

伊豆沼の栄養状態とユスリカ科幼虫を中心とした 底生動物群集の変化

安野 翔^{1*}・千葉友紀¹・嶋田哲郎²・進東健太郎²・鹿野秀一³・菊地永祐³

¹東北大学大学院生命科学研究科 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

²宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団 〒989-5504 宮城県栗原市若柳字上畑岡敷味 17-2

³東北大学東北アジア研究センター 〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内 41

* 責任著者

キーワード: 伊豆沼 底生動物 富栄養化 ユスリカ

2008 年 12 月 10 日受付 2009 年 2 月 7 日受理

要旨 宮城県北部に位置する伊豆沼の中央部において、底生動物相の調査を2006年4月から2008年9月まで行なった。ユスリカ科幼虫 6 種、貧毛類のイトミミズ科の種群、ヨコエビ類のモリノカマカ *Kamaka morinoi* Ariyama の計 8 分類群が採集された。底生動物の個体数密度(平均値±SD)は、 359 ± 329 個体/m²であった。優占分類群は、オオユスリカ *Chironomus plumosus* (Tokunaga), (152 ± 114 個体/m²)、モンユスリカ属の一種 *Tanypus* sp. (155 ± 239 個体/m²)、イトミミズ科 (192 ± 114 個体/m²) であった。オオユスリカは富栄養湖及び過栄養湖の指標種である。また、やはり富栄養湖及び過栄養湖の指標種であるアカムシユスリカ *Prosilocerus akamusi* (Linnaeus) が低密度 (6 ± 10 個体/m²) ながら採集された。一方、クロロフィルa濃度及びセッキ深度の年間平均値から算出したCarlsonの栄養状態指数 (Trophic State Indices; TSI) は富栄養湖の範囲内の値であった。したがって、現在の伊豆沼は、水質、底生動物相のどちらの面からも富栄養湖と言える。1986と1987年に行なわれた底生動物相の調査報告と比較すると、ユスリカ科幼虫で今回の調査と共通して出現した分類群は認められなかった。当時の調査ではオオユスリカやアカムシユスリカといった富栄養湖の指標種が確認されていないため、その後 20 年程の間に富栄養化が進行したことが示唆される。

はじめに

伊豆沼は宮城県北部に位置し、県下最大の面積(3.69km²)を有する天然の低地湖沼である。最大水深は 1~2mと浅く、湖一面にハス *Nelumbo nucifera* Gaertn., ヒシ類 *Trapa* spp., アサザ

*現所属: 復建調査設計株式会社 〒732-0052 広島県広島市東区光町 2-10-1
TEL 082-506-1837 FAX 082-506-1892 e-mail plumosussia@yahoo.co.jp

Nymphoides peltata (Gmel.) O. Kuntze, ガガブタ *Nymphoides indica* (L.) O. Kuntzeなどの水生植物が粗または密に繁茂している。伊豆沼は、内沼とともに1985年よりラムサール条約登録指定湿地となっているが、流域面積(約 51.85 km²)の約 40%が水田であり(設楽 1992)、農地や市街地からの廃水の負荷が高いため、富栄養となっている。しかし、現在まで伊豆沼の富栄養の程度、つまり栄養状態については十分に調査・検討はされていない。本研究においては、通年にわたり透明度やクロロフィル濃度などの水質を含めた湖沼環境、底生動物群集組成の基礎的調査を行ない、その結果を基に伊豆沼の栄養状態を把握することにした。

底生動物は魚類などに比べて移動力に乏しいため、それぞれの環境に適応した種のみが生息し、その分布を決める要因としては、餌の多少、溶存酸素量が重要となる(北川 1994)。湖沼の底生動物群集において、ユスリカ科幼虫と貧毛類がしばしば優占分類群となる。ユスリカ科の幼虫においては、湖沼の栄養状態によって生息する種類がある程度決まっており、水質指標生物としての有用性が示唆されている(北川 1978, 安野ほか 1983, Iwakuma et al. 1988)。

伊豆沼の底生動物群集については、1986~1987年に行なわれた庄司・宍戸(1992)の調査があるが、それ以降伊豆沼の底生動物相についての報告はない。本研究では、伊豆沼の食物網構造に関する研究の一環として湖心部の底生動物相、とくにユスリカ幼虫相を調査し、庄司・宍戸(1992)の調査結果との比較を行なった。また、現在の底生動物相から伊豆沼の栄養状態について考察を行なった。

方法

調査は、伊豆沼の中央部(38° 43' 16" N, 141° 05' 12" E)において、2006年4月から2008年9月まで原則的に毎月調査を行なった(図1)。ただし、2008年1月及び2月は、沼内が薄く結氷したため調査を行なうことができなかった。

伊豆沼の環境因子として、水深、セッキ深度、水温、湖水中の溶存酸素濃度(DO)、クロロフィルa濃度を測定し、Carlson(1977)の提唱した栄養状態指数(Carlson's Trophic State Index; 以下、TSIと記す)を算出した。水温、溶存酸素濃度(DO)は、測定器(DO/O₂/TEMP. メーター UK-2000型、セ

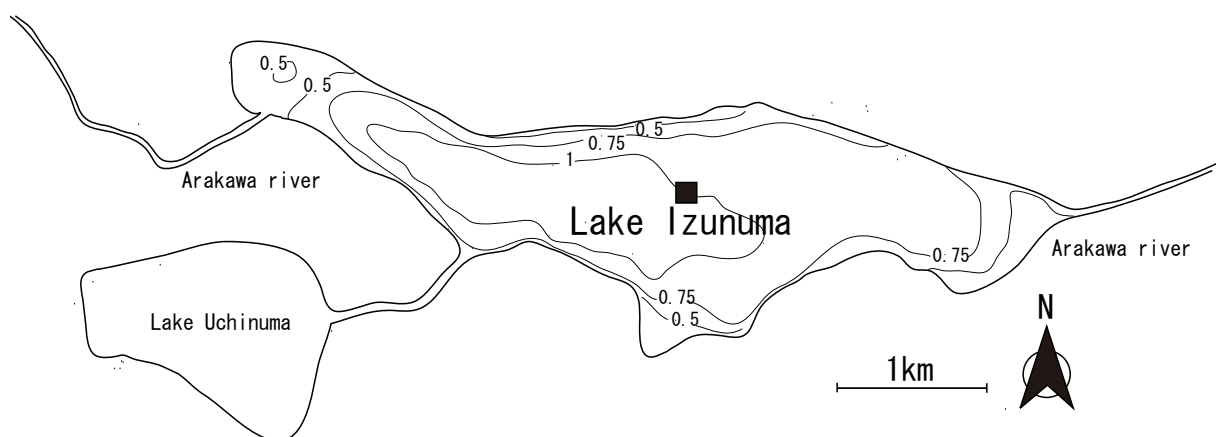


図1. 調査地。■は調査地点、湖内の数字は水深(m)を表す。

ントラル科学株式会社製)を用いて測定した。表層水の水温, 溶存酸素濃度は調査時に毎回測定し, 2007 年 2 月からは水深 20cm ごとの溶存酸素濃度を測定しその垂直分布を調べた。

湖水中のクロロフィルa濃度の定量は, 表層水について 2006 年 4 月から 2008 年 9 月まで毎月行なった。表層より採集した湖水を冷蔵して持ち帰り, グラスフィルター(Whatman GF/F)で濾過し, そのフィルターをジメチルホルムアミドにつけて冷暗所に静置し, クロロフィルaを抽出した。その後, Turner designs 社の 10-AU Fluorometer を用いて測定した。

Carlson の栄養状態指数(Trophic State Index; 以下 TSI と記す)をセッキ深度とクロロフィル a 濃度の年間平均値からそれぞれ次式により算出した。

$$TSI(chl) = 9.81 \ln(chl) - 30.6$$

$$TSI(SD) = 60 - 14.41 \ln(SD)$$

chl と SD はそれぞれクロロフィル a 濃度($\mu\text{g/L}$), セッキ深度(m)の年間平均値を表す。なお, TSI の計算には一年間欠測のなかった 2006 年 7 月から 2007 年 6 月までのデータの平均値を用いた。

底生動物の採集にはエクマンバージ採泥器(15×15cm)を用いた。採泥は 3 回行ない, 船上で 1 mm 目の篩でふるい, 残渣を 10%中性ホルマリンで固定した。1 週間以上固定した後で, 底生動物を取りだし, 70%エタノール中に保存した。底生動物はユスリカ科幼虫, 貧毛類ではイトミズ科の種群, ヨコエビ類が採集された。ユスリカ科幼虫については, 新妻(2005)に従い, 同定できるものは種まで, それ以外は可能な限り属まで同定し, 計数した。イトミズ科の種群, ヨコエビ類は特にそれ以上同定は行わずに全体として計数した。ヨコエビ類については, 大阪府環境農林水産総合研究所水産技術センターの有山啓之氏に同定を依頼した。

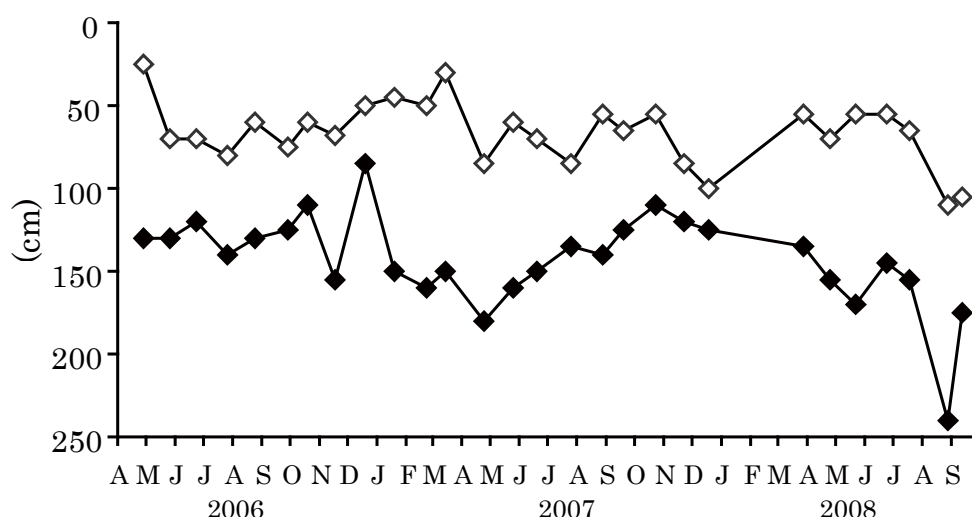


図 2. 水深及びセッキ深度の季節変化。◆は水深, ◇はセッキ深度を示す。なお, 2008 年 1 月, 2 月は測定を行っていない。

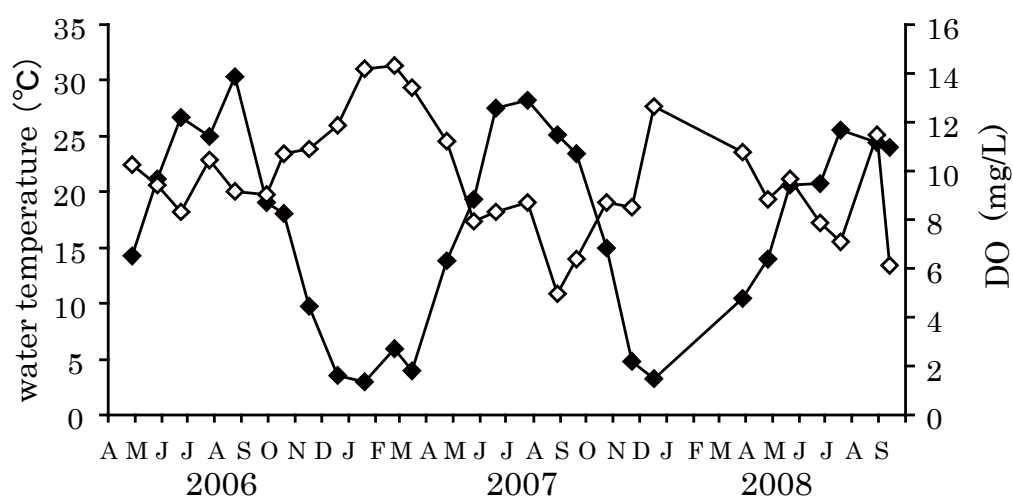


図 3. 表層水の水温及び溶存酸素濃度の季節変化. ◆は水温, ◇は溶存酸素濃度を示す. なお, 2008 年 1 月, 2 月は測定を行なっていない.

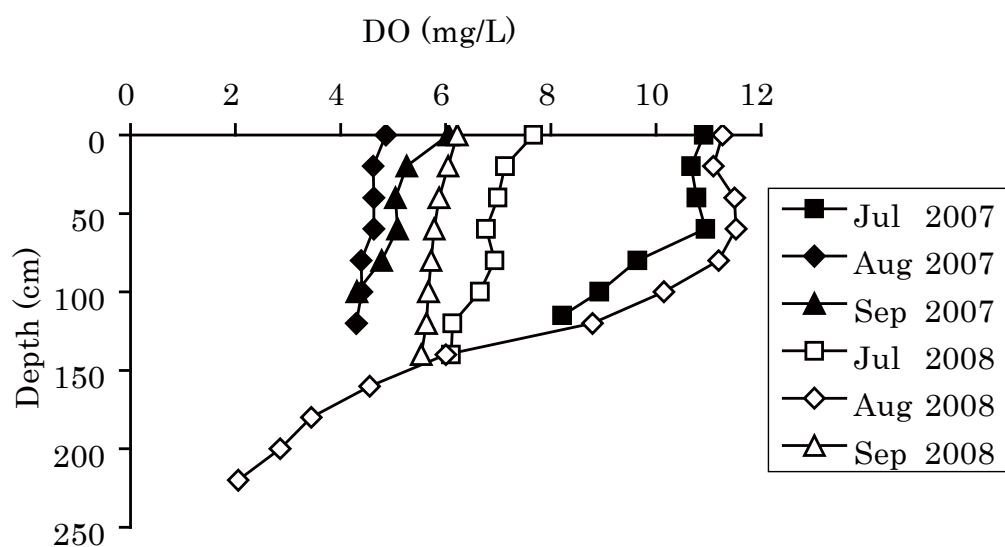


図 4. 夏季の水深ごとの溶存酸素濃度. 水面から 20cm ごとの深さで測定した. ただし, 例外的に 2007 年 7 月の最深部の溶存酸素濃度は, 深度 115cm で測定した.

結果

1. 伊豆沼の湖水環境と栄養状態

水深とセッキ深度の季節変化を図 2 に, 表層水の水温と溶存酸素濃度の季節変化を図 3 に示す. 水深は 85cm (2006 年 12 月) から 240cm (2008 年 8 月) の間で変化した, ほとんどの月は 100cm か

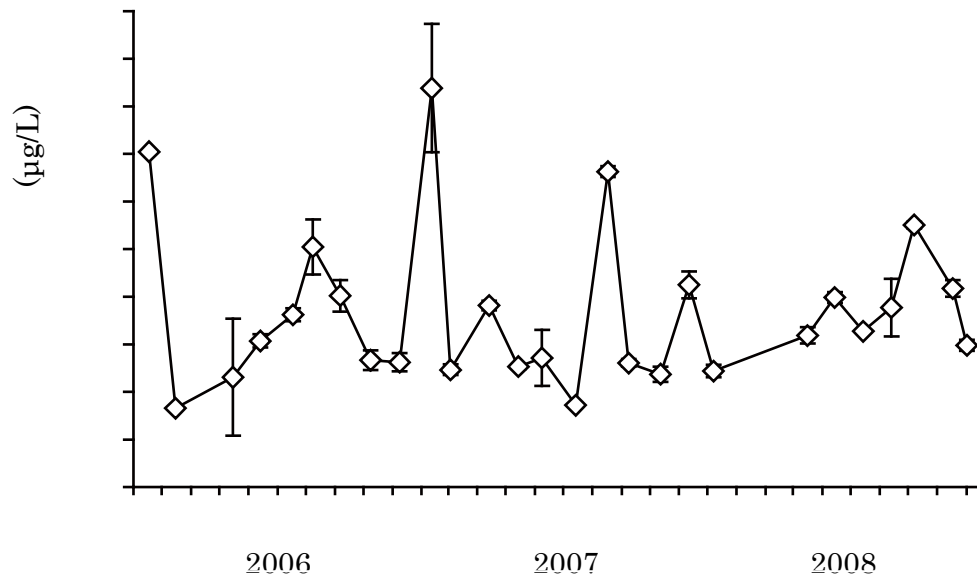


図 5. クロロフィルa量の季節変化. 2006 年 4 月及び 5 月は 1 回, 他の月は 3 回の測定の平均値である. 2006 年 6 月, 2008 年 1 月及び 2 月は測定を行っていない. エラーバーは標準偏差を表す.

ら 180cm の間で推移し, セッキ深度は 25cm から 110cm の間で変化した. いずれも季節的な傾向は見られなかった. 調査期間内における最低及び最高水温は, それぞれ 2007 年 1 月の 2.9℃, 2006 年の 8 月に 30.4℃であった(図 3). 表層の溶存酸素濃度は, 高水温時に低下する傾向があるが, 夏季においてもほぼ 5mg/L 以上と比較的高濃度に保たれていた(図 3). 水深別の溶存酸素濃度を見ると, 表層から湖底部まで同様の濃度をとることが多く, 湖底付近でも 4mg/L 以上の比較的高い値を示していた. しかし, 2007 年 7 月と 2008 年 8 月には水深 60~80cm から湖底にかけて酸素濃度の低下がみられ, 特に水深が深い 2008 年 8 月においては水深 100cm 付近から湖底にかけて顕著な低下が見られ, 湖底部では 2mg/L の低濃度となった. クロロフィル a 濃度は大きな経月変化を示したが, 一定の季節変動パターンを示さなかった. 水温の低い冬季でも高い値を示し, 2007 年 2 月に最大値, $83.8 \pm 13.5 \mu\text{g/L}$ (平均 $\pm$ SD) を示した(図 5).

Carlson の栄養状態指数(TSI)をクロロフィル a 濃度とセッキ深度からそれぞれ算出すると, TSI(chl) は 65.8, TSI(SD) は 67.1 であった. 通常, TSI が 50~70 の場合, 富栄養湖, それ以上では過栄養湖とみなされるため(Wretzel 2001), 現在の伊豆沼の栄養状態は富栄養湖の範囲内であると言える.

2. 伊豆沼の底生動物相

底生動物全体の個体数密度は, 359 ± 329 個体/ m^2 (平均 $\pm$ SD) であり, 89~1,111 個体/ m^2 の間で変化した(図 6). 底生動物の大部分がユスリカ科幼虫と貧毛類で占められ, それぞれの全体に占める割合は 25.8~87.3%, 12.7~74.2%と季節により大きく変化した(図 7).

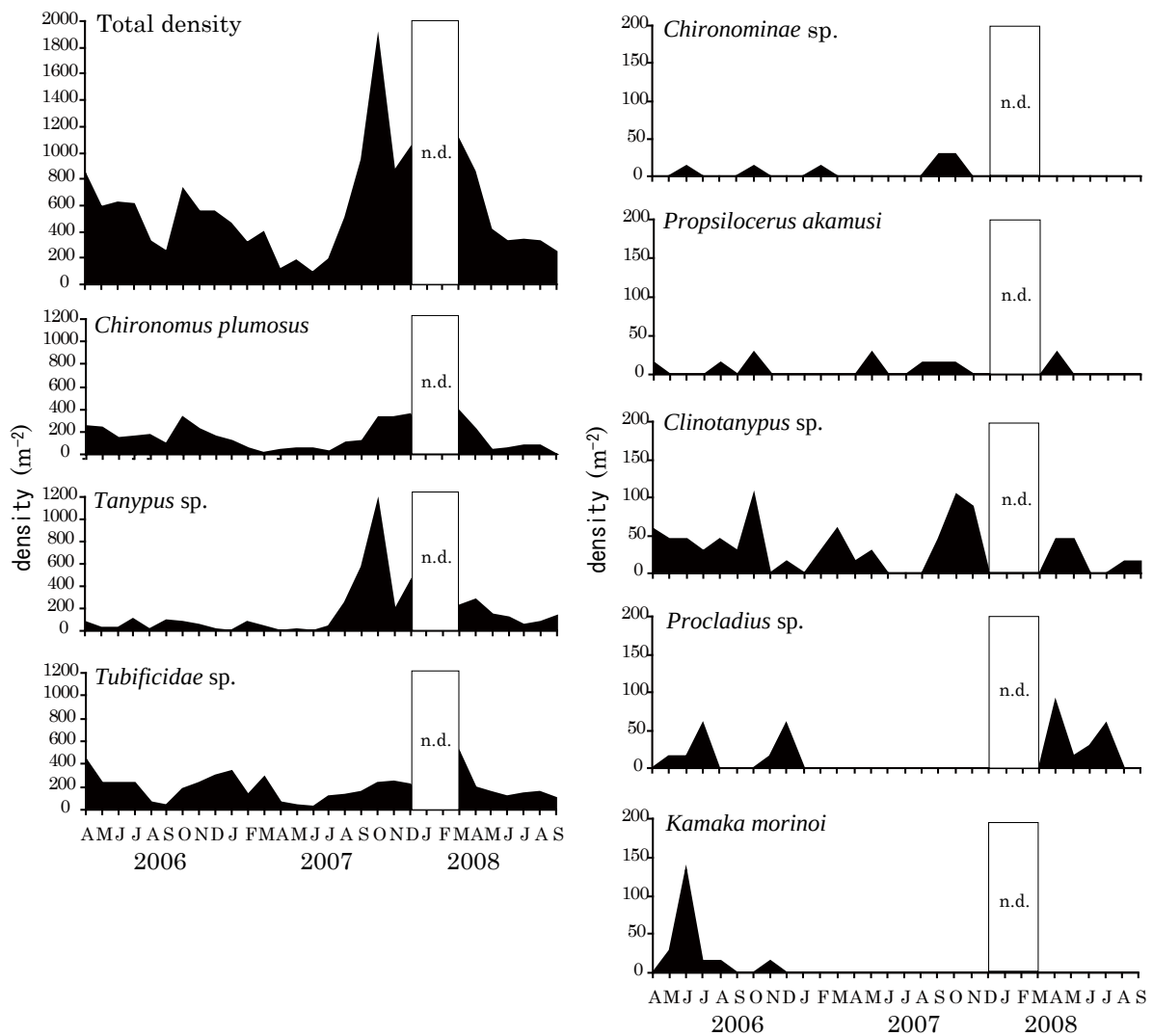


図6. 底生動物の総個体数密度, 及び各分類群の個体数密度の季節変化. 個体数密度は3回の採泥で得たサンプルの合計値である. n.d.は, 2008年1月及び2月に底生動物の採集を行っていないことを示す.

その内訳は, エリユスリカ亜科 *Orthocladinae* 1 種(アカムシユスリカ *Prosilocerus akamusi* (Tokunaga)), モンユスリカ亜科 *Tanypodinae* 3 種(モンユスリカ属の一種 *Tanypus* sp., ヒラアシユスリカ属の一種 *Clinotanypus* sp., カユスリカ属の一種 *Procladius* sp.), ユスリカ亜科 *Chironominae* 2 種(オオユスリカ *Chironomus plumosus* (Linnaeus), ユスリカ亜科の一種 *Chironominae* gen. sp.)である. その他, 貧毛類ではイトミズ科 *Tubificidae* spp.とヨコエビ類ではコロフィウム科のモリノカマカ *Kamaka morinoi* Ariyama が確認された.

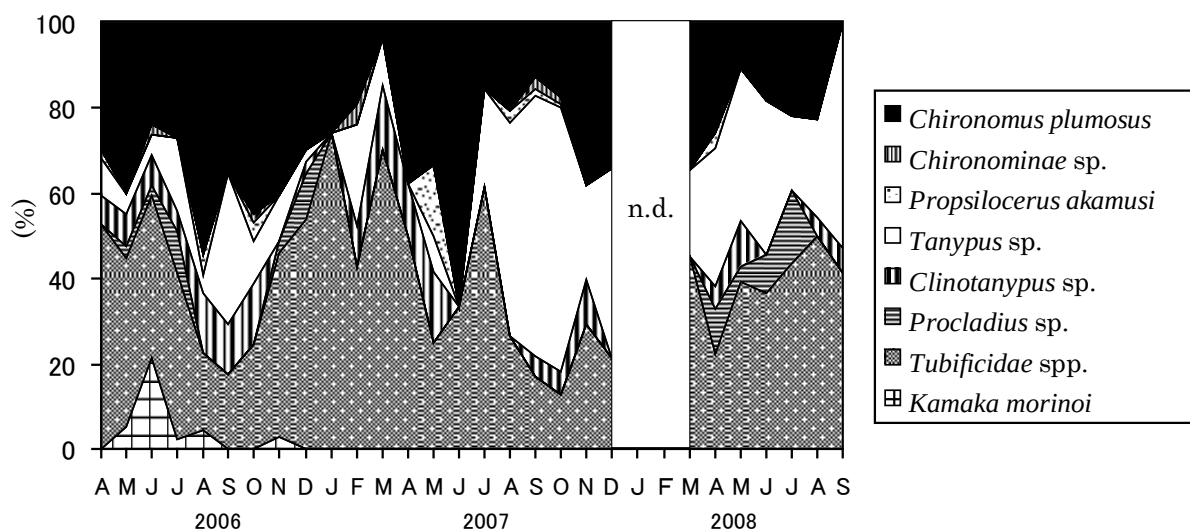


図 7. 底生動物の群集組成の季節変化. n.d.は、2008 年 1 月及び 2 月に底生動物の採集を行っていないことを示す.

ユスリカ科幼虫の優占種であるオオユスリカとモンユスリカ属の一種、貧毛類の個体数密度は、それぞれ 152 ± 114 (0~385) 個体/m² (括弧内は範囲), 155 ± 239 (0~1,156) 個体/m², 192 ± 114 (30~504) 個体/m²であった (図 6). オオユスリカとモンユスリカ属の一種については、1 個体も採集されなかった月があったが、底生動物全体に対する割合は、最大でそれぞれ 66.7%, 61.9%に及んだ (図 7). オオユスリカ幼虫の個体数密度は、10 月にやや個体数が増加する傾向が見られた (図 6). モンユスリカ属の一種の幼虫は、2007 年夏まで 104 個体/m²以下で推移していたが、同年秋に急激な増加が見られ 10 月に最大 1156 個体/m²に達した (図 6). ユスリカ科幼虫の中では、オオユスリカとモンユスリカ属の一種を合計すると、常にユスリカ科幼虫全体の 50%以上を占めた (図 7). なお、採集されたオオユスリカ、モンユスリカ属幼虫はほとんどが 4 齢幼虫であった. イトミズ科の底生動物全体に占める割合は、12.7%から 74.2%の間で変化し、秋から春に個体数密度がやや増加する傾向が見られた. モリノカマカは、2006 年のみ採集され、同年 6 月に 133 個体/m²まで増加したが、2007 年以降採集されなかった (図 6).

考察

1. 伊豆沼の栄養状態

水深はほとんどの月において、100cmから180cmの間で変化した (図 2). しかし、2008 年 8 月は低気圧停滞により雨が続き水位が上昇したため、水深は 240cmに達した. 溶存酸素は高温時に低下する傾向があるが、水深が浅いために成層することは少なく、湖底付近でもほぼ 4mg/L以上に保たれていた (図 4). しかし、成層することもあり、そのときは水深 60~80cm付近から湖底部にかけて酸素濃度が低下した. 水深が深く維持された 2008 年 8 月には、湖水の成層が顕著で、湖底付近の溶存酸素濃度が 2 mg/L程度まで低下していた (図 4). 水深が数m以下で浅く、ある程度の広さをもつ湖沼では、風によ

って湖水が攪拌されるため、湖底付近まで酸素が十分に供給される(西條・三田村 1995)。例えば、青森県田面木沼(面積 1.59km², 最大水深 7m), 市柳沼(面積 1.71km², 最大水深 4m), 茨城県霞ヶ浦(面積 171km², 最大水深 7.3m)などの湖沼は、伊豆沼と同様に水深が浅いため、成層することは稀である(田中 1992)。しかし、浅い富栄養湖では、湖底での有機物分解は活発であるため、数日間風の弱い日が続く湖水が成層すると、湖底付近の溶存酸素は急減し、無酸素となることもある(西條・三田村 1995)。例えば、千葉県印旛沼(面積 11.6km², 最大水深 1.8m)や手賀沼(面積 6.5km², 最大水深 2.9m)においては、水深が浅いのにも関わらず、湖底直上で貧酸素となる場合もある(田中 1992)。このように、浅い富栄養湖においては、風による湖水の攪拌の強度や頻度が、湖水の成層の可否に影響すると考えられる。そこで、伊豆沼より6kmほど西に位置するアメダス築館観測所のデータを見てみると、月ごとの平均風速は毎年 7~9 月が一年の中で最も小さく、1.5m/s以下であることがほとんどであった(気象庁 2008)。また、夏季はハスが沼内に繁茂しているため、他の季節に比べて風による湖水の攪拌が起りにくくなっている可能性がある。2008 年 8 月は、さらに水位が上昇することで風による湖水の攪拌が湖底付近まで及びにくくなった結果、成層が発達したものと思われる。

クロロフィル a 濃度は一定の季節的な変化は示さず、80µg/L を超える高い濃度の月もあったが、ほぼ 20~60µg/L の範囲で変動した。過栄養湖では 100µg/L を超えることも多く(Wretzel 2001)、伊豆沼はクロロフィル a 濃度から見て、富栄養ではあるものの過栄養とまではいえない。

伊豆沼の TSI は、クロロフィル a 濃度、セッキ深度から算出すると、それぞれ 65.8, 67.1 であった。これは、富栄養湖の範囲内の値である。過栄養湖の TSI は、通常 70 以上の値を示すため(Wretzel 2001)、現在の伊豆沼は過栄養湖に近い状態であるが、富栄養湖と言える。

2. 底生動物の現況と伊豆沼の栄養状態との関係

ユスリカ科 ユスリカ科の幼虫相は湖沼の栄養状態の判定に使われることが多い(北川 1978, 安野ほか 1983, Iwakuma et al. 1988)。次にユスリカ科幼虫各種の現況を示し、伊豆沼の栄養状態を考察する。

オオユスリカ 本種は典型的な富栄養湖の指標種である(安野ほか 1983, Iwakuma et al. 1988)。オオユスリカ幼虫の個体数密度は 0 から 385 個体/m²の間で変化した(図 6)。国内の他の富栄養な湖沼では、これよりも高い個体数密度で推移している。例えば霞ヶ浦(北浦)では季節変化、経年変化があるものの、最大で 1500 個体/m²程まで増加した(中里ほか 2007)。諏訪湖では年により個体数密度は大きく変動するが、しばしば冬季に 1,000 から 1,500 個体/m²程度までの増加が見られた(中里 2001)。河口湖では湖全体の平均では 350 個体/m²であり、本調査での最大値と同程度であった(平林 2001)。したがって、伊豆沼のオオユスリカ幼虫の個体数密度は、これらの湖沼よりも低密度で推移していると言える。

幼虫の個体数密度は、羽化による幼虫個体群から成虫個体群への移出、及び産卵・孵化後の若齢個体の新規加入に影響される。伊豆沼では毎年 5 月から 6 月に多数のオオユスリカ成虫が見られ、サンクチュアリセンターの窓に多数の個体がとまっているのが観察できる。しかし、5 月中の羽化による幼虫個体群からの移出は、4 齢を中心とする幼虫密度には明瞭に反映されなかった。

Nakazato & Hirabayashi (1998)は、諏訪湖では羽化回数が年 2 回(3~5 月と 8~9 月)の年と年 3 回(3~5 月, 6~7 月および 8~9 月)の年があることを報告している。今回、調査期間内に 5~6 月以外には

成虫の調査を行なわなかったため、羽化のピークを確認することはできなかったが、オオユスリカ幼虫の個体数密度は 2006 年、2007 年ともに 10 月に増加し(図 6)、同月の幼虫には 4 齢初期の個体が比較的多く含まれていた。したがって、伊豆沼でも 8~9 月頃に羽化、産卵が起こり、10 月に湖心部で老齢幼虫としての新規加入が起こったため、幼虫の個体数密度が増加したと考えられる。2008 年 9 月はサンプル中にオオユスリカ幼虫を 1 個体も確認できなかった(図 6)。しかし、同日には底生動物のサンプルのほかに、食物網解析の同位体比測定のためのオオユスリカ幼虫を採泥回数を増やして採集しており、その時にはおよそ 3 回から 5 回の採泥で一個体採集された。したがって、この時、オオユスリカ幼虫は 3 個体/m²から 5 個体/m²の低密度で生息していたことが分かる。2008 年 10 月には 3 齢及び 4 齢初期の小型個体が一回の採泥で 4~5 個体、11 月には比較的大型の 4 齢個体が 10 個体ほど採集された。2008 年は前年より少し遅れて新規加入が起こっていたものと考えられる。

モンユスリカ属の一種 本属はしばしば富栄養湖に出現する(新妻 2005)。本属は、旧北区から最低でも 3 種が知られており(小林・山本 2001)、日本では *Tanypus punctutipennis* Meigan と *Tanypus formosanus* (Kieffer) の 2 種の記録がある(Niitsuma 2001)。*T. formosanus* は *T. punctutipennis* の junior synonym とみなされてきたが、Niitsuma (2001)は、別種として再記載した。しかし、両種ともに和名のカスリモンユスリカが使われることがあり(小林・山本 2001, 中里ほか 2005, 新妻 2005)、和名に関して混乱しているようである。近年、カスリモンユスリカ *Tanypus punctutipennis* の個体数密度が、霞ヶ浦(中里ほか 2005)や諏訪湖(平林ほか 2008)で増加傾向にある。霞ヶ浦(北浦)では、カスリモンユスリカが 2000 年以降確認され、優占種のひとつとなっている(中里ほか 2005)。中里ほか(2005)は、カスリモンユスリカ幼虫の個体数密度は、底泥の有機物含量と相関があることから、有機物の多い軟泥部に好んで生息すると推測している。しかし、諏訪湖では沖帯ではなく水草帯で増加傾向にある(平林ほか 2008)。本属の生態に関する知見はまだ十分とは言えず、湖沼の水質指標生物として扱うことができるかは明らかになっていない。

本研究では、2007 年 7 月までは約 100 個体/m²以下の低密度で推移していたが、同年秋に急激に増加し 1,156 個体/m²に達した後、2008 年 9 月まで減少傾向にある(図 6)。秋に個体数が増加したため、オオユスリカ同様、少し前に産卵、幼虫の新規加入があったものと思われる。

カユスリカ属の一種、ヒラアシユスリカ属の一種 この 2 種は、調査期間を通じて約 100 個体/m²以下と低密度で推移していた(図 6)。この 2 属は前述したモンユスリカ属の一種と同じく、モンユスリカ亜科 Tanypodinae に含まれる。本亜科は、肉食性の種を多く含んでおり、両種の消化管内容物を光学顕微鏡で観察したところ、貧毛類の鉤状剛毛が見られた。小型貧毛類が彼らの主要な餌資源になっているかもしれない。

同属の種が霞ヶ浦や諏訪湖等にも生息しているが(中里 2001, 中里ほか 2005)、属レベルでは様々な栄養状態の湖沼に出現するため、指標種としては扱えない(安野ほか 1983)。伊豆沼では富栄養湖に出現するオオユスリカやモンユスリカ属が優占していることを考えると、伊豆沼のカユスリカやヒラアシユスリカ幼虫は霞ヶ浦や諏訪湖等の富栄養湖に生息する種類と同じ可能性はある。

アカムシユスリカ 本種はオオユスリカとともに富栄養湖で特徴的に見られる(安野ほか 1983, Iwakuma et al. 1988)。今回の調査では、最大でも 30 個体/m²と低密度であった(図 6)。湖沼に生息するアカムシユスリカは高温の夏には底泥深くに潜り休眠状態に入る(Yamagishi & Fukuhara, 1972)。そのため、エクマンバージ採泥器では密度を過小評価している可能性がある。アカムシユスリカ幼虫は冬

季に堆積物表層に分布するとされるが(Yamagishi & Fukuhara, 1972), 本研究では冬季もサンプリングを行なったにも関わらず, ごく少数しか採集されなかった. したがって, 現在の伊豆沼ではアカムシユスリカは非常に低密度で生息していると考えられる.

以上のように伊豆沼中央部にはオオユスリカ幼虫, モンユスリカ属の一種の幼虫が優占し, 少数ながらアカムシユスリカ幼虫も生息することが明らかになった. オオユスリカとアカムシユスリカは, 富栄養湖や過栄養湖の指標種として知られている(安野ほか 1983, Iwakuma et al. 1988). したがって, 現在の伊豆沼の底生動物相は, 富栄養湖あるいは過栄養湖としての特徴を持つと言えるだろう.

イトミミズ科 本分類群は, ユスリカ科幼虫とともに伊豆沼に優占する分類群である(図 6, 7). 本誌に掲載されている伊豆沼の貧毛類相の報告(大高 2009)では, 2008 年 6 月に貧毛類が底生動物全体に対して個体数で 8 割, 現存量で 7 割を占めている. この調査では採集に目合 0.25 mm のサーバーネットを用いている(大高 2009). 本調査で使用した篩は, 目合が 1 mm であったため, 多くの小型種, 小型個体が抜け落ち, 個体数を過小評価している可能性が高い. したがって, 伊豆沼の底生動物相は, 年間を通して貧毛類が優占しているのかもしれない. なお, 大高(2009)は伊豆沼の貧毛類相が平地の浅い富栄養湖に典型的な構成であることを指摘している.

モリノカマカ 本種は, 2006 年のみ確認され, 2007 年以降は一度も確認されなかった. モリノカマカは, 宮城県蒲生潟や福島県松川浦などの汽水域及び茨城県北浦, 若宮川(Ariyama 2007)や熊本県八景水谷公園(有山 私信)といった淡水域で確認されている. モリノカマカは, 元々汽水域に生息していたが, 淡水環境にも耐性があるために, 茨城県北浦などの淡水域にも生息すると考えられている(Ariyama 2007). モリノカマカは, 体長 4 mm 以下の小型種であるため, 1 mm 目の篩では採集時に多くの個体が抜け落ちてしまった可能性があり, 今回の調査では個体数密度を過小評価していると思われる. 種類は不明であるが, ヨコエビ類が伊豆沼南岸部で比較的多く観察されている(個人的観察). 伊豆沼では, モリノカマカは主に沿岸部に生息しているのかもしれない.

3. 1986~87 年の底生動物相と伊豆沼の栄養状態

庄司・宍戸(1992)の調査結果では, ヒシモンユスリカ *Chironomus samoensis* Edwards が 11 月, 5 月ともに優占種となっていた(表1). ヒシモンユスリカを含むユスリカ亜科の幼虫は, オオユスリカやアカムシユスリカなどと同じく, 血中に多量のエトロクロリンという血色素を有しているため, 貧酸素耐性を有していると思われ, この時期も伊豆沼はある程度富栄養的な環境であったと推測される.

一方, シブタニオオヤマユスリカ *Prodiamesa* sp.が冬季に比較的多く生息していた. 本種は貧腐水から中腐水の流水域で見られるので(小林・山本 2001), 水質, 湖底環境は現在よりは貧栄養であったと考えられる. さらに, 当時の出現種には現在の伊豆沼で見られるオオユスリカやアカムシユスリカのような富栄養な湖沼に特徴的なユスリカ科幼虫は見られない. したがって, 現在までのおよそ 20 年間で湖底環境が変化し, 富栄養湖に特徴的な種類に置き換わったことが示唆される.

表 1. 庄司・宍戸(1992)の伊豆沼中央部における底生動物の個体数密度

和名	学名	1986/11/19		1987/5/22	
		個体数 (m ⁻²)	(%)	個体数 (m ⁻²)	(%)
クロイトトンボ	<i>Cercion calamorum</i>	7	0.3		
ヒシモンユスリカ	<i>Chironomus samoensis</i>	1052	45.4	407	88.7
ヤハズユスリカ	<i>Procladius sagittalis</i>	22	0.9	30	6.5
ハモンユスリカ	<i>Polypedilum convictum</i>	7	0.3		
シブタニオオヤマユスリカ	<i>Prodiamesa</i> sp.	244	10.5	15	3.3
フサカ	<i>Caoborus</i> sp.	44	1.9		
イトミミズ	<i>Tubifex</i> sp.	919	39.7		
ミドリビル	<i>Batracobdella smaragdina</i>	15	0.6		
オオタニシ	<i>Cipangopaludina japonica</i>	7	0.3		
カラスガイ	<i>Cristaria plicata</i>			7	1.5
合計		2317	100.0	459	100.0

採泥は 6 回行なっている。なお、和名及び学名は原典と同様に記した。

4. 伊豆沼の栄養状態の変化

COD は、湖沼の栄養状態の指標として使われる(田中 1992)。伊豆沼の COD は、平成 13 年度以降年間平均値が 8.8~10.0mg/L の間で推移し、環境省の調査によると、ここ 4 年間連続で日本の湖沼で有機物汚染ワースト 2 位にランクされている(環境省 2007)。しかしながら、昭和 59 年度から平成 1 年度にかけても 8.7~9.6mg/L と近年とほぼ同じ値で推移していた(長谷川 1992)。したがって、COD 値からは、ここ 20 年程で富栄養化が進行したとは言い難い。

現在の伊豆沼の TSI は、クロロフィル a 濃度、セッキ深度から算出すると、それぞれ 65.8, 67.1 であった。これは過栄養湖に近い値ではあるが、富栄養湖の範囲の値である。一方、長谷川(1992)が行なった 1987 年 8 月のクロロフィル a 濃度は、 $20.9 \pm 4.7 \mu\text{g/L}$ (平均 $\pm$ SD)であり、TSI に換算すると 60.4 であった。この値は富栄養湖の範囲の値であるが(Wretzel 2001)、現在の伊豆沼においては、クロロフィル a 濃度が $20 \mu\text{g/L}$ を下回することは稀である(図 5)。また、本研究の 2006 年、2007 年、2008 年における 8 月のクロロフィル a 濃度は、それぞれ $30.7 \pm 1.4 \mu\text{g/L}$, $66.3 \pm 1.2 \mu\text{g/L}$, $34.1 \pm 1.7 \mu\text{g/L}$ であり、1987 年の調査よりも明らかに高い。したがって、クロロフィル a 濃度からは、伊豆沼はここ 20 年程で富栄養化したと言える。

底生動物のユスリカ科幼虫相をみると、現在の伊豆沼ではオオユスリカ幼虫が優占し、アカムシユスリカ幼虫も生息している。Iwakuma et al. (1988)は、TSI が 60 を超える湖沼では、しばしばオオユスリカとアカムシユスリカが優占することを報告している。現在の伊豆沼の栄養状態は、ユスリカ科幼虫相からも富栄養または過栄養であることが示唆される。しかし、1986~1987 年の伊豆沼では、オオユスリカやアカムシユスリカの生息は確認されず、ヒシモンユスリカ、シブタニオオヤマユスリカが多く生息していたため(庄司・宍戸 1992)、当時の湖底環境は、中栄養湖から富栄養湖に相当すると思われる。したがって、ここ 20 年程の間のユスリカ科幼虫相の変化は、伊豆沼が富栄養化してきたことを示唆している。

北川(1978)は、湖底付近の溶存酸素濃度が底生動物の分布を制約するため、湖沼の底生動物相を

決定する重要な要因であるとしている。しかし、伊豆沼は水深 1~2m の浅い湖沼であるためにしばしば風で湖水が攪拌されるため、成層することは少なく(図 4)、したがって湖底の溶存酸素濃度が低下することは少ない。けれども、本研究で見つかった種類の多くは貧酸素耐性を持つ。オオユスリカ幼虫、アカムシユスリカ幼虫はエリトロクルオリンという血色素を有しているため、低酸素に強い(北川 1994)。モンユスリカ属の幼虫は 3 対の肛鰓を有し、酸素の吸収効率を良くしている(北川 1994)。したがって、ここ 20 年程で底生動物相は、より貧酸素耐性を持つ種類に置き換わったものと考えられる。この結果は、伊豆沼の湖底環境がより貧酸素化していることを示唆している。

湖沼の富栄養化は、栄養塩濃度の増加により引き起こされる。栄養塩が増加すると植物プランクトンが増加し、大量の植物プランクトンの遺骸が湖底に堆積する。この堆積した有機物が分解される過程で酸素が消費され、貧酸素化が起こる。したがって、ここ 20 年ほどでのクロロフィル a 濃度の増加、貧酸素耐性を持つユスリカ幼虫の出現は、伊豆沼の富栄養化に伴う湖底環境の貧酸素化を示唆している。

現在の湖底堆積物の炭素含有率、窒素含有率は、それぞれ 3.8%、0.40%であるが(安野 翔 未発表)、1986 年ではそれぞれ 3.2~3.8%、0.38~0.43%であり(日比野・横山 1992)、現在とほとんど変わらない。しかしながら、ここ 20 年程でクロロフィル a 濃度が増加していることから、湖底への植物プランクトン起源の有機物供給量は増加していると考えられる。植物プランクトンは易分解性有機物を多く含むため、難分解性の植物遺体などに比べて、分解時に酸素を急激に消費すると考えられる。したがって、炭素・窒素含有率には反映されなかったものの、堆積有機物の質的な変化が起こり、湖底環境の貧酸素化が起こった可能性が考えられる。その結果、20 年程の間に富栄養湖に共通して見られる貧酸素耐性を持つユスリカ幼虫に置き換わったものと考えられる。

謝辞

東北大学大学院生命科学研究科の村岡歩氏には調査にご協力頂いた。弘前大学の高大明史氏には、貧毛類に関して貴重な情報、ご示唆を頂いた。大阪府環境農林水産総合研究所水産技術センターの有山啓之氏には、ヨコエビ類の同定をして頂いた。宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団の方々には、調査への暖かいご支援と多くの便宜を図って頂いた。これらの方々に心より感謝の意を表する。本研究の一部は、日本学術振興会科学研究補助金(No. 20570013, No.20570014)によって実施された。

引用文献

- Ariyama, H. 2007. Species of the genus *Kamaka* (Crustacea: Amphipoda: Kamakidae) from Japan: *Kamaka biwae* and *K. morinoi* sp. nov. Species Divers. 12: 141-160.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. Ocean. 22: 361-369.
- 長谷川信夫. 1992. 伊豆沼・内沼の湖水と生物(3)水質. 伊豆沼・内沼環境保全対策検討委員会

- (編). 伊豆沼・内沼環境保全対策に関する報告書. pp. 175-186. 宮城県.
- 日比野紘一郎・横山義秀. 1992. 伊豆沼・内沼の湖水と生物(5) 沼底堆積物. 伊豆沼・内沼環境保全対策検討委員会(編). 伊豆沼・内沼環境保全対策に関する報告書. pp. 201-218. 宮城県.
- 平林公男. 2001. 河口湖のユスリカ類—春季に大発生するヒガシビワヒゲユスリカ—. 近藤繁生・平林公男・岩熊敏夫・上野隆平(編). ユスリカの世界. pp. 21-27. 培風館, 東京.
- 平林公男・木村悟朗・坂井規浩・西川健一・遠藤美那子・井上栄壮・宮原裕一・花里孝幸. 2008. 諏訪湖におけるユスリカ相の変遷 日本陸水学会第 73 回大会 講演要旨集 pp.107.
- Iwakuma, T., Yasuno, M., Sugaya, Y., & Sasa, M. 1988. Three large species of Chironomidae (Diptera) as biological indicators of lake eutrophication. In: Yasuno, M., & Whitton, B. T. (Eds), Biological monitoring of environmental pollution. pp. 101-131. Tokai University Press, Kanagawa.
- 環境省. 2007. 公共用水域の水質測定結果.
<http://www.env.go.jp/water/suiiki/index.html>
- 気象庁. 2008. 過去の気象データ検索. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 北川礼澄. 1978. 底生動物相および底層水の溶存酸素飽和度からみたわが国の湖沼の分類. 陸水学雑誌 39:1-8.
- 北川礼澄. 1994. 生物からのメッセージ 川と湖の博物館 11. ユスリカ. 山海堂, 東京.
- 小林貞・山本優. 2001. ユスリカの分類・形態. 近藤繁生・平林公男・岩熊敏夫・上野隆平 (編). ユスリカの世界. pp. 129-269. 培風館, 東京.
- Nakazato, R., & Hirabayashi, K. 1998. Effect of larval density on temporal variation in life cycle patterns of *Chironomus plumosus* (L.) (Diptera: Chironomidae) in the profundal zone of eutrophic Lake Suwa during 1982-1995. Jpn. J. Limnol. 59: 13-26.
- 中里亮治. 2001. 諏訪湖のユスリカ研究史とその概要. 近藤繁生・平林公男・岩熊敏夫・上野隆平(編). ユスリカの世界. pp. 12-21. 培風館, 東京.
- 中里亮治・土谷卓・村松充・肥後麻貴子・櫻井秀明・佐治あずみ・納屋友規. 2005. 北浦におけるユスリカ幼虫の水平分布と個体数密度の長期変遷. 陸水学雑誌 66:165-180.
- 中里亮治・肥後麻貴子・茨城大学広域水圏センター北浦モニタリンググループ. 2007. 霞ヶ浦(北浦)の沿岸および沖帯のユスリカ—幼虫と成虫のモニタリング— 日本陸水学会第 72 回大会 講演要旨集 pp.175.
- Niitsuma, H. 2001. The immature adult stages of *Tanypus formosanus* (Kieffer) (Diptera: Chironomidae). Species Divers. 6: 65-72.
- 新妻廣美. 2005. モンユスリカ亜科. 川合禎次・谷田一三(編) 日本産水生昆虫 科・属・種への検索. pp. 21044-1058. 東海大学出版会, 神奈川県.
- 大高明史. 2009. 伊豆沼と蕪栗沼からの水生貧毛類の記録. 伊豆沼・内沼研究報告 3:1-11.
- 西條八束・三田村緒佐武. 1995. 溶存酸素. 講談社サイエンティフィク(編). 新編 湖沼調査法. pp. 74-80. 講談社, 東京.

- 庄司定克・宍戸勇. 1992. 伊豆沼・内沼の動物相(e)伊豆沼・内沼のプランクトンおよびベントス. 伊豆沼・内沼環境保全対策検討委員会 (編). 伊豆沼・内沼環境保全対策に関する報告書. pp.143-154. 宮城県.
- 設楽寛. 1992. 伊豆沼・内沼をとりまく社会条件. 伊豆沼・内沼環境保全対策検討委員会(編). 伊豆沼・内沼環境保全対策に関する報告書. pp.155-164. 宮城県.
- 田中正明. 1992. 日本湖沼誌 ―プランクトンから見た富栄養化の現状―. 名古屋大学出版会(編), 愛知県.
- Wretzel, G. R. 2001. Phosphorus and nitrogen loading and algal productivity. In: Limnology (3rd ed). pp. 279-286. Academic Press.
- 安野正之・岩熊敏夫・菅谷芳雄・佐々学. 1983. 日本の各種栄養段階にある湖沼の底生動物—特にユスリカについて. 環境科学研究報告集 B182-R12-17. pp. 21-48.
- Yamagishi, H., & Fukuhara, H. 1972. Vertical migration of *Spaniotoma akamusi* larvae(Diptera: Chironomidae) through the bottom deposits of Lake Suwa. Jpn. J. Ecol. 22: 226-227.

Changes in the trophic state and the benthic fauna in Lake Izunuma,
with special reference to the chironomid species

Natsuru Yasuno^{1*}, Yuki Chiba¹, Tetsuo Shimada², Kentaro Shindo²,
Shuichi Shikano³ & Eisuke Kikuchi³

¹ Graduate School of Life Sciences, Tohoku University
e-mail plumosussia@yahoo.co.jp

2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

² The Miyagi Prefectural Izunuma-Uchinuma Environmental Foundation
17-2 Shikimi, Wakayanagi, Kurihara, Miyagi, 989-5504, Japan

³ The Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University
41 Kawauchi, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8576, Japan

* Corresponding author

Abstract A survey of benthic fauna was carried out from April 2006 to September 2008 at the central point in Lake Izunuma situated in north part of Miyagi prefecture, Japan. A total of 8 taxa were captured; 6 taxonomic groups of Chironomidae (Diptera), Tubificidae spp. (Oligochaeta), and *Kamaka morinoi* Ariyama (Amphipoda). Density of total zoobenthos (mean $\pm$ SD) was 359 ± 329 inds.m⁻². Dominant taxa were two chironomid species, *Chironomus plumosus* (Tokunaga) (152 ± 114 inds.m⁻²) and *Tanytus* sp. (155 ± 239 inds.m⁻²), and Tubificidae spp. (192 ± 114 inds.m⁻²). *Chironomus plumosus* is a biological indicator of eutrophic and hypertrophic lakes. *Prosilocerus akamusi* (Linnaeus) (Chironomidae), a biological indicator of eutrophic and hypertrophic lakes, was also captured in a low densities (6 ± 10 inds.m⁻²). The chlorophyll a concentrations in the lake water were mostly within the range of eutrophic lakes. Carlson's Trophic State Indices (TSI) were calculated from chlorophyll a concentrations and secchi depth, respectively. The TSI values in Lake Izunuma were within the range of eutrophic lakes. Therefore, the present trophic state of Lake Izunuma is determined to be eutrophic from the benthic fauna and water quality. Comparing the present benthic fauna in this study with those from 1986 to 1987, no common taxa of chironomid larvae was found. Because no indicator chironomids of eutrophic or hypertrophic lakes were found in the survey in 1986 and 1987, Lake Izunuma is suggested to be eutrophicated for last 20 years.

Keywords: benthos, chironomids, eutrophication Lake Izunuma-Uchinuma

Received: December 10, 2008 / Accepted: February 7, 2009

*Present address: Fukken Co., Ltd. 2-10-11 Hikarimachi, Higashi-Ku, Hiroshima 732-0052, Japan