	-	0.1	0.4	0.1	0.6	
<i>N. minima</i>	-	-	-	-	-	-	-	20.1	-	-	-	0.1	
<i>N. mutica</i> var. <i>ventricosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
<i>N. perminuta</i>	3.8	6.6	+	1.7	3.1	6.2	0.5	+	0.6	0.1	+	+	
<i>N. protracta</i>	-	-	-	-	+	0.1	+	-	-	-	-	-	
<i>N. pseudolanceolata</i> var. <i>denselineolata</i>	0.1	0.6	0.3	0.1	-	0.1	0.2	+	-	0.1	0.2	+	
<i>N. pupula</i>	0.1	0.9	-	+	0.8	+	+	+	-	+	+	+	
<i>N. rhynchocephala</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	0.1	-	
<i>N. schroeterii</i>	0.7	-	0.1	1.6	1.2	0.1	+	0.4	0.1	+	-	0.1	
<i>N. slesvicensis</i>	0.1	-	+	5.2	2.7	0.1	+	4.9	4.9	+	-	5.9	
<i>N. ventralis</i>	0.2	0.1	-	-	0.8	+	+	0.5	+	-	-	-	
<i>N. viridula</i> var. <i>viridula</i>	0.1	-	-	2.6	0.5	+	-	1.0	0.9	-	0.1	0.2	
<i>N. viridula</i> var. <i>rostellata</i>	0.1	0.1	0.2	3.9	0.1	+	-	+	-	-	-	-	

(continue)

Nitzschia amphibia.....	0.3	0.2	+	0.3	1.1	2.8	2.6	0.1	-	-	0.1	0.1
N. dissipata.....	0.3	-	0.7	-	-	+	1.1	+	-	+	5.8	-
N. frustulum.....	-	-	+	-	0.2	1.9	2.8	1.0	0.1	0.1	-	0.5
N. gracilis.....	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-
N. linearis.....	0.8	4.2	0.7	-	+	0.7	0.1	-	-	+	0.2	-
N. palea.....	0.7	0.6	0.1	6.2	2.4	0.6	1.1	7.9	3.9	0.3	0.9	1.7
N. paleacea.....	-	0.2	-	-	-	0.2	-	0.1	-	0.1	0.1	-
N. parvula.....	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N. romana.....	-	1.4	0.1	1.3	0.2	3.4	11.2	0.1	0.1	0.8	0.7	0.5
Pinnularia gibba.....	0.1	0.1	-	-	+	-	-	-	-	-	0.1	-
Rhoicosphenia abbreviata.....	-	-	0.2	-	-	0.1	2.0	-	0.1	-	0.1	-
Rhopalodia gibberula.....	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Stauroneis phoenicenteron.....	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Surirella angusta.....	0.1	1.3	0.2	2.0	0.1	1.0	0.4	0.2	0.1	0.6	0.3	+
S. linearis.....	-	0.6	+	0.1	+	+	-	-	0.1	+	0.1	+
S. ovata var. pinnata.....	-	0.2	0.2	-	-	+	0.1	-	-	0.1	0.3	-
Synedra inaequalis.....	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	0.1	-	-
S. rumpens var. rumpens.....	-	-	0.1	0.1	-	-	0.1	0.1	+	+	0.2	2.2
S. rumpens var. meneghiniana.....	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	0.1
S. ulna.....	0.1	0.2	0.1	0.9	+	0.1	+	8.5	0.1	0.1	0.1	11.7
Tabellaria fenestrata.....	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

* A: Autumn, W: Winter, Sp: Spring, Sm: Summer

(+ < 0.05)

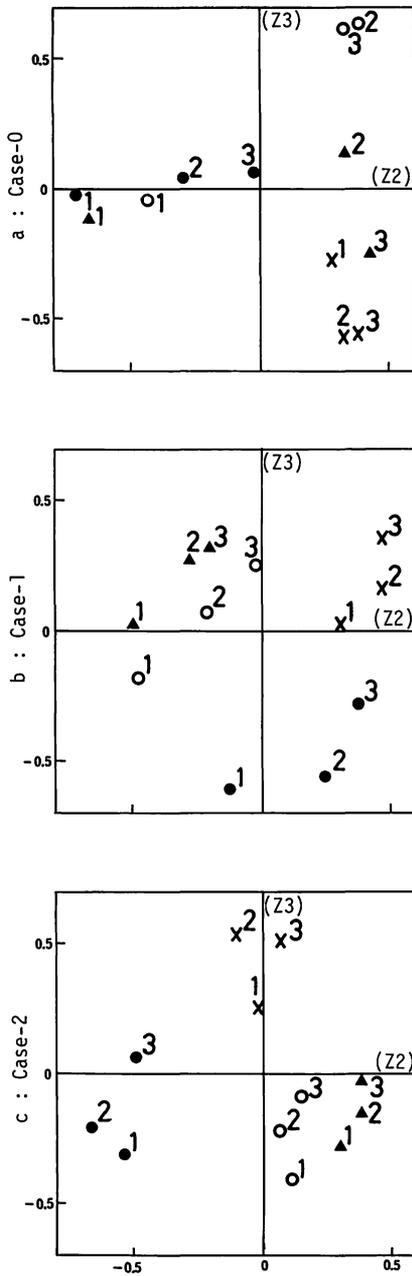
Table 3. The Factor loadings by PCA.

Data processing		Case-0			Case-1			Case-2		
Factors		Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3
Proportion of eigenvalues (%)		41.6	17.7	13.5	55.5	11.6	10.2	41.4	11.7	9.8
St. 1	Autumn	0.62	-0.71	-0.02	0.68	-0.13	-0.61	0.52	-0.53	-0.30
	Winter	0.77	-0.45	-0.05	0.69	-0.48	-0.18	0.60	0.12	-0.41
	Spring	0.52	-0.68	-0.12	0.72	-0.50	0.03	0.66	0.30	-0.28
	Summer	0.82	0.29	-0.28	0.81	0.30	0.01	0.70	-0.03	0.37
St. 2	Autumn	0.81	-0.30	0.04	0.68	0.23	-0.59	0.53	-0.66	-0.20
	Winter	0.54	0.38	0.64	0.82	-0.22	0.07	0.73	0.08	-0.22
	Spring	0.74	0.34	0.14	0.81	-0.28	0.28	0.66	0.39	-0.15
	Summer	0.31	0.33	-0.58	0.72	0.47	0.17	0.66	-0.10	0.55
St. 3	Autumn	0.74	-0.02	0.06	0.71	0.38	-0.28	0.56	-0.49	0.07
	Winter	0.62	0.32	0.61	0.76	-0.00	0.25	0.68	0.15	-0.09
	Spring	0.61	0.42	-0.25	0.80	-0.20	0.32	0.66	0.39	-0.02
	Summer	0.41	0.39	-0.56	0.71	0.47	0.36	0.71	0.07	0.52

どを欠くことが特徴的であった。さらに、夏期に少ない種は概して上流地点ほど多くみられることから、第3主成分は夏期の試料を類別しているとともに、地点を類別する因子も含まれていると思われる。なお、Case-2で特徴的な種は *Gomphonema gracile*, *Fragilaria pinnata*, *Navicula bacillum* など、出現細胞数の少ない偶在種が主体となっていた。

Case-1では、寄与率11.6%の第2主成分と寄与率10.2%の第3主成分の因子負荷量により、試料はCase-2とほぼ同様な類別がなされている (Fig. 3-b)。

Case-1の因子得点 (Fig. 4-b)によると、夏期-秋期を特徴づける種は *Cymbella turgidula*, *Navicula slesvicensis*, *N. viridula* など、冬期-春期を特徴づける種は *Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum*, *Fragilaria capucina*, *Nitzschia linearis* などとなっている。また、右斜め方向の軸をみると、全体としては夏期を特徴づけ、季節ごとでは下流の地点を特徴づけている種として、*Cymbella tumida*, *Gomphonema helveticum* が抽出された。夏期に少なく、季節ごとでは上流の地点を特徴づけている種として、*Cocconies pediculus*, *C. placentula*



(● : Autumn, ○ : Winter, ▲ : Spring, X : Summer)

Fig. 3. Diagram of samples plotted on the second and third factors.

var. euglypta, *Nitzschia linearis*, *Gomphonema minutum*, *Navicula perminuta* が抽出された。また、Case-2 に比較して Case-1 では、特徴的な種はいずれも出現率の高いもので、優占種も含まれていた。

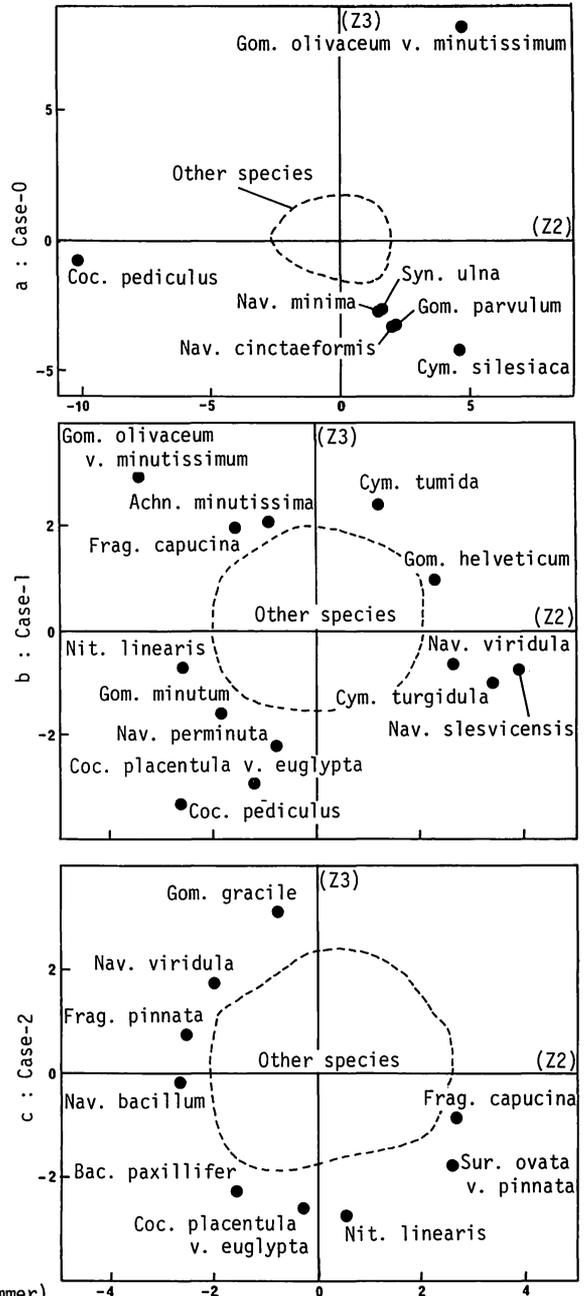


Fig. 4. Diagram of species plotted on the second and third factor scores.

(2) 夏期の試料を除いた主成分分析

全試料による主成分分析では、季節の因子が抽出されたものの、夏期を類別する因子と地点を類別する因子が複合的に現われているため、充分な解析が行えなかった。そこで、夏期の試料を除いた9つの試料につ

Table 4. Factor scores of the first principal components for the main species.

Data processing	Case-0	Case-1	Case-2
Factor	Z1	Z1	Z1
Proportion of eigenvalue (%)	41.6	55.5	41.4
<i>Achnanthes convergens</i>	14.24	8.40	3.28
<i>Cymbella silesiaca</i>	9.21	7.70	3.28
<i>Cocconeis pediculus</i>	6.24	2.77	2.05
<i>Navicula gregaria</i>	4.84	6.17	3.28
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i>	4.77	2.82	1.20
<i>Navicula cryptotenella</i>	1.65	6.17	3.28
<i>Achnanthes lanceolata</i>	1.47	3.37	3.28
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i>	0.92	4.95	3.28
<i>Cocconeis placentula</i>	-0.38	1.96	3.28
<i>Melosira varians</i>	0.57	4.17	3.28
<i>Navicula peruminata</i>	1.05	2.81	3.28
<i>Nitzschia palea</i>	0.99	4.49	3.28
<i>Surirella angusta</i>	-0.41	2.32	3.28
<i>Synedra ulna</i>	0.23	1.73	3.28

いて主成分分析を行った。以下に Case-1~Case-6 の第 2~第 5 主成分で得られた季節の因子と地点の因子について示す。

a. 季節の因子についての解析

Case-1 では、第 2、第 5 主成分の因子負荷量によ

り、試料は季節ごとに 3 つの群に類別され (Fig. 5-a), Case-3, 5, 6 でも同様な類別がなされた。ところが Case-2 では冬期の試料を類別する因子が抽出されおらず、季節ごとの類別は不十分で (Fig. 5-b), Case-4 もこれと同様な結果となっていた。

秋期と冬期-春期を類別している第 2 主成分について、各季節を特徴づける種を抽出するために、第 2 主成分の因子得点の絶対値が大きい種をまとめたものが Table 5 である。秋期を特徴づける種としては、*Cymbella turgidula*, *Navicula viridula* var. *slesvicensis*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta* などがあげられる。ここで Case-2 では、これらの種に比較して *Fragilaria pinnata*, *Navicula bacillum* などの偶在種の評価が高くなっていた。一方、冬期-春期を特徴づける種としては、*Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum*, *Achnanthes minutissima*, *Fragilaria capucina* などが抽出された。

b. 地点の因子についての解析

各 Case とも、第 3 主成分は St. 1 と St. 3 を類別しており、第 4 (Case-2, 4 では第 5) 主成分は、St. 2 を他の地点と類別していた。類別は、対数処理を行っ

Table 5. Factor scores of the second principal components for the main species.

Data processing	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
Factor	Z2	Z2	Z2	Z2	Z2	Z2
Proportion of eigenvalue	13.3	15.0	14.2	15.3	15.6	16.9
<i>Cymbella turgidula</i>	3.35	-1.45	2.95	-2.98	3.96	3.23
<i>Navicula slesvicensis</i>	2.59	-1.19	2.84	-1.23	1.88	1.77
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	2.37	-0.35	1.67	-1.58	1.56	2.18
<i>Navicula viridula</i>	1.52	-1.91	1.82	-1.62	2.10	1.58
<i>Cocconeis pediculus</i>	1.16	-0.35	0.54	-1.86	2.26	3.00
<i>Fragilaria pinnata</i>	0.31	-2.55	1.27	-2.20	1.36	0.39
<i>Navicula bacillum</i>	0.27	-2.55	1.78	-2.20	1.80	1.06
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i>	-3.10	2.53	-3.29	3.83	-3.58	-3.55
<i>Achnanthes minutissima</i>	-2.36	2.53	-2.67	2.72	-2.42	-1.77
<i>Fragilaria capucina</i>	-1.75	2.53	-2.02	2.32	-2.45	-2.24
<i>Surirella angusta</i>	-1.56	-0.35	-0.75	-0.51	-1.40	-2.19
<i>Cymbella sinuata</i>	-1.33	2.24	-2.03	1.99	-1.81	-1.35
<i>Surirella ovata</i> var. <i>pinnata</i>	-1.29	2.53	-1.86	1.75	-1.84	-1.21
<i>Fragilaria intermedia</i>	-1.15	2.11	-1.84	1.48	-1.56	-1.01
<i>Ceratoneis arcus</i> var. <i>hattoriana</i>	-0.76	2.11	-1.22	1.48	-1.16	-0.26

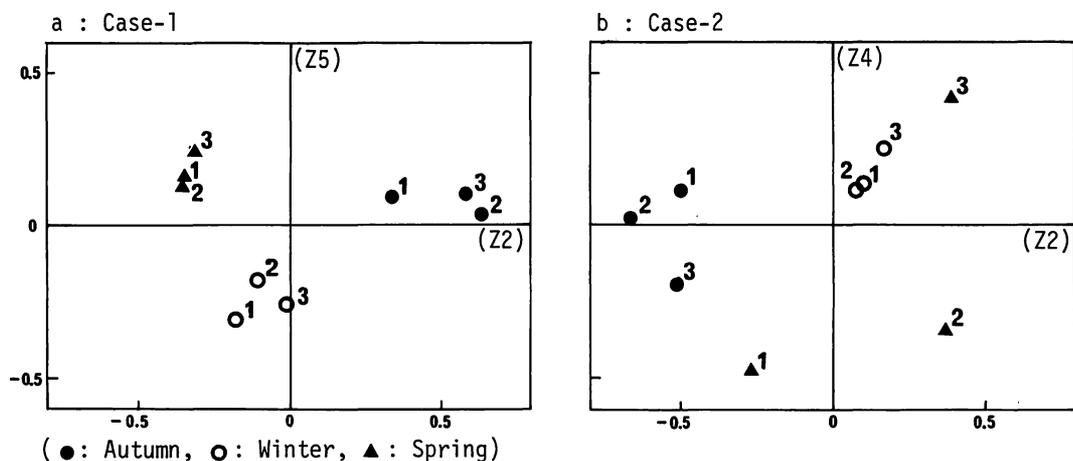


Fig. 5. Diagram of samples plotted on the second and fifth (fourth) factors.

た Case-1 で最も明瞭で (Fig. 6-a), $1 \cdot 0$ 変換の Case-2 でやや不明瞭になっている (Fig. 6-b) もの、Case 間に大幅な差は認められなかった。

St. 1 と St. 3 を類別している第 3 主成分について、因子得点の絶対値が大きい種をまとめたものを Table 6 に示す。St. 1 を特徴づける種としては、*Cocconeis pediculus*, *Gomphonema pseudotenellum*, *Achnanthes lanceolata* や、St. 1 でのみ観察された *Gomphonema minutum* があげられ、これらの多くは夏期には出現頻度が低かったものである。Case ごとに因子得点を比較すると、St. 1 で最も特徴的に出現した *C. pediculus* は、St. 2, 3 においても極くわずかに出現しているため、 $1 \cdot 0$ 変換の Case-2 ではほとんど評価されていなかった。また、大型の *Nitzschia linearis* は、被度により区

分した Case-5, 6 で高い値を示していた。St. 3 を特徴づける種としては、*Gomphonema helveticum* のほか、St. 1 で出現数の少ない *Cymbella tumida*, *Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum* などがある。

なお、第 4 (Case-2, 4 では第 5) 主成分で St. 2 を特徴づけている種は、*Achnanthes delicatula*, *Nitzschia amphibia*, *N. frustulum* などであった。

2. 付着珪藻類組成の特徴

調査結果を、優占種に着目し相対頻度からみた場合、St. 1 で多量に出現した *Cocconeis pediculus*, St. 2, 3 で冬期に大増殖していた *Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum* が特に目立っていた。次に、データに対数処理、細胞数及び被度による段階区分をほどこして

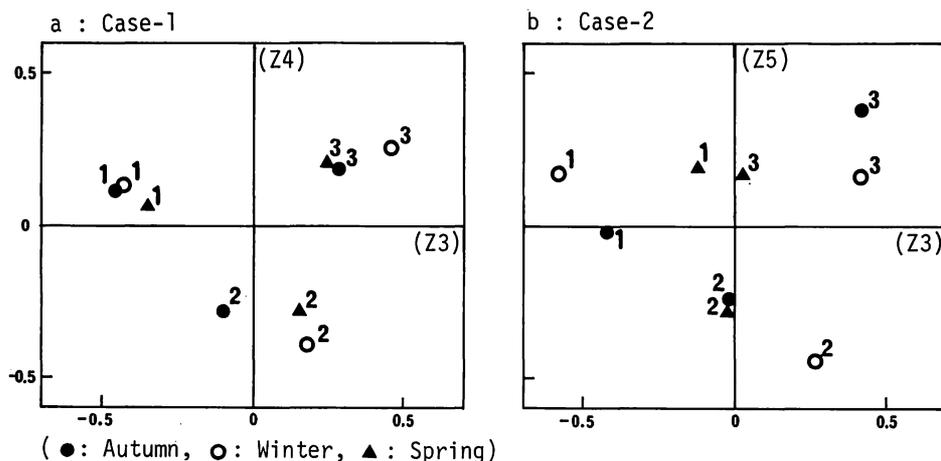


Fig. 6. Diagram of samples plotted on the third and fourth (fifth) factors.

Table 6. Factor scores of the third principal components for the main species.

Data processing	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
Factor	Z3	Z3	Z3	Z3	Z3	Z3
Proportion of eigenvalue (%)	10.3	10.4	10.2	9.7	11.7	14.1
<i>Cocconeis pediculus</i>	-3.82	0.08	-2.26	-2.06	-3.33	-2.94
<i>Gomphonema minutum</i>	-3.09	-2.14	-3.02	-1.78	-2.98	-2.74
<i>G. pseudotenellum</i>	-2.22	-1.62	-2.09	-1.65	-2.25	-2.20
<i>Achnanthes lanceolata</i>	-2.12	-0.68	-1.31	-1.30	-1.19	-1.89
<i>Frustulia vulgaris</i>	-1.52	-2.15	-1.85	-1.67	-1.71	-0.95
<i>Nitzschia linearis</i>	-1.50	-0.78	-1.72	-1.58	-2.31	-3.14
<i>Cymbella tumida</i>	2.29	0.95	2.26	1.50	2.91	3.31
<i>Gomphonema helveticum</i>	2.21	1.88	1.96	2.71	2.56	2.67
<i>G. olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i> ...	2.08	0.10	2.03	0.96	1.57	0.79
<i>Cymbella turgidula</i>	1.53	0.39	1.11	1.79	1.90	2.62
<i>Nitzschia frustulum</i>	1.23	2.12	1.82	1.69	1.69	1.29

主成分分析により解析した結果、付着珪藻類組成の季節変化が明らかとなった。本調査地域における常在種及び各季節を特徴づける種は、以下のとおりであった。

常在種：*Achnanthes convergens*, *Cymbella silesiaca*, *Navicula gregaria*, *N. cryptotenella*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Nitzschia palea*, *Melosira varians*.

冬期—春期型：*Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum*, *Fragilaria capucina*.

春期型：*Nitzschia dissipata*, *Rhoicosphenia abbreviata*.

夏期型：*Synedra ulna*, *Navicula cinctaeformis*, *Gomphonema parvulum*.

夏期—秋期型：*Navicula slesvicensis*, *N. viridula*, *Cymbella turgidula*.

秋期—冬期型：*Navicula perminuta*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*.

また、各調査地点はいずれも沼田川水系の中流域にあたり、水質、水温などの環境はほぼ等しいにもかかわらず、地点により付着珪藻類組成が異なっていた。この原因としては、同じ水質環境下でも、遷移の段階が異なっていることが考えられる。つまり、本調査地域においては、上流部の地点ほど河床の石礫が小さく、水量の変動も大きいことから、増水時の河床の攪乱などによる付着珪藻類組成への影響が大きいと推察される。このため、上流の地点ほど遷移の初期段階に

ある可能性が高い。また、水温が高いほど遷移速度が速いと思われ、高水温期には極相段階にある可能性が高い。これらのことを考えあわせると、夏期に多く出現する種は本調査地域の上流地点に少なく、逆に上流地点ほど多く出現する種は夏期にはあまり出現しなかったことが説明できる。前者の例としては *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Cymbella turgidula*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula cinctaeformis*, *Synedra ulna* が、後者の例としては *Cocconeis pediculus*, *C. placentula* var. *euglypta*, *Gomphonema minutum*, *Navicula perminuta*, *Nitzschia linearis* があげられる。このうち *Cocconeis placentula* var. *euglypta* は、遷移の初期段階に出現することが知られている (KORTE and BLINN 1983)。この他に年間を通じて地点による出現傾向の異なる種としては、上流部ほど多くみられた *Achnanthes lanceolata*, *Gomphonema pseudotenellum*, 下流部ほど多くみられた *Cymbella tumida*, *Gomphonema helveticum* があげられ、前者はパイオニア種、後者は極相の構成種と思われる。

なお、冬期には St. 2, 3 で *Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum* の群体が形成されており、低水温期の極相状態と考えられる。

遷移に関する報告は、本邦でも人工水路を用いたもの (渡辺, 山本 1982) など若干なされているものの、充分なものではない。今後、河床の攪乱のほか、魚類

水生昆虫による捕食など遷移の進行を妨げる要因も含めて、水温、日照などの影響を総合的に検討する必要がある。

3. 主成分分析に用いるデータ型式について

附着珪藻類組成の解析を行うために主成分分析を行う際、相対頻度のような生データをそのまま用いた場合は、限られた優占種の因子が抽出されただけであった。これは、ALLEN and KOONCE (1973) が湖の植物プランクトン組成の変化の解析において、未処理のデータを用いた場合は、極くわずかの情報しか得られなかったとしていることと一致する。彼らは、対数処理と $1 \cdot 0$ 変換ではほぼ同様な結果が得られたとしている。しかし本調査においては、対数処理と $1 \cdot 0$ 変換では試料を類別している因子負荷量は類似しているものの、種ごとの因子得点をみると、 $1 \cdot 0$ 変換では偶在種が過大に扱われていた。このため、 $1 \cdot 0$ 変換は標徴種を抽出するには有効と思われるが、調査精度に高いものが要求され、偶然性に左右される危険を免れない。なお、広島県太田川について、同じ河川附着珪藻類組成に主成分分析を適用した筆者らの研究(半田, 中野 1986)では3段階区分を用いた。この場合も偶在種の評価が高くなる傾向があった。

本調査においては、対数処理を行ったデータで有効な情報を十分に抽出することができた。対数処理は、McINTIRE (1973), AMSPOKER (1977) が、内湾の珪藻類組成の解析に用いている。主成分分析は、用いるデータが正規分布をしていることを前提としている。対数処理を行った場合、データが正規分布に近いものになることから、珪藻類組成に対数処理を用いることにより、総合的な情報が抽出されるものと思われる。

細胞数による段階区分や、被度による区分もデータは正規分布に近く、対数処理とほぼ同様な結果が得られている。なお、被度によるものはバイオマスも考慮

されるため、より意味のあるデータと考えられる。

Case-6 は、1細胞しか観察されなかった場合に“0”を与えているにもかかわらず、解析結果はその他の Case と類似しており、段階区分したデータにより主成分分析を行う際、調査精度は顕著な影響を与えないことが明らかとなった。

終りに本稿の御校閲を賜った広島大学の岩月善之助教授に深甚の謝意を表したい。さらに、水質分析に御協力頂いた広島県地区衛生組織連合会の職員の方々に御礼申しあげる。

引用文献

- ALLEN, T.F.H. and KOONCE, J.F. 1973. Multivariate approaches to algae stratagems and tactics in systems analysis of phytoplankton. *Ecology* **54**: 1234-1246.
- AMSPOKER, M.C. 1977. The distribution of intertidal diatoms associated with the sediments in Yaquina Estuary, Oregon. Ph. D. Thesis, 172pp.
- 半田信司・中野武登 1986. 附着珪藻類組成の主成分分析による解析——広島県太田川. *ヒコビア* **9**: 501-507.
- KORTE, V.L. and BLINN, D.W. 1983. Diatom colonization on artificial substrata in pool and riffle zones studied by light and scanning electron microscopy. *J. Phycol.* **19**: 332-341.
- McINTIRE, C.D. 1973. Diatom associations in Yaquina estuary, Oregon: A multivariate analysis. *J. Phycol.* **9**: 254-259.
- 森谷栄一・井口晴弘 1972. 多変量解析とコンピュータプログラム. 日刊工業新聞社 東京 273 pp.
- 渡辺仁治・山本裕美 1982. 人工水路における河川性藻被の遷移に伴う構造の変化. 「環境科学」研究報告集 B 121-R 12-10. 実験水路による底生生物の環境指標性の研究. 81-91.