

## 八幡湿原の珪藻と水質

大塚泰介<sup>1)</sup> \* · 有田重彦<sup>2)</sup> · 白川勝信<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 琵琶湖博物館 · <sup>2)</sup> 琵琶湖博物館はしかけ · たんさいぼうの会 · <sup>3)</sup> 高原の自然館

### Diatoms in Yawata Mire, Kitahirosima, Hiroshima Prefecture, Japan, with Special References to Water Quality

\* Taisuke OHTSUKA, Shigehiko ARITA, and Katsunobu SHIRAKAWA

**Abstract :** We studied diatom assemblages of Yawata mire, a group of transitional mires or poor fens scattered in the Yawata Highland located in the northern part of Hiroshima. In total 12 diatom samples at six sampling sites in four mires consisting Yawata mire were collected. Representative substrata at each site, i.e., *Sphagnum palustre* above the water level, living/dead plants in the water, or surface sediment in a pool were collected depending on the mire environments. Surface waters were low in electric conductivity (3.6-3.9 mS m<sup>-1</sup>) and slightly acidic (5.9-6.6 in pH). Total dissolved nitrogen and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> were significantly higher in streams than in pools. In total 151 species (including 12 unidentified) belonging to 49 genera were observed. The predominant genera in terms of number of species were *Eunotia* and *Pinnularia*, represented by 24 and 21 species, respectively. On *S. palustre*, *Aulacoseira* sp., *Eunotia neocompacta*, or *Microcostatus vitrea* was dominant depending on the mires. *Frustulia saxonica*, *Aulacoseira* sp. or *Peronia fibula* was dominant on the dead plants in the pools depending on the samples. *Brachysira brebissonii* was dominant on the surface sediment. *Diatoma mesodon*, *Eunotia minor*, and *Fragilaria gracilis* was dominant on the living/dead plants in the streams. Cluster analysis and indicator species analysis displayed that the  $\beta$ -diversity of the diatom community was mainly produced by the mixture of lotic and lentic environments.

### はじめに

八幡湿原は八幡高原(広島県山県郡北広島町)に点在する中間湿原の総称である。日本の代表的な中間湿原であり、中間湿原を代表するヌマガヤ - マアザミ群集(*Moliniopsis japonica* - *Cirsium sieboldii* community;堀川ら 1959)は、八幡湿原の研究に基づいて設定された。

中間湿原は、独特な生物相を育む保全上重要な環境である。愛知県豊田市の東海丘陵湧水湿地群が、2012年のRamsar COP11で登録湿地にされたことは、その重要性が広く認識され始めたことの証である。しかし中間湿原の実態解明は、高層湿原に比べて著しく遅れている。人里の近くにあることが多いにも関わらず、規模が小さいために発見されにくいものが多く、また地域内で知られていてもその重要性が認識されないことが多かったためと考えられる(富田 2010)。

中間湿原という語は本来、低層湿原から高層湿原への遷移の途上にある湿原(transitional moor)を意味するのに対し、日本では高層湿原と低層湿原との中間的性質をもつ湿原(poor fen, lagg, seepage slopeなど)を全て中間湿原として扱ってきたため、その全体像が把握され難かった。しかし波田(1983)、Hada(1984)が中国地方の中間湿原を成因によって「陸化型」「谷湿原」「初生貧養型」の3型に分類し、さらに最近になって富田(2010)が泥炭の有無に重点を置いて「泥炭地湿原」と「鉱質土壌湿原」に区分したことにより、中間湿原を類型化して理解することが可能になってきた。両者の区分に従えば、八幡湿原を構成する湿原は多くが谷湿原だが、一部に初生

貧養型の湧水湿原を含み、また泥炭地湿原と鈹質土壌湿原が混在している。

珪藻は湿原における主要な一次生産者の1つである。日本の中間湿原の珪藻植生はほとんど調べられていないが、これまでに以下の研究例がある。三重野ら(1997)は、黒沢湿原(徳島県三好市)から27属105種4変種(109 taxa)の珪藻を報告した。黒沢湿原は泥炭の堆積が見られる谷湿原であり、その内部に河川、池、湿地、休耕田などの環境が混在する。最近、Kihara *et al.* (2009)は山門湿原(滋賀県長浜市)から、36属123種(と7未同定種)の珪藻を報告した。山門湿原は高層湿原要素を含む中間湿原であり、湿原内に泥炭地と非泥炭地、池塘と陸化部分、止水環境と流水環境が混在する。いずれも、本州中部・東北部の高層湿原から報告された珪藻が30 taxa前後である(平野1977)のに比べ、はるかに多い種数である。

本研究では八幡湿原の珪藻植生を調査した。八幡高原の珪藻植生についてはOkuno & Kurosawa (1959)による報告があり、八幡高原のフジウロコゴケ *Chiloscyphus polyanthos* 上から29 taxa、千町原のサワヒヨドリ *Eupatorium lindleyanum* 上から44 taxa、西八幡原のヒロハススキゴケ *Anisothecium squarrosium* (*Dicranella palustris* の異名)上から39 taxaが報告されている。しかし、これらの試料が湿原から採集されたものか否かは不明である。したがって本報が八幡湿原の珪藻植生に関する初めての報告と考えられる。

珪藻群落は水質の変化に対応してその種組成が変化するため、高い水質指標性をもつことが知られている(例えばDam *et al.* 1994, 渡辺ら2005)。しかし淡水珪藻の水質指標性はほとんどが河川あるいは湖沼で調べられたものであり、湿原での水質指標性についてはあまり情報がない。そこで本研究では各湿原の水質についても併せて報告し、珪藻群落との関連を考察する。

## 材料と方法

水源や泥炭堆積の程度が異なる4つの湿原、6つの調査地点で、2012年11月18日に調査を行った。調査対象とした湿原の概要と、各々で採集した試料は以下の通りである。

**長者原湿原**：湿原の成立は少なくとも8,000年前に遡り、厚さ1 m以上の泥炭の堆積が見られる(木村ら2007)。調査を行った湿原中央部はモウセンゴケ群落に占められている(白川・中越1999)。湿原を横切る道路の東側で水たまりの表層堆積物と、その近傍の陸上のオオミズゴケ *Sphagnum paustre* 生体を採集した。また道路の西側で、水たまりに沈んだカヤツリグサ科(おそらくハリイ属 *Eleocharis* sp.)の枯死体、およびその近傍の陸上のオオミズゴケ生体を採集した。

**尾崎谷湿原**：八幡高原に現存する最大の湿原である。本来は谷湿原だったと考えられるが、現在では新川ため池の水と湧水によって涵養されている。多少の泥炭層の発達が見られる。ヌマガヤが広い範囲で優占する。水たまりに沈んだコウホネ *Nuphar japonicum* およびカヤツリグサ科(おそらくハリイ属)の枯死体、および近傍の陸上のオオミズゴケ生体を採集した。

**霧ヶ谷湿原**：河川水を導水することで再生された湿原である。かつては湿原だったが、1964年に放牧地として開墾された。1986年に牧場が閉鎖された後は遷移が進んで樹林地化した(吉野・白川2005)。2007年度より「八幡湿原自然再生事業」によって樹木等の伐採と河川からの導水が行われ、中間湿原としての姿を取り戻しつつある。湿原内の水たまりに沈んだカヤツリグサ科(おそらくホタルイ *Scirpus hotarui*) 枯死体とその近くの陸上のオオミズゴケ生体、そして湿原に通された水につかったコマツカサススキ *Scirpus fuirenoides* (カヤツリグサ科) 枯死体を採集した。

**水口谷湿原**：谷の周辺に発達した、ハンノキ *Alnus japonica* が優占する湿地林である。林内を流れる小川に生育するフトヒルムシロ *Potamogeton fryeri* 生体の水中葉と、川底に沈んだハンノキの落葉を採集した。

採集した試料を、直ちに約1.5%の中性ホルムアルデヒド溶液(約5%中性ホルマリンに相当)で固定し、100 ml ポリ瓶に入れて持ち帰った。また、試料採取時に水温をアルコール温度計で、pHをTwin pH B212(堀場製作所、京都)で、電気伝導度(EC)をTwin Cond B173(堀場製作所、京都)で、それぞれ測定した。さらに現場の水を孔径0.2 μmのシリンジフィルタで濾過した試水をポリ瓶に入れて持ち帰り、実験室で冷凍および冷蔵保存した。

実験室でオートアナライザ(AACS-II, Bran+Luebbe K.K., 東京)により、以下の水質項目を比色分析で定量し

た：アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 亜硝酸態窒素 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 全溶存態窒素 (TDN), 溶存反応性リン (SRP), 全溶存態リン (TDP), 溶存反応性珪酸 (SRSi). 以上のうち, SRSi の分析のみ冷蔵試水を, 他は冷凍試水を用いた. また, TDN と TDP の定量のために, 冷凍試料の一部をペルオキシ二硫酸カリウムで分解して用いた. また, 冷蔵試水を用いて, 主要な陽イオンおよび陰イオンの濃度をイオンクロマトグラフィ (DX-AQ, Nippon Dionex K.K., 大阪) で測定した.

珪藻被殻のクリーニングを次のとおり行った. 底泥以外の試料を鋏で切り刻んでよく混ぜた後, 各試料に塩酸を 1N 程度になるように加えて  $80^\circ\text{C}$  で加熱後, 繰り返し蒸留水で洗浄して石灰質を除去した. 次に有機物を除去するために硫酸を加えて約  $180^\circ\text{C}$  で加熱し, 試料が十分に炭化した後に過酸化水素水を加えて有機物を完全に酸化分解した. その後, 繰り返し蒸留水で洗浄して珪藻被殻の洗浄試料を得た.

洗浄した被殻をプルーラックスで封入して永久プレパラートを作成した. ここに含まれる珪藻の殻をデジタル顕微鏡写真用カメラ (Digital Sight, Nikon, 東京) 付の光学顕微鏡 (Eclipse 80i, Nikon, 東京) で, 100 倍の油浸対物レンズを用いて写真撮影した. 写真は Photoshop CS4 (Adobe, California, USA) を用いて, 倍率 1,500 倍, 解像度 500 dpi とした. また, 各試料に含まれる珪藻の殻をそれぞれ 500 殻 (250 細胞分に相当) ずつ同定計数して, それぞれの種のパーセント度数を算出した. また同定の確認のために, 一部の洗浄被殻試料を白金蒸着し, フィールドエミッション型の走査電子顕微鏡 (SEM; 6301F, 日本電子, 東京) によって観察した.

珪藻群集の  $\beta$  多様性の構造を把握するためにクラスター分析を行った. フリーウェア R 3.1.1 を用い, ライブラリ stats の hclust 関数によって分析を行った. 距離尺度として改良松下距離 (Ohtsuka 1999) を用いた. 改良松下距離は種  $i$  の試料  $j$  における比率データ  $p_{ij}$  を,  $x_{ij} = (p_{ij}/2)^{1/2}$  と変換した上で,  $x_{ij}$  に対するユークリッド距離を算出することで求められる. クラスターの併合基準としてウォード法を用いた.

各クラスターの指標種を, 指標種分析 (Dufrêne & Legendre 1997) によって抽出した. フリーウェア R 3.1.1 を用い, ライブラリ lavdsv の indval 関数によって分析を行った. 指標種分析の指標値  $\text{IndVal}_{ik}$  は, (種  $i$  のクラスター  $k$  での総個体数 / 種  $i$  の全試料での総個体数)  $\times$  (クラスター  $k$  中で種  $i$  が出現した試料数 / クラスター  $k$  に含まれる総試料数)  $\times 100$  として算出される. この指標値が最大になったクラスターにおいて, ブートストラップ確率が  $p \leq 0.05$  で有意となった種 (ただし多重性は考慮しない) を, そのクラスターの指標種として抽出した.

## 結果

水温は  $8.3\text{-}10.5^\circ\text{C}$ , EC は  $3.6\text{-}3.9 \text{ mS m}^{-1}$ , pH は  $5.9\text{-}6.6$  の範囲であった.  $\text{NO}_3\text{-N}$  は止水の 4 地点では  $0.2\text{-}2.0 \mu\text{mol l}^{-1}$  の範囲だったのに対して, 流水の 2 地点ではそれぞれ  $41.3, 48.3 \mu\text{mol l}^{-1}$  の値を示し, 流水で止水よりも有意に高い傾向が見られた (対数変換値に対する Welch の検定,  $p < 0.05$ ). TDN (全溶存態窒素) として見た場合にも, 止水の 4 地点では  $5.6\text{-}8.9 \mu\text{mol l}^{-1}$  の範囲だったのに対して, 流水の 2 地点ではそれぞれ  $43.9, 53.2 \mu\text{mol l}^{-1}$  であり, 流水で止水よりも有意に値が高い傾向が見られた (対数変換値に対する Welch の検定,  $p < 0.05$ ). 他の水質項目については, sequential Sidak 法によって多重性を制御した限りにおいて, 流水と止水で有意差は見られなかった ( $p > 0.05$ ). ただし多重性を考慮しない場合, SRSi は止水 ( $1.38\text{-}2.79 \text{ mg l}^{-1}$ ) よりも流水 ( $4.03, 4.16 \text{ mg l}^{-1}$ ) で値が高い有意な傾向が見られ,  $\text{K}^+$  は止水 ( $0.44\text{-}0.77 \text{ mg l}^{-1}$ ) よりも流水 ( $0.30, 0.35 \text{ mg l}^{-1}$ ) で値が低い有意な傾向が見られた (表 1).

全 12 試料から各 500 殻の珪藻を同定したところ, 全体で 49 属 151 種の珪藻が含まれていた (うち 12 種は未同定; 表 2). また, ここに含まれない種が少なくとも 7 種写真撮影されている. 最も多くの種を擁した属は *Eunotia* (24 種) で, *Pinnularia* (21 種) がこれに続いた. 全試料の平均で 0.2% 以上含まれていた 53 種の顕微鏡写真を図 1-68 に示す.

各試料における珪藻の優占種 (パーセンテージ度数が最も大きかった種) を以下で示す. オオミズゴケ上では湿原ごとに優占種が異なり, 尾崎谷湿原では *Aulacoseira* sp. 1 が, 長者原湿原の 2 地点ではともに *Eunotia neocompacta* Mayama が, 霧ヶ谷湿原では *Microcostatus vitrea* (Østrup) nom. nud. が, それぞれ優占種となった. 止水 (水たまり) 中の植物遺体上では, 尾崎谷湿原のコウホネ枯死体上で *Aulacoseira* sp. 1 が, 尾崎谷湿原

表1 調査地点の緯度経度および水質

湿原	長者原湿原		尾崎谷湿原	霧ヶ谷湿原		水口谷湿原
生息場所	水たまり(西)	水たまり(東)	水たまり	水たまり	流水	流水
北緯 °	34.6941	34.6942	34.7222	34.7132	34.7124	34.7087
東経 °	132.1705	132.1706	132.1696	132.1956	132.1950	132.1914
時刻	10:46	11:03	13:04	14:03	14:26	15:04
水温 °C	9.3	10.5	9.5	8.3	8.7	9.2
pH	5.9	5.9	5.9	6.1	6.6	6.3
EC mS m <sup>-1</sup>	3.9	3.6	3.7	3.7	3.6	3.6
NH <sub>4</sub> -N umol l <sup>-1</sup>	1.05	1.06	0.57	0.99	1.23	0.73
NO <sub>2</sub> -N umol l <sup>-1</sup>	0.09	0.12	0.13	0.14	0.13	0.15
NO <sub>3</sub> -N umol l <sup>-1</sup>	0.20	0.91	0.28	1.97	48.25	41.95
TDN umol l <sup>-1</sup>	7.69	5.59	5.64	8.88	52.81	43.89
PO <sub>4</sub> -P umol l <sup>-1</sup>	0.01	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02
TDP umol l <sup>-1</sup>	0.11	0.10	0.06	0.07	0.09	0.04
SRSi mg l <sup>-1</sup>	1.38	2.35	2.07	2.79	4.03	4.16
F <sup>-</sup> mg l <sup>-1</sup>	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Cl <sup>-</sup> mg l <sup>-1</sup>	6.30	7.43	5.07	6.43	6.25	5.66
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg l <sup>-1</sup>	1.82	2.45	1.46	2.02	1.70	1.55
Li <sup>+</sup> mg l <sup>-1</sup>	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Na <sup>+</sup> mg l <sup>-1</sup>	3.01	3.25	2.78	2.97	2.78	2.92
K <sup>+</sup> mg l <sup>-1</sup>	0.77	0.48	0.44	0.44	0.35	0.30
Mg <sup>2+</sup> mg l <sup>-1</sup>	0.15	0.14	0.09	0.13	0.14	0.13
Ca <sup>2+</sup> mg l <sup>-1</sup>	0.18	0.12	0.09	0.22	0.21	0.19

と霧ヶ谷湿原のカヤツリグサ科枯死体上で *Frustulia saxonica* Rabenh. が、長者原湿原（西）のカヤツリグサ科枯死体上で *Peronia fibula* (Bréb. ex Kütz.) R.Ross が優占種となった。長者原湿原（東）の底泥上では、*Brachysira brebissonii* R.Ross が優占種であった。流水中の植物上では、霧ヶ谷湿原のカヤツリグサ科枯死体上で *Fragilaria gracilis* が、水口谷湿原のフトヒルムシロ水中葉上で *Diatoma mesodon* (Ehrenb.) Kütz. が、水口谷湿原のハンノキ落葉上で *Eunotia minor* (Kütz.) Grunow が、それぞれ優占種となった。

クラスター分析の結果、12本の珪藻試料はプールおよび陸上から採集された9本の試料からなるクラスター1と、流水中から採集された3本の試料からなるクラスター2に大別された。クラスター1は、さらにすべての陸上のオオミズゴケ試料と尾崎谷湿原のコウホネ枯死体試料からなるクラスター1Aと、他の止水中から得られたすべての試料からなるクラスター1Bに分けられた(図69)。

指標種分析で、クラスター1の有意な指標種として抽出されたのは、*Eunotia* sp. 1と *F. saxonica* の2種のみであった。これに対して、クラスター2の有意な指標種として28種が抽出された。クラスター1A, 1Bの指標種として、各4種が抽出された(表3)。

顕微鏡写真を示した53種のうち、未同定の3種について若干の分類学的所見を示す。

#### *Aulacoseira* sp. 1. (図8-10)

殻径6-13 μm, 殻套高6-9 μm, 殻套条線密度12-15本/10 μm, 胞紋密度約15個/10 μm. SEMによる観察では、本種はへら形で先端が二分する連結棘をもつ(図10)。この特徴は *Aulacoseira lirata* (Ehrenb.) R.Ross と共通である。また、殻套の高さが殻径と同程度かそれよりも短い点や、殻套の条線が殻縁と平行かやや傾斜している点でも *A. lirata* と似ている (cf. English & Potapova 2011)。しかし本種の条線密度、およびこれを構成する胞紋は、*A. lirata* のそれ(7-13本/10 μm, 7-10個/10 μm)よりも細かい。本種は光学顕微鏡下では、やや条線が粗いことを除けば *Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer にもよく似ている。しかし本種の連結棘の形態は、*A. alpigena* がもつ小さな枝分かれのある独特な連結棘とは大きく異なる (cf. Krammer & Lange-Bertalot 1991)。

表 2 同定計数時に確認された出現種. 計数されなかったが, 写真撮影時に出現が確認された種が, この他に少なくとも 7 種ある.

<i>Achnanthes subhudsonis</i> Hust.	<i>E. nymanniana</i> Grunow	<i>N. paleacea</i> Grunow
<i>Achnanthidium convergens</i> (H.Kobayasi) H.Kobayasi	<i>E. paludosa</i> Grunow	<i>N. recta</i> Hantzsch ex Rabenh.
<i>A. lineare</i> W.Sm.	<i>E. pseudogroenlandica</i> Lange-Bert. et Tagliaventi	<i>Nupela lapidosa</i> (Krasske) Lange-Bert.
<i>A. minutissimum</i> (Kütz.) Czarn. sensu lato	<i>E. pseudoflexuosa</i> Hust.	<i>N. wellneri</i> (Lange-Bert.) Lange-Bert.
<i>A. ovatum</i> Tosh.Watan. et Tuji	<i>E. rhomboidea</i> Hust.	<i>Oricymba japonica</i> (Reichelt) Jüttner et al.
<i>A. pusillum</i> (Grunow) Czarn.	<i>E. serra</i> Ehrenb.	<i>Peronia fibula</i> (Bréb. ex Kütz.) R.Ross
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	<i>E. tropica</i> Hust.	<i>Pinnularia anglica</i> Krammer
<i>A. granulata</i> (Ehrenb.) Simonsen	<i>E. valida</i> Hust.	<i>P. aquilonaris</i> M.H.Hohn et Helleman
<i>A. pusilla</i> (F.Meister) Tuji et Houki	<i>Eunotia</i> sp. 1	<i>P. brauniana</i> (Grunow) Mills
<i>A. tethera</i> E.Y.How.	<i>Eunotia</i> sp. 2	<i>P. erratica</i> Krammer
<i>A. valida</i> (Grunow) Krammer	<i>Eunotia</i> sp. 3	<i>P. hilseana</i> var. <i>japonica</i> H.Kobayasi
<i>Aulacoseira</i> sp. 1	<i>Fragilaria gracilis</i> Østrup	<i>P. macilenta</i> Ehrenb.
<i>Aulacoseira</i> sp. 2	<i>F. neoproducta</i> Lange-Bert.	<i>P. obscura</i> Krasske
<i>Brachysira brebissonii</i> R.Ross	<i>Frustulia crassinervia</i> (Bréb.) Lange- Bert. et Krammer	<i>P. pisciculus</i> Ehrenb.
<i>B. neoexilis</i> Lange-Bert.	<i>F. marginata</i> Amossé	<i>P. perirrorata</i> Krammer
<i>B. procera</i> Lange-Bert. et Gerd Moser	<i>F. pangaea</i> Metzeltin et Lange-Bert.	<i>P. pseudogibba</i> var. <i>rostrata</i> Krammer
<i>B. wygaschii</i> Lange-Bert.	<i>F. saxonica</i> Rabenh.	<i>P. rhombarea</i> Krammer
<i>Caloneis</i> sp.	<i>Gomphonema acidoclinatum</i> Lange-Bert. et E.Reichardt	<i>P. rhomboelliptica</i> Krammer
<i>Cavinula cocconeiformis</i> (W.Greg. ex Grev.) D.G.Mann et Stickle	<i>G. angustatum</i> (Kütz.) Rabenh.	<i>P. subcapitata</i> var. <i>subrostrata</i> Krammer
<i>C.lapidosa</i> (Krasske) Lange-Bert.	<i>G. apuncto</i> J.H.Wallace	<i>P. subgibba</i> Krammer
<i>Chamaepinnularia bremensis</i> (Hust.) Lange-Bert.	<i>G. exilissimum</i> (Grunow) Lange-Bert. et E.Reichardt	<i>P. subrupestris</i> Krammer
<i>C. mediocris</i> (Krasske) Lange-Bert.	<i>G. hebridense</i> W.Greg.	<i>P. viridiformis</i> Krammer
<i>C. vyvermanii</i> Lange-Bert.	<i>G. pumilum</i> var. <i>elegans</i> E.Reichardt et Lange-Bert.	<i>Pinnularia</i> sp. 1
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenb.	<i>Hannaea arcus</i> var. <i>hattoriana</i> (F.Meister) Ohtsuka	<i>Pinnularia</i> sp. 2
<i>Cymbella turgidula</i> Grunow	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenb.) Grunow	<i>Pinnularia</i> sp. 3
<i>Cymbopleura naviculiformis</i> (Auersw. ex Heib.) Krammer	<i>Kobayasiella micropunctata</i> (H.Germ.) Lange-Bert.	<i>Pinnularia</i> sp. 4
<i>C. oblongata</i> var. <i>parva</i> Krammer	<i>Kolbesia suchlandtii</i> (Hust.) J.C.Kingston	<i>Pinnularia</i> sp. 5
<i>C. peranglica</i> Krammer	<i>Luticola aequatorialis</i> (Heiden) Lange- Bert. et Ohtsuka	<i>Planothidium lanceolatum</i> (Bréb. ex Kütz.) Lange-Bert.
<i>Diademes confervacea</i> Kütz.	<i>L. minor</i> (R.M.Patrick) Mayama	<i>P. frequentissimum</i> var. <i>magnum</i> (F.Straub) Lange-Bert.
<i>D. contenta</i> (Grunow ex Van Heurck) D.G.Mann	<i>Melosira varians</i> C.Agardh	<i>Psammothidium oblongellum</i> (Østrup) Van de Vijver
<i>D. perpusilla</i> (Grunow) D.G.Mann	<i>Meridion constrictum</i> Ralfs	<i>Pseudostaurosira trainorii</i> E.Morales
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenb.) Kütz.	<i>Microcostatus maceria</i> (Schim.) Lange- Bert.	<i>Punctastriata lancettula</i> (Schum.) P.B.Ham. et Siver
<i>Discostella stelligera</i> (Cleve et Grunow) Houk et Klee	<i>M. vitrea</i> (Østrup) nom. nud. <sup>1</sup>	<i>Reimeria sinuata</i> (W.Greg.) Kociolek et Stoermer
<i>Encyonema lunatum</i> (W.Sm.) Van Heurck	<i>Navicula angusta</i> Grunow	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bert.
<i>E. paucistriatum</i> (Cleve-Euler) D.G.Mann	<i>N. cryptocephala</i> Kütz.	<i>Sellaphora densistriata</i> (Lange-Bert. et Metzeltin) Lange-Bert. et Metzeltin
<i>E. pergracile</i> Krammer	<i>N. delicatilineolata</i> H.Kobayasi et Mayama	<i>S. lanceolata</i> D.G.Mann et S.Droop
<i>E. perpusillum</i> (Cleve) D.G.Mann	<i>N. gondwana</i> Lange-Bert.	<i>S. pupula</i> (Kütz.) Mereschk
<i>E. silesiacum</i> (Breisch) D.G.Mann	<i>N. notha</i> J.H.Wallace	<i>S. seminulum</i> (Grunow) D.G.Mann
<i>Encyonopsis kaingensis</i> (Vyverman) Krammer	<i>N. leptostriata</i> E.G.Jørg.	<i>Seminavis strigosa</i> (Hust.) Danielidis et Econ.-Amilli
<i>E. spicula</i> (Hust.) Krammer	<i>N. pseudotenelloides</i> Krasske	<i>Stauroforma exifguiformis</i> (Lange-Bert.) Flower
<i>Eunotia arcus</i> Ehrenb.	<i>N. tridentula</i> Krasske	<i>Stauroneis kriegeri</i> R.M.Patrick
<i>E. bilunaris</i> (Ehrenb.) Schaarschm.	<i>N. upsaliensis</i> (Grunow) Perag.	<i>S. phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenb.
<i>E. biseriatoidea</i> H.Kobayasi et al.	<i>Naviculadicta ambiguissima</i> Gerd Moser et al.	<i>S. tenera</i> Hust.
<i>E. boreotenuis</i> Nörpel et Lange-Bert.	<i>Neidium affine</i> (Ehrenb.) Pfizer	<i>Staurosira venter</i> var. <i>binodis</i> H.Kobayasi
<i>E. circumborealis</i> Lange-Bert. et Nörpel	<i>N. amphigomphus</i> (Ehrenb.) Pfizer	<i>Staurosira</i> sp.
<i>E. exigua</i> (Bréb. ex Kütz.) Rabenh.	<i>N. ampliatus</i> (Ehrenb.) Krammer	<i>Stenopterobia curvula</i> (W.Sm.) Krammer
<i>E. formica</i> Ehrenb.	<i>N. tenuissimum</i> Hust.	<i>S. delicatissima</i> (F.W.Lewis) Bréb. ex Van Heurck
<i>E. implicata</i> Nörpel et al.	<i>Nitzschia dissipata</i> var. <i>media</i> (Hantzsch) Grunow	<i>Surirella linearis</i> W.Sm.
<i>E. incisa</i> W.Sm. ex W.Greg.	<i>N. palea</i> var. <i>debilis</i> (Kütz.) Grunow	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz.
<i>E. minor</i> (Kütz.) Grunow		
<i>E. muscicola</i> Krasske		
<i>E. naegeli</i> Migula		
<i>E. neocompacta</i> Mayama		

1. *Navicula festiva* Krasske あるいは *Fallacia vitrea* (Østrup) D.G.Mann として報告されてきた種.

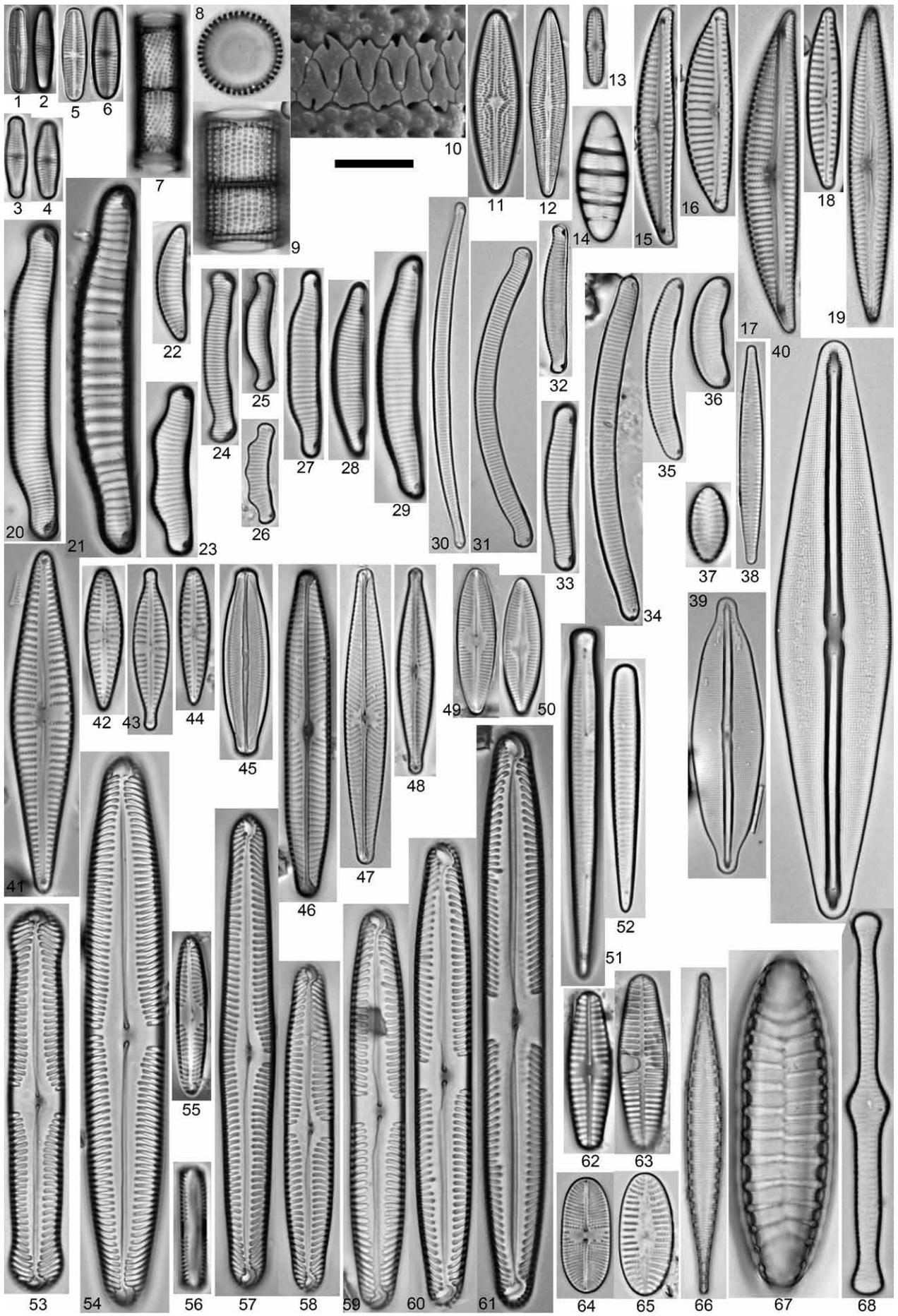


図 1-68 八幡湿原の主な珪藻の顕微鏡写真. 1, 2. *Achnanthisidium lineare*. 3, 4. *A. minutissimum sensu lato*. 5, 6. *A. pusillum*. 7. *Aulacoseira ambigua*. 8-10. *Aulacoseira* sp. (8. 殻面, 9. 帯面, 10. 連結棘 SEM 写真). 11. *Brachysira brebissonii*. 12. *B. procera*. 13. *Chamaepinnularia mediocris*. 14. *Diatoma mesodon*. 15. *Encyonema lunatum*. 16. *E. paucistriatum*. 17. *E. pergracile*. 18. *E. perpusillum*. 19. *Encyonopsis kaingensis*. 20. *Eunotia arcus*. 21. *E. biseriatioides*. 22. *E. boreotenuis*. 23. *E. circumborealis*. 24. *E. neocompacta*. 25. *E. exigua*. 26. *E. muscicola*. 27. *E. implicata*. 28. *E. incisa*. 29. *E. minor*. 30. *E. naegeli*. 31. *E. nymanniana*. 32. *E. paludosa*. 33. *E. rhomboidea*. 34-36. *Eunotia* sp. 1. 37. *Fragilaria neoproducta*. 38. *F. gracilis*. 39. *Frustulia crassinervia*. 40. *F. saxonica*. 41. *Gomphonema acidoclinatum*. 42. *G. angustatum*. 43. *G. exilissimum*. 44. *G. pumilum* var. *elegans*. 45. *Microcostatus virea* nom. nud. 46. *Navicula angusta*. 47. *N. leptostriata*. 48. *N. notha*. 49, 50. *Nupela lapidosa*. 51, 52. *Peronia fibula*. 53. *Pinnularia hilseana* var. *japonica*. 54. *P. pseudogibba* var. *rostrata*. 55, 56. *P. perirrorata*. (55. 殻面, 56. 帯面) 57, 58. *P. subcapitata* var. *subrostrata*. 59-61. *Pinnularia* sp. 1. 62, 63. *Planothidium frequentissimum* var. *magnum*. 64, 65. *Psammothidium oblongellum*. 66. *Stenopterobia delicatissima*. 67. *Sulirella linearis*. 68. *Tabellaria flocculosa*. スケールバー = 1.5  $\mu\text{m}$  (図 10), 10  $\mu\text{m}$  (その他全て).

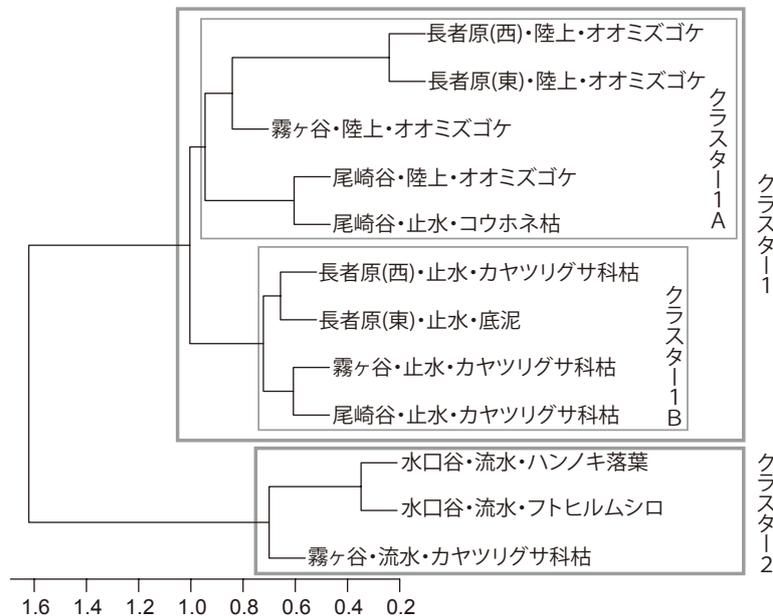


図 69 クラスタ分析の結果.

#### *Eunotia* sp. 1. (図 34-36)

殻長 13-49  $\mu\text{m}$ , 殻幅 3.4-4.3  $\mu\text{m}$ , 条線密度 16-19 本/10  $\mu\text{m}$ . 本種は *Eunotia mucophila* (Lange-Bert. et al.) Lange-Bert. とよく似た形状を示すが, 殻幅が大きく条線も粗い点で区別できる (*E. mucophila* は殻幅 1.9-2.7  $\mu\text{m}$ , 条線密度 18-25 本/10  $\mu\text{m}$ ; Lange-Bertalot et al. 2011). なお本種では, 小型の殻の方が殻幅はむしろ大きい傾向が見られた.

#### *Pinnularia* sp. 1. (図 59-61)

殻長 51-74  $\mu\text{m}$ , 殻幅 7-8  $\mu\text{m}$ , 条線密度 11-12 本/10  $\mu\text{m}$ . 本種は *Pinnularia subcapitata* var. *subrostrata* Krammer に似ているが, 殻幅がやや大きく (*P. subcapitata* var. *subrostrata* の殻幅は 4.7-6.7  $\mu\text{m}$ ; Krammer 2000), 軸域が広い点で区別できる. 本種は本邦では *Pinnularia subcapitata* var. *hilseana* (Jan.) O.Müll. として

表3 指標種分析の結果. 指標値 IndVal がいずれかのクラスターで有意 ( $p \leq 0.05$ ) だった種のみを示す. 数値の太字は有意な IndVal を示す. *Frustulia saxonica* は, クラスター 1 と 2 に二分した場合には 1 の, 1A, 1B, 2 に三分した場合には 1B の, それぞれ有意な指標種になっている.

種	1	1A	1B	2
<i>Eunotia</i> sp. 1	<b>99.5</b>	41.4	58.1	0.2
<i>Frustulia saxonica</i>	<b>99.4</b>	20.6	<b>78.8</b>	0.4
<i>Eunotia paludosa</i>	44.4	<b>100.0</b>	0	0.0
<i>Microcostatus vitrea</i>	55.6	<b>98.5</b>	0.3	0.0
<i>Eunotia nymanniana</i>	77.8	<b>93.3</b>	4.0	0.0
<i>Eunotia neocompacta</i>	66.7	<b>73.5</b>	1.2	0.0
<i>Stenopterobia delicatissima</i>	44.4	0	<b>80.0</b>	0.0
<i>Brachysira brebissonii</i>	77.8	9.0	<b>70.4</b>	0.0
<i>Pinnularia macilenta</i>	44.4	3.6	<b>51.4</b>	0.0
<i>Eunotia biseriatoides</i>	0	0	0	<b>100.0</b>
<i>Reimeria sinuata</i>	0	0	0	<b>100.0</b>
<i>Achnanthes subhudsonis</i>	0	0	0	<b>100.0</b>
<i>Achnantheidium pusillum</i>	0	0	0	<b>100.0</b>
<i>Planothidium magnum</i>	0	0	0	<b>100.0</b>
<i>Achnantheidium minutissimum</i> s.l.	0	0	0	<b>100.0</b>
<i>Eunotia formica</i>	0	0	0	<b>100.0</b>
<i>Nupela lapidosa</i>	0	0	0	<b>100.0</b>
<i>Eunotia minor</i>	0.1	0	0.1	<b>99.5</b>
<i>Gomphonema angustatum</i>	0.1	0.2	0	<b>99.4</b>
<i>Psammothidium oblongellum</i>	0.1	0.3	0	<b>99.0</b>
<i>Diatoma mesodon</i>	0.3	0.2	0	<b>98.8</b>
<i>Fragilaria gracilis</i>	0.6	0	1.1	<b>97.3</b>
<i>Gomphonema exilissimum</i>	0.3	0	0.6	<b>96.9</b>
<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>elegans</i>	0.3	0	0.6	<b>96.9</b>
<i>Achnantheidium lineare</i>	0.6	0	1.1	<b>94.3</b>
<i>Eunotia subarcuatooides</i>	5.4	3.7	1.9	<b>87.9</b>
<i>Eunotia exigua</i>	2.8	0	5.1	<b>87.2</b>
<i>Navicula delicatilineolata</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Achnantheidium convergens</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Surirella linearis</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Luticola minor</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Stauroneis kriegeri</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Neidium tenuissimum</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Stauroneis tenera</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Nitzschia recta</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Navicula notha</i>	0	0	0	<b>66.7</b>
<i>Eunotia muscicola</i>	1.7	0	3.1	<b>56.4</b>

報告されてきた (例えば Hirano 1972, 平野 1977). しかし Krammer (2000) が示した *Pinnularia hilseana* Jan. (*P. subcapitata* var. *hilseana* の基礎異名) の選定基準標本の写真は, 本種より小型で殻端が頭状に突出しており, 明らかに別種である. なお *P. hilseana* は, *Pinnularia subcapitata* W.Greg. の異名同種と考えられる (Krammer 2000).

## 考察

八幡湿原の珪藻群集は高い $\beta$ 多様性を示した。各試料の500殻あたり種数は平均35種(14-56種)にすぎなかったのに対して、トータルでは151種(計数されなかったものは除く)が観察された。黒沢湿原(三重野ら1997)や山門湿原(Kihara *et al.* 2009)の場合と同様、湿原内に多様なハビタットが含まれることがその原因と考えられる。

平野(1981)は、湿原では *Eunotia* と *Pinnularia* の総種数(E + P)が多く、*Cymbella* と *Gomphonema* の総種数(C + G)が少ないことを指摘している。八幡湿原のE + Pは45種におよぶ一方で、C + Gも18種(ただし広義の *Cymbella* として *Cymbopleura*, *Encyonema*, *Encyonopsis*, *Reimeria* を含む)と少なくなかった。珪藻の全種数に占める比率として見た場合、八幡湿原のE + P比は30%、C + G比は12%であった。この値を平野(1981)がまとめた日本各地の高山湿原(その多くが高層湿原)と比べると、E + Pの比はやや低いながら種数はむしろ多く(最大のE + Pを擁した大雪山に次ぐ種数)、一方C + Gの種数は多かったものの比は同程度であった。したがって八幡湿原の珪藻植生は、低層湿原や河川に多い *Gomphonema* や広義の *Cymbella* の種をやや多く含むものの、多くの高山湿原と同様に *Eunotia* と *Pinnularia* の種を多く含んでいると言える。同様の観点から他の中間湿原と比較すると、山門湿原(E + P 38種、C + G 17種; Kihara *et al.* 2009)はE + P、C + Gともに八幡湿原と同程度であり、比で見た場合にも大きな違いがない(E + P比29%、C + G比13%)。黒沢湿原(E + P 24種、C + G 11種; 三重野ら1997)はC + G、E + Pともに八幡湿原より少なく、比で見た場合にはE + P比がより低い(E + P比22%、C + G比10%)。

本研究で得られた試料は、クラスター分析によって止水中あるいは陸上から得られた試料群(クラスター1)と流水中から得られた試料群(クラスター2)に二分された(図69)。このことから八幡湿原の珪藻群集の $\beta$ 多様性は、止水環境と流水環境との混在によるところが大きいと考えられる。指標種分析によって抽出されたクラスター2の指標種には、*Achnantheidium convergens* (H.Kobayasi) H.Kobayasi, *D. mesodon*, *Nupela lapidosa* (Krasske) Lange-Bert. など流水性の種が含まれる(Patrick & Reimer 1966, 小林ら2006)。しかし他の大部分の種は止水域にも産するため、その分布を決定するものとして水流と関連した他の要因を考える必要がある。八幡湿原の流水と止水の環境の違いとして、流れの有無そのものの他に、栄養塩濃度の違いと夜間の溶存酸素量の違いが考えられる。八幡湿原では、TDN(全溶存態窒素)および $\text{NO}_3\text{-N}$ は流水中で止水中よりもずっと高い値を示した(表1)。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の大きな違いを生じた原因として、止水環境での脱窒が考えられる。脱窒は嫌氣的過程なので、常に酸素が十分にある環境下では起こりにくい。ゆえに、もし脱窒が止水環境で起こっていたとすると、夜間などに低酸素化が起こっていた可能性が大である。そこで以下、Dam *et al.* (1994)のコード付きチェックリストをもとに、各クラスターの指標種の栄養指標性と酸素要求性を検討する。

クラスター1あるいは1A、1Bの指標種のうち、Dam *et al.* (1994)のリストで栄養指標性が示されている6種の全てが貧栄養性とされている。これに対してクラスター2の指標種で栄養指標性が示されていた14種のうち、貧栄養性は5種、他は2種が貧-中栄養性、3種が中栄養性、1種が中-富栄養性、他の3種は栄養-不定性であり、かなり富栄養側に偏っている。このことは、流水と止水の溶存態窒素濃度など栄養塩濃度の違いが、種組成に影響していたことを示唆する。

一方、本研究でいずれかのクラスターの指標種として抽出されたもののうち、Dam *et al.* (1994)のリストに酸素要求性が示されているものは全て「常に飽和レベル」あるいは「かなり高レベル」の酸素を要求するとされており、流水と止水の違いはほとんど認められなかった。このことは、止水環境での低酸素化は起こっていなかったか、起こっていても珪藻に及ぼす影響は小さかったことを示している。

クラスター1Aと1Bの種組成の違いは顕著ではないが、1Aには陸上から得られたオオミズゴケ試料の全てが属していたのに対し、1Bに属した試料の全てが止水の水中から得られた試料であったことから、その比較は生育場所間の違いを知る上で有意義であろう。

クラスター1Aの指標種4種のうち、*Eunotia paludosa* Grunow と *M. vitrea* は乾燥に耐えることが知られている(Dam *et al.* 1994, Veselá & Johansen 2009, Chen *et al.* 2012)。また残る2種についても、同種と思われるものがアイスランドの陸上藻類として報告されている(Broady 1978; *E. neocompacta* を *Eunotia exigua* var. *compacta*

として、*E. nymaniana* と思われるものを *Eunotia repens* var. *arcuata* として)。一方、クラスター 1B の指標種 4 種のうち、Dam et al. (1994) のリストで水分への対応が示されているのは 3 種である。そのうち *Stenopterobia delicatissima* (F.W.Lewis) Bréb. ex Van Heurck は「水の外からは全くあるいはほとんど出現しない」とされており、*B. brebissonii* (*Anomoeoneis brachysira* として) および *F. saxonica* は「主に水中に出現するが、湿った場所にもよく出現する」とされている。以上から、陸上のオオミズゴケを中心とするクラスター 1A の試料群は、クラスター 1B の試料群に比べて、乾燥への耐性をもつ種を多く含んでいたと言えそうである。

ただし水中から得られた試料で唯一クラスター 1A に含まれた尾崎谷湿原のコウホネ枯死体試料が、しばしば乾燥にさらされてきたとは推定しがたい。この試料に含まれていた付着珪藻は著しく少なく、付着性を持たないと考えられる *Aulacoseira* sp. 1 が 70% 以上を占めていたため、同じく *Aulacoseira* sp. 1 が優占した尾崎谷湿原のオオミズゴケ上との種組成の類似によりこのグループに分類されたものと思われる。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、越間裕貴氏はじめ北広島町役場の方々に迅速な許可手続きをして頂いた。世羅町役場の上瀧七美氏には現地の案内と調査補助をして頂いた。菓子工房うちこしの打越崇子氏には水質分析をしていただいた。京都造形芸術大学大学院の石角江里佳氏には電子顕微鏡写真を撮影して頂いた。以上の皆様に厚く御礼を申し上げます。

## 摘要

1. 八幡湿原の水源や泥炭堆積の程度が異なる 4 つの湿原、6 つの調査地点で、2012 年 11 月 18 日に珪藻の調査を行った。陸上のオオミズゴケ、水中の枯死した植物、底泥など、その地点の代表的な付着基質から、計 12 試料を採集した。
2. 表面水の電気伝導度は低く ( $3.6-3.9 \text{ mS m}^{-1}$ )、pH は弱酸性 (5.9-6.6) を示した。溶存態窒素と硝酸態窒素の濃度は流水で止水よりも有意に高い値を示した。
3. 全体で 49 属 151 種の珪藻が観察された(うち 12 種は未同定)。最も多くの種を擁した属は *Eunotia* (24 種) で、*Pinnularia* (21 種) がこれに続いた。
4. オオミズゴケ上では湿原ごとに優占種が異なり、*Aulacoseira* sp., *Eunotia neocompacta*, *Micocostatus vitrea* が優占種となった。止水中の植物遺体上では *Frustulia saxonica*, *Aulacoseira* sp. あるいは *Peronia fibula* が優占種となった。
5. 泥炭堆積が見られる長者原湿原の底泥上では、*Brachysira brebissonii* が優占種であった。
6. 流水中の植物上では、*Diatoma mesodon*, *Eunotia minor*, *Fragilaria gracilis* が優占種となった。
7. クラスター分析および指標種分析の結果、珪藻群集の高い  $\beta$  多様性は、主として流水環境と止水環境の混在によって生じていることが明らかになった。

## 引用文献

- Broady, P. A. (1978) The terrestrial algae of Glerárdalur Akureyri, Iceland. Acta Bot. Isl. 5 : 3-60
- Chen, X., Bu, Z., Yang, X. and Wang, S. (2012) Epiphytic diatoms and their relation to moisture and moss composition in two montane mires, Northeast China. Fund. Appl. Limnol. 181 : 197-206
- Dam, H. Van, Mertens, A. and Sinkeldam, J. (1994) A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. Neth. J. Aquat. Ecol. 28 : 117-133
- Dufrène, M and Legendre, P. (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. Ecol. Monogr. 67 : 345-366

- English, J. and Potapova, M. (2011) *Aulacoseira lirata*. Diatoms of the United States. Retrieved January 07, 2014, from [http://westerndiatoms.colorado.edu/taxa/species/aulacoseira\\_lirata](http://westerndiatoms.colorado.edu/taxa/species/aulacoseira_lirata)
- 波田善夫 (1983) 中間湿原植生. 日本植生史 4 中国 (宮脇昭編著): 198-204. 至文堂
- Hada, Y. (1984) Phytosociological studies on the moor vegetation in the Chugoku District, S.W. Honshu, Japan. Bull. Hiruzen Research Institute 10 : 73-110
- Hirano, M. (1972) Diatoms from the Hida Mountain Range in the Japan Alps. Contr. Biol. Lab. Kyoto Univ. 24 : 9-30, 14 pls.
- 平野 実 (1977) 本州中部, 東北部における高山湿原の珪藻. 梅花短期大学研究紀要 26 : 99-108, 4 pls.
- 平野 實 (1981) 深泥池の淡水藻. 深泥池の自然と人 深泥池学術調査報告書 (深泥池学術調査団編): 139-162. 京都市文化環境局
- 堀川芳雄・鈴木兵二・横川広美・松村敏則 (1959) 八幡高原の湿原植生. 三段峡と八幡高原 (総合学術調査研究報告): 121-152. 広島県教育委員会
- Kihara, Y., Sahashi, Y., Arita, S. and Ohtsuka, T. (2009) Diatoms of Yamakado Moor in Shiga Prefecture, Japan. Diatom 25 : 91-105
- Krammer, K. (2000) The genus *Pinnularia*. In Lange-Bertalot, H. ed. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats 1. A. R. G. Gantner.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991) Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. eds. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3. Gustav Fischer
- 木村裕子・岡崎宏明・三好教夫 (2007) 広島県北広島町長者原湿原堆積物の花粉分析. 高原の自然史 12 : 1-9
- 小林 弘・出井雅彦・真山茂樹・南雲保・長田敬五 (2006) 小林弘珪藻図鑑 1. 内田老鶴圃
- Lange-Bertalot, H., Båk, M. and Witkowski, A. (2011) *Eunotia* and some related taxa. In Lange-Bertalot, H. ed. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats 6. A. R. G. Gantner.
- 三重野恵子・辻彰洋・大塚泰介・兵頭かほり・坂東忠司 (1997) 黒沢湿原 (徳島県) の珪藻植生 Diatom 13 : 147-160
- Ohtsuka, T. (1999) Diatom community structure and its seasonal change on the stolon of *Phragmites japonica*. In Mayama, S., Idei, M. and Koizui, I. eds. Proceedings of the 14th International Diatom Symposium : 327-343. Koeltz Scientific Books
- Okuno, H. and Kurosawa, K. (1959) Diatom flora of the Sandankyo Gorge and the Yawata Highland in Hiroshima prefecture. 三段峡と八幡高原 (総合学術調査研究報告): 265-275, 4 pls. 広島県教育委員会
- Patrick, R. M. and Reimer, C. W. (1966) The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii. Volume 1. Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- 白川勝信・中越信和 (1999) 広島県芸北長者原湿原の植生. 高原の自然史 4 : 1-15
- 富田啓介 (2010) 日本に見られる鉱質土壌湿原の分布・形成・分類. 湿地研究 1 : 67-86
- Veselá, J. and Johansen, J. R. (2009) The diatom flora of ephemeral headwater streams in the Elbsandsteingebirge region of the Czech Republic. Diatom Res. 24 : 443-477
- 渡辺仁治・浅井一視・大塚泰介・辻 彰洋・伯耆晶子 (2005) 淡水珪藻生態図鑑 群集解析に基づく汚濁指数 DAIPo, pH 耐性能. 内田老鶴圃
- 吉野由紀夫・白川勝信 (2005) 広島県臥竜山麓の放牧地跡に発達した植生. 高原の自然史 10・11 : 1-21