

## 新潟県・佐潟における底生動物現存量の季節変化と 水平分布について\*

### Seasonal change and distribution of zoobenthos standing crop in Lake Sagata, Niigata Prefecture

大高 明史\*\*・富田 尚道\*\*\*・福原 晴夫\*\*\*\*

Akifumi OHTAKA Naomichi TOMITA Haruo FUKUHARA

#### Abstract

Seasonal changes in species composition and abundance of zoobenthos, and their horizontal distribution were investigated in a shallow lake, Lake Sagata (N39°49', E138°53') from 1978 to 1980. During the study period, 27 taxa of animals in 4 phyla were recorded as zoobenthos. The total biomass of zoobenthos at sandy station, St. 2b fluctuated between 1.5 to 27.1 g wet wt/m<sup>2</sup>, showing low level during summer. Among zoobenthos, oligochaetes and chironomids dominated in most seasons, both of the taxa accounted for 70-nearly 100% of total animal biomass. In September when standing crop of macrophytes reached maximum, density of phytal animals per unit bottom area was 4.8 times higher than that of zoobenthos in sediments. The phytal animals were predominated by naidid oligochaetes and small chironomid larvae. Densities of many species including phytal forms increased rapidly in sediment from September to December in accordance with the decomposition of macrophytes, then decreased in winter. From horizontal survey covering 17 sites in the lake, the significant relationship was observed between abundance of *Branchiura sowerbyi* and organic content (ignition loss) of sediment. On the other hand, biomass of total animal was neither related to organic content nor total nitrogen content of sediment. In *Chironomus plumosus* larvae, three emergence periods, May-June, July-August and September-October, were estimated. The relationships between abundance of zoobenthos and quality of sediments were discussed.

#### I. はじめに

湖沼における底生動物の分布や現存量が湖水や底質の特徴と密接に関係していることは古くから知られており、これまで数多くの生態学的研究が行われてきている (Brinkhurst, 1974 参照)。しかし、多くの研究は開水面の広い比較的深い湖沼を中心に行われてきており、浅く、水生植物が一面に繁茂するような水域での調査例は少ない。水生植物は、葉上動物や底生動物に生息場所を提供するだけでなく、直接的に餌となる有機物を供給し、あるいは枯死にともなう

- 
- \* 新潟県湖沼の陸水生態学的研究VII; Limnological Studies of Lakes in Niigata Prefecture VII.
  - \*\* 弘前大学教育学部自然科学科教室, 〒036 弘前市文京町1番地; Department of Natural Science, Faculty of Education, Hirosaki University, Hirosaki, 036 Japan.
  - \*\*\* 群馬県前橋市立春日中学校, 〒371 前橋市上佐鳥町; Kasuga Junior High School, Maebashi, 371 Japan.
  - \*\*\*\* 新潟大学教育学部生物学教室, 〒950-21 新潟市五十嵐2の町; Laboratory of Biology, Faculty of Education, Niigata University, Niigata, 950-21 Japan.

湖底への堆積・分解等を通して水中環境を変えることにより間接的に底生動物の生息環境に大きく影響していることが予想される。

新潟県・佐潟の陸水生生態学的特徴については、福原ら（1990）により、栄養塩および水生植物の季節変化を中心に詳細な報告がなされ、本湖は変化に富んだ底質と湖内のほぼ全域に分布する豊富な水生植物群落を有し、水生植物の消長が湖内の無機的环境や動・植物プランクトンなどの生物群集の動態と深く関わっていることが明らかにされている。したがって、佐潟は浅い湖沼に特徴的な水生植物と底生動物の動態との関係を解析するうえで格好の場であるといえる。本報では、以上のような視点から、底生動物の種類組成、主要な種についての季節変化や水平分布を示し、底生動物と底質環境や水生植物の動態との関係を中心に報告する。なお、本研究は福原ら（1990）の研究と並行して行われたものである。

## II. 調査地の概要と調査方法

佐潟（37°49'N, 138°53'E；Figure 1A, B）は、新潟市の西方に位置する長径1.3km、面積0.38 km<sup>2</sup>、湖面標高4.5mの北東－南西方向に細長い淡水の砂丘湖である。本湖の地理的・陸水学的性状については福原・福井（1986）、福原ら（1990）に詳しいが、その概略を以下に示す。

湖盆は砂丘列間の凹部に由来し、湖水は南西部の上佐潟からの水路による流入と湖内の湧水により涵養されている。調査当時、湖水は農業用水として利用されており、東端の水門により人為的に流出調整が行われていたため、その水位は0.3～1 mの間で変動していた。底質は南側が砂質、北側が泥質であり、中央部よりもやや南側に移行帯が存在する。湖内にはヒシ・マツモ・オニバスをはじめとした水生植物が豊富であり、湖岸の大部分はヨシ・マコモを中心とした抽水植物で囲まれている。水生植物の繁茂する夏期には、特にヒシ群落内部で夜間における底層の溶存酸素量の減少がみられ、また水生植物の枯死・分解に伴い、秋から冬季の栄養塩、特に硝酸態窒素の蓄積が顕著である。

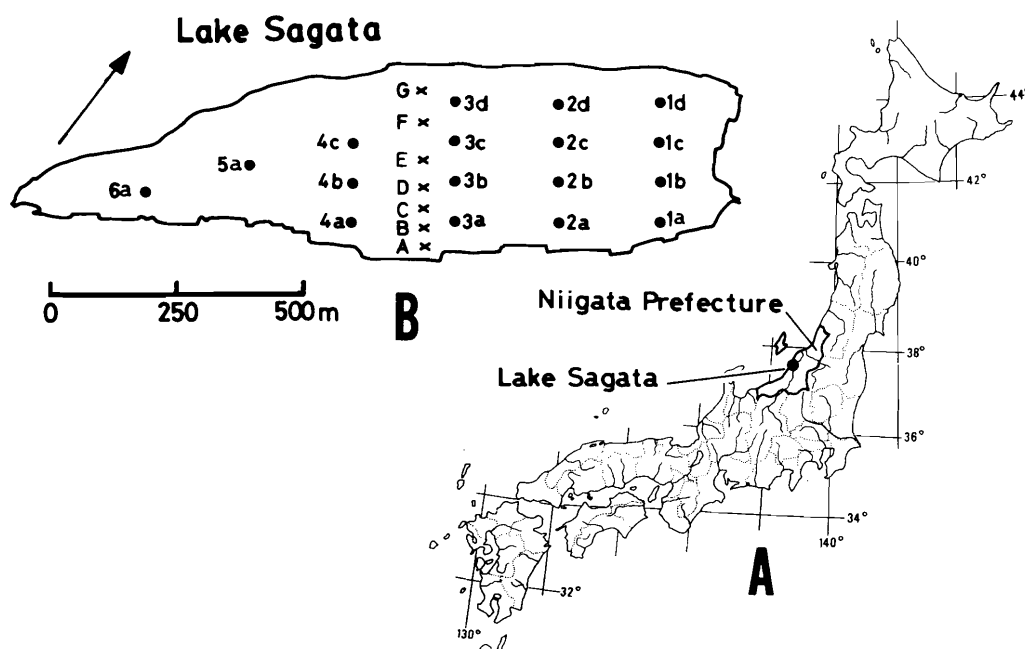


Figure 1. Location of Lake Sagata (A) and the sampling stations (B). Seasonal survey was carried out at St. 2b.

佐潟の生物に関しては、水生植物や鳥類をはじめとする多くの動植物、あるいは微生物について、生物相の記録や生態学的研究がなされ、福原・福井（1986）、福原ら（1990）にまとめられている。このうち底生動物に関しては、新潟河川生態研究グループ（1982）により湖内の約10地点における冬期、夏期のファウナと密度が報告されているが、継続的な研究はこれまでに行われていない。

底生動物の調査地点を Figure 1B に示した。1978年の4月から11月までは予備調査として、St. 2bにおいて月1～2回の頻度で標準型エクマン・バージ採泥器（底面積15cm×15cm）を用いて定性的な採集を行った。St. 2bの底質は砂質で、ヒシ（*Trapa* spp.）やハス（*Nelumbo nucifera*）、クログワイ（*Eleocharis kuroguwaii*）、ミズアオイ（*Monochoria korsakowii*）が生育する群落内である。1978年12月から1980年2月までは、同地点において月1～2回、採泥器を用いて定量採集を継続した。1979年は植生が前年と異なってヒシの優占度が高くなり、夏期には開水面がないほどに繁茂した。春先を除き年間を通し水深が浅かったため、採泥器を直接手で持ち、肉眼で底質を確認しながら採泥することが可能であった。水生植物が繁茂する時期には、葉上動物の混入を避けるために、底泥を乱さないように注意深く植物を取り除いてから採泥を行なった。採泥器3回分で得られた底泥ををまとめて1サンプルとし、これを現場で口径0.5mmのサーバネットを用いてふるったのち、10%ホルマリンで固定して実験室に持ち帰り、肉眼および双眼実体顕微鏡下で動物を選別した。この標本について、可能な限り下位の分類群まで分類し、それぞれについて個体数と湿重量を測定した。底生動物の中で優占したオオユスリカ（*Chironomus pulmosus*）については、1978～1980年のサンプルについて、頭幅と体長を測定し、成長解析を行った。底生動物の採集時に、水深ならびに表層および底層における水温、溶存酸素濃度（ウインクラ法）、pH（pHメーター）、無機栄養塩濃度（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）、 $\text{Cl}^-$ 濃度、クロロフィルa濃度を測定した。1979年3月以降、溶存酸素濃度を除く上記の環境項目については、表層水に限って測定を行った。底層水の採水に際しては、水体の攪乱を避けるために、底層水採水装置（福原、1976）を用いた。

底生動物と葉上動物との比較のために、水生植物の現存量が最大に達する時期の1979年9月15日に、定期調査地点（st. 2b）で葉上動物を採集した。50cm×50cmのコドラートを用いて刈り取った水生植物を大型のバットの中で洗って付着物を落とし、洗いを口径0.125mmのふるいで濾したサンプルについて葉上動物を拾い出し、分類・計数した。

湖内での底生動物の水平分布を明らかにする目的で、2回の調査を実施した。まず、1978年9月3～7日に、湖のほぼ中心を短軸方向に横断する方向に沿ったA～Gの8地点（Figure 1B）で、継続調査と同様の方法による底生動物の定量採集を行った。同時に、水質（水温、pH、溶存酸素量；測定時間は午前11時から午後1時までの間）および底質の分析を行なった。底泥の採集には直径5cm、長さ30cmのアクリル製コアサンプラーを用い、得られた0～25cmの底泥を5cmごとに分け、それぞれについて粒度組成、含水率（110℃、24時間）、灼熱減量（500℃、2時間）を測定した。さらに1979年4月22～23日に、Sts. 1a～6aの17地点（Figure 1B）で同様の方法による底生動物の定量採集を行った。底泥は0～10cmの混合試料について、横断調査と同様の項目に加え、総窒素量（ミクロケルダール法）、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度（10% KCl抽出後、蒸留法による）を測定した。

### III. 結 果

#### 1. 環境要因および底生動物の季節変化

##### 1. 1. 物理・化学的環境の季節変化

継続調査地点である St. 2b における水温、溶存酸素濃度、pH の季節変化を Figure 2 に示す。調査期間中の同地点における水深および表層水の環境要因の季節変化については、福原ら (1990) ですでに詳しく述べているため、ここでは底生動物の生活と直接関係する底泥直上の環境（底層水とする）を中心に概要を以下に述べる。

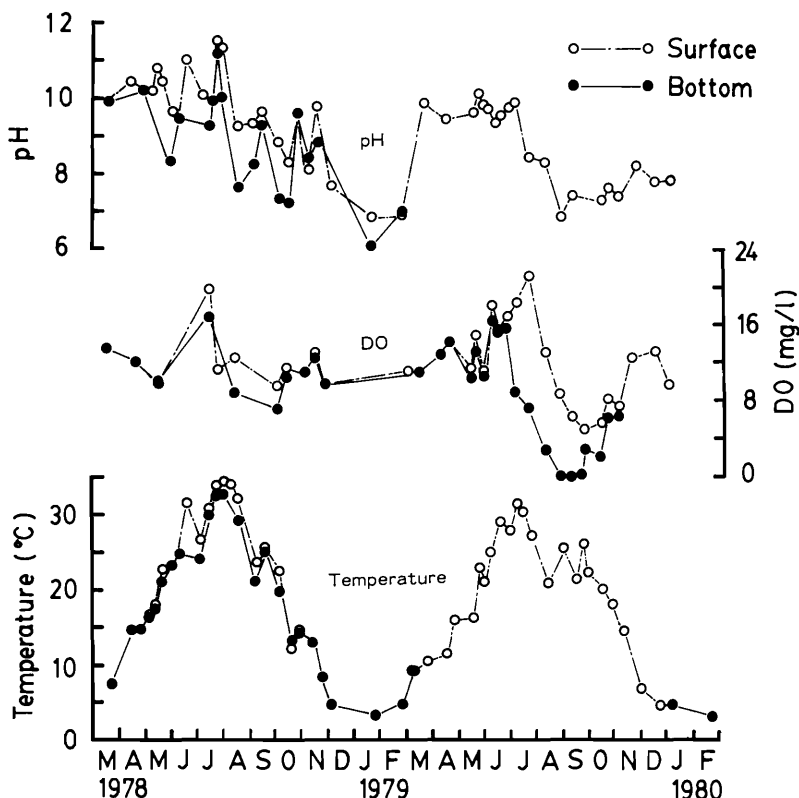


Figure 2. Seasonal changes in water temperature, dissolved oxygen concentration (DO) and pH at St. 2b of Lake Sagata. Surface values were after Fukuhara et al.(1990).

前述のように、調査当時、湖水は農業用水として使用されており、東端の水門の開閉により人為的に流出量の調節が行われていたため、水深は大きく変動した。1978年、1979年ともに、3～4月に水深は90cm前後となるが、6月以降は40cm以下と浅い状態が翌春まで続いていた。

底水温は調査期間中2.8℃（1980年2月）から32.5℃（1978年7月）の間で変動した。表層と底層の水温差は2.3℃（1978年9月）以下とわずかであった。

底層の溶存酸素濃度は、0.04mg/l（1979年8月）から16.7mg/l（1978年7月）の間で変動し、春と秋から冬にかけて高く、夏から秋にかけて低下する傾向があった。1979年は1978年に比べて変動が大きく、夏から秋にかけて大幅な減少が観察された。溶存酸素濃度の表層と底層の差は、水生植物の繁茂する夏から秋に見られた。この傾向は特に1979年に顕著であり、その差は最大で14.3mg/l（7月）に達し、8月下旬から9月下旬にかけては底層の溶存酸素濃度が0.5mg/l

以下と還元的状態が続いていた。

pH は1979年2月までの期間中、6.0 (1979年1月) から11.1 (1978年7月) の間で変動したが、1979年1月を除いて通年7以上を示し、全般にアルカリ側に偏っていた。

1978年12月までの底層水におけるクロロフィル a 濃度、無機栄養塩濃度 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ),  $\text{Cl}^-$  濃度 (Appendix 1) については、測定回数は少ないものの、表層における変動 (福原ら, 1990) とおおむね一致していた。

## 1. 2. 底生動物の季節変化

St. 2b における底生動物の定量採集の結果を Appendix 2 に示す。採集された底生動物は4門、6綱にわたる27の分類群であった。この中には、底泥だけに生息する狭義の底生動物の他に、水生植物が繁茂する時期には、採集の過程で混入した葉上動物の一部、底泥と葉上の両方で生活できる動物が含まれていると思われるが、ここでは採泥器で得られたものを一括して底生動物として扱い、水生植物体上から得られた動物については別に結果を示す。

底生動物の季節別の出現状況を Table 1 に示す。全体を通してミズミズ科 (Naididae) およびイトミズ科 (Tubificidae) に属する貧毛類とユスリカ科 (Chironomidae) 幼虫が多く、この中で年間を通じて出現したものは、ウチワミズミズ属 (*Dero* spp.; *Dero* 亜属と *Aulophorus* 亜属を含む), エラオイミズミズ (*Branchiodrilus hortensis*), ユリミズ属 (*Limnodrilus* spp.), エラミズ (*Branchiura sowerbyi*), オオユスリカ (*Chironomus pulmosus*),

Table 1. Seasonal occurrence of zoobenthos in Lake Sagata from 1978 to 1979.

	Spring	Summer	Autumn	Winter
Oligochaeta				
<i>Chaetogaster</i> spp.	+			
<i>Pristina</i> spp. + <i>Stylaria lacustris</i>			+	+
<i>Nais</i> spp.	+		+	+
<i>Dero</i> spp.	+	+	+	+
<i>Branchiodrilus hortensis</i>	+	+	+	+
<i>Limnodrilus</i> spp.	+	+	+	+
<i>Branchiura sowerbyi</i>	+	+	+	+
Chironomidae				
<i>Pentaneura</i> sp.			+	
<i>Procladius</i> sp.	+	+	+	
<i>Corynoneura</i> sp.			+	
<i>Calospectra</i> sp.	+	+	+	+
<i>Tokunagayusurika akamusi</i>	+		+	+
<i>Chironomus pulmosus</i>	+	+	+	+
<i>Chironomus salinarius</i>	+	+	+	+
<i>Chironomus</i> sp.		+		
<i>Gryllolepidius</i> sp.			+	+
Others				
<i>Culicoides</i> sp.	+	+	+	+
Nematoda spp.	+	+	+	+
Hirudinea spp.	+	+	+	+
Odonata spp.	+	+	+	
Hydrophilidae sp.		+		
<i>Donacia</i> spp.	+	+	+	
<i>Cipangopaludina japonica</i>	+	+	+	+
<i>Radix japonica</i>	+	+	+	+

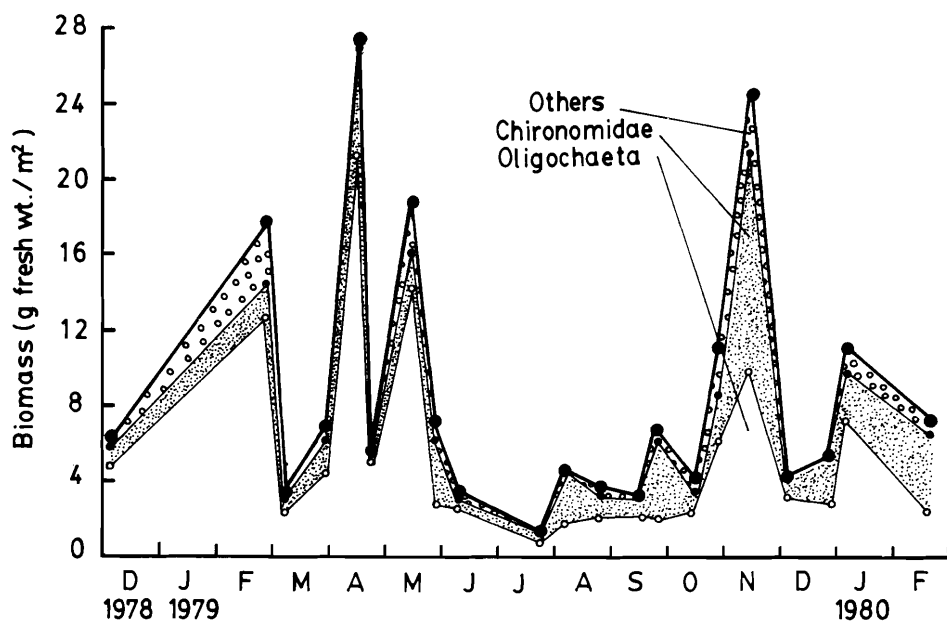


Figure 3. Seasonal changes in the biomass of zoobenthos at St. 2b of Lake Sagata.

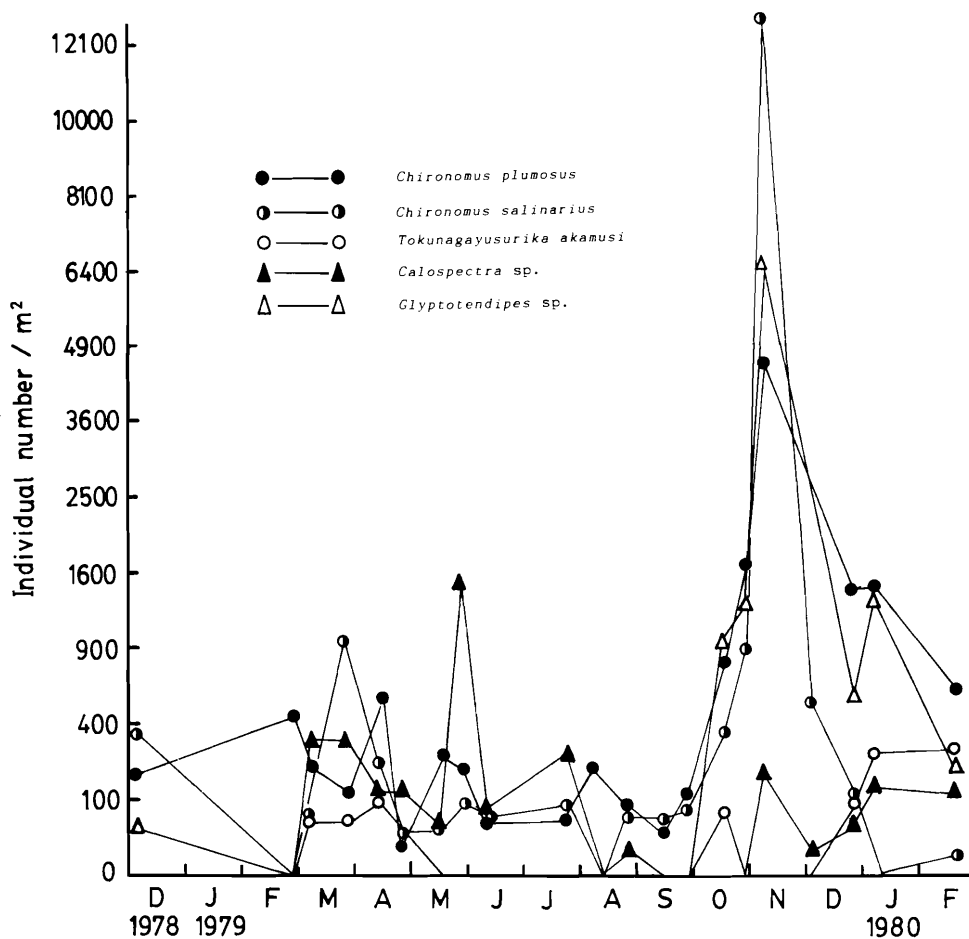


Figure 4. Seasonal changes in the densities of main species of chironomid larvae at St. 2b of Lake Sagata.

*Chironomus salinarius* であった。季節としては秋に最も多くの分類群が出現した。このほかに、少数ではあるがヨコエビ (Gammaridae sp.) や半翅目幼虫 (Hemiptera spp.) が採集されている。

Figure 3 に底生動物総現存量 (ホルマリン湿重量) の季節変化を示す。総現存量は調査期間中 1.5 (1979年 7月) から 27.1g/m<sup>2</sup> (1979年 4月) の間で変動し、春 (4~5月) と初冬 (11月) に高い傾向を示し、一方、7月から9月までの夏の期間は 7 g/m<sup>2</sup>以下であった。総現存量に対するユスリカ幼虫の割合は 7.3~65.6%、貧毛類の占める割合は 31.1~89.1%と年間を通して大きく、したがって総現存量の変動はユスリカ幼虫と貧毛類の動態に左右されているといえる。総現存量のピークのうち、春は貧毛類の占める割合が相対的に高く、一方初冬はユスリカ幼虫の占める割合が高かった。ユスリカ幼虫と貧毛類以外で現存量が比較的高い動物としてはヒル (Hirudinea spp.) やトンボ目 (Odonata spp.)、モノアラガイ (*Radix japonica*) があげられる。

Figure 4 にユスリカ幼虫のうち優占した 4 種について密度の季節変化を示す。ユスリカ幼虫の中で年間を通して優占した種はオオユスリカであり、15 (1979年 4月) から 4500/m<sup>2</sup> (1979年 11月) の間で変動し、11月を中心とする秋から冬にかけて大きなピークがあり、また 5~6月と 8月に個体数の増加が見られた。小型のユスリカである *Glyptotendipes* sp. は、オオユスリカと同様に 10月以降の増加が著しいが (最大で 6842/m<sup>2</sup>; 1979年 11月)、春から夏の期間は全く出現しなかった。*Calospectora* sp. は 9~10月を除いてほぼ年間を通して出現し、5月下旬に急激な密度の増加が見られたが (1495/m<sup>2</sup>)、はっきりとした変動の傾向は認められなかった。アカムシユスリカ (*Tokunagayusurika akamusi*) は春および秋以降に出現し、夏には見られなかった。

底生動物のなかで優占したもうひとつのグループである貧毛類のうち、密度の高かった 4 つの分類群について Figure 5 に密度の季節変化を示す。水生植物総現存量の変化 (福原ら 1990) もグラフ中に加えてある。貧毛類の中で年間を通して優占したのはユリミミズ属であった。得られたユリミミズ属には、ユリミミズ (*L. hoffmeisteri* “plate-topped” form), ウィリーユリミミズ (*L. udekemianus*), フトゲユリミミズ (*L. grandisetosus*) の 3 種が認められたが、後者の 2 種についてはユリミミズ全体の中で占める割合はわずかであった。ユリミミズ属の個体数は 489 (1979年 12月) から 2991/m<sup>2</sup> (1979年 11月) の間で変動し、春と秋に高く、夏と冬に低い傾向が見られたものの明瞭な季節変化は示さなかった。Figure 5 にあげた他の 4 つの分類群はいずれもミズミミズ科に属する小型の貧毛類であり、その密度は、水生植物現存量が減少する 9月から11月にかけて急激に増加するという点で互いに共通していた。このうち、ウチワミズミミズ属は通年、またエラオイミズミミズは 4~6月にも見られたが、他 (ミズミミズ属 (*Nais* spp.) およびトガリミズミミズ属 (*Pristina* spp.) + テングミズミミズ (*Stylaria lacustris*)) は秋から冬の時期に限られていた。

### 1. 3. オオユスリカの世代数

ユスリカ幼虫の中で優占したオオユスリカについて、比較的多くの個体が採集されたため、体長組成の変化より世代数の推定を行った。調査期間中に St. 2b で採集されたオオユスリカについて、体長と頭幅の関係を Figure 6 に示す。頭幅の分布から II~IV 齢は区別できるが、I 齢は個体数が少ないため明瞭ではなかった。II 齢以下の体長は 6 mm 以下であると推定される。III

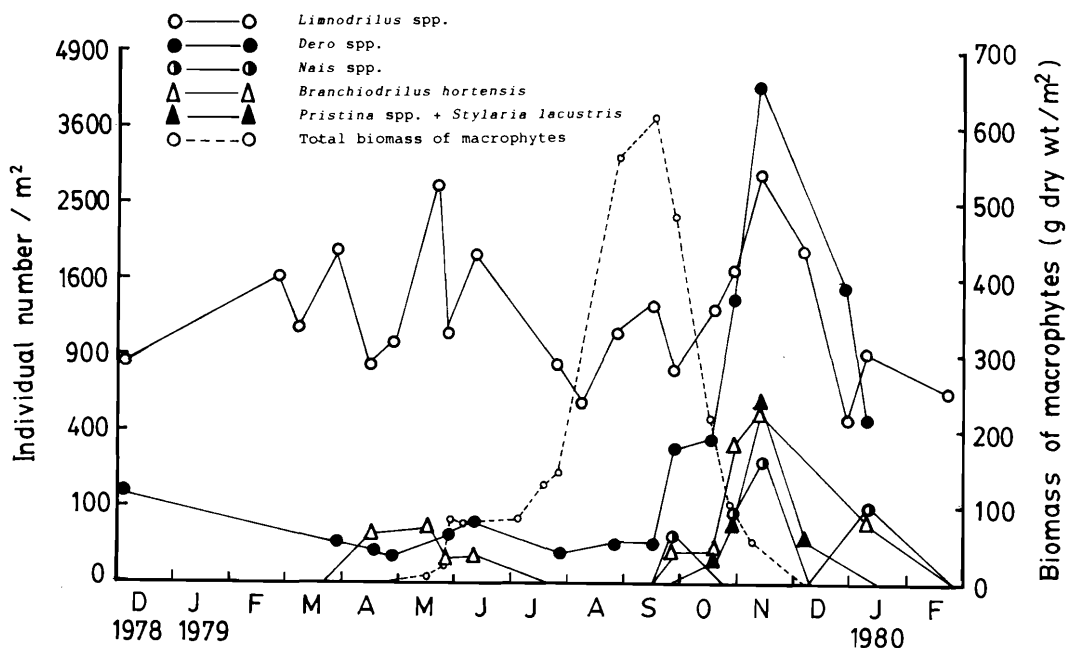


Figure 5. Seasonal changes in the densities of main taxa of oligochaetes at St. 2b of Lake Sagata, with total standing crop of macrophytes after Fukuhara et al. (1990).

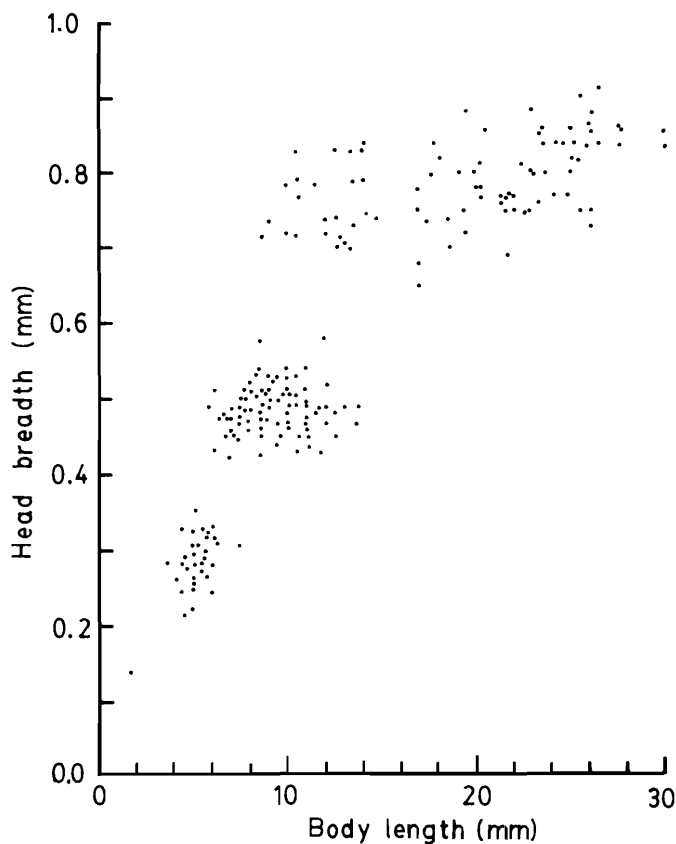


Figure 6. Relationships between body length and head breadth of *Chironomus plumosus* larvae. Specimens collected at each periodical sampling time at St. 2b were combined.

齢およびIV齢幼虫は体長の重なりが大きいですが、15mm以上の個体に関しては終齢幼虫であると推定することができる。Figure 7に幼虫の体長組成の季節変化を示す。明瞭な傾向の認められた1979年の結果では、終齢幼虫の多くが消失し、それに引き続いて若齢幼虫の出現する時期は、5月下旬から6月上旬、7月下旬から8月上旬、9月下旬から10月上旬であった。このそれぞれの時期は、羽化とそれに引き続く産卵・孵化の時期に対応しているものと思われ、したがって羽化期は年3回と推定される。1978年の体長組成からは8月の若齢幼虫の出現が1979年と同様に観察されたが、6月と10月の世代の交代についてははっきりしなかった。



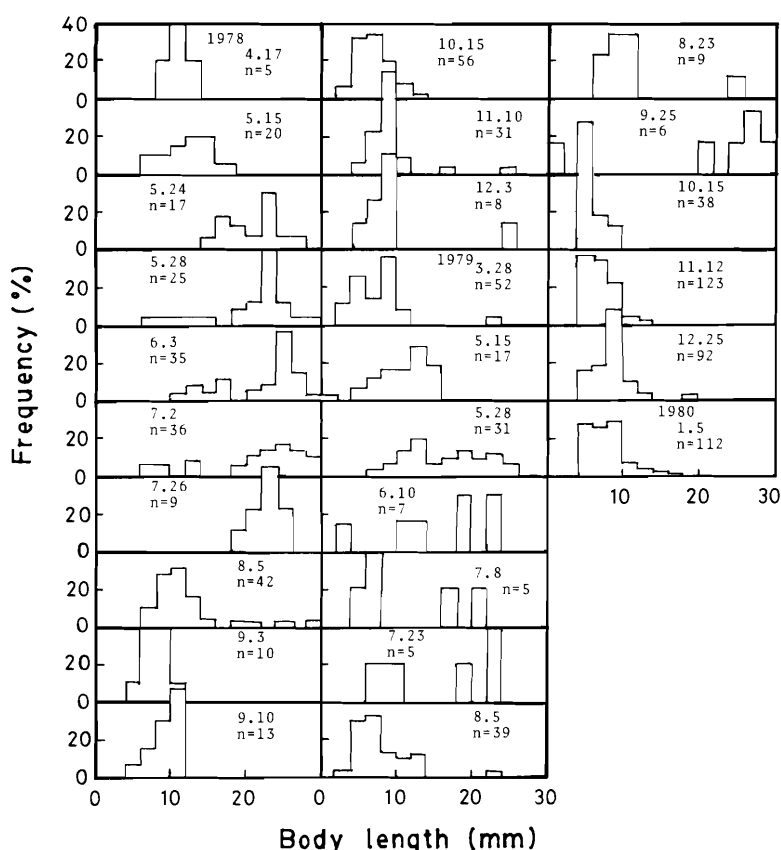


Figure 7. Frequency distribution of the body length in *Chironomus plumosus* larvae at St. 2b of Lake Sagata. Number and n shown the sampling day and numbers measured, respectively.

## 2. 底生動物と葉上動物との比較

1979年9月15日に底生動物の採集と並行して同じ St. 2b で行った葉上動物個体数の調査結果を、同日の底生動物の結果と合わせて Table 2 に示す。この地点における水生植物の優占種は浮葉植物のヒシであり、この他に沈水植物のマツモ (*Ceratophyllum demersum*) やトリゲモ (*Najas minor*)、クロモ (*Hydrilla verticillata*) が見られた。この調査時期は水生植物の総現存量が最大となる時期であり (Fig. 5), その値は福原ら (1990) によると  $615.9 \text{ dry mg/m}^2$  であった。葉上動物は底泥から得られた動物に比べて出現分類群, 総個体数ともに多く, 底面積あたりの総個体数の比は4.8であった。調査時の出現種において底質からのみ採集された分類群はなく、一方、トガリミズミズ属+テングミズミズ, ミズミズ属, エラオイミズミズ, *Calospectora* sp., *Pentaneura* sp., *Corynoneura* sp. の6つの分類群は葉上動物としてのみ出現した。また、ウチワミズミズ属と *Chironomus salinarius* は底質と葉上の両方で見られたものの、葉上での密度のほうがはるかに高かった(それぞれ77.6倍および11.3倍)。逆に底質での密度のほうが葉上よりも高かった動物はユリミズ属と *Culicoides* sp. の2つであった(それぞれ8.2倍および4.3倍)。この調査時期に葉上動物としてのみ見られる動物はすべて、いずれかの時期に底生動物としても採集された (Table 1)。

Table 2. Comparison of animal densities between sediment (zoobenthos) and macrophyte (phytal animals) at St. 2b in Lake Sagata on 15 September 1979.

Taxon	Sediment (No./m <sup>2</sup> )	Macrophyte (No./m <sup>2</sup> )
<i>Pristina</i> spp. + <i>Stylaria lacustris</i>	0	3088
<i>Nais</i> spp.	0	840
<i>Dero</i> spp.	30	2328
<i>Branchiodrilus hortensis</i>	0	24
<i>Limnodrilus</i> spp.	1377	168
<i>Calospectora</i> sp.	0	184
<i>Pentaneura</i> sp.	0	5
<i>Corynoneura</i> sp.	0	16
<i>Chironomus plumosus</i>	30	96
<i>Chironomus salinarius</i>	44	496
<i>Culicoides</i> sp.	30	7
Total	1511	7252

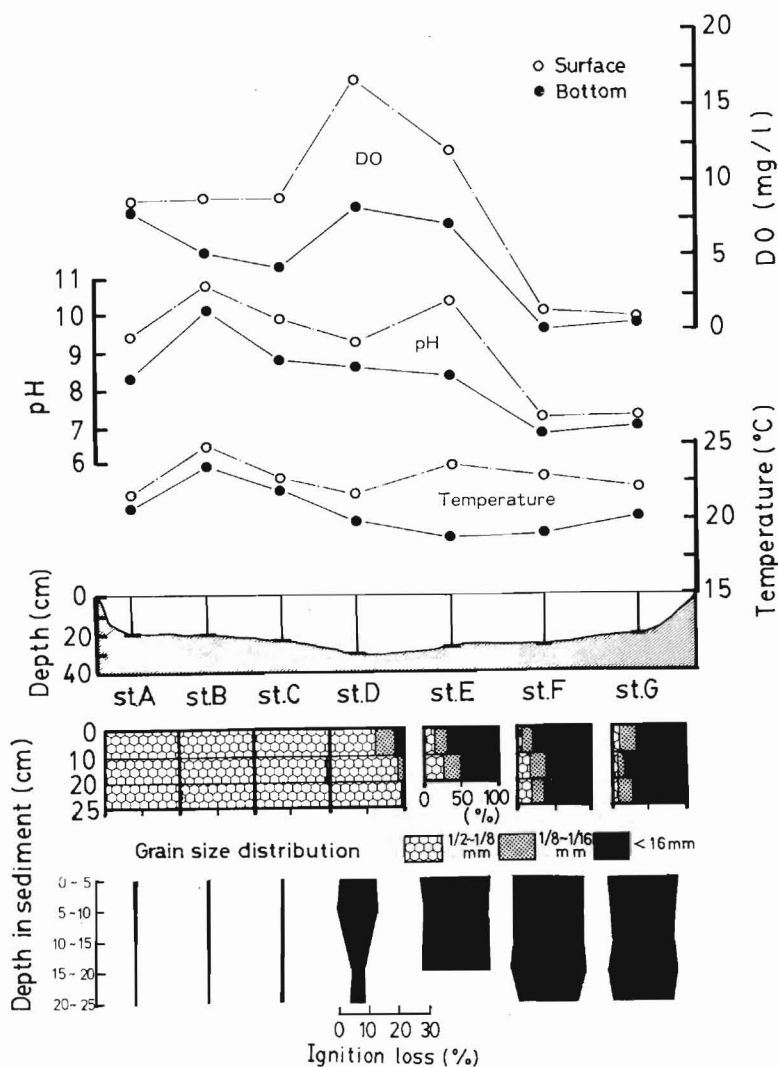


Figure 8. Cross distribution of several environmental factors of water and sediment at St.A through G of Lake Sagata in September 1978.

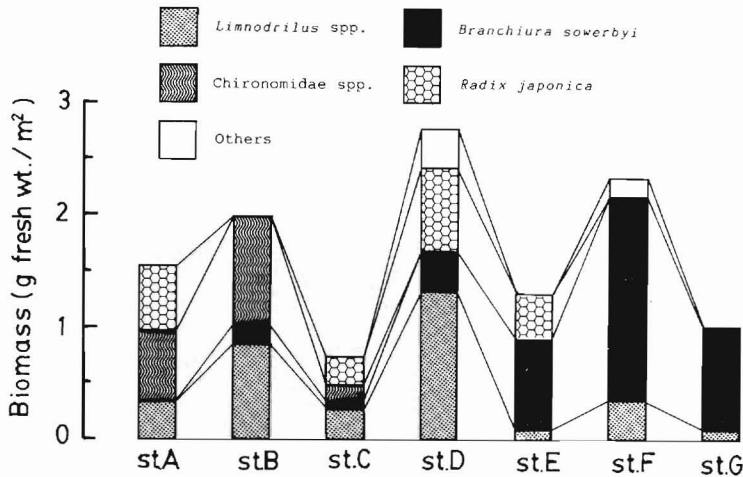


Figure 9. Biomass of zoobenthos through cross stations of Fig. 8.

### 3. 底生動物の水平分布

#### 3. 1. 横断調査

1978年9月3～7日に行なった横断調査の結果を Appendix 3 に示す。Figure 8 にこの7地点における水深、水温、pH、溶存酸素濃度、底質環境を示す。横断面における水深は20～30cmで各地点とも浅いが、表層と底層を比較すると、水温で最大4.7°C (St. E), pHで2.0 (St. E), 溶存酸素で8.8mg/l (St. D) の差が見られた。溶存酸素濃度および pH は, St. F と St. G で他の地点に比べて低い値が観測された。特に, この2地点では溶存酸素濃度が表層、底層とも1.5mg/l以下と低いことが注目される。Sts. F, G では底泥からのメタンの発生が認められた。底質について見ると, Sts. A～C は1/16mm以上の粒子が98%以上を占めるいわゆる砂質であり、含水率が20～30%で低く、灼熱減量が約1%と有機物に乏しい底質であった(Appendix 3)。これらの地点の粒度組成は新潟市の海岸での値(未発表)とほぼ同じであった。一方, Sts. E～G はシルト以下( $\phi < 1/16\text{mm}$ )が50%以上を占める泥質であり、含水率、灼熱減量ともに Sts. A～C に比べて高かった。St. D は両者の移行的な環境を示し、表層では含水率が Sts. E～G とほぼ同じで80%以上を示し、灼熱減量も10%以上と泥質的であるが、下層になるにしたがって砂質の様相を示した。

調査時の各地点における水生植物の分布については大高ら(1978)ですでに述べているが、総現存量を Appendix 3 に加えてある。St. A から St. E まではヒシが優占し、Sts. D, E ではこれに主要種としてマツモが加わるのに対し、St. F ではオニバス、St. G ではハスとオニバスが優占していた。Sts. F, G ではオニバスが水面を完全に覆い、開水面が全く見られなかった。

横断調査時の7地点における底生動物の現存量を Figure 9 に示す。総現存量を地点間で比較すると St. D が最も高く (2.8g/m<sup>2</sup>), St. C が最も低かった (0.7g/m<sup>2</sup>)。調査地点に共通して見られた種はユリミズ属だけであった。砂質である Sts. A～C では、ユリミズ属とユスリカ幼虫が総現存量の半分以上を占めており、これに対して泥質である Sts. E～G ではエラミズが最も優占し、単独で総現存量の6割以上を占めていた。底質に関して移行的な性格を持つ St. D はユリミズ属の占める割合がエラミズよりも高い点で St. A～C と似ている一方、ユス

リカ幼虫が見られない点では Sts. E~G と似ており、両者の中間的な性質を有していた。各分類群のうち、表層（0~5 cm）の灼熱減量と現存量との相関が認められたのはエラミミズだけであった（ $0.01 < p < 0.02$ ）。

### 3. 2. 水平調査

1979年4月に行なった湖内17地点の水平調査の結果のうち、底質環境（含水率、粒度組成、総窒素量、アンモニア量、灼熱減量）については、各地点の水生植物現存量の結果と合わせて福原ら（1990）によりすでに述べられている。それによると、Sts. 1a~4a, 1b~4b の潟の南側に位置する各地点は有機物に乏しい砂質であり、一方、北側の Sts. 1c~4c, 1d~3d, および南西側の Sts. 5a, 6a は有機物に富む泥質である。また潟の中央部付近には砂の上に泥が薄く堆積したり、その逆の砂-泥移行帯と呼べる部分がパッチ状に分布する。

17地点における底生動物の調査結果を Appendix 4 に示す。17地点に共通してみられた動物はユリミミズ属と *Calospectora* sp. だけであった。このほかに半数以上の地点で見られた動物群としては、*Chironomus salinarius*（12地点）、*Culicoides* sp.（10地点）、*Procladius* sp.（9地点）があげられる。底生動物の総個体数は581（St. 3c）~4651/m<sup>2</sup>（St. 2d）で、平均は2326±1326/m<sup>2</sup>であった。砂質8地点と泥質9地点の個体数の平均はそれぞれ2804±1357/m<sup>2</sup>、および1900±1214/m<sup>2</sup>で砂質の方が高かったが、最小・最大値とも泥質の地点で見られており、地点間のばらつきが目立った。一方、総現存量は地点間で3.3（Sts. 3a, 5a）~14.0（St. 4b）g/m<sup>2</sup>で、17地点の平均は6.3±3.1g/m<sup>2</sup>であった。上記の砂質と泥質の地点の総現存量の平均はそれぞれ6.3±3.4, 6.2±3.1g/m<sup>2</sup>で、両者の間にはほとんど差が認められなかった。底生動物総現存量と底質の総窒素量や灼熱減量との間には有意な相関は認められなかった。貧毛類は最も優占する分類群であり、個体数で平均70.5±15.0%、現存量で平均77.1±15.9%を占め、貧毛類の中では各地点ともユリミミズ属が優占していた。エラミミズは泥質の地点での出現率が高く、その現存量と灼熱減量との間には有意な相関が認められた（ $0.01 < p < 0.02$ ）。ユスリカ幼虫は貧毛類に次いで優占し、全体に占める割合は個体数で平均24.0±14.7%、現存量で平均12.8±12.0%であった。ユスリカ幼虫のうちでは *Calospectora* sp. が最も多く、*Chironomus salinarius* がこれに次いでいた。オオユスリカは主に砂質で見られ、個体数と灼熱減量との間には弱い負の相関が認められた（ $p < 0.05$ ）。したがって、底生動物全体に占める分類群の割合は、各地点とも貧毛類とユスリカ幼虫で大部分を占め、両者を合わせると個体数で底生動物全体の86.1~99.2%（平均93.7%）、現存量で61.6~100%（平均90.0%）を占めていた。

## IV. 考 察

佐潟は栄養塩濃度、動植物プランクトン相（福原ら、1990）、硫酸還元菌数（福原・福井、1986）などの点から富栄養的性格を持っていることが明らかにされている。佐潟の底生動物のうち、優占した動物群はユリミミズ属とオオユスリカであった。これらの動物は酸素欠乏に対する耐性が高く、一般に富栄養化した水域に多産することが知られている（Brinkhurst, 1974）。また、日本のユリミミズには陰茎鞘の形の違いによる2型が知られているが（Ohtaka, 1985）、佐潟のユリミミズはこのうちの“plate-topped” form に該当した。Ohtaka et al.（1990）によると、このタイプは、貧栄養湖の沿岸部などによく出現する“typical” form と異なり、もっぱら富栄養湖や池沼、都市河川などの栄養度の高い、あるいは有機的な汚染を受けた水域に見られるものである。これらのことから、佐潟は優占する底生動物相からみてもこれまでの研究同様

に富栄養的性格がうかがえる。

継続調査を行った St. 2b における底生動物総現存量は  $1.5 \sim 27.1 \text{ g/m}^2$  の間で変動した。福原ら (1980) は諏訪湖湖心部における 15 ヶ月間の底生動物現存量として  $20 \sim 130 \text{ g/m}^2$  を報告している。また、安野ら (1977) によると霞ヶ浦高浜入 3 地点における冬から春の 4 回の調査での底生動物総現存量は  $6.4 \sim 84.4 \text{ g/m}^2$  の範囲であった。これらを最大値と比較すると、佐潟の底生動物総現存量は諏訪湖の約  $1/5$ 、霞ヶ浦の約  $1/3$  になる。Kajak (1988) は底生動物の現存量には底質の栄養度が最も重要な要因となることを指摘しているが、この点を検討すると、底泥の灼熱減量は諏訪湖で  $16.1\%$  (福原ら, 未発表)、霞ヶ浦で  $15 \sim 20\%$  (岩熊ら, 1984) であるのに対して、本湖の st. 2b では  $2.0\%$  (福原ら, 1990) ときわだって低い。したがって底泥中の有機物含有量の低さが、諏訪湖や霞ヶ浦ほど高い底生動物現存量を維持できない原因になっている可能性が高い。

佐潟の底生動物総現存量は春と秋に高く、夏に低い値を示した (Fig. 3)。このうちの春のピークではユリミミズを中心とした貧毛類の割合が高かった。Fukuhara et al. (1987) は諏訪湖において、春の 4～5 月に *Limnodrilus* 属の繁殖が起こることを示している。したがって、本湖においてもこの時期にユリミミズの繁殖が行われたものと推測される。一方、秋の現存量のピークでは、オオユスリカ、*Glyptotendipes* sp., *Chironomus salinarius* を中心としたユスリカ幼虫が増加を示した (Fig. 4)。この原因として、オオユスリカは秋の羽化期後の第 3 世代幼虫の加入が考えられ、*C. salinarius* については葉上における密度が高いことから (Table 2)、水生植物の枯死にともなって底質に移行したことが考えられる。また、この時期にウチワミズミズ属やトガリミズミズ属+テングミズミズなどの小型貧毛類の増加も著しい (Fig. 5)。これらの増加も水生植物現存量の低下後に起こることにより、底質移行や植物の分解物による増殖の結果と考えられる。継続調査では夏期に底生動物現存量が低下したが、これには溶存酸素の低下が影響している可能性が大きい。底生動物の継続調査地点である St. 2b で並行して行った夏期の調査では、ヒシの繁茂によって底層で昼夜にわたる無酸素化が起こっていることが明らかとなっている (福原ら, 1990)。本研究でも夏期の底層の還元的状態が水生植物の繁茂する期間中続いていることが示されている (Fig. 2)。また 1978 年の横断調査においても (Fig. 8)、オニバス群落である Sts. F, G で底層の貧酸素状態が観察された。成層期に溶存酸素の低下が原因となり底生動物の現存量が減少する現象は多くの富栄養湖で観察されるが、佐潟のようにきわめて浅い湖でも似た現象が起こっていることは注目される。

沿岸域の底生動物群集の種数の豊富さは、一般に溶存酸素量の豊富さや底質環境の多様性の高さと結びつけられるが (Wetzel, 1983)、水深の浅い本湖では豊富な水生植物の存在が複雑な環境を提供し、種の多様性を高めていると考えられる。水生植物現存量が最も高い 9 月に底泥と葉上の動物サンプルを比べた結果では、底泥での出現動物は 5 分類群であるのに対し、葉上では底泥での出現動物をすべて含む 11 分類群であり、また単位底面積当りの密度についても、葉上動物は底泥の動物の 4.8 倍と高い値がみられた (Table 2)。葉上で最も優占した動物群はミズミズ科貧毛類とユスリカ幼虫であった。水生植物葉上は、生息面積の拡大や餌となる付着藻類やデトライタス、バクテリアの蓄積という点で、多くのミズミズ科貧毛類にとって好適な環境であることから、しばしば高密度になることが知られている (Learner et al., 1978)。また、Kondo and Hamashima (1985) は名古屋市および近郊の 8 つの池の 10 種の水生植物体上から 27 種のユスリカ幼虫の出現を見ており、水生植物体上はユスリカ幼虫にとっても好適な環

境であることがうかがえる。本湖は水深が浅いために底泥の巻き上げが起こりやすいと考えられるが、水生植物体上に付着藻類が増加する時期には底泥がこれに混入し、葉上は底泥表層と似た状態となると思われる。こうした時期の葉上-底質の境界は、小型の動物にとっては連続的なものになり、豊富な動物相を維持できるものと考えられる。この傾向は水生植物が枯死し底質上に堆積する時期にいっそう顕著になるであろう。

底生動物の現存量は一般に底質の栄養度と大きく関係する。岩熊ら (1984) は霞ヶ浦50地点の底生動物現存量と環境要因を比較し、アカムシユスリカ、Tanipodinae 亜科ユスリカ、貧毛類のそれぞれの現存量と底泥の灼熱減量との間に相関を認め、Moore (1979) も Great Slave Lake のユスリカ幼虫について、その密度と底質の有機物量との間に高い相関を見いだしている。しかし、本湖での夏期の横断調査において、有機物量の指標とされる灼熱減量と現存量との相関が認められたのはエラミミズのみであった。さらに、4月に行った17地点における水平調査でも、現存量と灼熱減量との間に正の相関が認められたのは同じくエラミミズのみであり、底生動物総現存量や優占動物であるユリミミズ属やオオユスリカの現存量は灼熱減量と有意な相関が認められなかった。Yasuda and Okino (1987) による諏訪湖における貧毛類の水平分布調査によると、エラミミズは灼熱減量が約15%以上の3 m以深にのみ分布し、有機物含量の低い沿岸帯には分布していない。本種の分布は大きく底質の有機物量に左右されることが推測され、本湖においてもこの点が顕著に示されたものと考えられる。他の底生動物が有意な相関を示さなかった理由として、特に砂質底表層における泥質の存在により生息が可能となるような種の生育環境が0~10cmの混合試料を用いた底質の分析法では正しく反映されていないことが考えられる。さらに、水平分布を調査した4月に出現した動物の分布を考察するためには、前年の環境や分布を考慮に入れる必要があるであろう。オオユスリカの7月下旬から8月上旬および9月下旬から10月上旬の羽化期は、いずれもオニバスが水面を覆っていた時期であった。開水面の閉塞は、ユスリカのように生活史のなかで羽化のために水中から出る必要のある動物にとっては、羽化期がこの時期に起こった場合、致命的な影響をもたらすであろう。またこうした場所では産卵場所がきわめて限られ、さらに孵化後も低酸素条件下にさらされることから死亡率も高いと予想されるため、密度は減少すると考えられる。オオユスリカの密度が灼熱減量と負の相関を示したのはこの点が反映されたのかもしれない。

本湖のオオユスリカについては、体長の頻度分布の季節変化から、春（5月下旬から6月上旬）、夏（7月下旬から8月上旬）、秋（9月下旬から10月上旬）の年3回の羽化期が推定された。日本におけるオオユスリカの生活史については、Yamagishi and Fukuhara (1971)、Iwakuma (1987) による、それぞれ諏訪湖と霞ヶ浦における研究例がある。これによると、諏訪湖における羽化期は水深が浅い地点では4~5月、6~7月、8~10月の年3回であるが、深くなるにしたがって6~7月羽化群の割合が減少する。したがって、4~5月に孵化した幼虫は6月羽化群とこの羽化期に残留した9月羽化群に分かれることから、年2世代群と3世代群が混在する。また霞ヶ浦での羽化期は3~4月、5~6月、9~11月の年3回で、同様に世代数の少ない個体をまじえる。佐潟において、年間3世代である点は一致しているが、1回目および2回目の羽化期が霞ヶ浦、諏訪湖、佐潟の順に約一ヶ月ずつ遅れている点が注目される。また、3回目の羽化期については、諏訪湖が佐潟よりも約一ヶ月早い点では同様であるが、霞ヶ浦での羽化期は諏訪湖より遅く始まり、かつ3湖沼の中で最も遅くまで引き延ばしている。これらのことは、霞ヶ浦において第2世代（2回目の羽化個体群から生じた世代）の幼虫期間が他

の2つの湖沼よりも長く、かつ第3世代の幼虫期間が他の2つの湖沼よりも短いことを反映したものと考えられる。霞ヶ浦のオオユスリカ幼虫は夏期に最深40cmの底泥深部へ移動することが知られている (Iwakuma and Yasuno, 1981)。諏訪湖ではこのような深さまでの行動は観察されておらず (Yamagishi and Fukuhara, 1972)、佐潟のオオユスリカ幼虫については不明であるが、この掘潜行動が霞ヶ浦で第2世代の幼虫期間を引き延ばし、3回目の羽化期を遅らせている要因となっているかもしれない。

アカムシユスリカの出現時期は10月から4月までの冬から春の期間に限られ、夏には採集されなかった。この動態は、よく調べられている諏訪湖 (Yamagishi and Fukuhara, 1971) や霞ヶ浦 (安野ら, 1979) の結果とよく一致している。アカムシユスリカがエクマン・バージを使ったサンプルから夏の期間に消失するのは、この時期に泥中へ深く潜るためであることが諏訪湖や霞ヶ浦では確かめられている (Yamagishi and Fukuhara, 1972; Iwakuma and Yasuno, 1983)。佐潟での夏期の生息場所については調査を行っていないが、同様に他の場所への移動によると考えられる。しかし、調査地点の St. 2b の底質は砂質であり、諏訪湖や霞ヶ浦のように底泥深部への潜掘が可能かどうかには疑問が残る。この調査地点のすぐ北側は泥質の部分となることから、佐潟でのアカムシユスリカの生活史の解明には水平方向への移動も考慮に入れた調査が必要であろう。

## V. 終わりに

以上のように、佐潟には多様な底生動物群集が存在し、大きな季節変動を示した。本研究では底生動物全体と主要な動物群についての動態を示したにとどまったが、佐潟は以下のような点において底生動物あるいは葉上動物の研究場所としてきわめて興味深い対象である。1) 動物相が豊富であり、分類学的研究の価値が高い。特に水生植物と関係した動物群は、ミズミズ科貧毛類やユスリカのような多くの種類を含むグループをまじえている。2) 水生植物が豊富であることから、水生植物の種類や動態と出現動物の関係を考察することが可能である。3) 有機物量や粒度を異にした変化に富んだ底質を持ち、また水深が水平的にほぼ等しいことから、深さの影響を考慮せずに底質環境と底生動物の生態との関係を考察することが可能である。4) 佐潟はきわめて浅いことから、底質のようすを肉眼で確かめながらのきめの細かい採集や環境測定が可能である。

1990年現在、佐潟は公園化事業のために湖岸の一部はすでに埋め立てられている。また1990年8月には著しい低水位状態が見られ、底質の露出が広い範囲で観察された。こうした状態が続くことは本湖の豊富な動植物に大きな影響を与えることは明らかである。佐潟の貴重な自然が本来の状態で保存されることを強く望みたい。

## VI. 謝 辞

本研究を進めるにあたり、調査に便宜をはかっていただいた当時潟主の大越治一氏に深く感謝いたします。また1979年の調査に同行し協力いただいた当時新潟大学教育学部中村 (現：松葉) 利枝、東出 (現：大久保) 多佳子の両氏に深く感謝いたします。本研究は新潟大学名誉教授杵淵博博士の在職中に行われたものである。博士のご助言に感謝申し上げます。

## 引用文献

- Brinkhurst, R. O. (1974) : The Benthos of Lakes. Macmillan Press, 190pp.
- 福原晴夫 (1976) : 湖沼のベントスの調査法。水界生物生態研究法 I, 淡水の魚類とベントス, p. 149-190, 共立出版。
- 福原晴夫・大高明史・磯部吉章 (1980) : 諏訪湖湖心部における底生動物現存量の季節変化について。文部省環境科学特別研究諏訪湖集水域生態系研究報告No.4 : 30-33.
- 福原晴夫・福井学 (1986) : 新潟県湖沼の陸水生態学的研究III. 佐潟 (新潟市) における硫酸還元菌数の季節変化。新潟大学教育学部紀要 (自然科学編) 28 : 1-13.
- Fukuhara, H., A. Ohtaka, Y. Isobe and M. Sakamoto (1987) : Seasonal changes in vertical distribution, biomass and faecal production of tubificids in the profundal region of a shallow Japanese lake. Holarct. Ecol. 10: 8-13.
- 福原晴夫・大高明史・富田尚道・中村俊枝・東出多佳子 (1990) : 新潟県湖沼の陸水生態学的研究 VI. 佐潟 (新潟市赤塚) の陸水生態学的研究一特に栄養塩と水生植物の季節変化を中心に。新潟大学教育学部紀要 (自然科学編) 32 : 1-24.
- Iwakuma, T. (1987) : Density, biomass, and production of Chironomidae (Diptera) in Lake Kasumigaura during 1982-1986. Jpn. J. Limnol. 48: s59-s75.
- Iwakuma, T. and M. Yasuno (1981) : Chironomid populations in highly eutrophic Lake Kasumigaura. Verh. Internat. Verein. Limnol. 21: 664-674.
- Iwakuma, T. and M. Yasuno (1983) : Fate of the univoltine chironomid, *Tokunagayusurika akamusi* (Diptera: Chironomidae), at emergence in Lake Kasumigaura, Japan. Arch. Hydrobiol. 99: 37-59.
- 岩熊敏夫・安野正之・菅谷芳雄 (1984) : 霞ヶ浦における底生動物の分布と二次生産及びユスリカの湖内物質移動における役割について。国立公害研究所研究報告No.51 : 103-140.
- Kajak, Z. (1988) : Contributions on benthos abundance in freshwaters, its factors and mechanisms. Int. Revue ges. Hydrobiol. 73: 5-19.
- Kondo, S. and S. Hamashima (1985) : Chironomid midges emerged from aquatic macrophytes in reservoirs. Jpn. J. Limnol. 46: 50-55.
- Learner, M. A., G. Rochhead and B. D. Hughes (1978) : A review of the biology of British Naididae (Oligochaeta) with emphasis on the lotic environment. Freshwat. Biol. 8: 357-375.
- Moore, J. W. (1979) : Some factors influencing the distribution, seasonal abundance and feeding of subarctic Chironomidae (Diptera) . Arch. Hydrobiol. 85: 302-325.
- 新潟県河川生態研究グループ (1982) : 佐潟の陸水生物。新潟市文化財調査報告書一佐潟の自然, p. 43-65. 新潟市教育委員会。
- 大高明史・富田尚道・福原晴夫 (1978) : 新潟県・佐潟の水生植物の生態学的研究。日本陸水学会甲信越支部会報 2 : 12.
- Ohtaka, A. (1985) : Taxonomical revision of three Japanese *Limnodrilus* species (Oligochaeta, Tubificidae) . Proc. Jap. Soc. syst. Zool. No.30: 18-35.
- Ohtaka, A., H. Katakura and S. F. Mawatari (1990) : Morphological and habitat differences between two forms of Japanese *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède (Oligochaeta, Tubificidae). Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI, Zool. 25: 106-117.
- Wetzel, R. G. (1983) : Limnology, 2nd. ed. Saunders College Publ., 767pp.
- Yamagishi, H. and H. Fukuhara (1971) : Ecological studies on chironomids in Lake Suwa I. Population dynamics of two large chironomids, *Chironomus plumosus* L. and *Spaniotoma akamusi* Tokunaga. Oecologia 7: 309-327.
- Yamagishi, H. and H. Fukuhara (1972) : Vertical migration of *Spaniotoma akamusi* larvae (Diptera: Chironomidae) through the bottom deposits of Lake Suwa. Jap. J. Ecol. 22: 226-227.
- Yasuda, K. and T. Okino (1987) : Distribution and seasonal changes of aquatic Oligochaeta in Lake Suwa. Jpn. J. Limnol. 48: 1-8.



安野正之・森下正彦・菅谷芳雄（1977）：霞ヶ浦高浜入における底生動物と動物プランクトン。国立公害研究所特別研究成果報告第1号：94-107.

安野正之・菅谷芳雄・岩熊敏夫（1979）：霞ヶ浦高浜入の底生動物，とくにオオユスリカとアカムシユスリカの分布と季節変動。国立公害研究所研究報告第6号：171-184.

Appendix 1. Measurements of chlorophyll-a, inorganic nitrogen and phosphate, and  $\text{Cl}^-$  concentrations at bottom water of St.2b in Lake Sagata in 1978.

Date	Chl-a ( $\mu\text{g/l}$ )	$\text{NH}_4\text{-N}$ ( $\mu\text{g/l}$ )	$\text{NO}_2\text{-N}$ ( $\mu\text{g/l}$ )	$\text{NO}_3\text{-N}$ ( $\mu\text{g/l}$ )	$\text{PO}_4\text{-P}$ ( $\mu\text{g/l}$ )	$\text{Cl}^-$ (mg/l)
24Mar.	152.5	8.7	91.9	2607.7	8.8	36.3
29Apr.	47.7	26.1	109.1	1510.3	12.6	38.2
28May	20.6	84.5	4.7	2.0	49.8	31.4
24Jul.	29.3	14.0	3.0	10.8	150.5	25.7
2Oct.	19.5	15.8	22.4	28.4	15.1	30.1
3Dec.	22.6	730.8	89.4	1860.0	15.4	37.0

Appendix 2. Seasonal changes in densities (No./m<sup>2</sup>) and biomass (g wet wt /m<sup>2</sup>) of zoobenthos at St. 2b of Lake Sagata from 1978 to 1980.

Taxon	1978 3Dec	1979 29Feb	9Mar	28Mar	14Apr	23Apr	15May	28May	10Jun	23Jul	5Aug	23Aug	15Sep	25Sep	15Oct	29Oct	12Nov	2Dec	25Dec	1980 5Jan	20Feb
<i>Chaetogaster</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	59 (+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pristina</i> spp. + <i>Stylaria lacustris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nais</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dero</i> spp.	178 (+)	-	-	29 (+)	22 (+)	15 (+)	-	44 (+)	74 (+)	15 (+)	-	30 (+)	30 (+)	333 (+)	378 (0.1)	1422 (0.7)	4384 (1.8)	622 (0.2)	1584 (0.7)	489 (0.2)	74 (+)
<i>Branchiodrilus hortensis</i>	-	-	-	-	44 (0.1)	44 (0.1)	59 (0.3)	15 (+)	15 (+)	-	-	-	-	22 (+)	22 (+)	370 (0.5)	533 (0.9)	15 (+)	75 (0.1)	-	-
<i>Limnodrilus</i> spp.	889 (4.7)	1688 (12.6)	1156 (2.3)	1191 (3.9)	844 (3.3)	1052 (2.8)	2770 (10.7)	1126 (1.3)	1910 (2.3)	829 (0.8)	622 (1.0)	1125 (1.8)	1377 (2.3)	822 (1.6)	1333 (2.3)	1748 (3.7)	2991 (5.8)	1999 (2.9)	489 (2.1)	992 (6.1)	637 (2.9)
<i>Branchiura sowerbyi</i>	-	44 (0.1)	-	44 (0.1)	111 (17.8)	89 (2.1)	89 (3.2)	29 (1.9)	15 (0.4)	-	30 (1.0)	-	-	-	44 (0.3)	22 (0.3)	30 (1.3)	-	15 (+)	15 (0.9)	15 (0.2)
<i>Chironomus plumosus</i>	178 (0.4)	444 (2.0)	222 (0.2)	118 (0.9)	622 (1.8)	15 (+)	252 (1.4)	193 (2.7)	44 (0.6)	59 (0.4)	222 (2.4)	89 (0.2)	30 (0.7)	111 (4.0)	800 (0.3)	1732 (1.8)	4502 (5.9)	651 (0.9)	1422 (1.9)	1437 (2.0)	622 (0.9)
<i>C. salinaris</i>	356 (+)	-	44 (+)	933 (0.4)	222 (0.2)	30 (0.1)	44 (0.1)	89 (0.1)	59 (+)	89 (0.1)	-	59 (+)	44 (+)	89 (+)	356 (0.1)	889 (0.1)	12795 (2.3)	592 (0.2)	104 (+)	-	15 (+)
<i>C. sp.</i>	578 (1.1)	-	-	-	-	-	-	15 (+)	29 (+)	-	-	637 (0.6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Procladius</i> sp.	-	-	44 (+)	89 (+)	133 (0.4)	44 (0.2)	-	74 (0.1)	15 (+)	30 (0.1)	30 (+)	-	-	-	-	15 (+)	-	-	-	-	-
<i>Calospectora</i> sp.	-	-	311 (0.4)	311 (0.2)	111 (0.1)	103 (0.1)	44 (0.1)	1495 (1.0)	59 (+)	281 (0.1)	-	15 (+)	-	-	-	-	118 (+)	15 (+)	44 (+)	148 (+)	118 (0.1)
<i>Pentaneura</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89 (+)	-	-	-	-
<i>Corynoneura</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74 (+)	-	-	-	-	-
<i>Gryptolentipes</i> sp.	44 (+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	956 (0.6)	1274 (0.6)	6842 (2.9)	-	578 (0.3)	1407 (0.8)	222 (0.1)
<i>Tokunagayusurika akamusi</i>	-	-	44 (0.5)	44 (0.3)	89 (3.1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67 (0.7)	-	-	-	89 (+)	267 (0.6)	281 (2.6)
<i>Culicoides</i> sp.	-	-	-	104 (0.2)	67 (0.1)	15 (0.1)	15 (+)	-	-	-	89 (+)	-	30 (+)	199 (0.2)	22 (+)	30 (+)	118 (+)	15 (+)	30 (+)	15 (+)	-
<i>Nematoda</i> spp.	-	-	-	14 (+)	22 (+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44 (0.2)	30 (0.1)	75 (0.3)	533 (0.1)
<i>Hirudinea</i> spp.	-	44 (3.2)	-	14 (0.1)	-	-	29 (2.0)	29 (+)	-	-	-	-	-	22 (+)	-	30 (+)	829 (1.2)	-	163 (0.4)	15 (0.1)	-
<i>Odonata</i> spp.	-	-	-	119 (0.3)	-	-	29 (0.5)	15 (+)	-	-	-	118 (0.5)	-	-	44 (0.1)	44 (0.2)	207 (0.6)	30 (+)	30 (0.1)	-	-
<i>Radix japonica</i>	-	-	-	-	67 (0.2)	-	15 (0.1)	15 (+)	-	-	-	59 (0.7)	-	-	-	-	503 (1.2)	59 (0.2)	30 (0.1)	15 (0.3)	15 (0.3)
Others	-	-	-	-	-	44 (0.1)	-	-	-	15 (0.3)	-	15 (0.1)	-	-	-	-	89 (0.5)	15 (+)	-	-	15 (+)
Total	2223 (6.2)	2220 (17.9)	1821 (3.4)	3010 (6.4)	2354 (27.1)	1407 (5.3)	3346 (18.4)	3169 (7.1)	2220 (3.3)	1303 (1.5)	1008 (4.7)	2147 (3.9)	1511 (3.0)	1730 (6.1)	4022 (4.2)	7821 (8.2)	34830 (24.8)	4086 (4.6)	4831 (5.9)	4860 (11.0)	2547 (7.2)

(+) : < 0.1g/m<sup>2</sup>

Appendix 3. Cross distribution of environments, and standing crop of zoobenthos and macrophytes in Lake Sagata on 3-7 September, 1978.

Station				St. A	St. B	St. C	St. D	St. E	St. F	St. G
Water depth (cm)				20	20	23	30	25	25	20
Water temperature (°C)		surface		21.9	25.0	22.9	21.9	23.7	23.0	22.3
		bottom		20.8	23.8	22.0	20.0	19.0	19.3	20.0
pH		surface		9.4	10.8	9.9	9.3	10.4	7.3	7.3
		bottom		8.3	10.2	8.8	8.6	8.4	6.8	7.0
Dissolved oxygen (mg/l)		surface		8.8	9.1	9.1	16.8	12.1	1.5	1.5
		bottom		8.1	5.1	4.5	8.0	7.3	0.3	0.9
Sediment	Grain size distribution (%)	0 – 10 cm	1/2> $\phi$ >1/8	99.8	99.6	99.3	63.3	16.2	8.1	16.0
			1/8> $\phi$ >1/16	0.2	0.4	0.7	25.7	17.9	13.6	19.7
			$\phi$ <1/16	0.0	0.0	0.0	11.1	65.9	78.3	64.3
		10 – 20 cm	1/2> $\phi$ >1/8	99.5	99.8	98.1	93.3	25.9	17.9	10.1
			1/8> $\phi$ >1/16	0.5	0.2	1.9	6.7	22.6	19.6	9.1
			$\phi$ <1/16	0.0	0.0	0.0	0.0	49.4	61.5	80.8
		20 – 25 cm	1/2> $\phi$ >1/8	99.6	99.7	99.3	97.1	—	20.6	16.7
			1/8> $\phi$ >1/16	0.4	0.3	0.7	2.9	—	14.7	13.5
			$\phi$ <1/16	0.0	0.0	0.0	0.0	—	64.7	69.8
	Water content and (Ignition loss) (%)		0 – 5 cm	26.2(1.3)	25.7(1.3)	31.2(1.6)	85.1(13.4)	88.3(23.5)	85.8(23.8)	89.6(23.5)
			5 – 10cm	21.5(1.0)	23.4(1.1)	26.4(1.7)	79.9(13.5)	75.8(21.9)	82.5(23.0)	81.5(22.6)
			10 – 15cm	22.5(1.1)	20.2(1.1)	23.1(1.3)	68.7(8.5)	84.5(22.5)	86.6(23.6)	78.3(21.1)
			15 – 20cm	24.6(1.4)	20.3(1.0)	22.7(1.6)	42.9(3.6)	80.8(22.9)	85.3(25.3)	79.2(22.7)
			20 – 25cm	21.9(1.2)	22.9(1.2)	23.2(1.2)	48.7(5.5)	—	82.4(19.4)	83.2(20.4)
	Biomass of zoo- benthos (g wet wt/m <sup>2</sup> )	<i>Limnodrilus</i> spp.			0.32	0.98	0.28	1.32	0.07	0.33
<i>Branchiura sowerbyi</i>			0	0.17	0.08	0.36	0.80	1.82	0.91	
Chironomidae spp.			0.64	0.88	0.12	0	0	0	0	
<i>Radix japonica</i>			0.57	0	0.26	0.73	0.40	0	0	
Others			0	0	0	0.36	0	0.15	0	
Total			1.53	2.03	0.74	2.77	1.27	2.30	0.99	
Total biomass of macro- phytes(g dry wt/m <sup>2</sup> )				147.6	120.4	174.4	194.8	312.2	144.4	315.2

Appendix 4. Horizontal distribution of densities (No./m<sup>2</sup>) and biomass (in parentheses; g wet wt./m<sup>2</sup>) of zoobenthos in Lake Sagta in 1979.

Taxon	1a	2a	3a	4a	5a	6a	1b	2b	3b	4b	1c	2c	3c	4c	1d	2d	3d
Oligochaeta																	
<i>Dero</i> spp.	—	—	—	281 (+)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Limnodrilus</i> spp.	2088 (3.3)	1778 (3.4)	1007 (1.6)	3287 (4.3)	997 (2.2)	1140 (2.0)	1318 (3.7)	1081 (1.9)	3333 (3.4)	2088 (6.4)	1258 (2.9)	1096 (2.3)	271 (1.0)	607 (2.1)	1363 (3.5)	2874 (7.5)	1026 (3.3)
<i>Branchiura sowerbyi</i>	—	15 (1.2)	15 (1.0)	—	—	59 (4.6)	—	15 (0.8)	—	44 (6.9)	—	42 (0.8)	38 (3.9)	44 (2.7)	30 (1.9)	45 (4.0)	47 (0.6)
Chironomidae																	
<i>Chironomus plumosus</i>	74 (0.2)	30 (0.1)	60 (0.2)	44 (0.2)	43 (0.1)	—	—	221 (0.9)	311 (1.3)	30 (0.1)	—	—	—	—	—	—	—
<i>C. salinaris</i>	30 (+)	—	133 (0.1)	473 (0.3)	—	15 (+)	299 (0.3)	74 (0.1)	237 (0.1)	133 (0.2)	30 (+)	—	—	15 (+)	74 (+)	651 (0.6)	—
<i>C. sp.</i>	1688 (3.7)	—	89 (0.1)	—	—	—	—	15 (+)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Procladius</i> sp.	—	—	—	—	130 (0.7)	74 (0.2)	—	15 (0.1)	—	59 (0.2)	163 (0.3)	—	39 (0.2)	44 (0.1)	89 (0.2)	44 (0.1)	—
<i>Calospectora</i> sp.	14 (+)	30 (+)	59 (+)	459 (0.4)	1477 (0.3)	547 (0.4)	259 (0.1)	113 (0.1)	548 (0.4)	74 (0.1)	89 (0.1)	84 (0.1)	155 (0.3)	119 (0.2)	207 (0.1)	755 (0.4)	47 (+)
<i>Cuticoides</i> sp.	—	—	—	—	—	44 (0.1)	—	15 (+)	30 (0.1)	30 (+)	192 (1.0)	42 (0.3)	—	30 (0.1)	163 (0.5)	119 (0.1)	93 (0.1)
Hirudinea spp.	—	—	—	—	43 (+)	15 (1.0)	15 (0.5)	—	—	—	15 (1.1)	—	39 (+)	—	44 (0.7)	—	—
Nematoda spp.	30 (+)	—	15 (+)	—	43 (+)	59 (+)	—	—	—	15 (+)	—	—	—	—	15 (+)	—	—
Odonata spp.	—	—	—	—	—	—	51 (0.2)	—	—	15 (0.1)	—	—	—	—	—	—	—
Others	59 (0.5)	15 (0.3)	15 (0.2)	59 (0.1)	—	—	—	44 (0.3)	103 (0.9)	—	—	—	39 (+)	104 (0.3)	15 (0.1)	163 (0.5)	—
Total	3983 (7.8)	1868 (5.0)	1393 (3.3)	4603 (5.3)	2733 (3.3)	1953 (8.3)	1942 (4.8)	1593 (4.3)	4562 (6.2)	2488 (14.0)	1747 (5.4)	1264 (3.5)	581 (5.4)	963 (5.5)	2000 (7.0)	4651 (13.3)	1213 (4.0)

(+) < 0.1g/m<sup>2</sup>