

宮床湿原における底生藻類群集の特性と多様性

渡辺 信¹・真山茂樹²・野崎久義¹¹ 国立環境研究所生物圏環境部 〒305 茨城県つくば市小野川 16-2² 東京学芸大学生物学教室 〒184 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

Makoto M. Watanabe¹, Shigeki Mayama² and Hisayoshi Nozaki¹ 1995. Characteristics and species diversity of epipellic algal community in pools in Miyatoko Mire. Jpn. J. Phycol. (Sôri) 43 : 8-17.

The characteristics and species diversity of epipellic algal community in the two small pools, D2 and B4 in the Miyatoko Mire, Fukushima Prefecture, Japan were surveyed in 1992. The samples of epipellic algae were quantitatively taken with a cylindrical tube of 14 mm diameter. A total of 93 species and 67 species of epipellic algae occurred in the pools D2 and B4, respectively. Considerable differences were observed between the two pools in the seasonal fluctuations in species number, biomass and dominant species. In the pool D2, species number and biomass were small in April just after the snow-thawing, and increased in June and decreased in August and October. Diatoms occupied 90-98% of total biomass of algae. In the pool B4, species number little changed during April to August and markedly increased in October, while biomass was largest in April and gradually decreased during June to October. Diatoms and desmids occupied 33-82% and 15-63% of total biomass of algae, respectively. The Simpson's Index of diversity D and its modified index D' were calculated based on the cell number and the biomass, respectively. Both D and D' values were always higher in the pool D2 than in the pool B4. The differences in algal diversity between the two pools were discussed in relation to the environmental factors of the two pools. As a result of analyses of water chemicals in the two pools, it was found that the pool B4 can be recognized as a habitat experiencing high disturbance frequency.

Key Index Words : biomass-desmids-diversity-diatoms-epipellic algae-Miyatoko Mire-Simpson's Index

¹ Makoto M. Watanabe and Hisayoshi Nozaki : Environmental Biology Division, National Institute for Environmental Studies, 16-2, Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

² Shigeki Mayama : Department of Biology, Tokyo Gakugei University, Koganei-shi, Tokyo 184 Japan

湿原には大小様々な池塘が存在するが、それらに生息する藻類は多種多様な種で構成され、固有種も多く、藻類の進化及び多様性の観点から考えると極めて注目される生態系である。わが国では、Hirano (1942, 1943a, b) が尾瀬ヶ原の鼓藻類について発表して以来、多くの研究者によって湿原の藻類の調査がなされてきた。湿原に散在する大小様々な池塘は藻類にとって絶好の生息場所であるが、各地塘の環境の差異により藻類相も異なることが示唆されている (鈴木・西田 1972)。したがって、湿原に存在する池塘は狭い地域で多様な藻類相を形成する大きな要因となっていると考えられる。しかしながら、今までの湿原での藻類研究の殆どはフローラ調査であり、藻類の出現頻度のランクづけがおこなわれている報告 (Katoh 1991) がいく

つかみられるものの、定量的な採集にもとづいた藻類多様性の生態学的な研究は殆どみられない。このような状況は諸外国においても見られる (Lenzenweger 1987, Kouwets 1988)。湿原の池塘という生息地における藻類の生態及び多様性を明らかにするには、種の正確な分類は当然として、定量的な採集及び現存量の定量的な把握が必要となる。

福島県の宮床湿原は6haという狭い面積ではあるが、大小様々な池塘が存在する。これら池塘の水質環境と藻類群集の調査・解析を行うことにより、湿原における藻類の種の多様さをもたらし要因を明らかにする研究のフィールドとして理想的な場である。1992年4月より、宮床湿原の水系が異なる2池塘を選び、そこでの藻類群集の定量的な調査を行った。本報告はその

研究成果の一部として、1992年に行った調査結果をまとめ、水質環境との関連で議論したものである。

調査地点と方法

調査地点

宮床湿原は福島県南会津郡南郷村に位置し、標高約850mに発達したミズゴケ湿原である。湿原には周縁から湧水を起源とする水路が3本 (A, B, D, Fig. 1参照) 流入しているが、今回報告する調査地点は、水路Bの池塘B4及び水路Dの池塘D2である (Fig. 1)。池塘B4は水深20cm、面積40m²でミツガシワやヨシ等が生育し、池塘D2は水深40cm、面積109m²でミツガシワが生育している。付着藻類の基質としては圧倒的に底泥の占める面積が大きい。また水路Bの地点B2は水路Bの水質の測定点である。

調査方法

調査は1992年4月28日、6月22日、8月24日、10月1日に行った。底生藻類の採集は、直径14mm開口注射器を底泥表層にあてがい、6mlを採取して行った。このような操作を各地点10ポイントで行い、各ポイントの全サンプルを混合して各地点60mlのサンプルとした。このサンプルは2.5%のグルタルアルデヒドで固定され、氷冷して持ち帰り、冷蔵庫にて保存し、観察及び個体数の計測に使用した。珪藻類については、小型の種類が多く、かつ個体数も多いため、水に封入した状態のまま同定し、計数することが困難であるので、1) 固定試料を20倍希釈し、2) 酸処理によりクリーニングし、3) 酸処理された珪藻懸濁液0.3 mlを18x18mmのカバーガラスに均等に広げ、ブルーラックスで封入し、4) x70の対物レンズを用いてカバーガラスを端から端まで1~3行観察して同定と計数を行った。珪藻類以外の藻類については、固定試料を10~20倍に希釈し、1mlのSedwick-Rafter型のカウンティングチャンバーを使って同定と計数を行った。各サンプルで400以上の個体の同定と計数を行った。種の同定に関して、小型の種類について前述した方法だけでは同定が不確かな場合には、走査型電子顕微鏡あるいは光学顕微鏡でx100の対物レンズを使用して再確認を行った。珪藻類の同定は多くの種についてはKrammer and Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a,b) の分類体系に基本的に従い、Pinnularia属についてはKobayasi and Ando (1977) とKrammer (1992) に、小型Navicula属の種についてはKobayasi and Nagumo (1988) に、

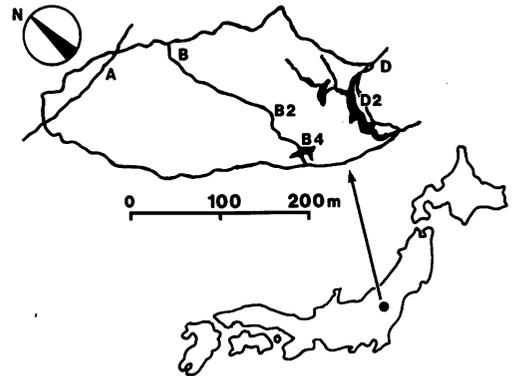


Fig.1. Study sites of Miyatoko Mire

*Eunotia*属についてはMayama and Kobayasi (1990, 1991) 及びKobayasi *et al.* (1981) に、さらに*Synedra*属といくつかの*Navicula*の種についてはPatrick and Reiner (1966) に従い、鼓藻類の同定についてはRůžička (1977), Prescott (1984), Prescott *et al.* (1975, 1977, 1981, 1982), Croasdale *et al.* (1983) に従い、藍藻類についてはGeitler (1932) に、他の藻類についてはHuber-Pestalozzi (1941), Komárek and Fott (1983), Bourrelly (1972) 及びStarmach (1985) に従った。検鏡による細胞数の計数値より、サンプル1ml当たりの細胞数に換算した。採集方法から、この値に3.9をかけた値が単位面積cm²当たりの細胞数となる。各藻類種の体積は、細胞の長さ、幅あるいは直径、厚さを測定し、細胞の形状をふまえて計算した。羽状目珪藻の殻の厚さは著しく変異し、測定が困難であることから、殻の幅と同じと仮定した。このようにして計算された各種の細胞の体積をもとに、下記のStrathmann (1967) の式を用いて炭素量へ換算した。

$$\text{Log } C = -0.422 + 0.758 (\text{log Vol}) \quad (\text{珪藻の場合})$$

$$\text{Log } C = -0.460 + 0.866 (\text{log Vol}) \quad (\text{他の藻類の場合})$$

ここでCは細胞あたりの炭素量 (pg), Volは細胞の体積 (µm³) である。

結 果

藻類相

4回の調査を通じて、池塘D2に出現した藻類種は93種類で、うち珪藻類65種類と圧倒的に多く、鼓藻類15種、他の緑藻類5種、藍藻類4種、他の藻類が4種となっている (Table 1)。池塘B4に出現した藻類は67

Table 1. Algal flora in Miyatoko Mire. 宮床湿原の藻類相

種 類	D2	B4	種 類	D2	B4
Diatoms (珪藻類)			<i>P. hilseana</i> var. <i>japonica</i>	+	+
<i>Achnanthes helvetica</i>	+		<i>P. microstauron</i>	+	
<i>A. minutissima</i>	+	+	<i>P. subgibba</i>	+	
<i>A. nodosa</i>	+		<i>P. transversa</i>		+
<i>A. pusilla</i>	+	+	<i>P. viridis</i>	+	+
<i>A. subatomoides</i>	+		<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	+	
<i>Actinella punctata</i>	+	+	<i>Stenopterobia curvula</i>	+	+
<i>Anomoeoneis brachysira</i>	+	+	<i>S. delicatissima</i>	+	+
<i>A. serians</i> var. <i>acuta</i>	+	+	<i>Surirella linearis</i>	+	
<i>Aulacoseira alpigena</i>	+	+	<i>Synedra acus</i>	+	
<i>A. canadensis</i>	+		<i>S. ulna</i>	+	+
<i>A. laevis</i>	+		<i>Tabellaria fenestrata</i>	+	+
<i>A. valida</i>	+		<i>T. flocculosa</i>	+	+
<i>Cymbella gracilis</i>	+	+	Green Algae : Desmids (鼓藻類)		
<i>C. minuta</i>	+	+	<i>Bambusina brebissonii</i> var. <i>brebissonii</i>	+	+
<i>C. naviculiformis</i>	+		<i>Closterium acerosum</i>	+	
<i>C. sinuata</i>		+	<i>C. acutum</i> var. <i>acutum</i>		+
<i>Eunotia curvata</i>	+	+	<i>C. costatum</i>	+	
<i>E. curvata</i> var. <i>linearis</i>	+	+	<i>C. gracile</i>	+	
<i>E. diadema</i>	+		<i>C. intermedium</i>	+	+
<i>E. exigua</i>	+	+	<i>C. lunula</i>	+	
<i>E. incisa</i>	+		<i>C. parvulum</i> var. <i>maius</i>	+	
<i>E. naegelii</i>	+	+	<i>C. peracerosum</i>	+	
<i>E. nipponica</i>	+	+	<i>Cosmarium angulare</i> var. <i>angulare</i>		+
<i>E. parallela</i>		+	<i>Cylindrocystis crassa</i>	+	
<i>E. pectinalis</i> var. <i>minor</i>	+	+	<i>Euastrum crassum</i> var. <i>tumidum</i>	+	+
<i>E. perminuta</i>	+		<i>E. didelta</i> var. <i>didelta</i>		+
<i>E. rhomboidea</i>		+	<i>Gloenbladia neglecta</i> var. <i>neglecta</i>	+	+
<i>E. serra</i>	+	+	<i>Mesotaenium degreyi</i> var. <i>breve</i>		+
<i>E. tenelloides</i>	+	+	<i>Micrasterias apiculata</i> var. <i>apiculata</i>	+	+
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i>	+	+	<i>M. denticulata</i>		+
<i>F. construens</i> var. <i>venter</i>	+		<i>M. truncata</i>		+
<i>F. elliptica</i>	+		<i>Netrium digitus</i> var. <i>digitus</i>	+	+
<i>F. exigua</i>	+		<i>Netrium digitus</i> var. <i>naegelii</i>		+
<i>F. nitzschioides</i>	+		<i>Pleurotaenium minutum</i> var. <i>crassum</i>		+
<i>F. sp.</i>	+		<i>Pleurotaenium minutum</i> var. <i>minutum</i>	+	+
<i>Frustulia rhomboides</i>	+	+	<i>P. undulatum</i> var. <i>undulatum</i>	+	+
<i>F. rhomboides</i> var. <i>saxonica</i>	+	+	<i>Staurastrum geminatum</i>	+	+
<i>Gomphonema accuminatum</i>	+		<i>S. micron</i> var. <i>micron</i>		+
<i>G. gracile</i>	+		Green Algae : Others (他の緑藻類)		
<i>G. parvulum</i>	+	+	<i>Bulbochaete</i> sp.		+
<i>Meridion circulare</i>	+	+	<i>Gloeoitila turfosa</i>	+	
<i>Navicula mediocris</i>	+	+	<i>Klebsormidium klebsii</i>	+	+
<i>N. minima</i>	+		<i>Microspora willeana</i>	+	
<i>N. minuscula</i>	+		<i>Oedogonium</i> sp.		+
<i>N. notha</i>	+		<i>Pediastrum boryanum</i>	+	
<i>N. okadae</i>		+	<i>Scenedesmus acutus</i>	+	+
<i>N. parasubtilissima</i>	+	+	Blue-green Algae (藍藻類)		
<i>N. pseudosctiformis</i>	+		<i>Anabaena</i> sp.	+	+
<i>N. seminulum</i>	+		<i>Chroococcus turgidus</i>	+	+
<i>N. subtilissima</i>	+	+	<i>Merismopedia glaucum</i>	+	
<i>Neidium iridis</i>	+		<i>Oscillatoria</i> sp.	+	+
<i>Nitzschia amphibia</i>	+	+	<i>Stigonema ocellatum</i> f. <i>ocellatum</i>		+
<i>N. fontinalis</i>		+	Other Algae (他の藻類)		
<i>N. hantzschiana</i>	+		<i>Dinobryon serturalia</i>	+	
<i>N. palea</i>	+	+	<i>Gymnodinium</i> sp.	+	
<i>Peronia fibula</i>	+	+	<i>Synura sphagnicola</i>	+	
<i>Pinnularia bogotensis</i>	+		<i>Trachelomonas</i> sp.	+	+

種類で、うち珪藻類40種、鼓藻類18種類、他の緑藻類4種、藍藻類4種、他の藻類1種となっている。いずれも種類数からみると珪藻類が多く占めている。

藻類現存量及び細胞数の変動

藻類の現存量は、池塘D2では4月に1.190 gC/m²であったが、6月には5.970 gC/m²と著しく増加し、8月に2.823 gC/m²、10月に2.421 gC/m²と減少する (Fig. 3)。同様の傾向は総細胞数を比較しても得られた (Fig. 2)。一方池塘B4では、藻類の現存量は4月に4.115 gC/m²であったが、6月に2.703 gC/m²、8月に2.321 gC/m²、10月に1.562 gC/m²と減少した (Fig. 4)。総細胞数でも4月に最も多く、6月に約半分へ減少し、8月にやや増加したものの、10月にはさらに減少し、4月の約1/4の値を示した (Fig. 2)。このように、池塘D2と池塘B4においては、藻類の現存量及び細胞数の変動パターンにおいて著しい差異が見られる。なお、4月をのぞいて、藻類の現存量及び細胞数は池塘D2のほうが池塘B4より多かった。

池塘D2における各種藻類の現存量の季節変動

池塘D2では、どの季節でも珪藻類の現存量が圧倒的に多く、藻類現存量の90~98%を占めている (Fig. 3)。鼓藻類は3~7%を占めているにすぎず、多い時でも6月の現存量で0.413 gC/m²で、この時の珪藻類の現存量5.554 gC/m²の1/10以下であった。その他の藻類の現存量はすべて1%以下であり、きわめてマイナーな存在であるといえる。池塘D2は珪藻類の池塘といえよう。珪藻類各種の現存量に関して、4月には *Frustulia rhomboides* var. *rhomboides*, *Actinella punctata* 等が目だったが、いちばん現存量が多い *F. rhomboides* var. *rhomboides* でも全珪藻の現存量の10%強を占めているにすぎない (Fig. 5)。しかし、6月になると4月に相対的に現存量が多かった種が殆どいれかわり、中心目珪藻の *Aulacoseira laevis* が多くなり、全珪藻類の現存量の約40%を占めていた。その他にめだった珪藻類としては、*A. canadensis*, *A. alpigena*, *Eunotia serra*, *Pinnularia subgibba* であり、これらは4月には出現していなかった種あるいは出現していたとしても現存量が少ない種であったものである。8月になると珪藻類の現存量は減少したが、藻類相はさほど変動せず、*A. laevis* が優占し、全珪藻類現存量の32%を占めていた。しかし、10月になると再び藻類相が大きく変動し、*Actinella punctata*, *Stauroneis phoenicenteron*, *Pinnularia subgibba* 等が占める割合が多くなってくる

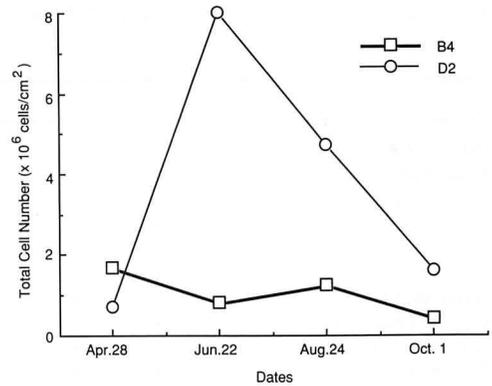


Fig.2. Seasonal change of total cell number of epipelagic algae in the pools D2 and B4.

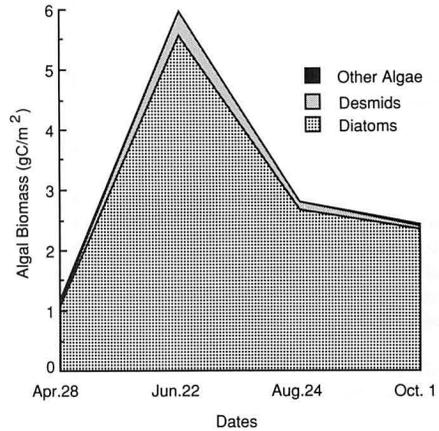


Fig.3. Seasonal change of algal biomass in the pool D2

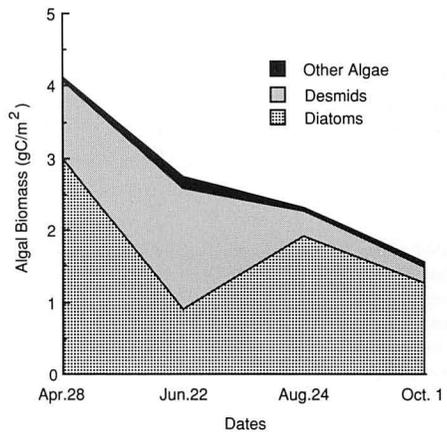


Fig.4. Seasonal change of algal biomass in the pool B4.

が、いちばん現存量が多い *A. punctata* でも全珪藻類現存量の約16%を占めるにすぎない。緑藻類(鼓藻類を含む)の現存量は多いときでも 0.414 gC/m^2 で全体の7%を占めているにすぎないが、その中での各種の現存量を比較すると、4月には糸状緑藻 *Klebsormidium klebsii* が優勢し、現存量で全緑藻の約50%を占めていたが、6月にはミカツキモ *Closterium lunula* が増加し、現存量で全緑藻の約88%を占めた。しかし、8月になると *Closterium parvulum* var. *maius* が増加し、現存量で全緑藻の約80%を占めるようになる。10月には *Closterium costatum* と *Pleurotaenium minutum* var. *minutum* が増加し、それぞれ現存量で全緑藻の約32%及び約28%を占めていた (Fig. 6)。

池塘 B4 における各種藻類の現存量の季節的変動

池塘 B4 では、4月には珪藻類が多くこの時期の藻類現存量の約73%を占めるが、鼓藻類も多くみられ、現存量で全藻類の約26%を占める (Fig. 4)。6月になると、珪藻類の現存量が著しく減少したのに対して、鼓藻類の現存量が4月の約1.6倍に増加し、この時期の藻類現存量の約63%を占め、珪藻類より多くなった。しかし、8月になると再び珪藻類の現存量が増加し、この時期の藻類現存量の約82%を占めるようになったのに対し、鼓藻類の現存量が著しく減少し、現存量で全藻類の約16%を占めたにすぎない。同様の状況は10月にも見られる。しかし、池塘 B4 は池塘 D2 と比べると鼓藻類の占める割合が圧倒的に高く、池塘 D2 がどの季節でも珪藻類が現存量で90%以上を占める珪藻類の池塘であったのに対して、池塘 B4 は珪藻類と鼓藻類の池塘であるといえよう。珪藻類各種の現存量については、どの季節でも *Frustulia rhomboides* が圧倒的に優勢種となっており、少ない時でも全珪藻類現存量の約65%、多いときには約96%を占めていた (Fig. 7)。鼓藻類各種の現存量については、4月には *Gloenlandia neglecta* var. *neglecta* が優勢種となっており、この時期の緑藻類現存量の約82%を占めていた。6月になると *Bambusina brebissonii* var. *brebissonii* と *Netrium digitus* var. *digitus* が増加し、それぞれ全緑藻類現存量の約55%及び約36%を占めていた。4月に圧倒的に優勢種となっていた *G. neglecta* var. *neglecta* の出現は確認できなかった。しかし、8月には再び *G. neglecta* var. *neglecta* が増加し、現存量でこの時期の緑藻類の約48%を占める。この他に6月に優勢種であった *B. brebissonii* var. *brebissonii* と *Staurastrum micron* var. *micron* の現存量が多かった。10月になると *Micrasterias denticulata* var.

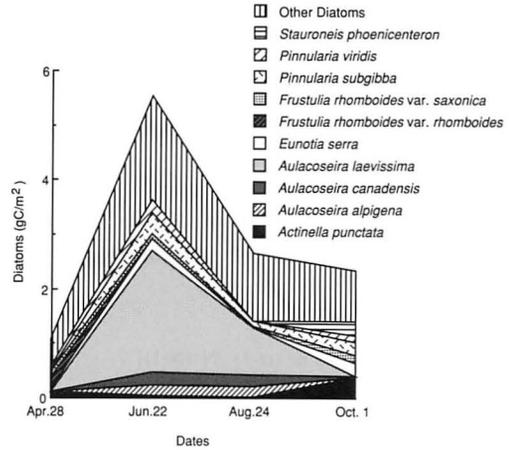


Fig.5. Seasonal change of biomass of each diatom species in the pool D2.

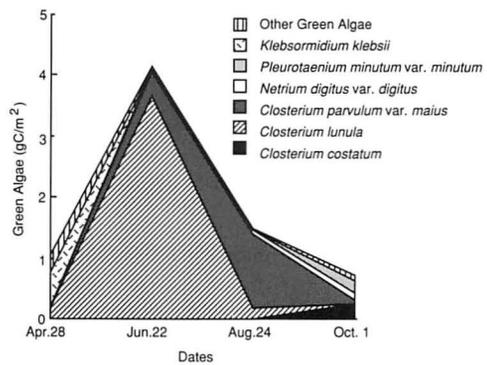


Fig.6. Seasonal change of biomass of each green algal species in the pool D2.

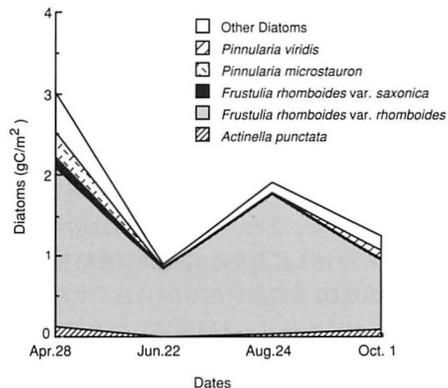


Fig.7. Seasonal change of biomass of each diatom species in the pool B4.

*denticulata*が増加し、現存量でこの時期の緑藻類の約55%を占めていた (Fig. 8)。このように、池塘B4では優占種となる珪藻類及び緑藻類の種が池塘D2と明らかに異なっていることがわかる。

種類の豊富さと多様度

種の多様度を表現する指標として群集の種数個体数の関係を測定するのに極めて有効なSimpson (1949)の多様度指数 (*D*) を用いた。即ち、

$$D = 1 / \left[\sum_{i=1}^s n_i (n_i - 1) / N (N - 1) \right]$$

ここで、*s*は総種類数、*N*は総個体数、*n_i*は第*i*番目の種に属する個体数(細胞数)である。また、藻類は種により細胞の大きさが著しく異なり、同じ個体数(細胞数)でも現存量ではかなり異なる場合も多いことから、*N*を総現存量、*n_i*を第*i*番目の種の現存量として多様度を求めた多様度指数 *D'* も求めた。池塘D2では種類数は4月に49であったのが、6月に60と最も多くなり、8月に54、10月に48と減少した。しかし、多様度指数は*D*、*D'*とも4月と10月に高く、6月に最も低くなった (Fig. 9)。即ち、種類の豊富さと多様度指数は全く逆の相関をもって変動していた。池塘B4では、種類数は4月、6月、8月でそれぞれ32、31、29と殆ど変動しないが、10月に43と増加した。多様度指数を個体数で計算した*D*は4月と10月に高く、6月と8月に低いが、多様度指数を現存量で計算した*D'*は4月、6月と変動せず、8月に幾分低くなるが10月になると4月、6月とほぼ同じ値となり、期間を通じてさほど変動を示さなかった (Fig. 10)。

考 察

宮床湿原に生息するコケ類以上の植物は54種類であったのにたいして (Takehara 1995)、底生藻類は2池塘だけでもあわせて105種類に及んだ。池塘D2からは93種類が確認され、その約42%にあたる39種類が池塘D2にのみ出現した。また、池塘B4からは67種類が確認され、その約18%にあたる12種類が池塘B4にのみ出現した。池塘D2地点及び池塘B4に注ぐ水路B2地点で4-10月にかけて毎月1-2回測定した水質データ (Hirata et al. 1995) の平均値、標準偏差 (Table 2) から、これら2水路の水質はかなり異なっていることがわかる。特に平均水温、珪酸イオンについてはこれら2水路に著しい差がみられる。ナトリウム及びカリウムの

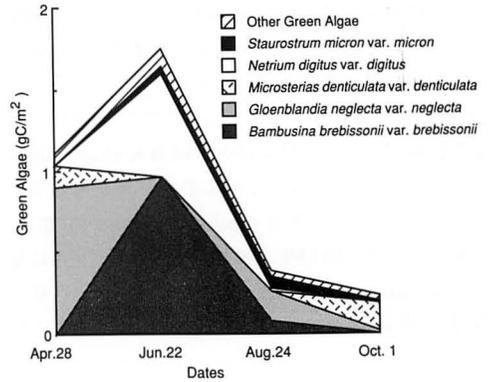


Fig.8. Seasonal change of biomass of each green algal species in the pool B4.

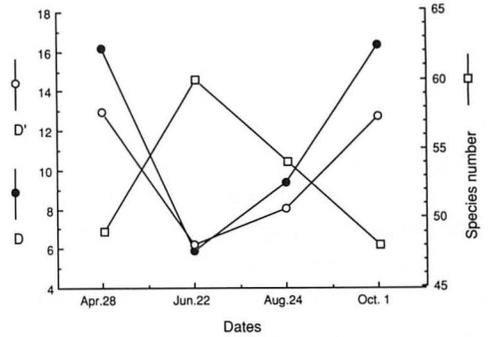


Fig.9. Seasonal change of species number and diversity indices in the pool D2. *D* or *D'*, diversity index based on cell number or biomass, respectively.

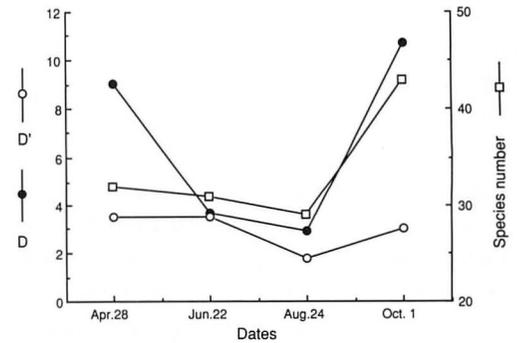


Fig.10. Seasonal change of species number and diversity indices in the pool B4. *D* or *D'*, diversity index based on cell number or biomass, respectively.

Table 2. Seasonal fluctuation of water chemicals in the pool D4 and the station B2 and test of difference in population variance based on F distribution table. Mean value (X), standard deviation (SD), variance (V), and degree of freedom (Φ) 表2. 水路Dの池塘D2及び水路Bの地点B2における水質の季節的的平均値(X), 標準偏差(SD), 分散(V), 自由度(Φ)及び母分散の違いの検定

地点	B2				D2				F ₀ ³⁾	F ⁴⁾
	X	SD	V	Φ	X	SD	V	Φ		
水温 ¹⁾	20.36	8.24	8.49	8	12.90	3.32	1.38	8	6.15	4.43
pH	5.21	0.42	0.02	8	6.08	0.41	0.02	8	1.00	4.43
NH ₄ -N ²⁾	0.09	0.06	0.0004	9	0.05	0.04	0.0002	9	2.00	4.03
Cl ⁻	2.10	0.90	0.09	9	2.39	0.44	0.02	9	4.50	4.03
SiO ₂	2.56	1.83	0.37	9	18.25	2.67	0.79	9	2.13	4.03
SO ₄ ⁻	2.81	0.55	0.033	9	1.33	0.63	0.044	9	1.30	4.03
Na ⁺	1.00	0.23	0.0059	9	2.11	0.29	0.0093	9	1.58	4.03
K ⁺	0.31	0.19	0.004	9	1.05	0.19	0.004	9	1.00	4.03
Mg ⁺⁺	0.46	0.15	0.0025	9	0.28	0.05	0.0003	9	8.33	4.03
Ca ⁺⁺	0.82	0.33	0.012	9	0.61	0.22	0.0054	9	2.22	4.03

1) 水路Bの水温は池塘B4の値

2) 各種イオンの濃度はmg/l

3) $F_0 = V_B/V_D$ あるいは V_D/V_B

4) F ($\Phi_D, \Phi_B; 0.025$) あるいは F ($\Phi_B, \Phi_D; 0.025$) のF分布表からの値

一価イオンとpHは水路D(池塘D2)でやや高く、マグネシウム及びカルシウムの二価イオンと硫酸イオンは水路B(B2)でやや高い傾向がみられる。また、各水質項目の標準偏差も大きく、季節的にかなり変動していることがわかる。池塘B4の水温の変動はB2地点と殆ど同様の変動を示し、また珪酸イオンの値及び変動もB4とB2で殆ど同じであったことから(平田, 私信), B2地点の水質はB4の水質を十分反映しているものと思われる。以上のことから、池塘D2と池塘B4は互いに水質のことな池塘であり、ともに季節的に大きな水質環境変化をしめす池塘であることがわかる。多くの場合に時空間的な環境の不均一さが多様性の増大と関連しているといわれている(Wiens 1976)。宮床湿原全体でのコケ以上の植物の種類数と比較して、わずか2池塘での調査だけでもかかわらず底生藻類の種の方が豊富であったということは、平坦な地形を有し、主に水位が陸上植物の分布と関連する湿原陸上と比べて、池塘の環境が時空間的に不均一であることによるものと推定される。

池塘D2は珪藻類がどの季節でも総現存量の90%以上を占める珪藻類の池塘であったのに対して、池塘B4は珪藻類と鼓藻類が優占する池塘であった。Table 2に

示されたように、池塘D2は、比較的低温の池塘であり、珪酸イオンの濃度は常に11.7~20.4 mg/l(平均18.25 mg/l)と高濃度であったのに対し、池塘B4は相対的に高温で、そこにそそぐ水路Bの地点B2での珪酸イオン濃度は0.5~6.2 mg/l(平均2.56 mg/l)と極めて低濃度であった。現時点では底生珪藻類の増殖がどれだけの珪酸イオン濃度で制限されるのか実験的なデータ及び野外観察データはないことから、池塘B4の珪藻類が珪酸イオンによる増殖の制限下にあるかどうか推測することはできない。しかし、少なくとも池塘B4は、相対的に高温を好み、珪酸イオンを増殖には利用しなくてもすみ鼓藻類が珪藻類と共存できる環境にあるといえる。

池塘D2の種類数の変動は総現存量と総細胞数の変動と一致している(Figs. 2, 3, 9)。即ち、D2では種類数は母集団の大きさと関連しているといえる。しかし、多様性指数D及びD'は全く逆の変動パターンを示した(Fig. 9)。このことは母集団が大きくなって種類数が増えたが、ある特定の種類の細胞数及び現存量が相対的に大きく増加したことを示唆している。事実、多様性指数が低下した6月に珪藻 *Aulacoseira laevisima* が増加し、現存量において全体の約40%を占め、さら

に多様性指数が低かった8月も同様で、*A. laevis*が現存量で全体の約32%をしめていた。母集団が小さく、種類数が相対的に少なかった4月と10月では現存量の一番多い種類でそれぞれ総現存量の約10%及び約16%を占めているにすぎず (Fig. 5), これらの月は種類数はすくないものの、独占的な種の現存量あるいは細胞数が突出していなかったといえる。これに対して、池塘B4の種類数の変動、多様性指数D及びD'の変動、総現存量及び総細胞数の変動には明確な関連性をみることはできない (Figs. 2, 4, 10)。総現存量及び総細胞数が最も低い10月に種数及び多様性指数Dが最も高くなっており、また総現存量及び総細胞数が最も高い4月に種数は少ないが、多様性指数Dは高い (Figs. 4, 10)。この最大の原因として、6月と8月に出現した藍藻類 *Oscillatoria* sp. があげられる。この藻類は細胞が長さ1 μ m、幅4 μ mと小さく、細胞当たりの現存量は3 pgCである。この藻類は6月と8月にそれぞれ0.8 x 10⁶細胞/cm²及び1.3 x 10⁶細胞/cm²の濃度で出現し、総細胞数の約50%及び約54%を占める。しかし、現存量に換算するとそれぞれ0.012 gC/m²及び0.021 gC/m²となり。総現存量の約0.4%及び0.9%を占めるにすぎない。したがって、細胞数で多様性指数Dを計算すると6月と8月の値は低くなっていく。これを現存量で多様性指数D'を計算すると、D'は顕著な変動を示さず、Figs. 7, 8で示したように池塘B4がどの季節も珪藻 *Frustulia rhomboides*と1~2種の鼓藻類で総現存量の約70%~90%を占めるという状況と対応した結果を得ることができる。細胞のサイズに著しい差が見られる藻類の場合には、細胞数で多様性指数を計算するよりも、現存量で多様性指数を計算したほうが、多様性の状況をより反映した結果をえることができると思われる。

種類数、多様性指数D、D'のいずれにおいても、どの季節も池塘D2のほうが高い値を示しており、池塘D2は池塘B4と比べて種類が豊富で、かつ独占的な種に属する個体が相対的に少なく、やや複雑な群集であることを示唆している。このことは、池塘B4がどの季節も珪藻 *Frustulia rhomboides*と1~2種の鼓藻類で総現存量の約70%~90%を占め、特に8月には *F. rhomboides* だけでも総現存量の約75%を占めていた (Figs. 4, 7, 8参照) のに対して、池塘D2では総現存量の50%以上を占めていた種は存在せず、Fig. 5に示すように他の珪藻類とした種類群の占める割合が総現存量の約30%~50%もあったという結果を反映しているといえる。また、4月をのぞいて、池塘D2における

底生藻類の現存量は池塘B4のそれよりも高い値を示している。なぜ、池塘D2のほうが底生藻類の現存量及び多様性が高いのか。Table 2に示すように水路Bは珪酸イオンが極めて少ないことから、表走水であることが示唆される。即ち水路Bは水路Dと比べて雨水の影響の強い水路であり、気象変動の影響をうけやすい水路であると考えられる。実際、調査年の一年前の1991年の雨量が極めて少ない夏場には水路Bの殆ど全域に及び水が枯渇した。さらに、池塘B4において融雪直後の4月に現存量が最大で、その後6~10月にかけて減少していることから、池塘B4の底生藻類は梅雨時の増水、夏期の高湿あるいは水量の減少等池塘D2と異なって大きな物理的攪乱をうけている可能性も考えられる。また、両池塘の水質の季節的な変動データ (Hirata et al. 1995) から、それらの試料分散 (V), 自由度 (Φ) より各水質項目の母分散の違いを試料分散の比を上側確率0.025のF分布表と比較することによって求めたところ (Table 2), B2地点の水温、塩素イオン及びマグネシウムイオンの変動が大きいことが判明した。この結果もまた池塘B4がD2と比べて環境の攪乱を大きくうけていることを示唆しているものと思われる。Scarsbrook and Townsend (1993) は、流水系における藻類の現存量と無脊椎動物の種多様性は環境の攪乱が増加するとともに減少することを提言した。環境の攪乱が少ないと考えられる池塘D2における藻類の現存量のみならず種多様性も高かったことは、藻類の場合に現存量と種多様性の双方とも Scarsbrook and Townsend (1993) の提言に対応していると思われる。

謝 辞

本研究を遂行するに際して、国立環境研究所生物圏環境部長、岩熊敏夫博士のご指導と貴重な助言をいただいた。また、審査員より多様性指数、環境攪乱等に関して重要かつ貴重な意見をいただいた。厚く深謝する。

引用文献

- Bourrelly, P. 1972. Les algues deau douce, vol.1, 572pp. Editions N. Bobée & Cie, Paris.
- Croasdale, H., Bicudo, C.E.de M. and Prescott, G.W. 1983. A Synopsis of North American Desmids Part II Section 5, 117pp. Univ. Nebraska Press Lincoln.
- Geitler, L. 1932. Cyanophyceae. p.1-1196 In: Dr.L.

- Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland. Oesterreich und der Schweiz. 14, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- Hirano, M. 1942. The desmid flora of the Oze-district. 1. Act. Phytotax. Geobot. 11 : 272-302.
- Hirano, M. 1943a. The desmid flora of the Oze-district. 2. Act. Phytotax. Geobot. 12 : 17-45.
- Hirano, M. 1943b. The desmid flora of the Oze-district. 3. Act. Phytotax. Geobot. 11 : 71-98.
- Hirata, T., Nohara, S. and Iwakuma, T. 1995. Appendix 2 Data on water chemistry and ground water table in Miyatoko Mire. In : Iwakuma, T. (ed.) Ecosystem Structure of Miyatoko Mire. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud., National Institute for Environmental Studies, Tsukuba. in press.
- Huber-Pestalozzi, G. 1941. Chrysophyceae. Farblose Flagellaten Heterokonten. p.1-365. In : Huber-Pestalozzi's Das Phytoplankton des Süßwassers, Die Binnengewässer XVI, No.2, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Huber-Pestalozzi, G. 1955. Euglenophyceen. p.1-606. In : Huber-Pestalozzi's Das Phytoplankton des Süßwassers, Die Binnengewässer XVI, No.4, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Katoh, K. 1991. Diatom assemblage in a high moor : an observed correlation between species composition and pool size. Jpn. J. Phycol. 39 : 363-368.
- Kobayasi, H. and Ando, K. 1977. Diatoms from irrigation ponds in Musashikyuryo-shinrin Park, Saitama Prefecture. Bull. Tokyo Gakugei Univ. ser.4, 29 : 231-263.
- Kobayasi, H., Ando, K. and Nagumo, T. 1981. On some endemic species of the genus *Eunotia* in Japan. p.93-114. In : R. Ross (ed.) , Proceedings of the sixth symposium on recent and fossil diatoms. Otto Koeltz, Koenigstein.
- Kobayasi, H. and Nogumo, T. 1988. Examination of the type materials of *Navicula subtilissima* Cleve (Bacillariophyceae) . Bot. Mag. Tokyo 101 : 239-253
- Komárek, J. and Fott, B. 1983. Chlorophyceae, Chlorococcales. p.1-1044. In : Huber-Pestalozzi's Das Phytoplankton des Süßwassers, Die Binnengewässer XVI, No.7, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Kouwets, F. A. C. 1988. Remarkable forms in the desmid flora of a small mountain bog in the french jura. Cryptogamie, Algologie 9 (4) : 289-309
- Krammer, K. 1992. *Pinnularia*, eine Monographie der europäischen Taxa. Bibliotheca Diatomologica, 26 : 1-353.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. 1986. Bacillariophyceae. part 1. Naviculaceae. In : H.Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.) , Süßwasserflora von Mitteleuropa. vol.2., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. 1988. Bacillariophyceae. part 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In : H.Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.) , Süßwasserflora von Mitteleuropa. vol.2., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. 1991a. Bacillariophyceae. part 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In : H.Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.) , Süßwasserflora von Mitteleuropa. vol. 2., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. 1991b. Bacillariophyceae. part 4. Acnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema* Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4. In : H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds.) , Süßwasserflora von Mitteleuropa. vol. 2., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Lenzenweger, Von R. 1987. Beitrag zur Kenntnis der Zieralgenflora des Salzburger Lungaus : Contribution to knowledge of desmids of Lungau (Salzburg-Austria) . Arch. Hydrobiol. Suppl. 78 : 47-64
- Mayama, S. and Kobayasi, H. 1990. Studies on *Eunotia* species in the classical "Degernas materials" housed in the Swedish Museum of Natural History. Diatom Research 5 : 351-366.
- Mayama, S. and Kobayasi, H. 1991. Observations of *Eunotia arcus* Ehr., type species of the genus *Eunotia* (Bacillariophyceae) . Jpn. J. Phycol. 39 : 131-141.
- Patrick, R. and Reimer, C. 1966. The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii, Vol.1. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. no.13.
- Prescott, G. W. 1984. Bibliographia Desmidiacearum Universalis 612pp. Koeltz Scientific Books, Koenigstein.
- Prescott, G. W., Croasdale, H. T. and Vinyard, W. C. 1975. A Synopsis of North American Desmids Part II Section 1, 275pp. Univ. Nebraska Press., Lincoln.
- Prescott, G. W., Croasdale, H. T., Vinyard, W. C. and Bicudo, C. E.de M. 1977. A Synopsis of North American Desmids Part II Section 2, 413pp. Univ. Nebraska Press.,

- Lincoln.
- Prescott, G. W., Croasdale, H. T. and Vinyard, W. C. 1981. A Synopsis of North American Desmids Part II Section 3, 720pp. Univ. Nebraska Press., Lincoln
- Prescott, G. W., Bicudo, C. E.de M. and Vinyard, W. V. 1982. A Synopsis of North American Desmids Part II Section 4, 700pp. Univ. Nebraska Press., Lincoln
- Růžička, J. 1977. Die Desmidiaceen Mitteleuropas Band 1. 735pp. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Scarsbrook, M. K. and Townsend, C. R. 1993. Stream community structure in relation to spatial and temporal variation : a habitat templet study of two contrasting New Zealand streams. *Fresh. Biol.* 29 : 395-410.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163 : 688.
- Starmach, K. D. 1985. Chrysophyceae and Haptophyceae. p.1-322. In : *Süsswasserflora Mitteleuropas. Band 1*, Gustav Fischer Verlag, Jena
- Strathmann, R. R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* 12 : 411-418.
- 鈴木潤三・西田英郎 1972. 湿原の微生物. p.220-250. In: 西田英郎・鈴木康之・久保田敏弘・金有一編 湿原の生態学. 内田老鶴圃, 東京
- Takehara, A. 1995. Vegetation of Miyatoko Mire and its surrounding area. In : Iwakuma, T. (ed.) *Ecosystem Structure of Miyatoko Mire*. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud., National Institute for Environmental Studies, Tsukuba. in press.
- Wiens, J. A. 1976. Population responses to patchy environments. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 7 : 81-120.

(Received December 1, 1994 ; Accepted January 12, 1995)