

青森県・屏風山湖沼群における動物プランクトンの群集構造

Zooplankton community structure in the Byobu-san Lakes, Aomori Prefecture, northern Japan

森下 千尋*・大高 明史*
Chihiro MORISHITA* and Akifumi OHTAKA*

Abstract

Composition and abundance were studied for zooplankton communities in 26 small lakes and irrigation ponds in the Byobu-san Lakes, Aomori Prefecture, northern Honshu, Japan. Total number of zooplankton taxa recorded varied from 7 to 35 among the lakes, and more densely vegetated lakes tended to harbor more number of taxa with rich cladocerans. In a sand dune lake, L. Hiyamizu-numa, the zooplankton communities were richer in vegetated sites than in open water sites. Thus it is suggested that diversity of zooplankton communities depends on aquatic vegetation. Total density of zooplankton was significantly correlated with chlorophyll *a* concentration in the lake water. In many of the lakes, rotifers, especially *Keratella cochlearis* and *Polyarthra* spp. dominated in the open waters and densities of these two taxa were reversely correlated to each other, suggesting some competition between them. Comparing with past records, it is suggested that decrease of aquatic vegetation and increase of predation pressures by planktonivorous fish have changed from crustacean-dominated to rotifer-dominated zooplankton communities at least in some lakes.

キーワード：動物プランクトン、群集構造、屏風山湖沼群、砂丘湖、青森県

1. はじめに

青森県・津軽半島に位置する屏風山砂丘地帯には、砂丘間列に湛水した成因的に希少な砂丘湖（Horie, 1962）が集中して分布する。石川（1975）によると、1970年代までの本地域には5万分の1地形図でも130ほどの湖沼が数えられたというが、土地整備事業などによってすでに多くの湖沼が消失している。現存する砂丘湖も、大部分は埋め立てや溜池化をはじめ何らかの改変を受けており、湖底が広く掘削された湖沼では水生植物の減少が著しい。加えて、近年は砂採取による環境破壊（一戸, 2004）や外来魚の侵入（佐原, 2002；佐原・山本, 2002）も深刻な問題になっている。一方、本地域には、農業用の溜池や砂採取や排水路の整備などによって新たに掘削された場所に湛水した人工的な池沼も多数存在する。これらの歴史は場合によっては古く、砂丘湖と区別がつかないほどの豊富な植生が見られる例もある。砂丘湖、溜池を問わず、

このような、浅く水中植生が豊富な湖沼は多様な水生生物の住み場になっていると考えられる。本地域はまた、腐植栄養湖の日本での平地南限付近にあたり（吉村, 1937）、平地で高層湿原が見られる特異な景観を持つことから、1960年代から植生に関する研究が頻繁に行われてきた（e.g. Saitoh and Ishikawa, 1969; 石川, 1975）。

動物プランクトンは湖沼に住む代表的な生態群のひとつで、群集の組成や量は水質や水中植生、あるいは捕食者などと密接に関係している。その多様性は、一般に水草帯で高まることが知られていることから（花里ら, 2001）、水草の量がさまざまに異なる湖沼が多数分布する本地域では、複雑な動物プランクトン群集が見られると予測される。しかし、本地域の動物プランクトンについては、これまで、カイアシ相（石田・大高, 2005）やミジンコ相（田中, 1984, 1992；Tanaka, 2001；関ら, 2008）、一部の湖沼でのプランクトン群集に関する断片的な記録（小久保・佐藤,

*弘前大学教育学部理科教育講座
Department of Science Education, Faculty of Education, Hirosaki University

1947; 小久保・徳井, 1948) があるにすぎず、湖沼群全体の特徴や湖沼間の異同については不明である。そこで、本研究では、屏風山地域に分布する砂丘湖と溜池を総称して“屏風山湖沼群”とし、動物プランクトン群集の特徴を明らかにするために、2005年から2007年まで26の湖沼で調査を行った。

2. 調査地と方法

屏風山湖沼群は、青森県・津軽半島の日本海側に沿って南北30km、東西3～5kmの範囲に広がる屏風山砂丘地帯に分布する。その範囲は、青森県道12号鱒ヶ沢蟹田線の西側に分布する、最も南の西津軽郡鱒ヶ沢町の長沼(40°47'N)から、最も北の五所川原市の前潟(41°02'N)までとし、岩木川河口に位置する十三湖は含めていない。竹内(2006)によると、本地域で名前の付いている湖沼は、砂丘湖と溜池を合わせて88である。しかし、竹内(2006)には、明神沼など、北方に位置するいくつかの湖沼が含まれていないことから、屏風山地域に分布する湖沼の数は実際にはこれよりも多い。本稿で用いた湖沼の名称は、この竹内(2006)に準じた。なお、竹内(2006)には3ヶ所の「長沼」が存在する。このうち、本研究で調査したの

は、久原地区の西側に位置する長沼である。また、竹内(2006)には示されていない十三湖近傍の権現沼、明神沼、前潟、後潟の4つの名称については、権現沼は石川(1975)に、その他は国土院5万分の1地形図「小泊」(昭和63年3月30日発行)を用いた。調査時の確認や聞き取りから、すべての調査湖沼には、何らかの魚類が生息している。近年は、オオクチバスの移入(佐原, 2002)に伴って、魚類相の大きな変化が指摘されている。東ら(未発表)によると、冷水沼では2002年にはモツゴやジュズカケハゼ、メダカなど9種の魚類が見られたが、2005年の調査では3種に低下し、オオクチバスが9割以上を占める貧弱な組成になっている。

動物プランクトンの調査は2005年7月から2007年11月まで、Fig. 1で示す26の湖沼で行った。動物プランクトンの群集構造を湖沼間で比較するために、2005年7月2日(17湖沼)、2005年9月3～5日(21湖沼)、2006年11月5～6日(25湖沼)、2007年11月3～4日(24湖沼)の4回にわたり、一斉調査を行った。調査では、湖沼の沿岸開水面の表層で、口径20cm、目合い40 μ mのプランクトンネットを水平に5m引くか、または10～30Lの表層水を同じプランクトンネットで濾過することによって動物プランクトンを定量的に採集

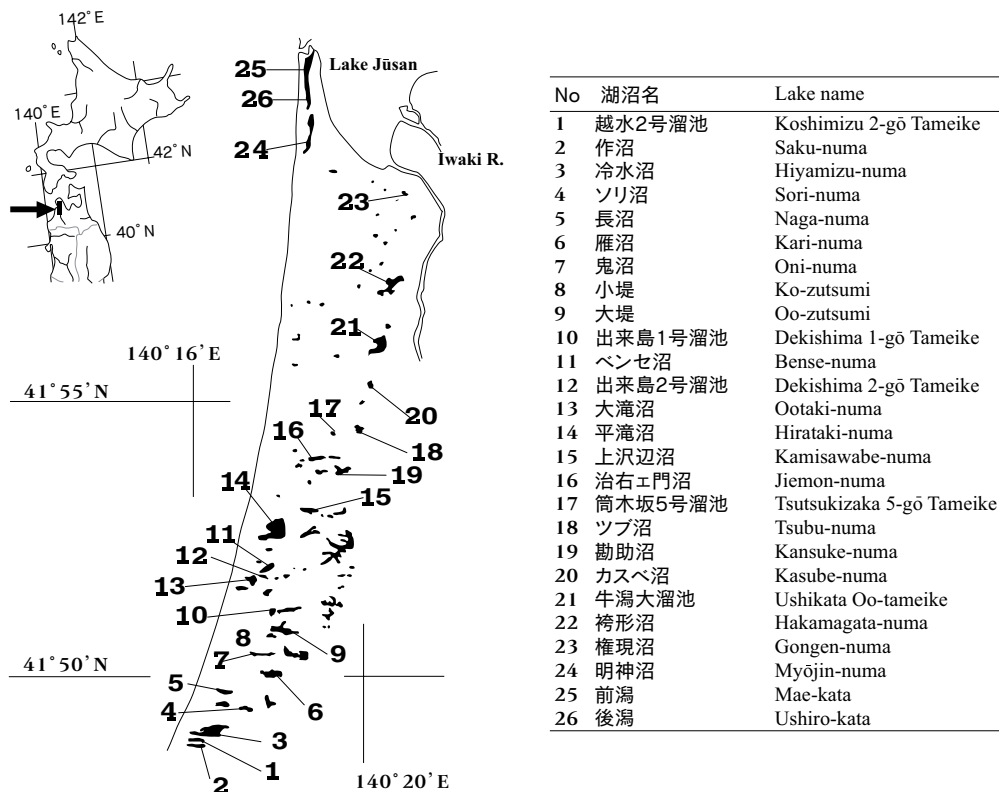


Fig. 1. Location of the Byobu-san Lakes, with showing the study lakes.

図1. 屏風山湖沼群の地理的位置と調査湖沼の名称.

し、直ちに5%ホルマリンで固定した。サンプルは実験室に一週間以上静置してから10~20mLに濃縮したのち、動物プランクトン計数板を用いて顕微鏡下で同定と計数を行った。同定は属を基本とした。なお、今回動物プランクトンとして扱った生物は光合成能を有しない単細胞の生物（原生動物）と多細胞の動物である。サンプル中には、葉上動物と思われるユスリカ類や水生ミミズ類なども多数含まれていたが、これらは対象としなかった。4回の一斉調査ごとに、動物プランクトンの定量値をもとにして湖沼間で動物プランクトン群集の類似度（Piankaの α 指数；Pianka, 1973；木元・武田, 1989）を算出し、単純連結法によってデンドログラムを作成した。

砂丘湖における動物プランクトン群集の季節変化を知るために、水草が豊富で砂丘湖本来の環境が本湖沼群中で最もよく保存されている冷水沼（Fig. 3A）の沿岸の開水面で、2006年4月から12月まで、約月1回の頻度で、動物プランクトンの定量調査を前述の方法で継続した。冷水沼は、湖盆中央部でも水深が約1.5mと浅く、湖面全域にわたって水生植物がパッチ状に分布する。植物種としては、抽水植物のヨシやマコモ、カンガレイ、コウホネ、フトイ、浮葉植物のヒツジグサ、ジュンサイ、ヒルムシロ類、沈水植物のタヌキモなどが優占していた。

さらに、開水面と水草帯に生息する動物プランクトンの群集構造を比較するために、2007年7月9日に、冷水沼で定量調査を行った。開水面では、前述の方法で2地点から計6サンプルを採集した。水草帯では、水草の種類ごとに、水面から水深10cmまでの表層に分布する植物体を水中で切り取り、周辺の水ごと10Lのバケツに入れ、水草をよく洗って動物を振り落とし、バケツの水を前述のプランクトンネットで濾過して動物プランクトンを集めた。調査した水草の種類とサンプル数は、ヨシ、マコモ、カンガレイ、フトイ、ジュンサイ、タヌキモ、ヒルムシロ類がそれぞれ1サンプル、コウホネ、ヒツジグサが2サンプルである。群集の比較は水草の生活型の間で行ったが、沈水植物はタヌキモだけで、しかも、常に浮葉植物群落と混在していたので、両者は合わせて、浮葉・沈水植物帯として扱った。

動物プランクトンの採集時に、調査地点表層の水温および電気伝導度（TOA CM-14P）、pH（中村理科、 α -パックテスト）の測定を行い、持ち帰った試水について、クロロフィル a 濃度（UNESCO法）を測定した。動物プランクトンの密度の違いの有意性を一元

配置の分散分析（ANOVA）で、また、クロロフィル a 濃度と動物プランクトンの密度の関連性をスピアマンの順位相関係数で検定した。検定には柳井（2004）を使用した。観察に用いた動物プランクトン標本は、濃縮した状態で弘前大学教育学部に保管してある。なお、本調査と平行して行った屏風山湖沼群の浮遊・底生ミジンコ相については、すでに関ら（2008）で報告している。

3. 結果

3.1. 湖沼の水質の概要

2005年と2007年における夏季の表層水温はどの湖沼も25°C付近で、30°Cを超える湖沼は見られなかった。一方、2006年の夏（8月）は湖沼群全体で水位が低下し、多くの湖沼で30°Cを上回った。この時の最高水温は作沼（Fig. 1, no. 2）で観測された33.8°Cであった。冬季に調査を行った湖沼は少ないが、聞き取り等から、十三湖に通じる前潟（no. 25）の一部を除くと、調査したすべての湖沼は冬季に結水すると推測される。期間中の湖水表層のpHの平均値は6.7から8.9の範囲で、平均値が7未満と8以上の湖沼はそれぞれ7湖沼であった。pHの平均値が最も高かったのは、隣接する養豚施設からの汚水が流入する雁沼（no. 6）の8.9で、2006年6月と8月には9.8という極めて高い値が観測された。雁沼では、毎年春から晩秋まで長期間にわたって大規模なラン藻（*Microcystis*）による水の華が見られた。

調査湖沼のうち、前潟（no. 25）、後潟（no. 26）および明神沼（no. 24）は、汽水湖である十三湖と水路で連結している。このため、電気伝導度は十三湖寄りの湖沼・湖盆ほど高まる傾向が見られ、前潟や後潟では1000mS m^{-1} を上回る値も測定された。この3湖沼を除いた表層の電気伝導度は10~73mS m^{-1} の範囲で、常に淡水環境であった。湖水表層のクロロフィル a 濃度は、湖沼や季節により大きく異なった。夏季にラン藻による水の華が観測された雁沼では、最大値が4460 $\mu g L^{-1}$ 、最小値でも24 $\mu g L^{-1}$ と、他の湖沼に較べて際立って高く、同じくラン藻による水の華が確認された大堤でも、最高で66.1 $\mu g L^{-1}$ と高い値が観測された。その他の湖沼のクロロフィル a 濃度は概して低く、調査湖沼全体の6割にあたる15湖沼は期間中の平均値が10 $\mu g L^{-1}$ 以下であった。

3.2. 屏風山湖沼群の動物プランクトンの特徴

調査を行った全26湖沼から、原生動物9、ワムシ類42、ミジンコ類15、カイアシ類2、カイミジンコ類1分類群にわたる計69分類群の動物プランクトンが確認された (Table 1)。カイアシ類幼生は全ての湖沼で確認され、ケンミジンコ目の成体、ネズミワムシ属、ハネウデワムシ属、カメノコワムシも8割以上の湖沼に広く出現した。調査期間を通して出現した動物プランクトンの総分類群数は、最も多い鬼沼 (no.7, 35分類群) から、最も少ない後潟 (no.26, 7分類群) まで、湖沼によって大きく異なっていた (Fig. 2)。動物プラ

ンクトンの総分類群数は水生植物が繁茂する程度と関連していた。つまり、総分類群数の多い鬼沼 (no. 7) や越水2号溜池 (no. 1)、冷水沼 (no. 3, Fig. 3A) など、いずれも湖盆のほぼ全面に水生植物が繁茂する湖沼である。逆に、総分類群数が少ない後潟 (no. 26) や平滝沼 (no. 14, Fig. 3B) では、水中植生がほとんど見られず、沿岸は砂底が露出していた。湖沼ごとの出現分類群数の平均は20.3分類群であった。高次分類群では、ワムシ類が総分類群数の46~77%を占め、どの湖沼でもミジンコ類やカイアシ類など他の動物群よりも多かった。出現分類群数の少ない湖沼では、ミジ

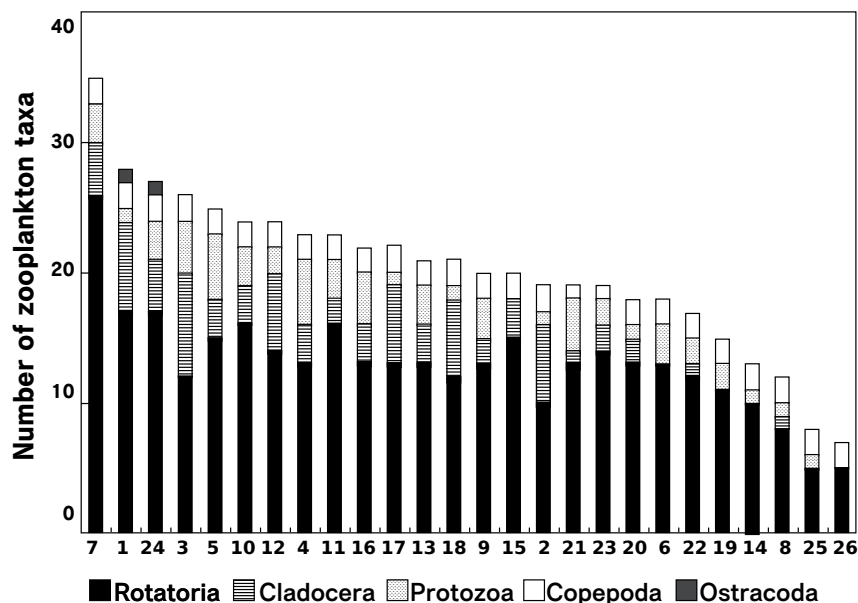


Fig. 2. Composition of zooplankton communities in the Byobu-san Lakes, Aomori Prefecture. All records during 2005-2007 surveys are compiled. They are arranged in order of total number of taxa recorded.

図2. 青森県屏風山湖沼群における動物プランクトンの出現分類群の構成。2005~2007年までの全ての調査記録を合わせて、出現分類群数の多い順に並べた。



Fig. 3. Summer views of two sand dune lakes in the Byobu-san Lakes, L. Hiyamizu-numa (A; 9 July, 2007) and L. Hirataki-numa (B; 16 Sep. 2007).

図3. 屏風山湖沼群の二つの砂丘湖の夏季の概観。A, 冷水沼 (2007年7月9日); B, 平滝沼 (2007年9月16日)。

Table 1. Occurrence records of zooplankton in the Byobu-san Lakes, Aomori Prefecture. All records in the 2005-2007 surveys are compiled. Lake numbers correspond to those in Fig. 1. 表 1. 青森県屏風山湖沼群における動物プランクトンの出現状況。2005～2007年までの全ての調査での記録を含めた。湖沼番号は図1に対応する。

Table with columns for zooplankton groups (e.g., Protozoa, Rotatoria, Cladocera) and lake numbers (1-28). Rows list various species and their presence (+) or absence (-) in each lake. The table is organized into sections based on taxonomic groups.

ンコ類の種数が特に少ない傾向が見られた。ミジンコ類の分類群数が最も多かった湖沼は、総分類群数が4番目に多い冷水沼 (no. 3, 8分類群) で、逆に、平滝沼 (no. 14)、雁沼 (no. 6)、勸助沼 (no. 19)、後潟 (no. 26)、前潟 (no. 25) の5湖沼では、期間中ミジンコ類は全く見られなかった。ミジンコ類が見られなかったこれらの湖沼は、総分類群数が最も少ない7湖沼のうち

の5つに該当する。

動物プランクトンの総密度は、湖沼や季節によって大きく異なっていた (Fig. 4)。総密度の湖沼間での平均値を調査回で比較すると、2006年11月が158 L⁻¹と最も低く、2005年9月が665 L⁻¹と最も高かった。動物プランクトンの総密度が1000 L⁻¹を越えた湖沼は、鬼沼 (no.7; 2005年9月)、出来島1号溜池 (no. 10; 2005

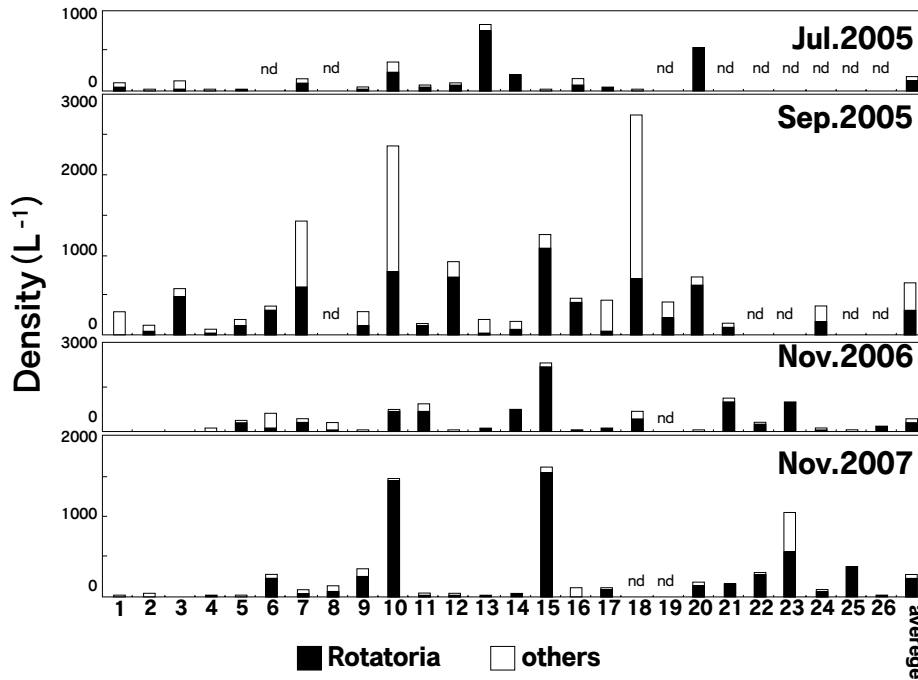


Fig. 4. Densities and compositions of zooplankton communities in the Byobu-san lakes in the four times of surveys during 2005-2007. Lake numbers correspond to those in Fig. 1. "nd" indicates no data.

図4. 青森県屏風山湖沼群における動物プランクトン群集の密度と構成。2005年から2007年にかけて行った4回の一斉調査の結果を示す。湖沼番号は図1に対応する。"nd"は未調査の湖沼を示す。

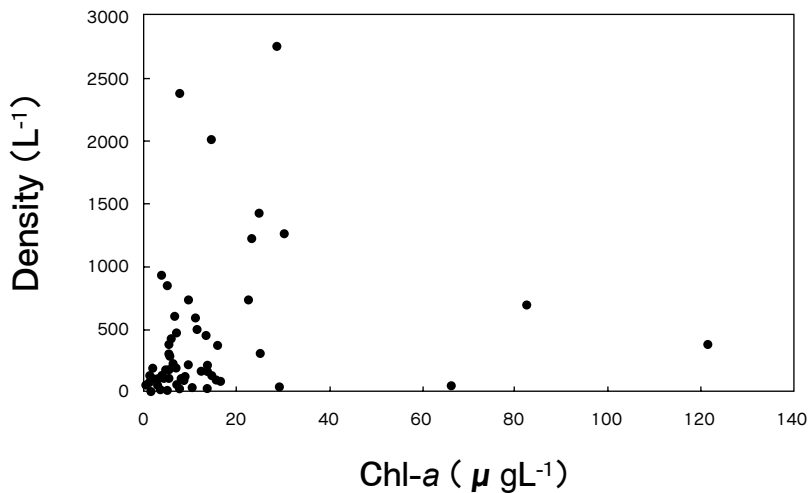


Fig.5. Relationship between chlorophyll- a concentration and zooplankton density in the Byobu-san Lakes. All records during 2005-2007 surveys are compiled.

図5. 青森県屏風山湖沼群におけるクロロフィル a 濃度と動物プランクトンの総密度の関係。2005~2007年の全ての調査記録を示した。

年9月と2007年11月)、上沢辺沼 (no. 15; 2005年9月と2007年11月)、ツブ沼 (no. 18; 2005年9月)、権現沼 (no. 23; 2007年11月) の5湖沼で、一方、2005年7月と2006年11月の調査回ではどの湖沼でも 1000L^{-1} に満たなかった。4回の一斉調査を合わせた時、動物プランクトンの総密度とクロロフィル *a* 濃度の間には有意な正の相関がみられた ($0.001 < P < 0.01$) (Fig. 5)。

動物プランクトン群集はワムシ類が優占する場合が多かったが、2005年7月の4湖沼、2005年9月の5湖沼、2006年11月の7湖沼、2007年11月の4湖沼では、カイアシ類など、ワムシ類以外の動物の密度がワムシ類の密度を上回った (Fig. 4)。ミジンコ類が優占したのは、ネコゼミジンコ属が3割以上を占めた2006年11月の越水2号溜池 (no. 1) と、ミジンコ属とシカクミジンコ属が4割を占めた2007年11月の冷水沼 (no. 3) の2回2湖沼だけで、どちらも動物プランクトンの総密度が 30L^{-1} 以下と低い時期であった。4回の調査とともに、ワムシ類の中ではカメノコウワムシとハネウデワムシ属の優占が目立った。カメノコウワムシの密度の最高値は 820L^{-1} (2005年9月の no. 15, 上沢辺沼)、ハネウデワムシ属の密度の最高値は、 590L^{-1} (2005年9月の no. 20, カスベ沼) で、ともに群集の65%以上を占めた。しかし、両者が高い密度で共存する場合はほとんどなく、両者の密度には有意な負の相関がみられた ($0.01 < P < 0.05$) (Fig. 6)。

動物プランクトン群集の類似性を比較したとき、類似度指数 (Pianka の α) が0.7以上の湖沼が、それぞれの調査回とも7割を超え、群集構造が互いに類似し

た湖沼が多いことがわかる。類似度指数をもとに作成したデンドログラムでも、2007年11月にミドリワムシ属が特徴的に出現した連続する前潟 (no. 25) と後潟 (no. 26) の2湖沼が他と独立した位置を占めたものの、そのほかは、いずれの調査回でも、湖沼間の地理的な、あるいは成因の違いによるまとまりは検出できなかった (Fig. 7)。

3.3. 冷水沼における動物プランクトン群集の季節変化

冷水沼で行った2006年4月から12月までの継続調査では、原生動物4、ワムシ類7、ミジンコ類5、カイアシ類2分類群にわたる計18分類群の動物プランクトンが出現した。出現分類群数は1 (12月) から11 (7月) で、春から夏にかけて増加し、秋から冬にかけて減少する傾向が見られた。動物プランクトンの総密度は 4L^{-1} (12月) から 500L^{-1} (8月) の間で増減し、8月の増加が目だった (Fig. 8)。優占種はカイアシ類の幼生とカメノコウワムシで、両者を合わせた密度は、他のワムシ類が増加した11月と12月を除くと、総密度の30 (5月, 7月) ~88 (8月) %を占めた。ワムシ類の構成は季節によって異なり、5月にはカメノコウワムシだけが見られたが、8月になるとこれにネズムワムシ属やテマリワムシ属などの4分類群が加わった。ミジンコ類としては、4月から8月までミジンコ属やアオムキミジンコ属、ネコゼミジンコ属など5分類群が出現したが、10月以降はミジンコ属がわずかに残るだけとなった。継続調査期間中の冷水沼のクロロフィル *a* 濃度は増減を繰り返し、最大値は8月の

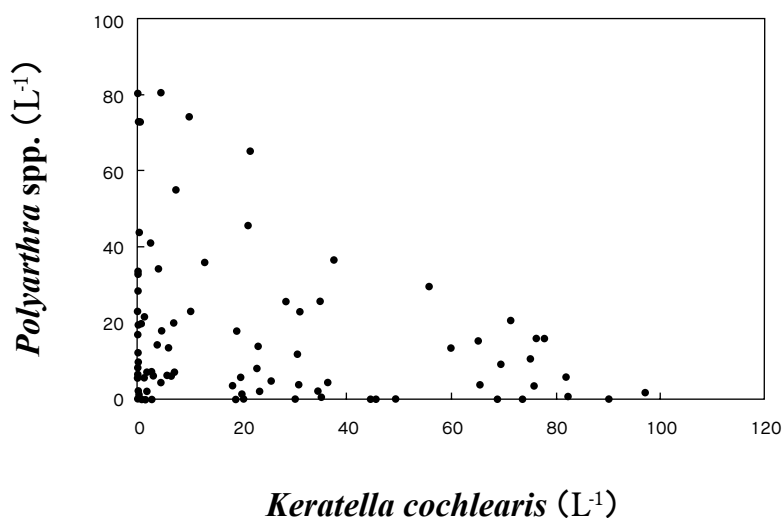


Fig. 6. Relationship between densities of two rotifers, *Keratella cochlearis* and *Polyarthra* spp., in the Byobu-san Lakes. All the records during 2005-2007 are compiled.

図6. 青森県屏風山湖沼群におけるカメノコウワムシとハネウデワムシ属の密度の関係。2005~2007年の全ての調査結果を示した。

11 $\mu\text{g L}^{-1}$ であった。

3.4. 水草帯と開水面の動物プランクトン群集の構成

2007年7月に冷水沼で行った調査では、開水面と水草帯の両者を合わせると、原生動物1、ワムシ類11、ミジンコ類6、カイアシ類2分類群にわたる計20分類

群の動物プランクトンが出現した (Table 2)。調査を行った水草種を合わせると、水草帯では20の分類群すべてが見られ、開水面ではそのうちの8分類群(ナベカムリ属、ネズミワムシ属、ヒラタワムシ属、アワワムシ属、不明ワムシ、アオムキミジンコ属、ミジンコ属、マルミジンコ属)を欠く12分類群が確認された。

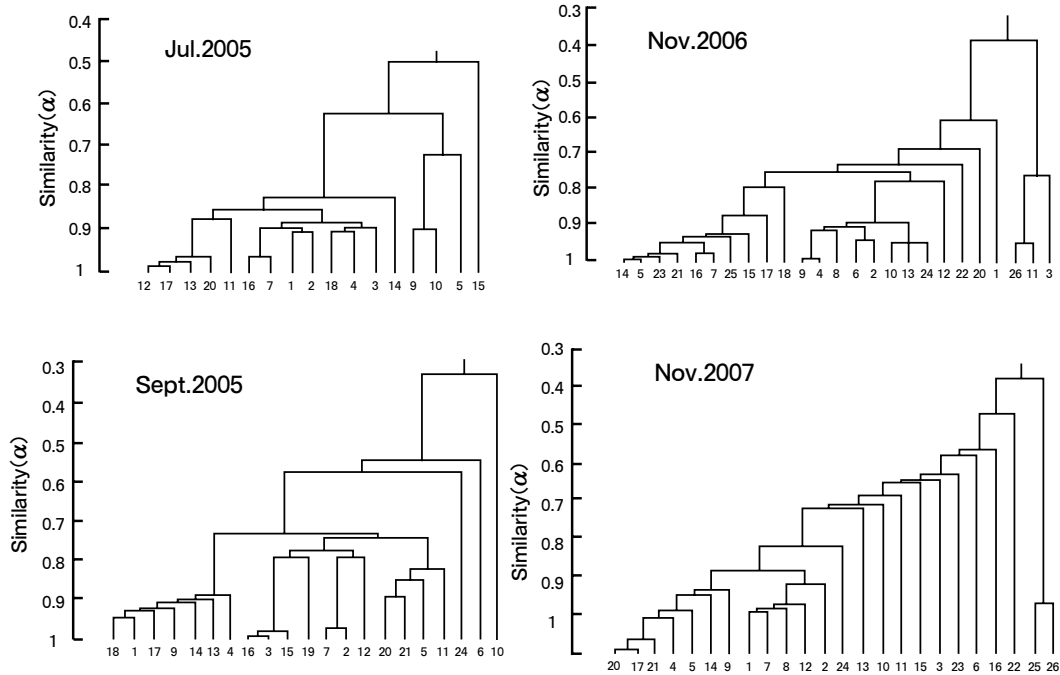


Fig. 7. Dandrograms resulting from simple-linkage cluster analysis of the zooplankton community structures in the Byobu-san Lakes in July, September 2005, November 2006 and November 2007. Lake numbers correspond to those in Fig. 1.

図7. 青森県屏風山湖沼群における動物プランクトン群集の類似性のデンドログラム。2005年7月、9月、2006年11月、2007年11月の調査結果を示す。湖沼番号は図1に対応する。

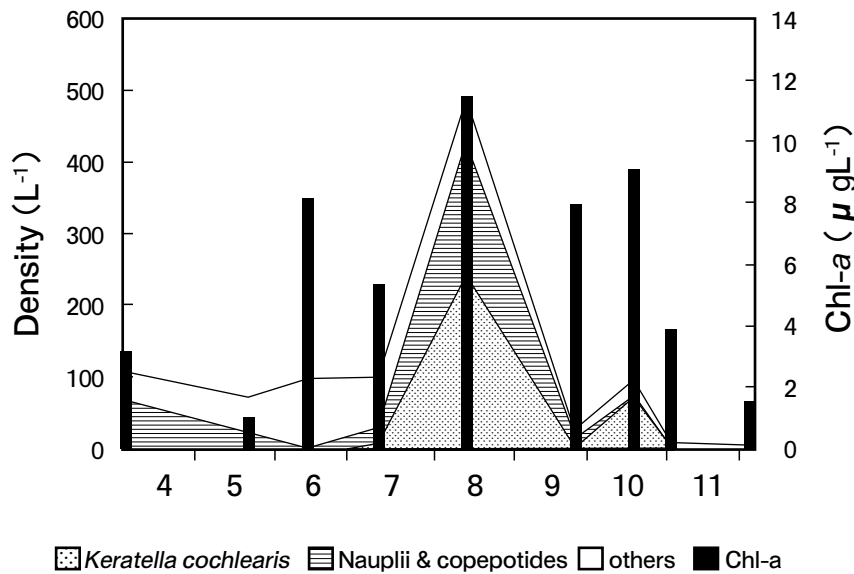


Fig.8. Seasonal changes in total density zooplankton (line) and Chlorophyll-a concentration (bar) in Lake Hiyamizu-numa, Byobu-san Lakes.

図8. 青森県屏風山湖沼群・冷水沼における動物プランクトンの総密度(折れ線)とクロロフィルa濃度(棒)の季節変化。

Table 2. Occurrence records of zooplankton in Lake Hiyamizu-numa in the Byobu-san Lakes, Aomori Prefecture in July 2007.

表2. 青森県屏風山湖沼群・冷水沼における動物プランクトンの出現状況。2007年7月の調査結果に基づく。

		抽水植物帯	浮葉・沈水植物帯	開水面
原生動物	Protozoa			
ナベカムリ属	<i>Arcella</i> sp.	+	+	
ワムシ類	Rotatoria			
カメノコウワムシ	<i>Keratella cochlearis</i>	+	+	+
ウサギワムシ属	<i>Lepadella</i> spp.	+	+	+
エナガワムシ属	<i>Monostyla</i> spp.	+	+	+
フクロワムシ属	<i>Asplanchna</i> non det.	+	+	+
ネズミワムシ属	<i>Trichocerca</i> non det.	+	+	
ハネウデワムシ属	<i>Polyarthra</i> spp.	+	+	+
ヒラタワムシ属	<i>Testudinella</i> spp.	+		
アワワムシ属	<i>Pompholyx</i> non det.		+	
ミジンコワムシ属	<i>Hexarthra</i> non det.	+	+	+
テマリワムシ属	<i>Conochilus</i> non det.	+	+	+
不明ワムシ	other Rotatoria non det.	+	+	
ミジンコ類	Cladocera			
アオムキミジンコ属	<i>Scapholeberis</i> non det.	+		
ミジンコ属	<i>Daphnia</i> spp.	+		
ネコゼミジンコ属	<i>Ceriodaphnia</i> non det.	+		+
ゾウミジンコ	<i>Bosmina longirostris</i>	+	+	+
マルミジンコ属	<i>Chydrus</i> non det.	+		
不明ミジンコ	other Cladocera non det.	+	+	+
カイアシ類	Copepoda			
ケンミジンコ目	Cyclopoida non det.	+	+	+
カイアシ類幼生	Nauplii & copepotids	+	+	+
出現分類群数		19	15	12

水草を生活型で大別して出現分類群を比較すると、抽水植物帯（ヨシ、マコモ、カンガレイ、フトイ）では19分類群が、浮葉植物帯（コウホネ、ジュンサイ、ヒルムシロ類、ヒツジグサ）と沈水植物帯（タヌキモ）を合わせた浮葉・沈水植物帯では15分類群が出現した。前者では、後者で見られたアワワムシ属を欠き、一方後者では、前者で見られた5つの分類群（ヒラタワムシ属、アオムキミジンコ属、ミジンコ属、ネコゼミジンコ属、マルミジンコ属）を欠いていた。抽水植物帯では、ミジンコ属やネコゼミジンコ属など大型のミジンコ類の出現が目立った。

動物プランクトンの総密度を採水時の単位水体积あたりで比較すると、開水面で $52\sim 932L^{-1}$ 、抽水植物帯で $120\sim 897L^{-1}$ 、浮葉・沈水植物帯で $357\sim 2196L^{-1}$ の範囲であった。浮葉・沈水植物帯での密度は、開水面 ($0.01 < P < 0.05$) や抽水植物帯 ($0.001 < P < 0.01$) での密度よりも有意に高かった。水草帯の動物プランクトン群集の密度を、水草のシュート1mあたりの密度に換算して比較すると、抽水植物で760~8600個体、浮葉植物で4000~4200個体と大きくばらつき、両者の間に有意な差はみられなかった。一方、沈水植物として唯一調べたタヌキモのシュート1mあたりの動物プラ

ンクトンの密度は14000個体と、調べた植物種の中で最も高かった。開水面と水草帯の間では優占種が大きく異なり、平均すると、開水面では、カメノコウワムシが群集の総密度の67%を占めた。一方、抽水植物帯ではカメノコウワムシの優占度が30%に減少し、代わってテマリワムシ属やカイアシ類の比率が高まった。浮葉・沈水植物帯ではテマリワムシ属が8割を超えて優占した。

4. 考察

4.1. 屏風山湖沼群の環境と動物プランクトン群集の特徴

新潟県の砂丘湖のひとつ、佐潟では、1978~1980年の春期や晩秋にクロロフィルa濃度が $100\sim 200\mu gL^{-1}$ と高まり、1997年の春から夏にも $150\sim 400\mu gL^{-1}$ という高い値が観測されている（福原ら、1990；Fukuhara et al., 2003）。同じく新潟県の砂丘湖である長峰池でも最大で $100\mu gL^{-1}$ を超える値が観測されている（福原ら、1989）。今回、屏風山湖沼群で測定されたクロロフィルa濃度は、人為的な富栄養化が進んでいる雁沼を除くと $66\mu gL^{-1}$ 以下で、新潟県の砂丘湖から報告されている値に較べてずっと低いことから、佐潟や長峰

池に較べると栄養塩のレベルが低いことがうかがえる。これには、屏風山地域が腐植栄養湖の平地南限付近に位置することと関連し(吉村, 1937)、湖水に含まれる腐植物質が関係している可能性がある。ただし、高層湿原の池塘で見られるような5前後の低いpHは屏風山湖沼群では観測されず、腐植栄養湖に特有の動物プランクトンも少なくともミジンコ類では確認されていない(関ら, 2008)。新潟県の佐潟では、クロロフィル*a*濃度は水生植物の繁茂する夏季に低下する顕著な季節変化がみられ(福原ら, 1990)、水生植物は水中の窒素を吸収する点で栄養塩の動態に重要な役割をはたしていることが指摘されている(Fukuhara et al., 2003)。今回継続的な観測を行った屏風山湖沼群の冷水沼では、pHやクロロフィル*a*濃度に顕著な季節変化は見られなかった。屏風山湖沼群の水生植物群集は、抽水植物のコウホネやフトイ、浮葉植物のヒルムシロ類やヒツジグサなどが優占するが、水草はパッチ状の分布をする場合が多く、湖面をすきまなく埋めるほどに発達する湖沼はほとんどない。冷水沼と新潟県・佐潟でのクロロフィル*a*濃度の季節変化の違いには、水中植生の構造や現存量の違いが関係していると推測される。一方、屏風山湖沼群における今回の調査では、動物プランクトンの総密度とクロロフィル*a*濃度には正の相関が見られ点から、一次生産が動物プランクトンの量を規定していることがうかがえる。また、カメノコウワムシとハネウデワムシ属の密度に有意な負の相関がみられた点は、両者の種間競争を示唆する。

砂丘湖からの動物プランクトンの記録としては、前述の新潟県・佐潟と長峰池での例がある(福原ら, 1989; 1990)。1978~1979年の佐潟での優占種はツボワムシ属で、群集の総密度は春に $295L^{-1}$ まで高まった。一方、1985年の長峰池での優占種は、ハネウデワムシ、テマリワムシモドキ属、ドロワムシ属、ネズミワムシで、群集の総密度は24から $37L^{-1}$ と、季節による大きな変化は見られない。両湖沼はワムシ類が優占している点で屏風山湖沼群と似ているが、優占種の構成は互いに異なっている。つまり、屏風山湖沼群では、佐潟のようなツボワムシ属が優占する湖沼はどの季節にも見られず、代わって前述の新潟県のふたつの砂丘湖で優占することのないカメノコウワムシが広く優占した。カメノコウワムシの優占的な出現は青森県・津軽十二湖湖沼群や(Ohtaka et al., 1996)、下北湖沼群(大高ら, 未発表)、北海道・達古武沼(五十嵐ら, 2007)でも同様にみられることから、北日本の中~富栄養湖に共通した特徴である可能性がある。

4.2. 水草帯と動物プランクトン群集

水草帯は周囲の水温やpH、溶存酸素濃度などを変化させることによって水質に大きく影響する(Fodge et al., 1990; Rose and Crumpton, 1996)。また、水草自身あるいは水草が作り出す時間的、空間的に不均一な環境は、種の多様性を支える重要な要素になっている(Sakuma and Hanazato, 2001)。諏訪湖で1997年と1998年に行われた動物プランクトンの調査によると、水草帯での出現種は49~56種と、沖合の37種を大きく上回っていた(花里ら, 2001)。今回、冷水沼で行った夏季の調査でも、開水面で12分類群、水草帯で20分類群の動物プランクトンが出現し、同様に、水草帯で動物プランクトン群集の多様性が高いことがうかがえる。湖沼ごとに動物プランクトンの構成を比較した場合でも、水草の多い湖沼で複雑な群集が見られた点は、動物プランクトン群集の多様性が水草と大きく関係していることを裏付ける。水草が豊富な湖沼で種多様性が高まる傾向は、動物プランクトンと平行して行われた、付着、底生種を含むミジンコ群集(関ら, 2008)や、底生動物群集(大高ら, 2008)の調査でも、同様に指摘されている。

ワムシ類では、ネズミワムシ属などが、ミジンコ類では、マルミジンコ属やシカクミジンコ属、シダ属、アオムキミジンコ属、ネコゼミジンコ属などが、水草との関わりが強い動物プランクトンとして知られている(平井, 1970; Sakuma and Hanazato, 2002; Sakuma et al., 2004; 花里, 2006)。動物プランクトンにとっての水草帯の役割は、捕食者からの避難場所という観点から説明されることが多い。実際に、沿岸部に水草帯が発達した浅い湖では、動物プランクトンが昼に捕食者を避けて水草帯に生息し、夜間に採餌のために沖合に泳ぎ出る日周水平移動が確認されている(Davies, 1985; De Meester et al., 1993; Kvan and Kleivan, 1995)。大型のミジンコ類をはじめ、日中に水草帯だけで確認された動物プランクトンには、このような行動をする種類がかなり含まれていると思われる。一方、捕食者からの回避に水草帯が使われる場合、その効果は水草の密度に関係すると考えられる(Scheffer, 1998)。デンマークの湖での観察によると、動物プランクトンの昼夜の水平移動は水草の密度が高い地点で顕著だが、水草のまばらな地点ではあまり起こらない(Jeppesen et al., 1997)。屏風山湖沼群で今回行った開水面での調査では、カメノコウワムシやハネウデワムシ属をはじめとする浮遊性種だけでなく、水草と関係の深い種群

が頻繁に採集された。これは、調査場所を沿岸の水草群落の近くに設定したことが一因になっていると思われる。一方で、屏風山湖沼群に残存する浅く水草が多い砂丘湖では、水草群落が湖面をすきまなく埋めるほどに発達せず、多くはパッチ状の分布をしている。こうした湖沼の動物プランクトンは、昼夜でそれほど大きくすみ場を変えていない可能性がある。浮遊性種と水草種の混在した複雑な動物プランクトンの構造は、砂丘湖で本来見られる群集の特徴と言えるかもしれない。

4.3. 屏風山湖沼群における環境と動物プランクトン群集の変遷

屏風山砂丘地帯は、多数の縦列砂丘が南北に並び、本来は、浅い湖沼と湿原が混じりあった沼沢地 (dune slacks) が広がる複雑な景観をなしていたと推測される。過去の記録を見ると、多くの湖沼で景観や植生が現在と大きく異なっていたことがわかる。たとえば、石川 (1975) の植生図によると、1970年台の権現沼 (no. 23) は水深約 2 m で、沿岸部には多様な抽水・浮葉植物が分布し、中央部までマツモの群落が広がっている。また、カスベ沼 (no. 20) も「低層湿原における植物群落の棲み分けの様子を観察・見学するに最適な沼」(石川, 1975) で、沼沢地のみごとな景観は Saitoh and Ishikawa (1969) の写真 (p. 105) でもみてとれる。現在の権現沼はコンクリートで厚く護岸され、北西部の一部を除くと植生はみられず、カスベ沼も湖盆の改変の伴って水生植物は沿岸の一部に限られるだけで、両者ともかつての面影は全く見られない。他の多くの湖沼も同様に、溜池化や砂の採取などで湖盆は大きく改変されている。沼沢地の消失は顕著で、かつてのカスベ沼でみられたような低湿地が広がる景観は現在ではほとんどみられない。屏風山地域における水生動物の過去の記録は極めて限られているため、かつての沼沢地の生物群集の実体は残念ながらよくわからない。それでも、過去の記録と現在の状況を、また現在の湖沼間で群集構造を比較することによって、変遷の一部が理解できる可能性がある。

小久保・徳井 (1948) は1946年9月に牛瀉沼 (現在の牛瀉大溜池, no. 21)、1947年9月に袴形池 (現在の袴形沼, no. 22) と牛瀉沼の2湖沼でプランクトンの調査を行い、原生動物5、ワムシ類8、ミジンコ類10、カイアシ類6分類群の計29分類群の動物プランクトンを記録している。当時、最も優占していた動物プランクトンは両湖沼ともゾウミジンコで、ゾウミジンコモ

ドキ、フクロワムシがそれに次いでいる。この両湖沼を含めて、現在の屏風山湖沼群では、いずれの湖沼でもカメノコウワムシとハネウデワムシ属をはじめとする小型のワムシ類が優占し、かつて豊富に見られたゾウミジンコは調査湖沼の7割 (18湖沼) で広く出現しているものの密度は低く、動物プランクトンとして優占することはなかった。

袴形沼やカスベ沼をはじめとする屏風山湖沼群の一部の湖沼は、コンクリートで護岸され、沿岸には水草がほとんど見られない。そのような湖沼ではカメノコウワムシやハネウデワムシ属をはじめとする小型の浮遊性ワムシ類が寡占し、大型のミジンコ類がほとんど見られなかった。これが、栄養カスケード (Carpenter et al., 1985) を通した食物連鎖による結果だとすると、屏風山湖沼群では動物プランクトンに対する魚類の捕食圧が高いという点が示唆される。今回の調査では魚類の定量的な把握は行っていないが、過去の調査結果 (竹内ら, 1983a, 1983b, 1985; 奈良岡, 2005; 東, 私信) や聞き取りの限りでは、屏風山地域に分布するすべての湖沼に複数の魚類が分布していると考えられる。牛瀉大溜池をはじめとするいくつかの湖沼では、冬季にワカサギ釣りが行われていることから、プランクトン食魚の密度は湖沼によってはかなり高いと推測される。屏風山湖沼群と同じ青森県に分布する、白神山地の十二湖湖沼群の一部の湖沼では、かつて、甲殻類が動物プランクトン群集の中で優占していたが、おそらく1940年代に行われたワカサギの導入によって、小型のワムシ類、特にカメノコウワムシとハネウデワムシ属が優占するようになって現在に至っている (Ohtaka et al., 1996)。こうした構成は、屏風山湖沼群の、水草が少ない一部の湖沼のそれとよく似ている。したがって、屏風山湖沼群で現在見られる小型のワムシ類が優占する動物プランクトンの群集構造は、湖沼の改変による水草帯の消失とともに、大型の動物プランクトンに対する魚類の捕食圧の増加によって引き起こされた結果である可能性が高い。

5. 謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究補助金 (No. 17510193) によって実施された。現地調査と水質分析では、弘前大学教育学部 (当時) の小笠原嵩輝、関久美子、福士浩子各氏に補助をしていただいた。記して感謝いたします。

6. 引用文献

- Carpenter, S. R., J. F. Kitchell and J. R. Hodgson (1985) Cascading trophic interactions and lake productivity: fish predation and herbivory can regulate lake ecosystem. *Bioscience* 35: 634-639.
- Davies, J. (1985) Evidence for a diurnal horizontal migration in *Daphnia hyalina lacustris* Sars. *Hydrobiologia* 120: 103-105.
- De Meester, L., S. Mass, K. Dierckens and H. J. Dumont (1993) Habitat selection and patchiness in *Scapholeberis*: horizontal distribution and migration of *S. mucronata* in small pond. *Journal of Plankton Research* 15: 1129-1139.
- Fodge, J. D., G. L. Thomas and G. B. Pauley (1990) Effects of canopy formation by floating and submerged aquatic macrophytes on the water quality of two shallow Pacific Northwest lakes. *Aquatic Botany* 38: 231-248.
- 福原晴夫・山遠順子・中村秀治 (1989) 新潟県湖沼の陸水生生態学的研究 V. 長峰池 (中頸城郡吉川町) の陸水生生態学的研究. 新潟大学教育学部紀要 (自然科学編) 31:1-14.
- 福原晴夫・大高明史・富田尚道・中村俊江・東出多佳子 (1990) 新潟県湖沼の陸水生生態学的研究 VI. 佐潟 (新潟市赤塚) の陸水生生態学的研究 - 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 32: 1-24.
- Fukuhara, H., A. Kawakami and T. Shimogaito (2003) Characteristics of nutrient dynamics in Lake Sagata, Japan, a shallow sand dune lake. *Hydrobiologia* 506-509: 93-99.
- 花里孝幸 (2006) ミジンコはすごい! 岩波ジュニア新書, 211pp.
- 花里孝幸・荒河尚・佐久間昌孝・張光玟・沖野外輝夫 (2001) 諏訪湖の動物プランクトン群集: 群集構造と生態系における役割. *陸水学雑誌* 62: 151-167.
- 平井賢一 (1970) びわ湖の水生植物帯における動物プランクトンとほふく動物の関係. *陸水学雑誌* 31: 1-15.
- Horie, S. (1962) Morphometric features and the classification of all the lakes in Japan. *Memories of the College of Science, University of Kyoto, Series B* 29:191-262.
- 一戸文爾 (2004) 土石採取に係る係争事件. *国定公園* 621: 40-41.
- 五十嵐聖貴・高村典子・中川恵・辻ねむ・若菜勇 (2007) 鉏路湿原達古武沼における動物プランクトンの季節変化と水平分布. *陸水学雑誌* 68: 123-129.
- 石川茂雄 (1975) 津軽西海岸の植物. 津軽書房, 104pp.
- 石田昭夫・大高明史 (2005) 青森, 岩手, 秋田の淡水カイアシ類. *陸水生物学報* 20: 1-4.
- Jeppesen, E., J. P. Jensen, M. Søndergaard, T. L. Lauridsen, L. J. Petersen and L. Jensen (1997) Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia* 342/343: 151-164.
- 木元新作・武田博清 (1989) 群集生態学入門. 共立出版, 198pp.
- 小久保清治・佐藤正三 (1947) 十三潟のプランクトン. *生理生態* 1: 209-224.
- 小久保清治・徳井利信 (1948) 袴形池及び牛潟沼のプランクトン. *日本水産學會誌* 14: 61-65.
- Kvan, O. V. and O. T. Kleiven (1995) Diel horizontal migration and swarm formation in *Daphnia* in response to *Chaoborus*. *Hydrobiologia* 307: 177-184.
- 奈良岡隆樹 (2005) 課題 2: 屏風山地域における生物多様性の現状調査. pp.25-46. 緑化運動研究会, 平成16年度あおり県民政策研究 屏風山地域における「エコシステムマネジメント」の確立に向けた研究, 84pp.
- Ohtaka, A., N. Mori and S. Saito (1996) Zooplankton composition in the Tsugaru-Jūniko Lakes, northern Japan, with reference to predation impact. *Japanese Journal of Limnology* 57: 15-26.
- 大高明史・小笠原嵩輝・木村直哉・小林貞・谷田一三・上西実・安倍弘・富川光・櫛田俊明 (2008) 青森県・屏風山湖沼群の底生無脊椎動物相. *Celastrina* 43: 49-78.
- Pianka, E. R. (1973) The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 53-74.
- Rose, C. and W. G. Crumpton (1996) Effects of emergent macrophytes on dissolved oxygen dynamics in a prairie pothole wetland. *Wetlands* 16: 495-502.
- 佐原雄二 (2002) ブラックバス侵入の最前線から. *科学* 72: 579-581.
- 佐原雄二・山本周一 (2002) 溜池へのバスの移入とカイツブリ・モツゴの分布. 日本鳥学会2002年度大会講演要旨集, p.117.
- Sakuma, M. and T. Hanazato (2001) Heterogeneous distribution of environmental factors and zooplankton in a vegetated area of a eutrophic lake. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 27: 4053-4056.
- Sakuma, M. and T. Hanazato (2002) Abundance of Chydoridae associated with plant surfaces, water column and bottom sediments in the macrophyte zone of a lake. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 28: 975-979.
- Sakuma, M., T. Hanazato, A. Saji and R. Nakazato (2004) Migration from plant to plant: an important factor

- controlling densities of the epiphytic cladoceran *Alona* (Chydoridae, Anomopoda) on lake vegetation. *Limnology* 5:17-23.
- Saitoh, M. and S. Ishikawa (1969) Ecological studies in Byobu-san area V. Moor vegetation in Byobu-san area. *Bulletin of the Faculty of Education, Hirosaki University* 21: 97-112.
- Scheffer, M. (1998) *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman and Hall, London, 392pp.
- 関久美子・大高明史・田中晋 (2008) 青森県・屏風山湖沼群のミジンコ相. *陸水学雑誌* 69: 121-131.
- 竹内健悟 (2006) 屏風山地域の湖沼名. *青森自然誌研究* 11: 45-48.
- 竹内基・太田隆・村上修 (1983a) 岩木川水系とその周辺地域における淡水魚類相について I. 純淡水魚. *青森県生物学会誌* 21: 6-12.
- 竹内基・太田隆・村上修 (1983b) 岩木川水系とその周辺地域における淡水魚類相について II. 二次的淡水魚と周縁的淡水魚. *青森県生物学会誌* 21: 13-20.
- 竹内基・松宮隆志・佐原雄二・小川隆・太田隆 (1985) 青森県の淡水魚類相について. *淡水魚* 11: 117-133.
- 田中正明 (1984) 青森県における鰓脚類の地理分布. *水野寿彦教授退官記念誌* : 106-112.
- 田中正明 (1992) *日本湖沼誌*. 名古屋大学出版会, 名古屋, 530pp..
- Tanaka, S. (2001) Three species of the genus *Ilyocryptus* (Anomopoda, Branchiopoda) occurring in Japan. *Limnology* 2: 197-200.
- 柳井久江 (2004) *4 Steps エクセル統計*. オーエムエス出版, 270pp.
- 吉村信吉 (1937) *湖沼学* (増補版, 1976). 生産技術センター新社, 東京, 439+25pp.
- (2008. 12. 11受理)