

(17) 魚類の沈水植物摂食における植物種嗜好性 および摂食速度に及ぼす魚類体重の影響

武田 文彦^{1*}, 小林 紀子², 袋 昭太², 中野 和典¹, 相川 良雄¹,
西村 修¹, 田中 仁志³, 林 紀男⁴, 稲森 悠平⁵

¹東北大学大学院工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

²(株)フジタ技術センター (〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1)

³埼玉県環境科学国際センター (〒347-0115 埼玉県北埼玉郡騎西町大字上種足 914)

⁴千葉県立中央博物館 (〒260-8682 千葉市中央区青葉町 955-2)

⁵福島大学共生システム理工学類 (〒960-1296 福島県福島市金谷川 1)

* E-mail: takeda@eco.civil.tohoku.ac.jp

沈水植物再生において魚類による摂食の影響が懸念されているが、魚類による沈水植物の摂食特性についてはよく分かっていない。そこで魚類4種(ブルーギル、ギンブナ、タナゴ、モツゴ)、沈水植物2種(クロモ、ヒロハノエビモ)を用いて沈水植物に対する魚類の摂食特性を評価した。ブルーギル、ギンブナはクロモ、ヒロハノエビモいずれも摂食した。タナゴ、モツゴは上記の沈水植物どちらもほとんど摂食しなかった。一方、異なる体重のブルーギル、ギンブナを用いてクロモの摂食試験を行った結果、体重によって沈水植物の摂食の有無や摂食速度・量は異なることが明らかになり、摂食評価においては魚類個体数及び1個体当たりの魚類重量に基づき評価することの必要性が示された。

Key Words : submerged macrophyte, bluegill, fish herbivory, preference, lake regeneration

1. 背景及び目的

世界各地の閉鎖性湖沼において富栄養化が進み、それに伴い発生するアオコ等により水生生態系に甚大な悪影響を及ぼしている。一方、沿岸域整備や水質悪化等により沈水植物群落は失われてきたが、湖沼に群落を形成する沈水植物は湖沼生物構造の多様化¹³⁾や水質改善⁴⁷⁾といった機能を有することが示唆され、沈水植物の機能を活用した環境修復が試みられてきている^{2,8,9)}。よって近年では環境修復に向けて沈水植物群落の再生と保全が重要な課題となっている。

しかしながら沈水植物群落の再生と保全の達成は困難な状況にあるのが現状である。その要因として、藻類細胞濃度上昇に伴う湖沼水中の光環境の悪化^{10,12)}が報告されている。さらには魚類による沈水植物の摂食という食害影響も認められている。既往の研究では実湖沼調査において魚類の存在により沈水植物現存量が減少^{13,15)}、あるいは魚類の除去により沈水植物現存量や種類数が増加^{16,17)}するなど、魚類の存在は沈水植物現存量の増減に大

きく影響することが示唆されている。よって魚類による沈水植物への食害影響評価は沈水植物の再生・保全および沈水植物を活用した生態系修復に向けて大きな重要性を有していると考えられる。

既往の研究においては、着目された魚類は主にコイ類 *carp*^{13,17)}、*grass carp*¹⁸⁾などごく一部の魚類であり、それ以外の魚類の食害影響についてはよく分かっていない。魚類 *rudd* は水生植物 *Elodea*¹⁹⁾、*E. nuttallii*、*Potamogeton berchtholdii*¹⁴⁾ は好んで摂食するが沈水植物マツモ *Ceratophyllum demersum*¹⁴⁾、マツモ属 *Ceratophyllum*¹⁹⁾ は摂食しないなど、沈水植物摂食における魚類の嗜好性があると考えられるが、評価例は少なく情報が乏しいのが現状である。また、沈水植物現存量と魚類量間に相関がみられるという傾向^{17,20)}は示されるものの、どのような魚類が、どのような沈水植物をどの程度の量を摂食するかについては未解明である。さらに、本研究グループの予備実験において、ブルーギル体重 1g と 20g でイトモと混合培養した結果、体重 1g では食害形跡は全く見られなかったのに対し、20g では葉はほとんど食い尽くされた。

このことは同一魚類においても体重により摂食能が異なることを示唆するものであり、魚類体重と摂食能の関係についての知見の収集は重要課題であると考えられるが、既往の研究では同様の研究例は見られないのが現状である。

以上の背景から、沈水植物を再生し湖沼生態系の修復を目指すためには様々な魚類種において沈水植物に対する嗜好性、および沈水植物摂食速度—魚類体重との関係について評価し、魚類による沈水植物の食害影響を正しく理解することは不可欠であると考えられる。そこで本研究は種々の魚類による沈水植物摂食について、沈水植物と魚類との混合培養実験を行うことにより、各魚類が摂食する沈水植物種の解明及び魚類体重と沈水植物摂食速度の関係を評価することを目的とする。

2 実験方法

(1) 魚類による沈水植物摂食の評価

沈水植物の生長に対して食害影響を与えている魚を特定するために、埼玉県山ノ神沼の主要構成魚類であるブルーギル *Lepomis macrochirus*、ギンブナ *Carassius langsdorffii*、タナゴ *Acheilognathus melanogaster*、モツゴ *Pseudorasbora parva* の4種を対象として摂食試験を行った。供試沈水植物はクロモ *Hydrilla verticillata* 及びヒロハノエビモ *Potamogeton perfoliatus* とした。

沈水植物は、黒土と底泥を混合した土壌を充填した直径15cmの鉢植えに移植し、事前に他の水槽で2週間程度栽培し、試験直前に植物が活着した鉢植えを選定し、試験水槽(60cm×30cm×35cm)に設置した。供試魚類は、異なる植物種を混在させた試験水槽につき1種類とし、表-1に示す条件で摂食の特性を調査した。供試魚類が存在しない系を対照系とし、21日間栽培を行った。試験は溶存酸素を高濃度に維持するためにエアストーンにて常時ばっ気しながら脱塩素水を連続流入させ(滞留時間:1.5時間)、常時オーバーフローさせる条件で行った。

た。水温は経時的に測定し、試験期間中の平均水温は23℃であった。

試験終了時に各沈水植物を刈り取り、各植物の乾燥重量を測定した。初期重量については、あらかじめ植物体の長さや乾燥重量の関係を求め、その近似式に基づいて算出したものを用いた。また、試験開始から魚類の沈水植物摂食行動を目視観察した結果、日数を経るごとに摂食により徐々に沈水植物藻体量が減少する傾向にあることを確認したため、摂食速度は試験期間の間は一定であると仮定した。

各試験系での各沈水植物の生長速度 μ は、試験開始時及び終了時の沈水植物乾燥重量に基づき以下の式(1)により求めた。

$$\mu = \frac{\ln(W_1/W_0)}{T} \quad \dots(1)$$

μ : 沈水植物の生長速度 (day^{-1})、 W_1 : 試験終了時の沈水植物乾燥重量 (gDW)、 W_0 : 試験開始時の沈水植物乾燥重量 (gDW)、 T : 試験期間 (day)。

摂食速度の計算においては、対照系と魚類共存系での μ の差を摂食によるものとし、各魚類1匹当たり沈水植物摂食速度 k_F を下記の式(2)により求めた。

$$k_F = \frac{\mu_C - \mu_F}{N \times W_F} \quad \dots(2)$$

k_F : 魚類単位重量当たり沈水植物摂食速度 ($\text{匹}^{-1}\text{day}^{-1}$)、 μ_C : 対照系の沈水植物生長速度 (day^{-1})、 μ_F : 魚類共存系の沈水植物生長速度 (day^{-1})、 N : 魚類個体数 (匹)、 W_F : 魚類平均体重 (g/匹)。

k_F の値が正の場合、沈水植物は魚類による摂食を受けたことを示し、負の場合は魚類の存在により沈水植物の生長が促進されたことを示す。各沈水植物に対する k_F に基づき、各植物に対する魚類の摂食嗜好性について評価した。

表-1 摂食試験における魚類・沈水植物条件

(A) 魚類				(B) 沈水植物	
魚類	魚類平均	魚類	試験期間*	沈水植物種	全試験系での
	体重 (g/匹)	個体数 (匹)			平均初期乾燥重量 (g)
ブルーギル	11.4	2	7	クロモ	0.165
ギンブナ	17.5	2	7	ヒロハノエビモ	0.122
タナゴ	2.86	4	21		
モツゴ	0.543	10	21		

* 摂食の状況により、魚類ごとに試験期間が異なる

表-2 異なる体重下でのブルーギル、ギンブナのクロモ摂食試験条件

(A) ブルーギル

平均体重 (g/匹)	個体数 (匹)	試験期間 (day)
1.12	3	12
3.95	2	12
8.42	3	12
21.0	2	12

クロモ平均初期乾燥重量 0.447g

(B) ギンブナ

平均体重 (g/匹)	個体数 (匹)	試験期間 (day)
5.61	2	14
30.2	1	14
45.8	1	14
189	1	14
212	1	14

クロモ平均初期乾燥重量 0.321g

(2) 魚類体重－沈水植物摂食速度の関係評価

(1)で摂食植物種が多岐にわたり、かつ摂食速度が大きかったブルーギル、ギンブナの2種に着目して、異なる体重下でのクロモの摂食速度について評価することとした。各試験条件は表-2 にまとめた。その他の試験条件、調査方法、摂食速度の算定方法は(1)と同様に行った。水温は経時的に測定し、試験期間中の平均水温は20℃であった。また、各平均魚類体重 ($g \cdot 匹^{-1}$) における1匹1日当たり沈水植物摂食量 W_F ($gDW \cdot 匹^{-1} day^{-1}$) を式(3)により求めた。

$$W_F = \frac{W_0 - W_1}{T \times N} \quad \dots(3)$$

ただし $W_1 > W_0$ の場合は摂食していないとし、 $W_F = 0$ とした。

3. 実験結果

(1) 魚類による沈水植物摂食の評価

魚類別・沈水植物種別の k_F を図-1 に示す。対照系では沈水植物の乾燥重量が初期重量よりも増加し、魚類がない場合は生長することが確認された（データ示さず）。

魚類別に見ると、ブルーギル、ギンブナは試験したどちらの沈水植物も摂食することが分かった。一方、タナゴ、モツゴはクロモはほとんど摂食しないヒロハノエビモに対しては摂食が見られた。摂食速度から見れば、ブルーギルはクロモ、ヒロハノエビモいずれもすべての試験魚類において最も大きかった。

一部の試験系では各沈水植物の生長は対照区よりも促進 (k_F がマイナス) されていることが見られたが、その原因として魚類の排泄物由来の栄養塩を吸収したことが推定された。

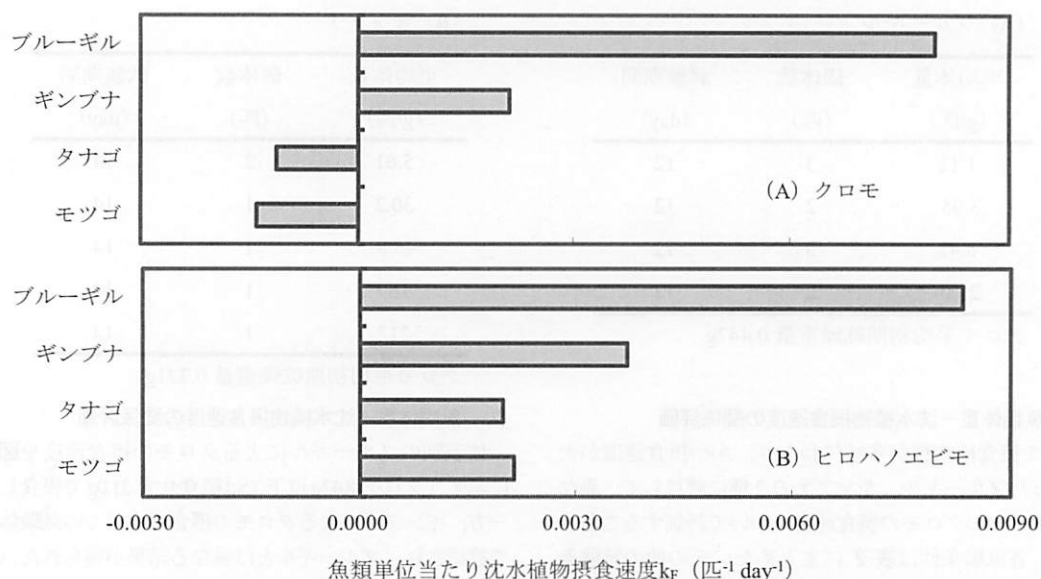
(2) 魚類体重－沈水植物摂食速度の関係評価

体重別のブルーギルによるクロモの摂食速度を図-2 に示す。クロモ 8.42g 以下では摂食せず 21.0g で摂食した。一方、ギンブナによるクロモの摂食はすべての試験体重で確認され、ブルーギルとは異なる結果が得られた（図-3）。クロモ摂食速度、摂食量いずれもギンブナ体重 45.8g の系を除けばギンブナ体重に依存せずほぼ一定の値を示す傾向が明らかになった。

4. 考察

本研究からコイ類以外の魚類においても沈水植物を摂食する種が存在することが明らかになったとともに、各魚類における沈水植物の摂食の有無やその摂食速度から嗜好性を定量評価することができた。ブルーギルは小型魚類²¹⁾、動物プランクトンや底生無脊椎動物^{22,23)}など水生動物を摂食して生態系に大きな悪影響を及ぼすことが示唆されている²⁴⁾が、本研究によりクロモ、ヒロハノエビモなどの沈水植物もまた大きな摂食速度で摂食することが明らかになった。沈水植物群落は生態系の構築に大きく寄与する^{25,26)}ことを鑑みれば、ブルーギルをはじめとする沈水植物を摂食する魚類による生態系への影響は、水生動物の捕食という直接的影響のみならず沈水植物摂食を介した間接的影響も存在すると考えられた。

魚類による沈水植物摂食の回避手段の一つとして魚類の駆除が挙げられ、ブルーギルに対しては特異的に除去する手法の開発^{26,29)}が行われている。沈水植物を魚類の食害から守るためには、このように特定の魚類を特異的に駆除可能な手法の開発もまた重要であると考えられる。しかしながら魚類による沈水植物の摂食についての知見は未だ充分ではない。本研究により各魚類の沈水植物摂食速度を定量評価できたものの、例えばブルーギルは前述のように沈水植物以外の動物も摂食する特性があり、沈水植物と各種動物が混在した場合においても本研究で



* k_F がマイナスの場合、沈水植物の生長促進を示す

図-1 沈水植物に及ぼす魚類の摂食の影響

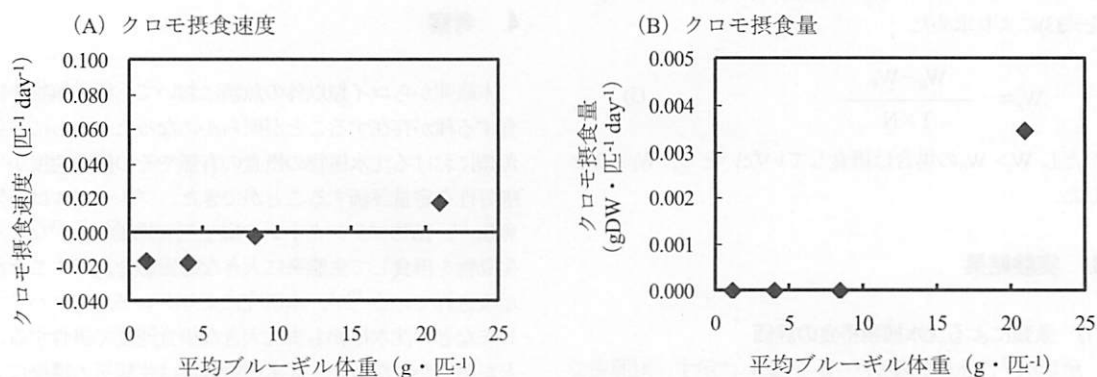


図-2 各種体重のブルーギルによるクロモ摂食速度・量の評価

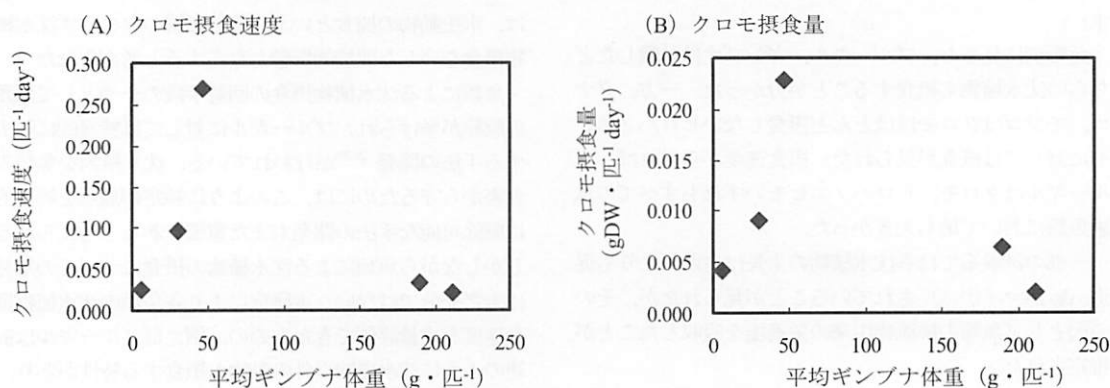


図-3 各種体重のギンブナによるクロモ摂食速度・量の評価

得られた摂食速度と同等の速度を示すかについては未解明であり、今後当実験の実施や更なる情報の収集・蓄積が求められる。

本研究からブルーギル、ギンブナの体重によって沈水植物の摂食の有無や摂食速度は異なることが明らかになった。既往の研究では魚類による摂食が魚類重量に1次的に比例すると仮定し、魚類個体数や各個体の重量には着目せず全重量に基づき評価^{13,14)}していた。本研究結果は実湖沼での調査においては個体数と個体ごとの重量を評価する必要性を示唆するとともに、1次的に比例するという仮定が必ずしも成り立つとは限らず、摂食による食害影響評価においては魚類個体数及び1個体当たりの魚類重量に基づき評価することの重要性が示された。今後このような評価を行うことにより食害影響についての理解が深まり、より正確に定量的な食害影響の予測が可能になると考えられた。

5. 結論

魚類による沈水植物摂食の嗜好性を評価した結果、ブルーギルのクロモ、ヒロハノエビモいずれも摂食するなどの特異性が確認された。このような嗜好性は魚類により多様であることも明らかになった。1個体当たりの魚類体重により摂食速度や摂食量が変化することが分かり、魚類個体数やその体重に基づいた摂食評価を今後蓄積していくことの重要性が示唆された。

謝辞：本研究は、環境省の環境研究総合推進費（水-01）の支援により実施された。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Mastrantuono, L. and Mancinelli, T. : Long-term changes of zoobenthic fauna and submerged vegetation in the shallow lake Monterosi (Italy), *Limnologia*, Vol. 29, pp.160-167, 1999.
- 2) Qiu, D., Wu, Z., Liu, B., Deng, J., Fu, G. and He, F. : The restoration of aquatic macrophytes for improving water quality in a hypertrophic shallow lake in Hubei Province, China, *Ecological Engineering*, Vol. 18, pp.147-156, 2001.
- 3) Ali, M. M., Mageed, A. A. and Heikal, M. : Importance of aquatic macrophyte for invertebrate diversity in large subtropical reservoir, *Limnologia*, Vol. 37, pp.155-169, 2007.
- 4) Wang, S., Jin, X., Zhao, H. and Wu, F. : Phosphate biosorption characteristics of a submerged macrophyte *Hydrilla verticillata*, *Aquatic Botany*, Vol. 89, pp.23-26, 2008.
- 5) Schulz, M., Kożarski, H. P., Plutke, T. and Rinke, K. : The influence of macrophytes on sedimentation and nutrient retention in the lower River Spree (Germany), *Water Research*, Vol. 37, pp.569-578, 2003.

- 6) Horppila, J. and Numminen, L. : Effects of submerged macrophytes on sediment resuspension and internal phosphorus loading in Lake Hiidenvesi (southern Finland), *Water Research*, Vol. 37, pp.4468-4474, 2003.
- 7) Gao, J., Xiong, Z., Zhang, J., Zhang, W. and Mba, F. O. : Phosphorus removal from water of eutrophic Lake Donghu by five submerged macrophytes, *Desalination*, Vol. 242, pp.193-204, 2009.
- 8) Wheeler, G. S., Center, T. D. : Impact of the biological control agent *Hydrilla pakistanae* (Diptera: Ephydriidae) on the submersed aquatic weed *Hydrilla verticillata* (Hydrocharitaceae), *Biol. Control*, Vol. 21, pp.168-181, 2001.
- 9) Chen, K. N., Bao, C. H. and Zhou, W. P. : Ecological restoration in eutrophic Lake Wuli: A large enclosure experiment, *Ecological Engineering*, Vol. 35, pp.1646-1655, 2009.
- 10) Carpenter, S. R. : The decline of *Myriophyllum spicatum* in a eutrophic Wisconsin lake, *Canadian Journal of Botany*, Vol. 58, pp.527-535, 1980.
- 11) Jeppesen, E., Kristensen, P., Jensen, J. P., Søndergaard, M., Mortensen, E. and Lauridsen, T. : Recovery resilience following a reduction in external phosphorus loading of shallow, eutrophic Danish lakes: duration, regulating factors and methods for overcoming resilience, *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, Vol. 48, pp.127-148, 1991.
- 12) Lauridsen, T. L., Jeppesen, E. and Søndergaard, M. : Colonization and succession submerged macrophytes in shallow Lake Vaeng during the first 5 years following fish manipulation, *Hydrobiologia*, Vol. 275-276, pp.233-242, 1994.
- 13) Crivelli, A. J. : The destruction of aquatic vegetation by carp, *Hydrobiologia*, Vol. 106, pp.37-41, 1983.
- 14) Van Donk, E. and Otte, A. : Effects of grazing by fish and waterfowl on the biomass and species composition of submerged macrophytes, *Hydrobiologia*, Vol. 340, pp.285-290, 1996.
- 15) Huttorowicz, A. and Dzedzic, J. : Long-term changes in macrophyte vegetation after reduction of fish stock in a shallow lake, *Aquatic Botany*, Vol. 88, pp.265-272, 2008.
- 16) Wright, R. M. and Phillips, V. E. : Changes in the aquatic vegetation of two gravel pit lakes after reducing the fish population density, *Aquatic Botany*, Vol. 43, pp.43-49, 1992.
- 17) Lundholm, J. T. and Simser, W. L. : Regeneration of submerged macrophyte populations in a disturbed lake Ontario coastal marsh, *J. Great Lakes Res.*, Vol. 25, No. 2, pp.395-400, 1999.
- 18) Pipavolá, I. : Initial impact of low stocking density of grass carp on aquatic macrophytes, *Aquatic Botany*, Vol. 73, pp.9-18, 2002.
- 19) Prejs, A. and Jackowska, H. : Lake macrophytes as the food of roach (*Rutilus rutilus* L.) and rudd (*Scardinius erythrophthalmus* L.) I. Species composition and dominance relations in the lake and the food, *Ekol. Pol.*, Vol. 26, pp.429-438, 1978.
- 20) Hill, D. A., Wright, R. M. and Street, M. : Survival of mallard

- ducklings, *Anas platyrhynchos* and competition for food with fish for invertebrates on a flooded gravel quarry in England, *Ibis*, Vol. 129, pp.159-167, 1987.
- 21) 環境省編：ブラックバス・ブルーギルが在来生物群集及び生態系に与える影響と対策，財団法人自然環境研究センター，pp.24-28，2004，東京。
- 22) Maezono, Y. and Miyashita, T. : Community-level impacts induced by introduced largemouth bass and bluegill in farm ponds in Japan, *Biological Conservation*, Vol. 109, pp.111-121, 2003.
- 23) Yonekura, R., Nakai, K. and Yuma, M. : Trophic polymorphism in introduced bluegill in Japan, *Ecological Research*, Vol. 17, pp.49-57, 2002.
- 24) Carpenter, S. R. and Lodge, D. : Effects of submerged macrophytes on ecosystem processes, *Aquatic Botany*, Vol. 23, pp.341-370, 1986.
- 25) Meijer M. L., Jeppesen, E., Van Donk, E., Moss, B., Scheffer, M., Lammens, E., van Nes, E., van Berkum, J. A., de Jong G. J., Faafeng B. A. and Jensen, J. P. : Interpretation of five-year results of four biomanipulation cases in the Netherlands and Denmark, *Hydrobiologia*, Vol. 275/276, pp.457-466, 1994.
- 26) 片野修, 坂野博之 : 設置型魚類自動捕獲器のブルーギルに対する捕獲効果，日本水産学会誌，Vol.74, No.1, pp.14-19, 2008.
- 27) 藤本泰文, 進東健太郎 : 群れ形成の習性を利用したブルーギル *Lepomis macrochirus* の有効な捕獲方法の検討，日本水産学会誌，Vol.76, No.5, pp.913-919, 2010.
- 28) Ide, A., Seki, S. : Countermeasures against Alien Fishes (Largemouth Bass and Bluegill) in Lake Biwa, *Bulletin of Fisheries Research Agency*, Vol. 29, pp.79-84, 2010.

(2011.5.30受付)

Fish Preference of Herbivory against Submerged Macrophytes and Effect of Fish Weight on Herbivory Rate

Fumihiko TAKEDA¹, Noriko KOBAYASHI², Shota FUKURO², Kazunori NAKANO¹, Yoshio AIKAWA¹, Osamu NISHIMURA¹, Hitoshi TANAKA³, Norio HAYASHI⁴ and Yuhei INAMORI⁵

¹Graduate School of Engineering, Tohoku University

²Technology Development Division, Fujita Corporation

³Center for Environmental Science in Saitama

⁴National History Museum and Institute, Chiba

⁵Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

Although the effect of fish herbivory is concerned for the regeneration of submerged macrophytes, it is little known about the herbivory characteristics of the plants. In this study, the characteristics of four kinds of fish (*Lepomis macrochirus*, *Carassius langsdorfii*, *Acheilognathus melanogaster* and *Pseudorasbora parva*) against two kinds of submerged macrophytes (*Hydrilla verticillata* and *Potamogeton perfoliatus*) were evaluated. *Lepomis macrochirus* and *C. langsdorfii* showed herbivory against both of the submerged macrophytes, but *A. melanogaster* and *P. parva* not. The herbivory test of *H. verticillata* using *L. macrochirus* and *C. langsdorfii* with various weights showed that the herbivory rates and volumes depended on the weight. These results indicated the importance of fish herbivory evaluation based on the number of fish and the weight per one fish.