Diatom 25:153-156. December 2009

茜谷和宏*・渡辺 剛*・高野祥平*・片野 登*:堆積物表生性珪藻群落に 基づく水質指標の適用可能性 – 豊川(秋田県)の事例による検討

Kazuhiro Akaneya^{*}, Tsuyoshi Watanabe^{*}, Shohei Takano^{*} and Noboru Katano^{*}: Are water quality indices based on epipelic diatoms applicable? –A case study of Toyokawa River, Akita, Japan.

Abstract

Three diatom indices, Diatom Assemblage Index to organic water pollution (DAIpo), the water quality evaluation of Japanese-type River (WQEJR), and the trophic diatom index (TDI), were calculated based on epipelic diatom assemblages to test their applicability. The dominant diatom taxon was Navicula gregaria at three out of the five sampling sites. At the other two sites, Nitzschia inconspicua and Nitzschia dissipata var. media were the dominant species, respectively. Based on epipelic diatoms, the three diatom indices showed almost the same correspondences to the water quality as those based on epilithic diatoms. Correlations between the indices and the water quality were, however, not as expected from the nature of the indices. For instance, higher values of TDI at sites with low phosphorus concentrations were associated with the dominance of N. gregaria, which usually indicates high phosphorus concentrations on stones.

Key index words : correlation analysis, diatom indices (index), epipelon, environmental parameter, water quality

はじめに

河川付着珪藻を用いた水質汚濁指標は、一般に 礫表生性珪藻の種組成に基づいている(渡辺ら 2005)。しかし、礫表生性珪藻の試料は、河床に礫 が乏しい河川や深所では人為的に付着基盤を投入 しない限り、その採集は困難である。一方、河床 の砂泥や堆積物は河川のあらゆる場所に存在し、 礫に乏しい河川でも容易に採集できる。しかし、 河川の堆積物表生性珪藻はこれまで水質指標に利 用されていないため,指標性に関する十分な情報 がなく,水質指標に用いることができない。そこ で本研究では,堆積物表生性珪藻の水質指標とし ての適用可能性を検討するために,八郎潟へ流入 する豊川の堆積物表生性珪藻群落に基づき,DAIpo (付着珪藻群集に基づく有機汚濁指数;渡辺ら 2005),識別珪藻群法(Kobayasi & Mayama 1989), Trophic Diatom Index (Kelly & Whitton 1995)の 3つの水質指標値を算出し,水質の測定結果と比較 するとともに,指標値と水質との関係を従来の礫 表生性珪藻に基づく結果と比較した。



Fig. 1. The sampling stations (\bigstar) in Toyokawa River.

材料と方法

珪藻の採集と採水は2009年5月7日に,豊川の5つ の地点で行った (Fig. 1)。

堆積物表生性珪藻は河川堆積物を大型スポイト で直接採集した。珪藻試料はその一部を1.5mLのマ イクロチューブに取り、遠心して上澄みを捨てた 後パイプユニッシュ(SC Johnson,東京)を加え 攪拌,数分間放置して有機物を除去した。そこに 蒸留水を加え攪拌・遠心し、上澄みを捨てた。こ の操作を10回繰り返すことで珪藻試料を洗浄した。 洗浄した試料はマウントメディア(和光純薬工業, 大阪)を用いて封入し、永久プレパラートとした。

 *〒010-0195 秋田市下新城中野字街道端西241-438 秋田県立大学生物資源科学部
*Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University, 241-438 Kaidobata-Nishi Nakano Shimoshinjo, Akita, Akita 010-0195, Japan プレパラートを光学顕微鏡 (OLYMPUS BX1) 下 で約400殻ずつ計数し,相対出現頻度を算出した。 出現珪藻の同定は高野ら (2009) に準ずる。珪藻 に基づく水質指標はDAIpo (渡辺ら 2005),識別 珪藻群法 (Kobayasi & Mayama 1989), Trophic Diatom Index(以下, TDI, Kelly & Whitton 1995) を利用した。

試水を持ち帰り,実験室でpH及び電気伝導率 (EC)をガラス電極法(WM-50EG 東亜ディーケー ケー,東京)によって測定した。また,化学的酸 素要求量(COD),生物化学的酸素消費量(BOD), 浮遊物質(SS),アンモニア態窒素(NHrN),亜 硝酸態窒素(NO₂-N),硝酸態窒素(NO₃-N),リン 酸態リン(PO₄-P),全窒素(T-N),全リン(T-P) の各濃度についても測定した。SSはガラス繊維濾 紙法により測定した。CODは100℃における酸性過 マンガン酸カリウムによる酸素消費量(COD_{Mn}) により測定した。BODは20℃で5日間放置したとき に消費される溶存酸素の量から求める方法により 測定した。窒素,リンに関しては,水質自動分析

Table 1. Diatoms from the Toyokawa River. Taxa less than 1% at the all sites are combined into "others". DAIpo : Diatom Assemblage Index to organic water pollution according to Watanabe *et al.* (2005) ; categories 1, 2, and 3 indicate saproxenous, indifferent, and saprophilous groups, respectively. WQEJR : Water Quality Evaluation of Japanese-type River according to Kobayasi & Mayama (1989) ; categories A, B, and C indicate most pollution-tolerant, less pollution-tolerant, and pollution sensitive groups, respectively. TDI : Trophic Diatom Index according to Kelly & Whitton (1995). Larger value of taxon sensitivities, s, corresponds to higher nutrient concentration. Indicator value, v, weights each species' relative frequencies.

	Collecting stations				Diatom indices				
						DAIpo	WQEJR	T	DI
Таха	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5			s	v
Melosira varians	3.3	0.5	0.7	2.2	2.8	2	С	4	2
Diatoma mesodon	1.3	0.7	0.2	0	0.3	¦ 1	С	2	1
Fragilaria capitellata	0.5	7.2	2.7	1.7	1.0	1	С	2	1
F. crotonensis	0.5	0.2	1.2	1.0	6.0	2	С	2	1
F. minuscula	0.3	0.2	0.2	1.7	2.0	2	С	2	1
F. perminuta	0	0	0.2	0	4.3	2	С	2	1
F. vaucheriae	0.5	1.0	0.5	1.2	2.5	1	в	3	2
Hannaea arcus var. recta	4.8	5.7	0.2	1.0	0	2	С	1	3
Meridion circulare	1.0	0.7	0	0	1.0	1	С	2	3
Encyonema silesiacum	0	0	0	0	12.5	1	С	2	1
Gomphoneis okunoi	2.8	0.5	0.5	0	0.8	¦ 1	С	0	0
Gomphonema parvulum	1.5	0.5	0.2	0.2	1.3	2	А	5	3
Achnanthidium convergens	1.5	4.7	3.5	5.5	0.5	1	С	3	1
A. minutissimum	0	0.5	0.7	0.5	1.3	1	С	2	2
Planothidium lanceolatum	4.5	2.0	2.0	0.7	0.8	1	С	5	2
Psammothidium helveticum	3.3	1.5	1.0	0.7	0.3	2	С	3	1
Mayamaea atomus	1.8	0.5	2.5	0.5	0.3	3	А	5	1
Navicula cryptotenella	0	0	0.2	1.7	1.5	2	С	5	2
N. gregaria	41.8	54.3	17.0	57.4	5.5	2	В	5	1
N. lanceolata	18.0	4.2	2.5	3.0	1.8	2	С	5	2
N. pseudoreinhardtii	0	0	0.2	0	1.3	1	С	4	1
N. vaucheriae	0.5	1.5	2.0	0.7	0.5	2	С	5	1
<i>N</i> . sp.	0	0	2.2	0	0	2	С	5	1
Bacillaria paxillifer	0	0	0	0	1.0	2	В	4	1
Nitzschia acicularioides	1.3	0.5	3.5	0.7	7.3	2	С	4	1
N. dissipata var. media	2.5	2.0	2.5	9.5	20.8	1	С	4	2
N. fonticola	1.0	0.7	0.5	0	1.8	2	С	4	1
N. inconspicua	4.3	7.4	45.1	2.0	0.3	2	С	4	1
N. palea var. debilis	0	0	0	0	4.8	2	С	4	1
N. romana	0.5	0	0	0	1.3	2	С	4	1
N. tubicola	1.0	0.2	0.5	0	2.0	2	С	4	1
Surirella angusta	0	0	0.2	1.2	1.8	2	В	3	1
S. minuta	0	0	0	0.5	1.3	2	С	3	1
others	4.8	9.4	13.2	12.7	13.8	I			
total	100	100	100	100	100	1 1			

Collecting stations	pН	EC (mS/m)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO3-N (mg/l)	Or-N (mg/l)	T-N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	pT-P (mg/l)	T-P (mg/l)
st.1	7.02	11.16	1.31	1.10	0.6	0.100	0.001	0.138	0.288	0.526	0.013	0.001	0.014
st.2	7.07	11.70	1.89	1.52	3.2	0.069	0.002	0.186	0.447	0.704	0.008	0.004	0.012
st.3	7.19	12.32	2.33	1.39	4.5	0.029	0.001	0.119	0.273	0.422	0.020	0.011	0.031
st.4	6.94	16.63	5.57	2.00	16.1	0.095	0.012	0.091	0.607	0.804	0.067	0.081	0.149
st.5	6.76	24.00	7.80	2.42	13.9	0.336	0.019	0.160	0.812	1.327	0.031	0.043	0.073

Table 2. Physicochemical environmental parameters of the Toyokawa River.

装置(TRAACS2000, Bran+Luebbe, 東京)を用 い,比色分析によりNH₄-N, NO₅-N, NO₂-N, PO₄-Pを測定した。T-NおよびT-Pはそれぞれ水酸化ナト リウムによってアルカリ条件にしたペルオキソ二 硫酸カリウム溶液を試料に加えオートクレーブを 用いて,加熱分解をした後にNO₅-NおよびPO₄-Pと して測定し,有機体窒素(Or-N)と懸濁態リン(pT-P)を下記の式を用いて推定した。

 $Or-N = T-N - (NH_4-N + NO_3-N + NO_2-N)$

 $pT-P = T-P - PO_4-P$

珪藻を用いた水質指標値と水質各項目との相関 係数rを, Excel (Microsoft, Redmond, USA)の ワークシート関数を用いて算出した。

結 果

各地点で優占的だった分類群(相対出現頻度5% 以上)は、地点1ではNavicula gregaria (41.8%), Navicula lanceolata (18.0%),地点2ではN. gregaria (54.3%), Nitzschia inconspicua (7.4%), Fragilaria capitellata (7.2%), Hannaea arcus var. recta (5.7 %),地点3では、N. inconspicua (45.1%), N. gregaria (17.0%),地点4では、N. gregaria (57.4%), Nitzschia dissipata var. media (9.5%), Achnanthidium convergens (5.5%),地点5では、N. dissipata var. media (20.8%), Encyonema silesiacum (12.5 %), Fragilaria crotonensis (6.0%), Nitzschia acicularioides (7.3%), N. gregaria (5.5%) であった (Table 1)。

地点1のEC, COD, BOD, SSおよび栄養塩類の NH_eN, NO₂N, NO₃N, Or-N, T-N, PO₄-P, pT-P の各濃度が5地点中で最も低くなった(Table 2)。 地点2はNO₃-Nが5地点中最も高くPO₄-P, T-Pが最も 低くなった(Table 2)。地点3はpHが最も高く, 栄 養塩類では, NH_eN, NO₂N, Or-N, T-Nが5地点 中最も低くなった(Table 2)。地点4はSSが最も高 く, 栄養塩類では, NO₃-Nが5地点中最も低く, PO₄-P, pT-P, T-Pが最も高くなった(Table 2)。地点5 はpHが最も低く, EC, COD, BODが最も高い。 栄養塩類では, NH_eN, NO₂N, Or-N, T-Nが最も 高くなった(Table 2)。 各地点の珪藻指標値は、DAIpoで57~72の範囲, 識別珪藻群法で1.25~1.92の範囲を示し、地点間の 違いはあまり大きくなかった(Table 3)。これに 対してTDIは1.95~4.07の範囲にあり、地点間での 違いがやや大きかった(Table 3)。

DAIpoの指標値とpHは多重性を考慮しない限り において有意な負の相関を示した (r=0.90, p=0.038) 一方, EC, COD, BOD, NH_rN, NO_rN, Or-N, T-Nは, 多重性を考慮しない限りにおいて DAIpoと有意な正の相関 (r>0.853, p<0.05) を 示した(Table 4)。識別珪藻群法の指標値およびTDI は, 全ての全物理的・化学的水質と有意な相関を 示さなかった (Table 4)。

Table 3. Values of the three diatom indices.

Collecting stations	DAIpo	WQEJR	TDI
st.1	57.0	1.73	4.07
st.2	59.9	1.86	3.32
st.3	56.2	1.35	1.95
st.4	60.2	1.92	2.57
st.5	71.6	1.25	1.99

考 察

全地点で強い運動性を持つNaviculaあるいは Nitzschiaに属す分類群(Harper 1977)が20%以上 で第一優占種となった。強い運動性は堆積物表生 珪藻の特徴であるとされており(Round *et al.* 1990),本研究で得られた堆積物表生性珪藻群落は その特徴をよく表している。

各地点の珪藻指標値と個々の水質の対応関係を 既知の結果と比較した。DAIpoはEC, COD, BOD, T-N, T-Pとの対応関係が明らかになっている(渡 辺ら 2005)。本研究における各地点のDAIpoと上 記の水質は既知の関係とほぼ符号した(Table 2, 3)。識別珪藻群法では,各指標群の相対頻度とBOD との対応関係が示されている(Kobayasi & Ma-

water	correlation coefficient					
quality	DAIpo	WQEJR	TDI			
pН	-0.90*	0.20	0.19			
EC	0.94*	-0.51	-0.61			
COD	0.87*	-0.38	-0.65			
BOD	0.89*	-0.32	-0.66			
SS	0.63	-0.09	-0.62			
NH ₄ -N	0.96*	-0.53	-0.33			
NO ₂ -N	0.91*	-0.34	-0.54			
NO ₃ -N	0.34	-0.12	0.26			
Or-N	0.93*	-0.21	-0.47			
T-N	0.99*	-0.34	-0.40			
PO ₄ -P	0.21	0.23	-0.40			
pT-P	0.39	0.15	-0.46			
T-P	0.32	0.18	-0.44			

Table 4. Correlation analyses of the three diatom indices with the 13 environmental parameters. *: p < 0.05.

yama 1989)。本研究の各地点における指標値は, 地点5で従来の報告から予測されるよりも小さな値 が得られた他は,既知の対応関係と概ね一致した (Table 2, 3)。TDIは指標値とpT-Pとの対応関係が 示されている(Kelly & Whitton 1995)。リン濃度 が低い地点1と2(上流)で,リン濃度から予測さ れるよりも大きな値が得られた他は,既知の対応 関係と概ね一致した(Table 2, 3)。これらの結果 から,本研究で用いた堆積物表生性珪藻群落から求 りた徒楽値と概ね相違ないことが示された。

礫表生性珪藻を用いた指標値と水質諸項目との 関係として,DAIpoはEC,COD,BOD,T-N,T-P と負の相関を示し(渡辺ら2005),識別珪藻群法 ではBODと(Kobayasi & Mayama 1989),TDIで はリンの濃度と(Kelly & Whitton 1995),それぞ れ正の相関を示すことが知られている。しかし, 本研究においてDAIpoはEC,COD,BOD,T-N,-Pと正の相関を示し,T-Pとの相関は弱かった。識 別珪藻群法とTDIにおいては,水質との関係が負 で相関も弱かった(Table 4)。

珪藻指標と水質の相関が、既知の結果と合致し なかった要因として次のことが推測された。豊川 では上流から下流まで水質の変化が少なく、珪藻 指標値の地点間の相違も小さかった。そのため、 相関関係が十分に見出せなかった。DAIpoと識別 珪藻群法については、EC、COD、BOD、TNが最

も高い地点5で、好清水性種(渡辺ら 2005) ある いは弱汚濁耐性種(Kobayasi & Mayama 1989)と されるNitzschia dissipata var. mediaが優占した (Table 1) ために,指標値がDAIpoでは高く,識別 珪藻群法では低くなったことを考慮する必要があ る (Table 3)。DAIpoで珪藻群集を3つの生態種群 にわける際,スコアが32.0以下を好汚濁性,48.7以 上を好清水性とした (Asai 1995) 。この際, N. dissipata var. mediaはスコアが49.7だったので、極め て広適応性種に近い好清水性種といえる。識別珪 藻群法では、中汚濁耐性種および強汚濁耐性種に 分類されなかった種は全て弱汚濁耐性種に分類さ れることになるので (Kobayasi & Mayama 1989), 本種のように過去の研究で生態が十分に明らかに されていない種の分類には疑問が残る。TDIにつ いては、pT-Pの最も低い地点1と2で(Table 2), sensitivity(s)が高い、すなわちリン濃度が高い場所で 出現頻度が高くなるとされるNavicula gregariaが 優占したために (Table 1, Kelly & Whitton 1995), その指標値が高くなった (Table 3)。これら優占 種の影響により、3つの珪藻水質指標値と水質との 相関が既知の研究と符合しなかった可能性がある。

本研究により,堆積物表生性珪藻に基づいて算 出された3つの水質指標は,既知の礫表生性珪藻群 落を用いた結果と概ね相違ないことが明らかとな り,堆積物表生性珪藻においても適用できる可能 性が高いことが示された。しかし, N. gregariaの ように,堆積物上と礫上で異なる水質への応答を 示した種があることについては,今後の検討課題 である。

引用文献

- Asai, K. 1995. Statistic classification of epilithic diatom species into three ecological groups relating to organic water pollution. (1) Method with coexistence index. Diatom 10: 13-34.
- Harper, M.A. 1977. Movement. *In*: Werner, D. (ed.) The Biology of Diatoms. pp. 224-249. Blackwell Science Publications, Oxford.
- Kelly, M.G. & Whitton, B.A. 1995. The Trophic Diatom Index. Journal of Applied Phycology 7:433-444.
- Kobayasi, H. & Mayama, S. 1989. Evaluation of river water quality by diatoms. Korean Journal of Phycology 4: 121-133.
- Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990 The Diatoms. Biology & Morphology of the genera. 747 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
- 高野祥平・茜谷和宏・渡辺剛・片野登. 2009. 秋田県 の珪藻2-豊川の珪藻. Diatom **25**:120-133.
- 渡辺仁冶·浅井一視·大塚泰介·辻彰洋·伯耆晶子. 2005. 淡水珪藻生態図鑑. 784 pp. 内田老鶴圃,東京.