

Short Report

八郎湖底質環境の空間特性の解明に関する現地実証的研究

高濃度酸素水供給下のシジミ成育試験も踏まえた水質・底質改善の検討

早川敦¹，狐塚菜奈子¹，近藤正²，

¹ 秋田県立大学生物資源科学部生物環境科学科

² 秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科

富栄養化が進行する八郎湖では夏季にアオコが発生する等、水質汚濁が深刻である。多くの閉鎖性水域では、底層の貧酸素化により、リンの溶出、硫化水素やメタンガスの発生、有害金属の溶出等の問題を抱えている。八郎湖の第2期湖沼水質保全計画では、底層の貧酸素化に起因した水質改善を目的とした高濃度酸素水導入や湖内浄化対策としてシジミ等による浄化試験が実施が決まった。シジミの生育には底層のDO濃度、底質の粒径と有機物含量を示す強熱減量が影響する。しかし、八郎湖内の底質環境の実態はほとんど明らかにされていないのが現状である。本研究では八郎湖の底質環境の空間特性とその要因の解明を目的とする。同時に高濃度酸素水を供給した豊川とその対照河川である井川でシジミ成育試験も実施した。その結果、八郎湖の湖心および大久保湾における底層の貧酸素化と底質中の高い強熱減量、粘土含量という底質環境の実態を明らかとした。また一部ではあるがシジミ生育に好適な場があることも判明した。成育試験での低いシジミの生存率は、底質の高い強熱減量と粘土含量によると考えられた。

キーワード：ヤマトシジミ，低質，八郎湖，高濃度酸素水，DO，強熱減量

富栄養化が進行する八郎湖では、夏季にアオコが発生する等、水質汚濁が深刻である。多くの閉鎖性水域では、底層の貧酸素化により、リンの溶出、硫化水素やメタンガスの発生、有害金属の溶出等の問題を抱えている。八郎湖に関わる第2期湖沼水質保全計画では、底層の貧酸素化に起因した水質改善を目的に、高濃度酸素水導入による試験や湖内浄化対策としてシジミ等による浄化試験を実施することになった。シジミの生育には底層のDO濃度、底質の粒径と有機物含量を示す強熱減量が影響する。しかし、八郎湖内の底質環境の実態はほとんど明らかにされていないのが現状である。

そこで、本研究では八郎湖の底質環境の空間特性とその要因の解明を目的とする。同時に高濃度酸素水を供給した豊川とその対照河川である井川のそれぞれ河口付近においてヤマトシジミの成育試験を実

施した。また環境要素として対象区付近の八郎湖調整池域に流入する豊川と井川を含む4河川（馬場目川、井川、豊川、馬踏川）について、湖水の背水の影響の少ない河口から約1km上流地点の河川水質を測定した。

方法

八郎湖の湖底環境の理化学性評価

試料の採取

2014年8月19日から21日にかけて八郎湖内47地点で、同年10月16日にシジミ漁の盛んな小川原湖17地点で底質を採取した。採取した底質はチャック付きポリ袋に入れ持ち帰り、風乾後、2mmのふるいを通して粉碎した。

分析方法

現地環境条件測定.

各地点で、深度、DO、水温を測定した。

強熱減量.

風乾土を乾燥機で110℃、10時間以上炉乾した後、750℃のマッフル炉で1時間加熱した。加熱前後の重量差を強熱減量とした。

粒径組成.

ふるい分け法と沈底法により、底質中の砂・粘土・シルトの割合を測定した。

TS, TP.

TSは硫黄分析計を用いて、TPはフッ酸・硝酸・過塩素酸分解した後、ICP発光分析法で定量した。

流入河川の水質変動測定

測点.

観測点を図1に示す。八郎湖、調整池域東側に流入する4河川は流入21河川のうち流域面積で1,3,6,4位(馬場目川199.5,井川39.9,豊川25.6,馬踏川35.6km²)で八郎湖への水質的影響の大きい河川といえる。

観測項目.

測定項目は現地測定項目として水温、EC、pH、DO、透視度を、採水後実験室でT-N、T-P、SSをそれぞれJIS-K0102による紫外線吸光度法、ペルオキシ二硫酸カリウム分解法、ガラス繊維ろ紙による濾過吸着により分析測定した。

観測期間.

2015年1月から12月までの測定結果を示す。測定間隔は2~4日に1回程度で、降雨流出直後などではできるだけ1日1回の計測・採水を行うものとした。

シジミの生育試験

試験地の概要.

高濃度酸素水供給装置を設置した豊川河口(以下、試験区)と、豊川と流域規模の類似した井川河口(以下、対照区)の2地点で実施した。

試験方法.

2種類の方法を用いて生育試験を行った。1つは塩ビパイプ(50×50cm)とメッシュネットを組み合わせた籠(図2左)の中にシジミを100個体入れ、5連ずつ計10個の籠を試験区と対象区に沈めた。こ

の方法では乱さない現状の低質にシジミを設置することができるものの、シジミが底質に接触する上でネットによる制限がある(制限あり底質接触法)。特に網目幅5mmを越える有機物等の堆積が河床表面にある場合は、潜り込みの障害になる可能性がある。



図1 河川水質測点およびシジミ生育試験実施地点

他方は、底質(試験区の底質)を厚さ約7cmに敷いた27.5L容のケース(図2右)にシジミ150個体を敷き詰め、ケースをメッシュネットで覆った後、ケース計10個を試験区に沈めた。この方法ではシジミが自由に底質を行き来することができる(制限なし底質接触法)が、乱した状態からの設置となる。



制限あり底質接触法



制限なし底質接触法

図2 シジミの現地設置方法

試験期間.

制限あり底質接触法の現地生育試験は、8月4日から12月26日まで、制限なし底質接触法を用いた生育試験は、9月19日から12月12日まで対象区において実施し、月1回生存数を確認した。

結果・考察

湖底環境の理化学的性質

八郎湖の下層DO濃度の中央値は5.6mg/L(0.02~9.3mg/L)であり(表1)、湖心と大久保湾で低かった(図3a)。この地点の水深は深く(図

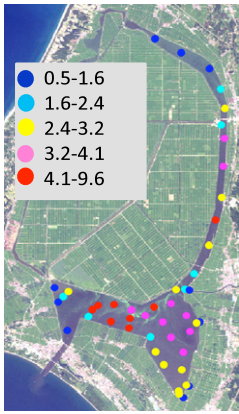


図 3a 水深[m]

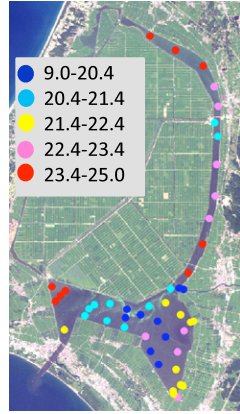


図 3b 下層水温 [°C]

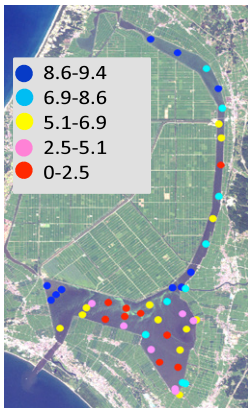


図 3c 下層 DO 濃度 [mg/L]

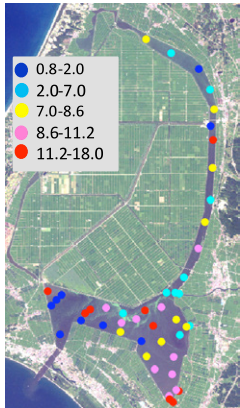


図 3d 強熱減量[%]

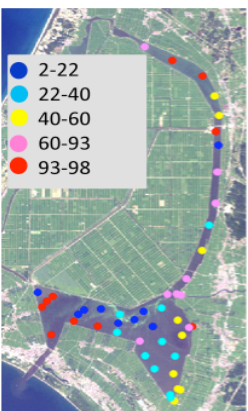


図 3e 底質の砂率[%]

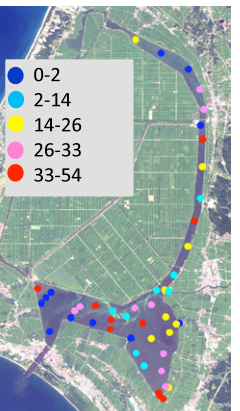


図 3f 粘土率[%]

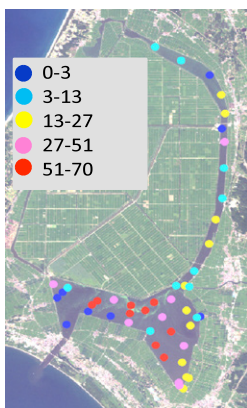


図 3g シルト率[%]

2 b), 下層の水温は低い (図 3 c). DO 濃度と水深 ($r = -0.69, p < 0.001$), 水温 ($r = 0.61, p < 0.001$) の間に有意な相関が認められ (表 2), 水温躍層による嫌気化の進行と考えられた.

底質の分析項目のうち, 粘土, シルト, 強熱減量, TP, TS は南部排水機場, 湖心, 大久保湾で高い傾向があった. 八郎湖内の強熱減量は, 中央値 8.2% (0.8~14.1%) であり (表 1), 湖心と大久保湾, 南部排水機場付近で高かった (図 3d). 小川原湖での強熱減量の中央値は 1.9% (0.6~18.0%) であり (表 1), 八郎湖の強熱減量は小川原湖よりも有意に高かった. 粘土含量の中央値は 2.4% (0.03%~53.1%) であり (表 1), 強熱減量と同様に湖心, 南部排水機場付近, 大久保湾で高い傾向にあった (図 3e). また統計解析の結果, 粘土, シルトと強熱減量, TS, TP の間にはそれぞれ有意な相関が認められた (表 2).

シジミ生育試験区の強熱減量は試験区, 対象区それぞれで 6.2%, 10.0%, 粘土は 7.7%, 16.6%, シルトは 5.8%, 17.9%, DO 濃度は 7.7 mg/L, 8.8 mg/L であった.

八郎湖底質環境の空間特性とシジミ生育に好適な場

粒子は一般に水の流れに伴い粒子の大きなものから沈降・堆積していくため, 流れが速い所では粒子の大きな礫や砂等が沈降し, 流れが緩やかな所では, 粒子の小さな粘土やシルトが沈降・蓄積しやすいことが考えられる (吉村,1976). よっ

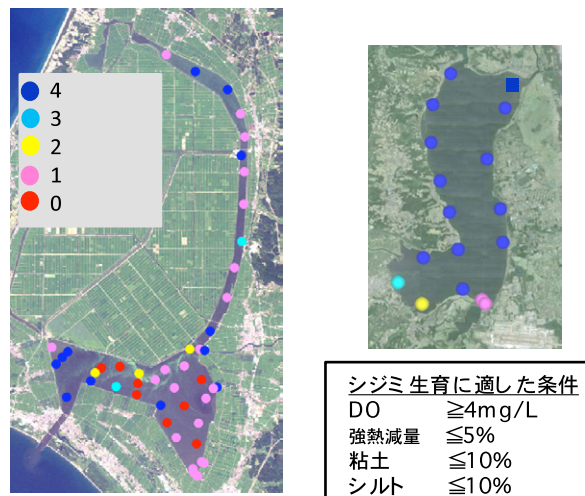


図 4 シジミ生育好適条件の分布 (左:八郎湖 右:小川原湖)

表 1 八郎湖および小川原湖の湖底環境 (八郎湖 n=47, 小川原湖 n=17)

	水深 (m)	水温 (°C)	DO (mg/L)	強熱減量 (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	TS (g/kg)	TP (g/kg)
八郎湖									
中央値	2.70	22.50	5.62	8.23	54.11	21.46	22.38	1.17	0.77
最大値	9.60	25.00	9.31	14.12	97.89	69.72	53.14	6.34	2.28
最小値	0.50	19.20	0.02	0.85	2.28	1.10	0.05	0.01	0.00
平均値	3.21	22.18	5.51	7.42	54.00	25.76	20.29	1.45	0.75
標準偏差	2.01	1.72	2.92	4.18	31.93	21.74	15.17	1.30	0.48
小川原湖									
中央値	5.10	16.10	10.32	1.99	96.95	1.76	1.01	0.76	
最大値	9.50	16.50	10.77	18.01	99.49	62.06	23.78	8.80	
最小値	1.00	0.68	0.38	0.60	21.09	0.25	0.25	0.08	
平均値	4.65	15.89	10.24	4.02	86.94	8.89	4.17	1.74	
標準偏差	2.45	0.68	0.38	5.22	21.09	17.25	7.33	2.77	

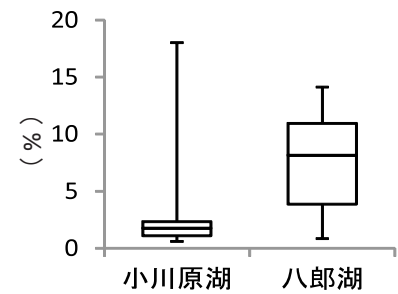


図 5 湖沼間の強熱減量 (%) 比較

表 2 八郎湖内測定項目間の相関行列 (Spearman の順位相関係数)

	水温	水深	DO	強熱減量	粘土	シルト	砂	TS	TP
水温	1.00								
水深	-0.47 ***	1.00							
DO	0.61 ***	-0.69 ***	1.00						
強熱減量	-0.26	0.38 **	-0.32 *	1.00					
粘土	-0.09	0.41 **	-0.27	0.84 ***	1.00				
シルト	-0.48 ***	0.64 ***	-0.52 ***	0.79 ***	0.65 ***	1.00			
砂	0.42 **	-0.61 ***	0.46 **	-0.87 ***	-0.91 ***	-0.95 ***	1.00		
TS	-0.17	0.39 **	-0.37 *	0.84 ***	0.69 ***	0.71 ***	-0.77 ***	1.00	
TP	-0.48 ***	0.37 *	-0.33 *	0.54 ***	0.64 ***	0.70 ***	-0.67 ***	0.43 **	1.00

***p < 0.001、**p < 0.01、*p < 0.05

て、水の動きが少ない所の底層は停滞しやすいため、嫌気化しやすい (丸茂ら,2012)。そのような環境下では底質に有機物が溜り易く、強熱減量が高くなったと考えられる。またリンは粘土中で鉄と結合するため (日本化学会,1989)、粘土やシルトが高まると TP が高くなると考えられる。TS は還元状態で硫化物となり (吉村,1976) 沈殿し易くなり、同様に高くなった可能性が考えられる。

南部排水機場付近 (地点 1) は中央干拓地からの農業排水の影響により、底質の有機物値が高い結果となった。早川らによると八郎湖内においてリン酸濃度とクロロフィル a 濃度は南部排水機場付近や大久保湾で高く、他の地点と水質が大きく異なることが判っており (早川ら,2011)、水質と同様に底質も大きく異なる可能性が考えられる。湖心は 1957 年に施工された干拓工事により掘削が行われ、一部に水深が深い形状があり、このような箇所では底質に有機物が溜る可能性がある。また、八郎湖は馬場目川河口部から防潮水門にかけて西南向きに水の流れが大きい、大久保湾は背水の影響で流速も小さく閉鎖的であることから、底質に有機物が蓄積しやすい環境であることが予想された。

シジミの生育には、DO 濃度、強熱減量、粘土、シルト等が大きく影響し、好適な生育環境として DO が 4 mg/L 以上、強熱減量 5%以下、粘土とシルトがそれぞれ 10%以下であると報告されている^{5,6)}。この 4 条件を満たす地点は、八郎湖では 47 調査地点中 12 点 (図 4 左)、小川原湖では 17 地点中 13 点 (図 4 右) であった。八郎湖では南部排水機場の南から船越水道にかけての水域、スポット的には馬場目川河口付近、北部排水機場付近、牡丹川河口付近がシジミの生育に好適な場と考えられた。好適な場として考えられた地点はいずれも砂の含量が高く、砂質を好むというシジミの特徴⁷⁾に合致しているといえる。小川原湖のシジミの生育に好適な場は地点 1~12 までの地域であり、これらの地点では底質採取の際にシジミを確認することができた。また、現地での聞き取り調査から、シジミ漁が盛んであることもわかった。

湖底環境の理化学的性質

八郎湖の下層 DO 濃度の中央値は 5.6 mg/L (0.02~9.3 mg/L) であり (表 1)、湖心と大久保湾で低かった (図 3c)。この地点の水深は深く (図 3a)、下層の水温は低い (図 3b)。DO 濃度と水深

($r = -0.69, p < 0.001$), 水温 ($r = 0.61, p < 0.001$) の間に有意な相関が認められ (表 2), 水温躍層による嫌気化の進行と考えられた。

流入河川の水質変動特性

大久保湾に流入するシジミ成育試験河川を含む 4 河川の水温, 水質について 1 年間の測定結果を示す。水温 (図 6a) は 4 月中旬で 10℃を越え, 6 月に 20℃に達し, 灌漑取水と防潮水門の堰上げ背水による河口部の滞留や上向き流れが見られる出穂期には 30℃も観測された。4 河川では流域面積の最も大きい馬場目川の水温が他の河川より 3℃程低く推移した。シジミの成育試験を行った豊川と井川では, 0.3℃程度井川が低いものの同様の変動傾向を示した。

EC (電気伝導度) (図 6b) は河川毎に異なるレベルを推移し, 馬踏川>豊川>井川>馬場目川の順に高い値を示す傾向にあった。

pH は大降雨時には 7 以下の値が, 8 月初旬アオコ発生時には 8 を超える値が観測されたが, 概ね 7~8 の間で推移した。豊川と井川では冬期間に大差なく, 灌漑期間に豊川>井川の傾向にあった。

溶存酸素 (DO) 濃度 (図 6c) は水温の上昇に伴い夏期に低下した。最低値は馬踏川 5.7 mg/L, 豊川 6.3, 井川 6.9, それぞれ飽和度で馬踏川 63%, 豊川 82, 井川 81%が 6 月から 7 月に掛けて観測された。

栄養塩類のうち全窒素 (T-N) (図 6d) は EC に類似し, 馬踏川>豊川>井川>馬場目川の順に高い値を示した。馬場目川は最低値 0.13mg/L, 平均 0.49 で, アオコの影響がない限りは概ね 0.3~0.6mg/L の範囲で推移した。井川と豊川の平均値は 0.67 と 0.73 と僅かに井川が低いものの同様の変動を示した。馬踏川の平均値は 1.3mg/L となった。全リン (T-P) (図 6e) についても全窒素と同様の傾向にあったが豊川と井川の差が灌漑期となる 5 月と 6 月に差が大きくなる傾向にあった。4 河川の平均値は馬踏川>豊川>井川>馬場目川の順に 0.11, 0.09, 0.07, 0.05mg/L であった。

懸濁物質濃度 (SS) (図 6f) は 8 月上旬の台風

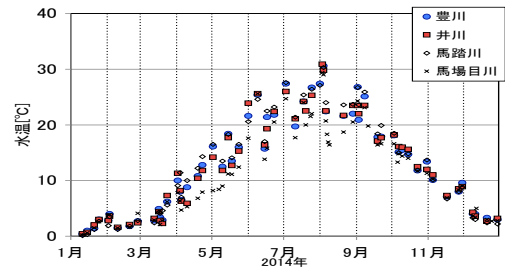


図 6a 流入河川水の水温変化

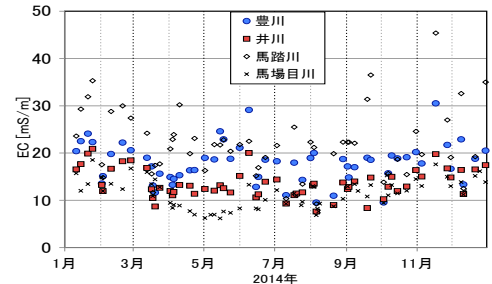


図 6b 流入河川水の電気伝導度

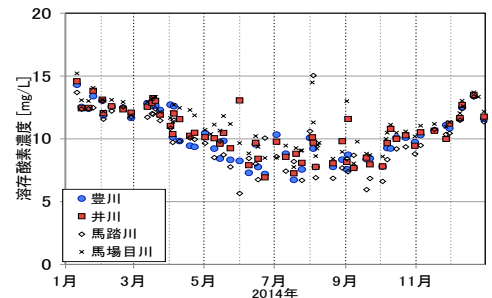


図 6c 流入河川水の溶存酸素濃度

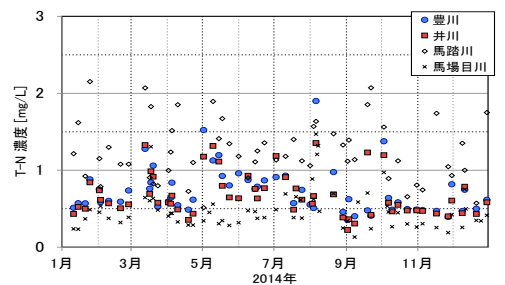


図 6d 流入河川水の全窒素濃度

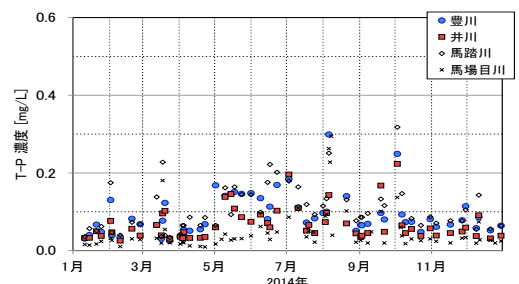


図 6e 流入河川水の全リン濃度

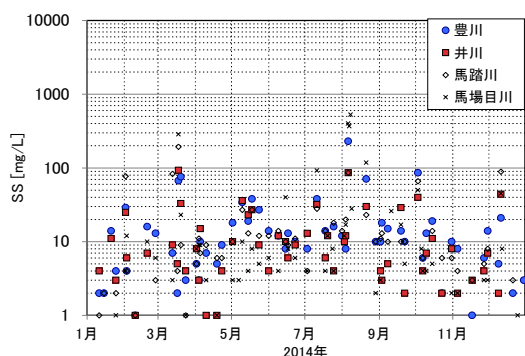


図 6f 流入河川水の懸濁物質(SS)濃度

による流出で馬場目川を中心に流速が増し高い値が観測された。最高値は8月8日の528mg/Lで他の河川でも100を超える値が観測された。

シジミ生育試験結果

シジミ生育試験の結果、制限あり底質接触法では、8月中旬から9月下旬にかけ、高濃度酸素供給区(試験区)では投入時比で78.6%から17.0%へと、および非供給の対象区では73.8%から35.4%へと両区とも急激に生存率は低下した。9月下旬以降に急激な低下は見られなくなったが、生存率は2~5%ずつ低下していき、12月最終確認時で試験区2%,対象区で16%だった(図7)。試験開始後1か月の間にアオコの発生と降雨による大流出を受け、各河川の河床に蓄積した底質の流出や急激な水温、水質変化を受けたことが、両試験条件での大幅な生存率低下を招いたものと考えられる。試験区直下流部のDO濃度は試験区、対象区ともに同程度であったため、シジミの生育域である河床面に対する高濃度酸素水の影響はそれほど大きくないと思われる。むしろ両者の差は河川水質の違いや河口位置による調整池から吹き寄せられる風向きとアオコの影響度合いの差によるものと思われる。

制限なしの底質接触法は9月19日から試験を開始したことでアオコや大流出の影響は回避されたが、水温低下に伴い生存率の低下が見られ、最終確認時の生存率は44.9%となった(図7)。制限あり底質接触法でのほぼ同一期間での生存率は試験区22%,対象区で36%であったことから、網を介してシジミを底質に接触させる制限有り

の底質接触法よりも、シジミを直接底質に接触させる制限無しの底質接触法の方がシジミの生育試験には適した方法であった可能性が伺える。

試験地の底質環境は、強熱減量が試験区対象区それぞれで6.2%, 10.0%, 粘土が7.7%, 16.6%, シルトが5.79%, 17.9%, DO濃度は7.7 mg/L, 8.8 mg/Lであった。試験区では強熱減量, 対象区では強熱減量と粘土およびシルトが高い。この結果、試験区では粘土とシルトとDO濃度が、対象区ではDO濃度のみがシジミの生育に適した条件内にあった。強熱減量は試験区対象区とも、粘土とシルトは対象区で生育条件を上回る結果となっており、これら底質の悪化がシジミの生育に影響を及ぼした可能性が考えられた。

シジミの成長量については、制限有りの底質接触法では試験区で殻幅以外の項目で成長が見られた。対象区ではほぼ全項目で成長していた。重量においては、試験区、対象区の全ての籠で成長が見られた。制限無しの底質接触法でのシジミの個体調査の結果、制限有りの底質接触法と同様に、多くのケースにおいて成長が見られた。重量においては全てのケースで成長が見られた。

制限無しの底質接触法に用いた底質

制限無しの底質接触法に用いた底質の分析結果を表14と表15に示した。底質のみを用いた対象区では試験前後での分析項目に有意な差は見られなかった。一方で、シジミ+底質の区では砂

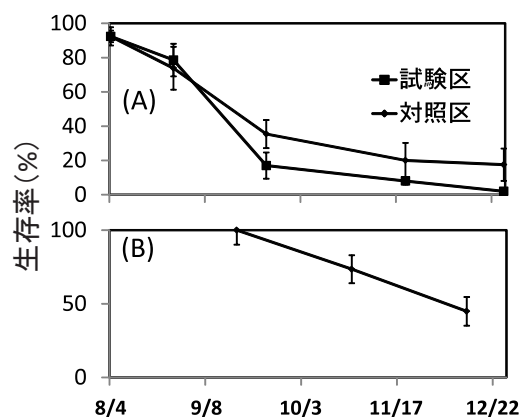


図7 シジミの生存率の経時変化

(A) 制限ありの底質接触法 (B) 制限なしの底質接触法

と底質 EC が有意に高いということがわかった。Chan ら (2013) により、高密度の二枚貝の存在が砂とシルトの量を増加させることで、土壌粒子の構成を変化させること、また高密度の二枚貝は有機物を蓄積させるということが報告されている⁸⁾。本研究に用いたシジミは中間の密度であったため、砂以外の土壌粒子の変化が少なく、有機物含量にも大きな違いが無かったと言える。

まとめ

本研究では、八郎湖の湖心および大久保湾における底層の貧酸素化と底質中の高い強熱減量、粘土含量という底質環境の実態を明らかにした。八郎湖内では、湖心や大久保湾で貧酸素化が進行していることがわかった。また、南部排水機場排出口付近、湖心、大久保湾の底質には有機物、粘土、シルト、TP、TS が多く含まれることがわかり、それらの地域では底質の悪化が危惧された。

一方で、シジミ生育に好適な場もあることも判明した。その範囲は現状では南部排水機場から船越水道付近までの調整池西部域、スポット的には馬場目川河口付近、北部排水機場付近、牡丹川河口付近などの一部において底質環境はシジミ生育に適した条件を満たしていた。

生育試験による低いシジミの生存率は、底質の高い強熱減量と粘土含量、加えて環境の大きな変化が相乗的に作用したものと考えられたが、試験手法については、シジミの危機回避能力も含めて評価できるような時期設定やゲージ構造、確認のための同一個体群の取り上げによるダメージの回避方法など、より適切に現場条件を確認できる評価手法の再検討の課題も明らかとなった。

謝辞

本研究の一部は、平成 26 年度秋田県立大学学長プロジェクト「創造的研究」の助成を受けて実施した。また現地実験、調査においては、秋田県生活環境部環境管理課八郎湖環境対策室および八郎湖内水面増殖

漁業協同組合にご協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

文献

- 吉村信吉 (1976). 『湖沼学』, 生産技術センター
- 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」『海生研研報』, No. 15, 1-21.
- 日本化学会 (1989). 『化学総説 土の化学 No. 4』, 学会出版センター.
- 早川敦, 近藤正, 宮田直幸, 片野登, 岡野邦宏, 須知成光, 金澤伸浩, 石川祐一, 日高伸, 尾崎保夫 (2011). 「衛生リモートセンシングと水質解析による八郎湖の藻類分布推定: 2010 年夏のアオコ発生時の一斉調査」, 『日本土壌肥料学会講演要旨集』, 57(10).
- 中村幹雄 (1997). 「宍道湖におけるヤマトシジミと環境との相互関係に関する生理生態学的研究」, 『北海道大学博士論文』, 192.
- 中村幹雄, 山本孝二, 小川絹代, 須藤正志, 後藤悦朗, 大島展志 (1984). 「宍道湖の底生動物と底質 1982 年夏期相」, 『島根県水試事報』, 199-202. 「日本シジミ研究所」
URL: <http://sijimi-lab.jp/index.php>
- Kayi Chan, L.I. Bendell (2013). Potential effects of an invasive bivalve, *Nuttallia obscurata*, on select sediment attributes within the intertidal region of coastal British Columbia, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 444, 66-72.

〔平成 27 年 6 月 30 日受付〕
〔平成 27 年 7 月 31 日受理〕

A study about spatial explication of the bottom environment in the Lake Hachiro

Including a corbicula growing test under the high concentration oxygen water supply, consideration of the water quality and bottom material improvement

Atushi Hayakawa¹, Nanako Kozuka¹, Tadashi Kondoh²

¹ Department of Biological Environment, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University

² Department of Agribusiness, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University

Lake Hachiro is suffering from serious, progressive water pollution and eutrophication; therefore, water blooms occur every summer at this lake. Problems in the many closed water areas include the elution of phosphorus, occurrence of hydrogen sulfide and methane gas, and elution of harmful metal by the hypoxic water of the bottom layer. During the second-phase water quality conservation plan of Lake Hachiro, the Akita Prefecture conducted a highly oxygenated water supply test for oxygen depletion of the bottom layer. Concurrently, the prefecture planned a purge test using a shellfish species and a plant species for improving the water quality in the lake. The DO(dissolved oxygen) density of the bottom layer, grain size of the bottom material, and ignition loss, which indicates the organic matter content, influence *Corbicula* growth. However, the state of the bottom environment and construction of the bottom material in Lake Hachiro remain unclear. The purpose of this study was to gain a spatial grasp of the bottom material environment of Lake Hachiro. Concurrently, we conducted *Corbicula* growth experiments in the mouth of the Ikawa and Toyokawa rivers. Highly oxygenated water was supplied to the mouth of the Toyokawa River. Because Ikawa is the control ward, highly oxygenated water is not supplied to the mouth of the Ikawa River. Results indicated that oxygen was low in the bottom layer, while both the ignition loss and clay content were at high levels in the bottom material at the center of the lake and in Okubo Bay. It became clear that some places in Lake Hachiro were suitable for growing *Corbicula*. In the growth experiment, the survival rate of *Corbicula* was low. Both the high ignition loss and clay content of the bottom material had a greater impact than the supply of highly oxygenated water.

Keywords: Lake Hachiro , eutrophication, DO(dissolved oxygen) , grain-size of bottom material ,ignition loss, corbicula