

伊豆沼のハス群落拡大に伴う貧酸素化の底生動物群集への影響

安野 翔^{1*}・嶋田哲郎²・芦澤 淳²・星 雅俊²・藤本泰文²・菊地永祐³

¹ 仙台市役所 〒980-0803 宮城県仙台市青葉区国分町 3-7-1

E-mail plumosussia@yahoo.co.jp

² 公益財団法人宮城県伊豆沼・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 宮城教育大学環境教育実践研究センター 〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 149

*責任著者

キーワード: 浅い湖沼 浮葉植物 水生植物 底生動物 抽水植物

2015 年 3 月 31 日受付 2015 年 4 月 28 日受理

要旨 伊豆沼のハス群落において、湖水の貧酸素化の程度とその底生動物群集への影響について調査した。ハス *Nelumbo nucifera* 群落内の溶存酸素濃度は、年間を通して群落外よりも低い傾向にあった。特に 2013 年 8 月および 2014 年 9 月は、ハス群落内の湖底付近では、無酸素に近い状態であった。ハス群落の内外で確認された底生動物は、ユスリカ科幼虫 5 種、ネクイハムシ亜科の 1 種 *Donaciinae* sp., グロシフォニ科の 1 種 *Glossiphoniidae* sp., 貧毛綱 *Oligochaeta* spp. の合計 8 分類群であった。2013 年 9 月および 2014 年 8 月の総個体数密度は、ハス群落内外の地点いずれにおいても、調査期間内で最も低くなり (107 個体・m⁻² 以下)、確認された底生動物は、オオユスリカ *Chironomus plumosus*, ネクイハムシ亜科の 1 種、貧毛綱の 3 分類群のみであった。伊豆沼の湖底には、オオユスリカを中心とした貧酸素耐性を有する底生動物が生息しているが、夏季のハス群落内では、それらの生物にとっても生息が困難なほどに著しく溶存酸素濃度が低下していたと考えられる。

はじめに

水生植物は、魚類や無脊椎動物に対して捕食者からの逃げ場所や複雑な生息空間を提供する等、湖沼生態系において重要な機能を担う (Jacobsen & Perrow 1998, Scheffer 1998, Meerhoff et al. 2003)。一方で、抽水植物や浮葉植物が優占すると、群落内の光量が減少して植物プランクトン等の光合成が妨げられたり、湖水の循環や湖水・大気間のガス交換が阻害されることで、群落内部の溶存酸素濃度が低下することがある (Frodge et al. 1990, Caraco et al. 2006)。このような群落内部での溶存酸素濃度低下は、ヒシ *Trapa japonica* (Nishihiro et al. 2014)、オニビシ *T. natans* (田尻ほか 2014)、

ハス *Nelumbo nucifera* (Yamaki & Yamamuro 2013) の他, ガマ属 *Typha* 等の抽水植物 (Bunch et al. 2010) でも報告されている。

溶存酸素濃度 (DO) の低下は, 水生生物の生息を制限する (Diaz & Rosenberg 2008, 丸茂・横田 2012). 通常, DO が 2–3 mg/L 以下の状態になることを貧酸素化と定義する (例えば, Kennish 2002, Diaz & Rosenberg 2008). 海域の魚類や甲殻類, 貝類では, およそ 1.5–3.0 mg/L の DO が致死濃度であることが多い (丸茂・横田 2012). 湖沼の漁場改善技術ガイドライン (水産庁 2009) によると, DO が約 4 mg/L を下回ると魚類や甲殻類に悪影響があり, 約 2 mg/L 以下で貝類・底生魚類の生存が困難となる. さらに, 約 0.8 mg/L 以下になるとすべての底生生物の生存が困難になるとされている. したがって, 貧酸素化が生じた水域では, 生息できる種は貧酸素耐性種に限られることになる (北川 1978, Yamaki & Yamamuro 2013).

宮城県北部に位置する伊豆沼は, 水深が最大でも 1.6 m 程度の浅い富栄養湖である (設楽 1992). 湖内には, ヒシ, ガガブタ *Nymphoides indica*, アサザ *Ny. peltata* 等の浮葉植物の他, インド原産のハスが野生化し, 群落を形成している (宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団 2010). 近年, ハス群落が急速に拡大しており, 2006 年当時は湖面の約 20% がハス群落だったが, 2011 年では約 60% まで拡大している (鹿野秀一 私信). 伊豆沼と同様に浅い富栄養湖である手賀沼では, ハス群落内での貧酸素化が生じていることから (Yamaki & Yamamuro 2013), 伊豆沼においても, ハス群落内での貧酸素化が懸念される。

伊豆沼の湖底には, オオユスリカ *Chironomus plumosus* やアカムシユスリカ *Prosilocerus akamusi* といった貧酸素に強いとされる富栄養湖に特徴的な種類が生息している (安野ほか 2009). しかし, ハス群落内の底生動物はこれまで調査されてこなかった. 本研究では, 伊豆沼のハス群落内と群落外の開放水面において, 底生動物群集を調べ, ハス群落による影響を調査した。

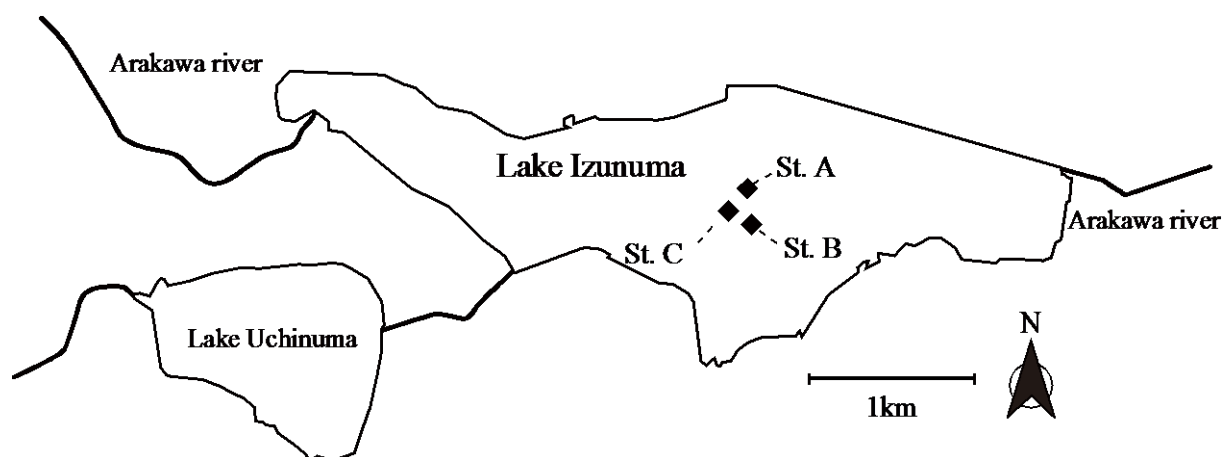


図 1. 調査地点図. 2013 年は St. B はハス群落の外に位置していたが, 2014 年はハス群落拡大のため, 群落内の地点となった。

調査方法

2013年から2014年にかけて合計5回の調査を行なった。2013年には、伊豆沼の中央部のハス群落内部(St. A)およびハス群落外の開放水面の地点(St. B)において、4月、6月、9月、12月に調査を実施した(図1)。2014年には、ハス群落が拡大したことで、St. Bがハス群落内に入ってしまった。そのため、2014年8月にSt. A, St. Bに加え、開放水面であるSt. Cの3箇所でも調査を行なった。St. Bは、2014年にはハス群落の縁から約15 m内側になり、St. Aは、2013～2014年の調査期間を通じてハス群落の縁から約100 m内側に位置していた(図2)。

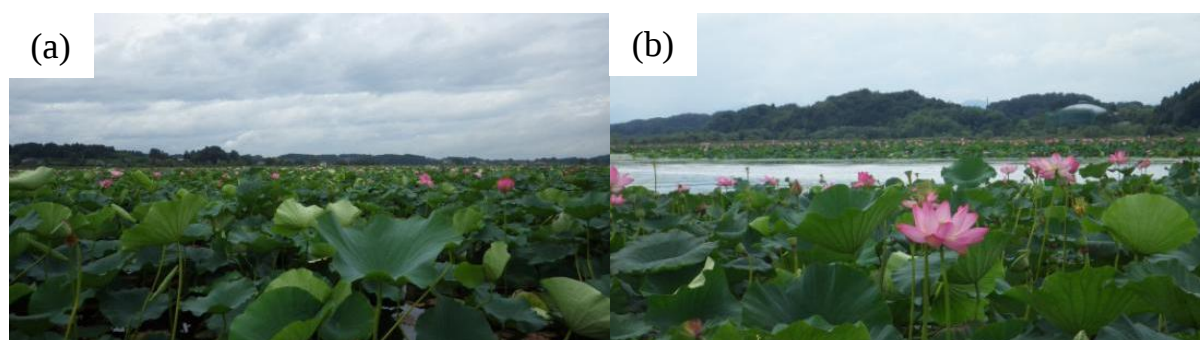


図2. ハス群落内の調査地状況. (a) St. A, (b) St. B(2014年8月21日撮影). St. Aは、南側のハス群落の縁から約100 m内側に位置する. St. Bは、2014年では北側の群落の縁から約15 m内側に位置する.

水深を測定した後、溶存酸素濃度測定器(HACH社製 HQ30d)を用いて表層から20 cmごとに深度別の水温およびDOを測定した。ただし、2013年4月の調査では、表層のみDOを測定した。

底生動物の採集にはエクマンバージ採泥器(15 cm × 15 cm)を用いた。1地点当たり5回の採泥を行ない、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週間以上かけて固定した後で、底生動物を取りだし、70%エタノール中に保存した。採集された底生動物の分類群は、昆虫綱(ユスリカ科幼虫、ネクイハムシ科幼虫)、貧毛綱、ヒル綱であった。ユスリカ科幼虫については、日本ユスリカ研究会(2010)に従いオオユスリカ、アカムシユスリカと、それ以外の属に同定し、計数した。ネクイハムシ亜科の1種幼虫、グロシフォニ科(ヒル綱、吻蛭目)、貧毛綱については、それ以上同定を行わずに全体として計数した。

結果

1. 水温と溶存酸素濃度の鉛直分布

湖水の水温には、いずれの季節でもSt. A(ハス群落内)とSt. B(ハス群落外)でほとんど差はなく、また、いずれの地点においても深くなるほど低下する傾向はみられたが、表層と湖底直上でほとんど差はなく、水温躍層は認められなかった(図3)。一方、溶存酸素濃度(DO)には、2013年12月を除いて、表層から湖底直上にかけて顕著な低下が見られ、2013年12月を加えいずれの季節においてもハス群落内

(St. A)で群落外(St. B)よりも低い傾向が見られた(図3)。2014年8月では、いずれの深度のDOにおいても、St. C, St. B, St. Aの順に値が低くなっており、ハス群落の外側から内側に向かってDOが低下する傾向が認められた。ただし、2013年4月には表層DOしか計測しておらず、St. A(ハス群落内)で9.35 mg/L, St. B(ハス群落外)で9.78 mg/Lであった。夏季(2013年9月, 2014年8月)の湖底付近でのDO低下は顕著であり、いずれの地点においても最深部では2 mg/Lを下回っており、特にハス群落内(St. A, 2014年8月のSt. B)の最深部では、0.5 mg/Lと著しい貧酸素化が認められた。

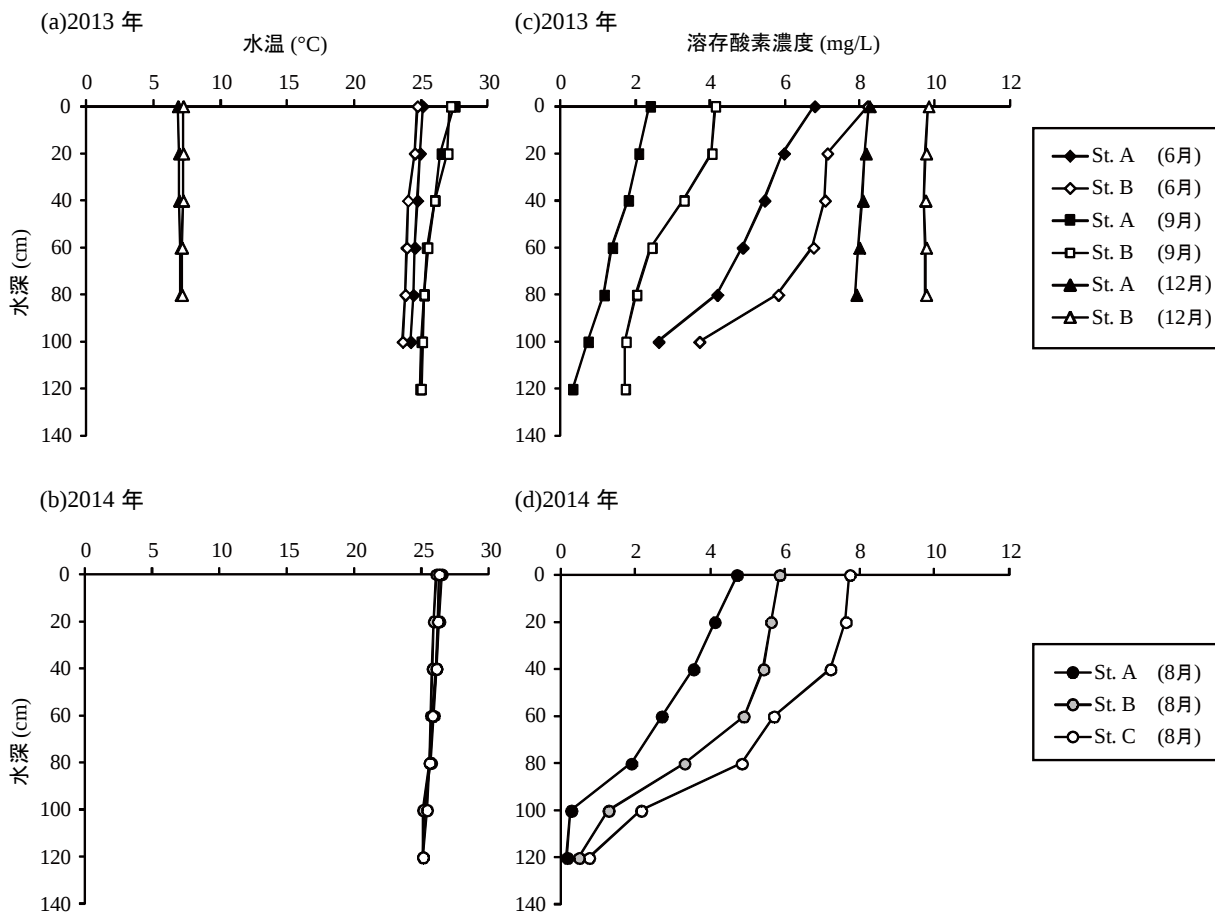


図3. 水温と溶存酸素濃度の鉛直分布. (a)2013年, (b)2014年の水温の鉛直分布, (c)2013年, (d)2014年の溶存酸素濃度の鉛直分布. 水温, 溶存酸素濃度については、表層から20 cmごとに計測した。

2. ハス群落内外の底生動物相

調査期間を通して確認された底生動物は、ユスリカ科幼虫が5種(オオユスリカ, クロユスリカ属の1種 *Einfeldia* sp., カユスリカ属の1種 *Procladius* sp., カスリモンユスリカ属の1種 *Tanypus* sp., アカムシユスリカ), ネクイハムシ亜科の1種 *Donaciinae* sp., グロシフォニ科の1種 *Glossiphoniidae* sp., 貧毛綱の合計8分類群であった(表1)。一定の調査地点のみに出現した分類群は、2013年9月のSt. Bにのみ出現したカスリモンユスリカ属の1種だけであった。ネクイハムシ亜科の1種は主にハス群落内(St. A)に出現し、その他には2014年8月に開放水面のSt. Cに少数出現しただけだった。複数種が含まれ

表 1. 各地点での底生動物の個体数密度. St. B は, 2013 年にはハス群落外に位置していたが, 2014 年にハス群落が拡大したことで, 群落内の地点となった.

和名	学名	2013/4/13		2013/6/15		2013/9/1	
		St. A	St. B	St. A	St. B	St. A	St. B
		120	130	125	130	135	130
個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)
(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)
ユスリカ科							
オオユスリカ	<i>Chironomus plumosus</i>	98 ± 58	213 ± 73	160 ± 81	124 ± 73	53 ± 80	116 ± 60
クロユスリカ属の1種	<i>Einfeldia</i> sp.	80 ± 106	27 ± 40	36 ± 58	0 ± 0	0 ± 0	9 ± 20
カスリモンユスリカ属の1種	<i>Tanytus</i> sp.	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	9 ± 20
カユスリカ属の1種	<i>Procladius</i> sp.	18 ± 24	62 ± 40	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
アカムシユスリカ	<i>Prosilocerus akamusi</i>	18 ± 40	9 ± 20	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
ネクイハムシ科							
ネクイハムシ亜科の1種	<i>Donaciinae</i> sp.	0 ± 0	0 ± 0	27 ± 24	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
吻蛭目							
グロシフォニ科の1種	<i>Glossiphoniidae</i> sp.	18 ± 40	0 ± 0	44 ± 44	9 ± 20	0 ± 0	0 ± 0
貧毛綱の複数種	<i>Oligochaeta</i> spp.	204 ± 236	142 ± 101	18 ± 24	178 ± 224	53 ± 119	116 ± 74
合計		436 ± 250	453 ± 58	284 ± 120	311 ± 194	107 ± 193	249 ± 120

和名	学名	2013/12/7		2014/8/21		2014/8/21	
		St. A	St. B	St. A	St. B	St. C	
		95	100	130	125	130	
個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)	個体数密度(m ⁻²)
(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)	(平均±1SD)
ユスリカ科							
オオユスリカ	<i>Chironomus plumosus</i>	373 ± 174	364 ± 115	0 ± 0	62 ± 40	27 ± 24	
クロユスリカ属の1種	<i>Einfeldia</i> sp.	18 ± 40	373 ± 342	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	
カスリモンユスリカ属の1種	<i>Tanytus</i> sp.	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	
カユスリカ属の1種	<i>Procladius</i> sp.	27 ± 60	18 ± 24	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	
アカムシユスリカ	<i>Prosilocerus akamusi</i>	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	
ネクイハムシ科							
ネクイハムシ亜科の1種	<i>Donaciinae</i> sp.	36 ± 80	0 ± 0	18 ± 24	0 ± 0	9 ± 20	
吻蛭目							
グロシフォニ科の1種	<i>Glossiphoniidae</i> sp.	9 ± 20	9 ± 20	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	
貧毛綱の複数種	<i>Oligochaeta</i> spp.	53 ± 80	293 ± 74	0 ± 0	9 ± 20	71 ± 67	
合計		516 ± 320	1058 ± 336	18 ± 24	71 ± 51	107 ± 74	

ていると考えられる貧毛綱(9-293 個体・m⁻²)を除けば, いずれの地点でもオオユスリカが優占していた(27-373 個体・m⁻²). クロユスリカ属の1種は, ほとんどの月ではごく低密度(80 個体・m⁻²以下)であったが, 2013 年 12 月の St. B では, オオユスリカと同等の高密度(373 個体・m⁻²)で出現した. その他の種では, 62 個体・m⁻²以下と低密度であった.

底生動物の個体数密度が最大となったのは, 2013 年 12 月であった. St. B で 1058 ± 336 個体・m⁻²に達し, St. A(516 ± 320 個体・m⁻²)の約 2 倍の密度であった. 次いで個体数が多かったのは 2013 年 4 月であり, 夏季に向かって個体数密度の減少傾向が認められた.

夏季には, ハス群落内ではハス群落外よりも個体数密度が低い傾向が見られた. 2013 年 9 月では, 群落外の St. B では 249 ± 120 個体・m⁻²であったのに対し, 群落内の St. A では 107 ± 193 個体・m⁻²と低い値であった. 2014 年 8 月では, いずれの地点でも個体数密度は低いが, ハス群落外の St. C(107 ± 74 個体・m⁻²), ハス群落内の外側である St. B(71 ± 51 個体・m⁻²), ハス群落内の St. A(18 ± 24 個体・m⁻²)と, 群落の外から内へと個体数密度が減少する傾向が認められた. 特に St. A では, St. B, St. C で出現したユスリカ亜科幼虫を欠き, ネクイハムシ亜科の1種のみが出現した.

考察

1. ハス群落内外の溶存酸素濃度

今回調査したいずれの地点においても, 夏季(2013 年 9 月, 2014 年 8 月)に湖底付近での酸素濃度

の低下が認められ、湖底付近の DO は 2 mg/L を下回った。安野ほか(2009)が今回の St. B (ハス群落外)で 2006 年から 2008 年にかけて調査した結果では、降雨の影響で極端に水位が上昇した 2008 年 8 月を除けば、湖底付近であっても DO が 4 mg/L を下回ることには無かった。2006 年当時は、ハス群落が湖面を占める割合は約 20%程度であったが、現在では 60%を超えている(鹿野秀一 私信)。ハス群落が発達すると、風が遮られ湖水が攪拌されにくくなる。そのため、ハス群落の外であっても、2006~2008 年当時に比べて湖水が攪拌されにくくなった結果、夏季に湖底付近での貧酸素化がより起こりやすくなったと考えられる。

夏季のハス群落内部では、群落外に比べてより顕著な貧酸素化が生じた。2013 年 9 月の St. A では、水深 100 cm (湖底から 35 cm) 以深の溶存酸素濃度が、「すべての底生生物の生存が困難になる(水産庁 2009)」とされている 0.8 mg を下回っていた。2014 年 8 月では、前年までハス群落の外であった St. B が群落の中に入ってしまったため(ハス群落の縁まで約 15 m)、ハス群落の外に St. C を新設することになった。2014 年 8 月の DO を 3 地点間で比較すると、群落の最も内側に位置する St. A (群落の縁から約 100 m) が最も貧酸素化し、次いで St. B、St. C というように、群落の内側であるほど貧酸素化している傾向が認められた。したがって、同じハス群落内の地点であっても、場所によって貧酸素化の程度が異なることが伺える。ただし、溶存酸素濃度の測定結果は、あくまで調査時の瞬間値であるため、貧酸素がどの程度の期間にわたって続いているのかは不明である。特に、夜間には表層水が冷やされることで、底層水との間で混合され、湖底に酸素が供給されている可能性も考えられる。そのため、貧酸素化の影響をより詳細に把握するためにも、ある程度の期間に渡っての連続観測が求められる。

夏季にハスが湖面を覆うことで、植物プランクトンの光合成が阻害され、風による湖水の攪拌が緩和されるために、貧酸素化が生じると考えられる。しかし、ハスが枯死した後の 2013 年 12 月においても、群落内(St. A)では群落外(St. B)よりも低い DO を示した。夏季にハスが繁茂していた St. A では、枯死体が湖底に堆積しており、冬季であっても有機物分解によって酸素が消費されることで、群落外より DO が低下したのかもしれない。調査時は穏やかな天候であったが、伊豆沼では冬季に強い西風が吹くことから、このような状況が一般的かどうかは不明である。

2. ハス群落内外の底生動物相と 2006 年からの変化

今回の調査では、ユスリカ科幼虫が 5 分類群、ネクイハムシ亜科 1 分類群、グロシフォニ科の 1 種、貧毛綱の合計 8 分類群が確認された(表 1)。富栄養湖に特徴的なオオユスリカは、いずれの地点においても優占し、同様に富栄養湖の指標種であるアカムシユスリカは、2013 年 4 月のみ St. A、St. B にて確認された。これは、2006 年~2008 年にかけて St. B で行なった安野ほか(2009)との調査結果と同様である。一方、かつて優占種の一つであったカスリモンユスリカ属の 1 種(安野ほか(2009)ではモンユスリカ属の 1 種と表記)は、2013 年 9 月に St. B でごく低密度(8.9 個体・m⁻²)での確認に留まった。今回新たにクロユスリカ属の 1 種が採集され、2013 年 12 月の St. B では、優占種のオオユスリカ(364.4 個体・m⁻²)と同等の高密度(373.3 個体・m⁻²)で生息していた。諏訪湖では、クロユスリカ *E. dissidens* が、砂~シルト質の沿岸部の湖底に生息しているが(Nakazato et al. 1998)、今回の調査地点は、いずれも泥質であり、諏訪湖とは状況が異なる。クロユスリカ属の 1 種が今回の調査で新たに確認され、比較的高密度で確認された月も出てきた一方で、安野ほか(2009)の調査で優占種だったカスリモンユスリカ属の 1 種がごく低密度でしか出現していないことを考えると、ここ 5 年ほどでハス群落外(St. B)の湖底環境に何ら

かの変化が生じた可能性が考えられる。

グロシフォニ科の 1 種およびネクイハムシ亜科の 1 種が、今回新たに確認された(表 1)。ヒル類であるグロシフォニ科の生態は、ごく一部の種を除いて分かっていない。しかし、一般的には、水底の石や落ち葉等の基質に吸盤で貼り付いている(伊藤 2010)。伊豆沼の湖底は泥であるが、ハス群落拡大に伴い、ハスやその枯死体が増えることで、本種の生息場所が拡大しているのかもしれない。

ネクイハムシ亜科の食草は、種ごとにある程度決まっている。ハスを食草とするのは、イネネクイハムシ *Donacia provostii* であることから(林 2005)、今回採集された幼虫は当該種だと思われる。名前のとおり、イネ *Oryza sativa* を食草とし、他にもヒシ、ガガブタといった伊豆沼に生育する植物も食草となり得る。実際に、伊豆沼周辺ではイネネクイハムシがごく普通に見られる(宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団 2011)。イネネクイハムシは、水中で幼虫越冬することから(小池 2005)、乾田化された水田では越冬できない。そのため、近年ハス群落が拡大した伊豆沼は、周辺地域のイネネクイハムシ個体群の越冬場所として機能しているのかも知れない。

3. 貧酸素化による底生動物への影響

底生動物は、ハス群落内外の地点ともに夏季(2013 年 9 月, 2014 年 8 月)に最も低密度となった(表 1)。夏季には、湖底付近の DO が顕著に低下していたことから、貧酸素化により底生動物が生息を制限されていると考えられる。2013 年 9 月と 2014 年 8 月にハス群落内(St. A)で採集された底生動物は、オオユスリカ、ネクイハムシ亜科の 1 種、貧毛綱の 3 分類群だけであった。このうちオオユスリカは、最も貧酸素耐性のあるユスリカ科幼虫の 1 つであるが(安野ほか 1983)、同地点での夏季の出現状況は、2013 年 9 月ではごく低密度(53 ± 80 個体・ m^{-2})、2014 年 8 月では全く確認されなかった。一方、2014 年 8 月に St. A で唯一確認されたネクイハムシ亜科の 1 種は、尾端の爪状突起を差し込んで植物組織から酸素を得て呼吸するため(林 2005)、顕著に貧酸素化した環境でも生息することができる。したがって、夏季の St. A では、ほとんどの底生動物にとって生息が困難なほどに貧酸素化していたと考えられる。ただし、本研究では底生動物の採集にエクマンバーge採泥器を用いているため、堆積物表層から十数 cm の深さまでしか採集できていない。伊豆沼には、アカムシユスリカとフユナガレイトミズが生息しており(大高 2009, 安野ほか 2009)、夏季に 1 m 近くまで底泥に潜り込んで夏眠をすることが知られている(Yamagishi & Fukuhara 1972)。そのため、夏季のハス群落内であっても、表層から 20 cm 以上の深さの底泥中にこれらの種が生息している可能性はある。

今回の調査結果では、夏季の底生動物の個体数密度は、ハス群落外の地点でも年間で最も低い値であった。夏季の個体数密度減少の要因の 1 つとして、優占種のオオユスリカの減少が挙げられる。羽化期になると、幼虫個体群からの逸出が起こるため、幼虫の個体数密度は低下する。オオユスリカの羽化は、年に 2~3 回見られ、諏訪湖の場合、8~9 月頃が羽化期に当たる(Nakazato & Hirabayashi 1998)。伊豆沼における夏季の幼虫減少も、貧酸素化だけでなく、羽化による幼虫個体群からの逸出の影響も受けている可能性がある。

近年の伊豆沼では、ハス群落が急速に拡大しており、湖面の大部分が覆われるようになった。ハス群落拡大によって沈水植物が消失したり(藤本 2011)、群落内の貧酸素化およびその影響による生息魚類の種多様性の減少(Yamaki & Yamamuro 2013)という事例もあることから、湖沼生態系に様々な影響を及ぼすと考えられる。本研究は、夏季のハス群落内の湖底付近において貧酸素化が生じていること、

群落内に生息する底生動物は一部の種に限られ、ごく低密度に過ぎないことを示した。今後、ハス群落による影響を把握するために、様々な視点からの調査研究が望まれる。

謝辞

伊豆沼・内沼環境保全財団の方々には、調査に際して多くの便宜を図って頂きました。東北大学東北アジア研究センターの鹿野秀一博士には、伊豆沼のハス群落面積の情報を提供して頂きました。匿名査読者の方には、内容を改善する上で貴重なご指摘を頂きました。記して感謝申し上げます。

引用文献

- Bunch, A. J., Allen, M. S., & Gwinn, D. C. 2010. Spatial and temporal hypoxia dynamics in dense emergent macrophytes in a Florida lake. *Wetlands* 30: 429-435.
- Caraco, N., Cole, J., Findlay, S., & Wigand, C. 2006. Vascular plants as engineers of oxygen in aquatic systems. *BioScience* 56: 219-225.
- Diaz, R. J. & Rosenberg, R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321: 926-929.
- Frodge, J. D., Thomas, G. L. & Pauley, G. B. 1990. Effects of canopy formation by floating and submergent aquatic macrophytes on the water quality of two shallow Pacific Northwest lakes. *Aquat. Bot.* 38: 231-248.
- 藤本泰文. 2011. 伊豆沼・内沼に隣接するため池で観察されたハス *Nelumbo nucifera* の分布拡大にもなうコウガイモ *Vallisneria denseserrulata* 群落の消失. 伊豆沼・内沼研究報告 5: 13-20.
- 林 成多. 2005. Web 版ネクイハムシ図鑑. (オンライン)
<http://www.green-f.or.jp/heyahayashi/nekuizukan/nekuizukan-top.html>, 参照 2015-03-01.
- 伊藤哲也. 2010. ヒルの環境指標性—分類・生態的基礎知見を踏まえて—. 谷田一三(編). 環境 Eco 選書 2 河川環境の指標生物学. pp. 103-112. 北隆館, 東京.
- Jacobsen, L. & Perrow, M. R. 1998. Predation risk from piscivorous fish influencing the diel use of macrophytes by planktivorous fish in experimental ponds. *Ecol. Freshw. Fish.* 7: 78-86.
- Kennish, M. J. 2002. Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environ. Conserv.* 29: 78-108.
- 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.
- 小池賢治. 2005. ハスを加害するイネネクイハムシの発生消長と産卵能力. 北陸病害虫研究会報 54: 59-63.
- 丸茂恵右・横田瑞郎. 2012. 貧酸素水塊の形成および貧酸素の生物影響に関する文献調査. 海洋生

- 物環境研究所研究報告 15: 1-21.
- Meerhoff, M., Mazzeo, N., Moss, B. & Rodríguez-Gallego, L. 2003. The structuring role of free-floating versus submerged plants in a subtropical shallow lake. *Aquat. Ecol.* 37: 377-391.
- 宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団. 2010. 伊豆沼・内沼産植物リスト. 伊豆沼・内沼研究報告 4: 41-61.
- 宮城県伊豆沼・内沼環境保全財団. 2011. 伊豆沼・内沼産昆虫リスト. 伊豆沼・内沼研究報告 5: 37-56.
- Nakazato, R., Hirabayashi, K. & Okino, T. 1998. Abundance and seasonal trend of dominant chironomid adults and horizontal distribution of larvae in eutrophic Lake Suwa, Japan. *Jpn. J. Limnol.* 59: 443-455.
- 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.
- 日本ユスリカ研究会. 2010. 図説 日本のユスリカ. 文一総合出版, 東京.
- Nishihiro, J., Kato, Y., Yoshida, T. & Washitani, I. 2014. Heterogeneous distribution of a floating-leaved plant, *Trapa japonica*, in Lake Mikata, Japan, is determined by limitations on seed dispersal and harmful salinity levels. *Ecol. Res.* 29: 981-989.
- 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.
- Scheffer, M. 1998. *Ecology of shallow lakes*. Chapman Hall, London, UK.
- 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, 宮城.
- 水産庁. 2009. 湖沼の漁場改善技術ガイドライン. 水産庁, 東京.
- 田尻浩伸・松本潤慶・田米希久代・中野夕紀子. 2014. ラムサール条約湿地・片野鴨池の溶存酸素量の経時変化と水生植物の関係. 伊豆沼・内沼研究報告 8: 23-34.
- 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.
- Yamaki, A. & Yamamuro, M. 2013. Floating-leaved and emergent vegetation as habitat for fishes in a eutrophic temperate lake without submerged vegetation. *Limnology* 14: 257-268.
- 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: 21-48.
- 安野 翔・千葉友紀・嶋田哲郎・進東健太郎・鹿野秀一・菊地永祐. 2009. 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. 伊豆沼・内沼研究報告 3: 49-62.

Influence of hypoxia related to the expansion of lotus vegetation on benthic invertebrate community in Lake Izunuma

Natsuru Yasuno^{1*}, Tetsuo Shimada², Jun Ashizawa², Masatoshi Hoshi²,
Yasufumi Fujimoto² & Eisuke Kikuchi³

¹ Sendai City Hall. 3-7-1 Kokubun-cho, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-0803, Japan
E-mail plumosussia@yahoo.co.jp

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

³ Environmental Education Center. Miyagi University of Education.
149 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai 980-0845, Japan

* Corresponding author

Abstract We investigated the degree of hypoxia in lotus *Nelumbo nucifera* vegetation rich areas and its influence on the benthic invertebrate community in Lake Izunuma. Dissolved oxygen concentrations (DO) in areas with high lotus vegetation density tended to be lower than those in areas with open surface water. Lake bottom water in the lotus vegetated areas became hypoxic in September 2013 and August 2014. A total of 8 taxa were captured in and out of the vegetation; 5 species of Chironomidae (Diptera), Donaciinae sp. (Chrysomelidae), Glossiphoniidae sp., and Oligocheata spp. In August 2014, the total density of benthic invertebrates became lowest (< 107 ind. m⁻²) in all stations, and only 3 taxa were captured: *Chironomus plumosus* (Chironomidae), Donaciinae sp. and Oligocheata spp. Even though the benthic invertebrate community was composed of low oxygen tolerant species such as *Chironomus plumosus*, they could not inhabit the areas with lotus vegetation due to extreme hypoxia during the summer.

Keywords: aquatic insects, benthic invertebrates, emergent plants, floating leaved plants, shallow lake

Received: March 31, 2015 / Accepted: April 28, 2015