

モツゴ (*Pseudorasbora parva*) 当歳魚の成長と溶存酸素

佐原 雄二^{*1, *3}・浅原 宏子^{*2}・石岡奈々子^{*2}

^{*1} 弘前大学農学生命科学部生物学科 ^{*2} 弘前大学農学生命科学部生物生産科学科

^{*3} Corresponding author: TEL: 0172-39-3950 E-mail: gobius@cc.hirosaki-u.ac.jp

(2013年10月31日受付)

モツゴは全長最大でも8 cm程度の小型のコイ科魚種で、国内での本来の分布域は関東以西である。青森県では移入魚で、1980年代前半にはすでに津軽平野を含む県内に分布していた(竹内ほか1985)⁽⁶⁾。現在、県内では多くの溜池や河川緩流域に広く分布している。モツゴは水面呼吸(aquatic surface respiration: 以下ASRと略記)を効果的に行い低酸素条件でも生息できる。また溜池の魚食性鳥類の重要なエサとなっている(カイツブリ *Tachybaptus ruficollis* (佐原 2005); カンムリカイツブリ *Podiceps cristatus* (高谷・佐原 2012); ヨシゴイ *Ixobrychus sinensis* (佐原 2013); カワセミ *Alcedo atthis*)^(5, 7, 8)。その一方、外来性の魚食魚オオクチバス *Micropterus salmoides* の近年の蔓延はモツゴの地域的絶滅・減少を招いている。だから、モツゴの生態を調べることは、魚食性鳥類の生態を解明しその今後を考えるうえでも役立つことになる。モツゴの生息する溜池群の性質は様々であるが、それらの特徴づける大きな要因の一つは、水中の溶存酸素(dissolved oxygen: 以下DOと略記)である。モツゴの当歳魚が夏季に直面するDOは池ごとに大きく異なっている。本稿では水中の溶存酸素とモツゴ当歳魚の成長との関連について、まず野外調査の結果を述べ、次いで実験的な手法によって影響を調べた結果について述べる。野外でのモツゴ採集と体長計測に協力いただいた弘前大学農学生命科学部の動物生態学研究室の学生・院生諸氏に深謝する。とりわけ工藤敦士・齊藤仁咲の両氏には何度も協力いただいた。

1. 野外調査

調査地と調査方法

調査対象とした溜池群を表1に示した。これらの溜池は全て岩木川水系に属し、大学構内の池を除いては灌漑用の溜池で、いずれも岸辺には抽水植物帯が発達する。新溜池・葦溜池・笹溜池はこの順に水路で上からつながっている。これらの溜池には、夏季に水中が顕著な低

酸素になるタイプの溜池(以下、酸欠タイプの溜池と呼ぶ)と、夏季でも低酸素にならない溜池(以下、非酸欠タイプの溜池と呼ぶ)とがある。水中のDOに影響する要因としては富栄養化の程度や、池への給水のあり方(水路、湧水)、また池の構造(水塊に対して水面が広いかどうか)などが考えられるが、夏季の低酸素は、水面が浮葉植物(主にヒシ *Trapa japonica*。池によってはジュンサイ *Brasenia schreberi*なども加わる)によって覆われることで生じる。水質チェック(WQC-22A; TOA)を用いて夏季に終日行ったDO計測の結果から、これらの池群を2つに分類した。表1の中で、酸欠タイプの池が笹溜池、松野木溜池、茂兵衛堤、葦溜池(2007年以後)である。これらの池はヒシの繁茂する夏季のとりわけ早朝にDOが低下し1(mg/L)を下回る。とりわけ松野木溜池は強度に酸欠で、夏季には一日を通してDOが1を下回るほどである。このような池でも、モツゴやキタノメダカ *Oryzias sakaizumii*、フナ類 *Carassius spp.*など、ASRを効果的に行える魚種やドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*のように空気呼吸を行う魚種は生息可能である。一方、非酸欠タイプの池としたのは草堤、宇之助溜池、大学構内の池、新溜池、および葦溜池(2006年)である。これらは水面の一部にヒシなどの展開があっても、概して開水面がよく発達しており、夏季の早朝でもDOが1を下回ること決してない。なお、夏季のDOと魚類相との関連については別途取りまとめ中である。大学構内の池というのは弘前大学の総合教育棟裏のコンクリート製の実験池(211cm×126cm, 水深約60cm)で、採集の前年に放流した若干数のモツゴ個体から生まれた当歳魚について調査したものである。

葦溜池については説明を要する。この池は以前には開水面がよく発達した溜池であった。しかし池の南面に植わって湖面を日差しから遮っていた樹林が伐採されてから、直射日光が水面にほぼ全面的に当たるようになり、また水位も浅くなるという大きな変化があって以降、ヒシの繁茂が急に目立つようになり、夏季には繁茂したヒシが水面から盛り上がるほどにまでなった。そこで、夏

季に実測したDOの値から2006年の葦溜池を非酸欠溜池、2007年以降を酸欠溜池に分類した。

調査方法

モツゴ当歳魚の採集年は2006年から2012年の7年間にわたる。採集の時期はモツゴの成長期間がほぼ終わった秋季とし、おおむね9月中旬から10月上旬までに限定した。茂兵衛堤では期間内に採集を2回行って結果を合計した場合もある。採集年月日の一覧を表1中に示す。採集方法は全て同じで、胴長をはいた数名の採集者が岸から池に入り込み、タモ網のみを用いて行った。モツゴはセルビンに入りやすい魚種であるが、セルビンによる捕

表1. モツゴ当歳魚の採集地と採集年月日・個体数

池の名称	所在地	採集年月日	計測個体数
笊溜池	青森市	2006年10月4日	91
		2007年10月3日	62
		2008年9月29日	85
		2009年9月30日	238
		2010年10月9日	101
		2012年10月3日	168
葦溜池	青森市	2006年10月4日	71
		2007年10月3日	47
		2008年9月29日	92
新溜池	青森市	2006年9月28日	42
		2012年10月3日	41
草堤	青森市	2006年9月28日	65
		2007年9月13日	46
		2008年9月8日	92
		2010年10月2日	107
		2011年9月10日	218
宇之助溜池	青森市	2006年10月4日	174
		2007年9月13日	124
		2008年9月17日	70
松野木溜池	五所川原市	2007年10月3日	75
		2010年10月2日	60
		2011年10月7日	153
茂兵衛堤	弘前市	2007年10月5日	66
		2008年9月22日 + 10月3日	122
		2009年10月4日	57
		2010年9月24日 + 10月9日	68
		2011年9月24日	109
大学構内の池	弘前市	2006年10月12日	91
		2007年9月22日	45

獲では顕著なサイズ選択性を生じるので、タモ網以外の採集法は用いなかった。草堤と宇之助溜池は毎年秋季に落水する池なので、落水後なるべく日をおかずに、浅くなった池で採集を行った。一方、笊溜池・葦溜池・新溜池・松野木溜池・茂兵衛堤は調査年のうちには落水が行われなかった。網に入ったモツゴは全個体を現地で0.5mm刻みで体長を計測したのち放流した。

統計解析

モツゴの個体ごとに年齢を決定しているのではないので、全個体の体長の平均値を指標には使えない。そこで、まず、体長15.5-17.5mm、18-20mm、20.5-22.5mmのように、2.5mmごとのサイズクラスに分けた。こうして確実に当歳魚と判断される個体の頻度分布が成す大きな山（最頻サイズクラス）を比較に用いることにし、最頻サイズクラス（あるいは、最頻サイズクラスの中央の値）を、酸欠タイプの池と非酸欠タイプの池との間でMann-WhitneyのU検定を用いて比較した。サンプル数が少ないとサンプリングエラーが生じる可能性があるため、目安としてサンプル数40以上のモツゴ個体数が得られた場合のみをデータとして用いた（表1）。また、2010年の茂兵衛堤の場合、25.5-27.5mmと28-30mmの、連続する2つのサイズクラスの個体数が17と同数で最大であった。そこで、後述するように茂兵衛堤を含む酸欠溜池のほうがサイズが小さいと思われたので、有意差の出る基準を厳しくとり、大きいほうの値（28-30mm）を採用した。

結果

最頻サイズクラスの一覧を表2に示した。採集者側の都合で採集年数の多い池と少ない池とがある。なお、2008年9月29日に松野木溜池でも採集を試みたが、当歳魚が全く採集されなかった。念のためモツゴの生息を確認するためにセルビンを用いたところ、1歳魚以上の大きなサイズの個体が数個体採集できた。全体として酸欠タイプの池では17、非酸欠タイプの池では13、合わせて30のデータを得ることができた。

同じ池での同時期の採集であるにも関わらず、当歳魚の体長の最頻値には年ごとの違いが見られた。とりわ

表2. モツゴ当歳魚の体長最頻値の分布

サイズクラス (体長mm)	非低酸素タイプ池 (13)	低酸素タイプ池 (17)
15.5-17.5		2006笊溜池、2009笊溜池、2012笊溜池
18-20	2012新溜池	2007松野木溜池、2011松野木溜池
20.5-22.5	2006実験池、2006新溜池	2008葦溜池 2012茂兵衛堤
23-25		2007笊溜池、2007茂兵衛堤、2010松野木溜池、2011茂兵衛堤
25.5-27.5	2006葦溜池	2009茂兵衛堤
28-30	2008宇之助溜池、2007草堤、2006草堤、2011草堤	2010笊溜池、2007葦溜池、2010茂兵衛堤
30.5-32.5	2008草堤、2006宇之助溜池、2007宇之助溜池、2007実験池、2010草堤	2008笊溜池
33-35		2008茂兵衛堤

け、酸欠タイプの溜池の場合に年ごとの違いが顕著であった。笹溜池はほぼ毎年調査を行った池だが、この池の当歳魚サイズは概して小さい。しかし2008年には草堤ほかの非酸欠タイプの池と比べて遜色のないサイズであった。また茂兵衛堤でも、2012年と2008年とでは当歳魚のサイズには大きな違いがあった。一方、非酸欠タイプの池の中でも新溜池の当歳魚サイズの小さいことが目立つが、この池は水路でなく主に湧水によって給水されていると思われる池である。また、2008年の茂兵衛堤の値が高いが、モツゴのサイズ分布を見る限り当歳魚全体としてのサイズはもっと小さめのものであった。酸欠タイプ池と非酸欠タイプ池とで最頻値を比較すると、酸欠タイプの池では当歳魚のサイズが有意に小さかった (Mann-Whitney の U 検定: $p < 0.05$)。なお前述のように、2010年の茂兵衛堤の当歳魚の最頻サイズクラスは25.5–27.5mm と28–30mm の、連続する2つのサイズクラスが同数であったが、小さいほうの値 (25.5–27.5mm) を採用した場合にも同様の結果 (Mann-Whitney の U 検定: $p < 0.05$) であった。

2. 室内実験

材料と方法

低酸素がモツゴ当歳魚の成長に与える影響を調べるため、室内実験を行った。実験に用いたモツゴ当歳魚は、2010年8月7日と23日に笹溜池から採集してきたものである。しばらく実験室内で大きなコンテナ中で飼育した後、9月2日に酸欠水槽と対照水槽とに分けて投入した。水槽は全て同じで、縦18.4cm×横31.4cm×高さ24.1cmのガラス製のものを4つ用意し、2つを酸欠水

槽、2つを対照水槽とした。水位は15cmとした。実験室内は恒明条件で室温は26℃一定とした。水底には何も敷かず、隣り合う水槽の間には不透明な仕切りを置いて他の水槽の魚が見えないようにした。投入した個体は飼育個体から無作為に選んで1つの水槽に20尾、合計80個体とした。魚体が小さいので計測処理による悪影響を避けるため、実験に使用する魚の体長を直接に計測はせず、実験個体とは別に、残った個体からランダムに169個体をとって体長を計測し、実験開始時の体長とした。酸欠条件は水面の7割程度にクリアファイルを浮かべて覆うことで作り出した。水底には循環装置を置いたがエアレーションはしていない。一方、対照水槽は水底にエアレーションつき循環装置を置いて常にエアレーションを行った。

エサは市販のエサ (テトラミン) を毎日0.08gずつ水槽ごとに与えた。食べ残しがあると循環装置に吸い込まれてしまい、給餌量が正確でなくなるおそれがあるので、この量は食べ残しが生じないように決めたものである。給餌前後のモツゴの行動も観察した。数日から1週間に1回水換えを行い、半分の量を汲み置き水と交換した。水中のDOはDOメータ (YSI 550A) によって適宜計測した。このようにして飼育を2か月間続けた後、11月2日に実験を終了した。終了する際には、消化管内容物の成分を除去するため、前日には給餌を止めた。全個体をFA100による過麻酔で殺してから10%ホルマリンで固定し、体重の安定するのを待つため1週間経ってから体長と湿重量を計測した。実験期間中に死亡個体が生じた場合にはすぐに除去し、体長と体重を計測した。

結果

まず4つの水槽でのDOの変化を図1に示す。対照水

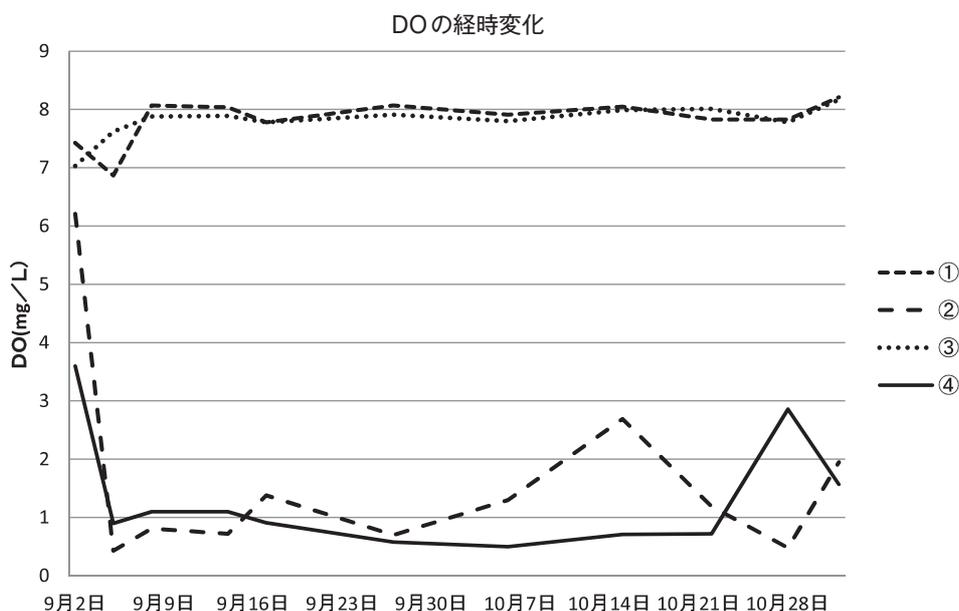


図1. 実験水槽中のDOの変化。①と③とが対照水槽。②と④とが酸欠水槽。

槽ではDOが7~8mg/L前後を常に維持し、十分酸素が供給されている状態であったのに対し、酸欠水槽ではモツゴを投入してからDOが低下し始め、換水直後を除いて1mg/L前後の値を維持していた。これは野外における酸欠タイプの池で生じる程度に近い。

実験中に酸欠水槽で4個体、対照水槽で2個体が死亡したので、それぞれ2つの条件でのサンプル数は前者が36、後者が38となった。死亡した個体の体長は特に偏った値ではなかったため、これらは解析から除いた。実験開始時の体サイズ（平均値：20.23mm±0.23SE, N=169）と比べて、実験終了時の酸欠水槽（平均値：21.04mm±0.26SE, N=36）及び対照水槽（平均値：21.95mm±0.58SE, N=38）のモツゴ当歳魚は、どちらもわずかだが体長が有意に増大していた（酸欠水槽：P=0.0213, 対照水槽：P=0.0020, t検定）。一方、酸欠水槽と対照水槽の2グループ間では、対照水槽のほうが体長が若干大きかったものの、有意差はなかった（P=0.1586 t検定）。しかし、対照水槽と酸欠水槽とではサイズ分布が異なっており（図2）、酸欠条件で飼育されたモツゴは対照水槽のモツゴに比べて個体間の体長のバラツキがずっと小さかった（P=0.0021 カイ二乗検定）。また、肥満度（体重/体長³）には両グループ間で有意な差は見られなかった（P=0.6047 t検定）。

考 察

1. 野外における当歳魚のサイズの違い

モツゴ当歳魚のサイズは非酸欠タイプの池より酸欠タイプの池の方が有意に小さかった。そのことに関して、まずいくつかのことを考察しておく必要がある。第一に、採集時期が池と年によって若干異なっているため、遅い時期に調査した際にはモツゴ当歳魚が大きくなっている可能性がある。最も早い採集日は2008年の草堤の9月8日で、最も遅い日は2006年の大学構内の池の10月12日であるから、ほぼ1ヶ月の開きがある。ところが、非酸欠池での採集日はむしろ早めが多かった（表1）ので、採集時期による影響があるとすれば、両タイプの池での当歳魚のサイズ差はむしろ小さくなるはずである。第二に、水中の低酸素がモツゴの繁殖に悪影響を与え、両タイプの池で当歳魚の生まれた時期に差を生じさせた可能性が考えられる。モツゴの産卵期は5・6月付近と長期にわたり、親魚は水底の固い基質上に卵を産み付ける。もし低酸素が卵や仔魚の発生・発育に悪影響を及ぼすとすれば、悪影響があるのは夏季に近い繁殖期後半だろう。その結果やはり、両タイプの池での当歳魚のサイズ差はむしろ小さくなるはずである。最後に、水抜き後、浅くなった溜池にはシラサギ類やアオサギなどのサギ類が魚を取りにやってくる。現に草堤や宇之助溜池では調査時にサギ類やその足跡をしばしば目撃し

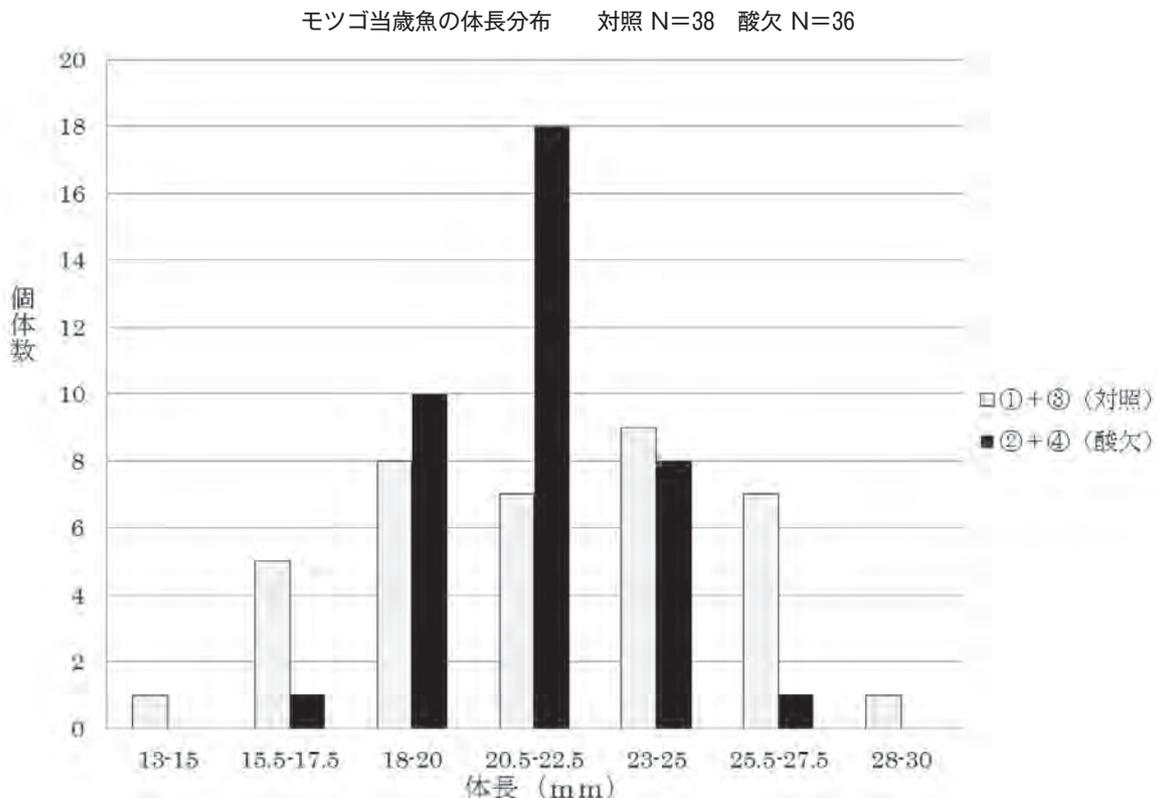


図2 実験終了時におけるモツゴ当歳魚の体長分布。①と③とが対照水槽。②と④とが酸欠水槽。

た。サギ類の捕食にはサイズ選択性があるが、本研究で扱ったようなサイズ範囲の魚では、むしろ大きい個体が選択的に食われるはずである (BRITTON and MOSER 1982)⁽¹⁾。従って捕食の影響があるとすれば、これもまた両タイプの池での当歳魚のサイズ差をむしろ小さくする方に働くはずである。以上の3つのことは酸欠タイプと非酸欠タイプの池での当歳魚のサイズの違いを生じる要因として該当しない。そこで、両タイプの池での当歳魚のサイズ差は、水中のDOの違いに関連していると考えられるが、DOの違いの主な原因はヒシなどの浮葉植物による水面の被覆である。

ヒシは一年草で、発生量には年変動がある。従って酸欠タイプの池でも水面が覆われる程度には年ごとの違いがあり、これが水中のDO、ひいては当歳魚の成長にも影響することが可能性として考えられる。非酸欠溜池よりも酸欠溜池の場合に、当歳魚のサイズの年変動が大きいことはその可能性を示唆するようだが、しかし、年変動の顕著であった笹溜池の場合、当歳魚の成長が良かった2008年にはヒシによる水面の被覆程度は決して低くはなかった。DOの他にも、成長に影響を及ぼす要因としては、水温やエサ条件、それにモツゴ自身を含む魚類全体の密度など様々なものが考えられるが、それらの効果については不明である。

2. 室内実験の結果

酸欠条件下で成長が抑制されることは様々な魚種で報告されている。WANG et al. (2009) の総説⁽⁹⁾によると、酸欠条件下で魚類の成長が抑制されるのは主に摂食量が低下するからであるが、吸収効率が低下する可能性も考えられる。しかし、吸収効率の低下については研究例に乏しく明確な結論は出せないという。今回の室内実験では2種類の水槽間で体長に有意差は生じなかったが、その原因はおそらく与えたエサ量が少なかつたためだろう。現に、実験開始時から終了時までの成長量は少なかつた。ただ、非酸欠条件のモツゴのほうが酸欠条件のモツゴより、平均体長が有意ではないが大きくなっており、これは予測に反しない結果であった。

一方で、体長の分布には両水槽間で顕著な違いがあり、酸欠水槽では個体間のサイズ差が有意に小さかつた。これには行動の違いが寄与していると考えられる。低酸素はASRを行う魚種や空気呼吸を行う魚種ではそれぞれの呼吸行動に影響するばかりでなく、その他にも魚の行動にさまざまな形で影響を及ぼすことが知られている (KRAMER 1987, LEFRANÇOIS et al. 2005, CHAPMAN and MCKENZIE 2009)^(2, 3, 4)。観察では、2つの条件下のモツゴには行動の違いが見られ、酸欠水槽のモツゴはASRを頻繁に行っていたが、対照水槽のモツゴはASRを行うことはなかつた。また対照水槽では個体間の攻撃行動が頻繁にあり、特に給餌したあとでは攻撃行動が盛んで、体サイズの大きな個体が小さな個体を追い払うこ

とがしばしば見られた。対照水槽のモツゴでサイズ差が大きかつたことは、大きな個体からの攻撃行動によって小さな個体の摂餌が妨げられたことによるものだろう。一方、酸欠水槽では給餌前には多くの個体が狭い開水面でASRを行っており、給餌するとエサを食べ始めるが個体間の攻撃行動は少ない。攻撃行動やASRの他にも両水槽のモツゴには行動の違いが見られ、人が接近した刺激に対して酸欠水槽のモツゴは水底に留まっていることが多いのに対して、対照水槽のモツゴは表層から底層まで活発に泳ぎ回ることが多かつた。CHAPMAN and MCKENZIE (2009) の総説⁽²⁾によると、低酸素では活動性自体の低下が生じるというが、それは本観察と一致する。

このようにDOの低下はモツゴ当歳魚の行動を変更し、それが成長にも影響を及ぼすことが示唆された。しかし、本研究の野外調査では個体ごとの年齢を決めていないので、室内実験で明らかになった当歳魚のサイズ分布の違いが野外でも妥当するかどうかはなお不明である。

要 約

モツゴ (*Pseudorasbora parva*) 当歳魚のサイズを酸欠タイプの池と非酸欠タイプの池とで比較したところ、酸欠タイプの池の個体のほうが有意にサイズが小さかつた。また室内の水槽で実験的に低酸素条件下で当歳魚を飼育したところ、低酸素でない対照水槽の個体よりも体サイズのバラツキが有意に小さかつた。これらの結果を低酸素における魚の行動から考察した。

引用文献

1. BRITTON, R. H. and M. E. MOSER Size specific predation by herons and its effect on the sex-ratio of natural populations of the mosquito fish *Gambusia affinis* Baird and Girard. *Oecologia* (Berl.) 53: 146-151. 1982.
2. CHAPMAN, L. J. and D. J. MCKENZIE Behavioral responses and ecological consequences. p.26-77. In: RICHARDS, J. G., A. P. FARRELL and C. J. BRAUNER (eds.) Hypoxia. 528pp. Academic Press. 2009.
3. KRAMER, D. L. Dissolved oxygen and fish behavior. *Env. Biol. Fishes*, 18: 81-92. 1987.
4. LEFRANÇOIS, C., A. SHINGLES and P. DOMENICI The effect of hypoxia on locomotor performance and behaviour during escape in *Liza aurata*. *J. Fish Biol.*, 67: 1711-1729. 2005.
5. 高谷 了・佐原雄二 カンムリカイツブリの給餌生態—青森市における観察例. *野生生物保護* 13: 9-32. 2012.
6. 竹内 基・松宮隆志・佐原雄二・小川 隆・太田 隆 青森県の淡水魚類相について. *淡水魚*, 11: 17-133.

- 1985.
7. 佐原雄二 カイツブリ. バードリサーチ生態図鑑, バードリサーチ. 2005.
8. 佐原雄二 ヨシゴイ. バードリサーチ生態図鑑, バードリサーチ. 2013.
9. WANG, S. LEFEVRE. T. HUONG, N. V. CONG and M. BAYLEY The effects of hypoxia on growth and digestion. p. 361-396. In: RICHARDS, J. G., A. P. FARRELL and C. J. BRAUNER (eds.) Hypoxia. 528pp. Academic Press. 2009.

The effects of hypoxia on growth of the underyearlings of the Stone Moroko, *Pseudorasbora parva*

Yuji SAWARA ^{*1, *3}, Hiroko ASAHARA ^{*2} and Nanako ISHIOKA ^{*2}

^{*1} Department of Biology, Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, Hirosaki 036-8561 Japan

^{*2} Department of Bioproduction, Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, Hirosaki 036-8561 Japan

^{*3} Corresponding author: TEL. 0172-39-3950 E-mail: gobiuss@cc.hirosaki-u.ac.jp

(Received for publication October 31, 2013)

SUMMARY

Stone Moroko is one of the representative fish species in many ponds for irrigation in Aomori Prefecture. When compared in autumn, the sizes of underyearlings in hypoxic ponds were significantly smaller than those in non-hypoxic ponds. When experimentally raised in glass tanks, the sizes of the underyearlings in non-hypoxic condition were much varied than those raised in hypoxic condition. These differences were discussed in relation to behavior of the fish.

Bull. Fac. Agric. & Life Sci. Hirosaki Univ. **No.16**: 1-6, 2014