

コクチバスの駆除に用いる刺網の適正目合

藤田 薫^{*1}・本多直人^{*1}・渡部俊広^{*1}・松下吉樹^{*1*2}

Mesh size selectivity of gillnets for smallmouth bass *Micropterus dolomieu*

Kaoru FUJITA^{*1}, Naoto HONDA^{*1}, Toshihiro WATANABE^{*1} and Yoshiki MATSUSHITA^{*1*2}

和文要旨

4種類の目合の刺網を用いた漁獲実験よりコクチバスに対する網目選択性曲線マスターカーブを求めた。相対漁獲強度をパラメータとした二峰性正規関数モデルのみが適応し、曲線は右側に歪んだ。罹網部位は主鰓蓋骨上縁より後方が主体であるものの、主上顎骨での罹網が全体の17%を占めた。二峰性正規関数モデルが選択されたのは、主上顎骨での罹網による漁獲を評価できたためと考えた。目合相対全長が約4.0のときに相対効率は最大になった。コクチバスを刺網で捕獲する際には、全長の約1/4に相当する目合を用いるのが適当である。

Abstract: Smallmouth bass *Micropterus dolomieu* is an alien species in Japan, and it has a serious crisis of biodiversity because it eats other fish, insects, etc. avariciously. A master curve of mesh selectivity of gillnets used to pest control smallmouth bass was estimated with a maximum likelihood method. Bi-normal model was selected and the curve skewed in the right side. While seventy-nine percent of smallmouth bass gilled at backward than the upper end of opercular region, seventeen percent of them caught at maxillary. We considered that the bi-normal model was able to evaluate not only the gilled but also the tangled and the model was consequently selected. When relative length (total length / mesh size) is approximately 4.0, "relative efficiency" becomes the maximum (1.0). When we catch the smallmouth bass with gillnets, the appropriate mesh size is the quarter of total length.

キーワード: 外来魚, コクチバス, 選択性曲線, 最尤法

Key words: alien species, smallmouth bass, selectivity curve, maximum likelihood method

コクチバス *Micropterus dolomieu* は、1991年に長野県野尻湖で国内における生息が確認されて以来（日本魚類学会自然保護委員会、2002；環境省、2004）、短期間で生息域を拡大し、1999年には21都県75水域において確認されている（全国内水面漁業協同連合会、2000）。コクチバスの餌料は、水生昆虫、甲殻類、魚類、陸生昆虫など多岐にわたるため（環境省、2004；片野、2005）、コクチバスの生息域の拡大が漁業権魚種（全国内水面漁業協同組合連合会、2000）のみならず、生態系へ悪影響を与えることが指摘されている

（日本魚類学会自然保護委員会、2002；片野、2005）。そのため、コクチバスはオオクチバス *M. salmoides* などと共に、特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律（外来生物法）の特定外来生物に指定され、飼養、運搬、輸入等が規制されている（<http://www.env.go.jp/nature/intro/index.html>）。また、コクチバスの生息が確認された水域では、釣り、刺網、地引網、船引網などの漁具を使用した、あるいは産卵床の破壊や池干しなどによる駆除活動が行われており、これらのうち刺網による駆除は多くの水域で

実施されている (<http://www.naisuimen.or.jp/bass/H14bass-bunpu.pdf>).

刺網には、その目合によって魚の体長ごとの漁獲効率が変わるという特性(網目選択性)がある。効果的にコクチバスを捕獲するためには、コクチバスに対する網目選択性を明らかにし、コクチバスの体長に合わせた目合の刺網を用いる必要がある。*Micropterus*属の捕獲に用いる刺網の目合に関して、オクチバスでは使用目合の約3倍の被鱗体長の個体が捕獲されると論じた報告(全国内水面漁業協同組合連合会, 1992)があるものの、この報告は捕獲された個体の被鱗体長の範囲と平均を示したのみであり、網目選択性は明らかにされていない。また、在来の魚類を保護する観点から、刺網の操業を行う際には、混獲される生物をできるだけ少なくする必要がある。そのためには、コクチバスだけでなく、混獲される生物に対する刺網の網目選択性も明らかにする必要がある。本研究では、複数の目合の刺網で漁獲された魚類の全長と目合の関係から選択性曲線マスターカーブを求め、コクチバスの捕獲に適した刺網の目合について検討した。

材料および方法

試験は2001年6月19日~29日に長野県青木湖(Fig. 1)で、目合が異なる4種類の底刺網を用いて行った。各目合の任意の100か所をノギスで計測したところ、平均±標準偏差は、それぞれ 30.3 ± 0.44 (mm), 62.0 ± 0.48 (mm), 76.4 ± 0.62 (mm), 91.8 ± 0.65 (mm)であった。以下、各目合を順に30mm, 62mm, 76mm, 92mmと呼称する。網糸は淡青緑色のナイロンモノフィラメント0.8号に、網の長さは20mに、網丈は1.35mに統一した(table 1)。これらの底刺網を1操業につき各目合1反ずつそれぞれ岸から垂直に、水深が深い方向へ設置した。設置する網の間隔はおよそ50mとし、網の配置を操業ごとに入れ替えて設置場所による漁獲の偏りが生じないようにした。試験では、日没前に投網し翌朝の日出後に揚網する操業を基本とし、一部、日出後に投網し日没前に揚網する操業を行った。操業には2隻のボートを用いて各網をほぼ同時に投網および揚網することで、網ごとの浸漬時間の差ができるだけ生じないようにした。漁獲された全ての魚類は目合

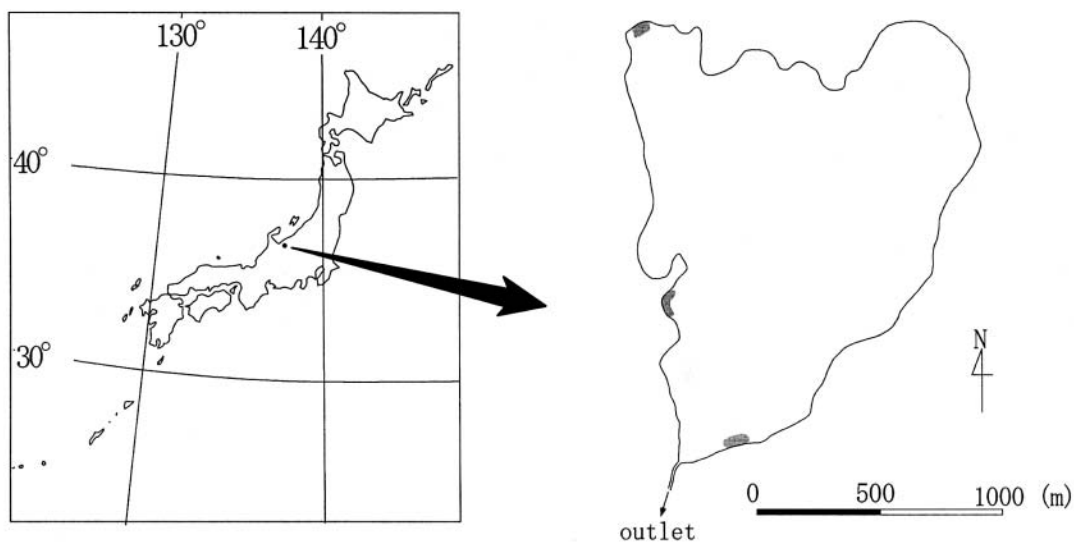


Fig. 1 Map of the Aokiko Lake. Grey shading shows the area where experiments were carried out.

Table 1 Technical parameters for the experimental gillnets. Net length (20m), net height (1.35m) and netting material (nylon mono-filament 0.147mm) are the same between each nets. Hanging ratio= $(L-l)/L$ (hanging-in). L : stretched length of netting; l : length of supporting rope.

Nominal mesh size (mm)	30	62	76	92
Measured mesh size (mm ± SD)	30.3 ± 0.4	62.0 ± 0.5	76.4 ± 0.6	91.8 ± 0.6
Net length (no. meshes)	1250	860	700	530
Net height (no. meshes)	50	25	19	15
Hanging ratio	0.5	0.6	0.6	0.6

ごとに分けて、全長を0.1cm単位で測定した。そして階級（5 cm）ごとにまとめて、解析に供した。

刺網の網目選択性を求める方法として、石田の方法、Kitaharaの方法、KM法などが検討されてきた（藤森・東海，1999；松岡，2001）。しかし、石田の方法やKitaharaの方法は、選択性曲線の描画において客観性に欠ける問題がある（藤森・東海，1999）。また、結果と考察で述べるがコクチバスでは絡みによる罹網があったと考えられた。KM法は絡みで漁獲される個体が多い種では、大型個体側への適用度はあまりよくない（松岡，2001）。したがって、これらの方法ではコクチバスに対する刺網の選択性曲線を得られないと判断した。一方、Millar（1995）は2つの漁具間の漁獲努力量や漁具能率の違いをパラメータにした選択性曲線の推定方法(SELECTモデル)を提案した。さらに、Fujimori and Tokai（2001）は複数の目合の刺網を対象に、目合相対体長（体長 / 目合）の導入によりSELECTモデルを拡張して刺網の選択性の推定法を考案するとともに、選択性曲線マスターカーブに複数の関数モデルを適用し、最適モデルの選択方法を示した。本研究では、Fujimori and Tokai（2001）の手法を用いて、複数の目合の刺網で漁獲された魚類の全長と目合の関係から最尤法により選択性曲線マスターカーブを求め、コクチバスの捕獲に適した刺網の目合について検討した。

選択性曲線マスターカーブのモデルとして、以下に示す正規関数曲線、対数正規関数曲線、二峰性正規関数曲線を用いた。

正規関数モデル：

$$s(R_{ij}) = \exp\left[-\frac{(R_{ij}-R_0)^2}{2a^2}\right] \quad (1)$$

対数正規関数モデル：

$$s(R_{ij}) = \exp\left[-\frac{(\ln R_{ij}-\ln R_0)^2}{2b^2}\right] \quad (2)$$

二峰性正規関数モデル：

$$s(R_{ij}) = \frac{1}{2} \left[\exp\left[-\frac{(R_{ij}-R_a)^2}{2a^2}\right] + \exp\left[-\frac{(R_{ij}-R_b)^2}{2b^2}\right] \right] \quad (3)$$

ここで R_{ij} は、ある目合 m_i に対する全長階級 l_j の相対的な大きさ（目合相対全長 $R_i = l_j / m_i$ ）である。 R_0 (R_a , R_b)は選択性曲線の最大値を与える相対全長を、(a , b)は曲線の幅を決定するパラメータを、それぞれ表す。また、 a と b は二峰性正規関数モデルの曲線の2つのピークの高さを表すパラメータである。各モデルについて、各目合の刺網の相対漁獲強度 q_i を一定とした場合とパラメータとした場合の2通りを考えた。パラメータの推定方法はFujimori and Tokai（2001）に従い、モデルの適合性は χ^2 検定により、モデルの選択はAIC (Akaike's Information Criterion)により評価した。また、ネットマークが確認された個体は罹網部位を推定し、吻端から主上顎骨後端、主上顎骨後端から主鰓蓋上縁、主鰓蓋上縁から主鰓蓋骨後端、主鰓蓋骨後端以降、の4通りに分類した。

結果と考察

合計13回52反の操業でコクチバス122個体、フナ *Carassius* sp. 72個体、ナマズ *Silurus asotus* 11個体、ウグイ *Tribolodon hakonensis* 10個体、コイ *Cyprinus carpio* 6個体、ニゴイ *Hemibarbus barbus* 3個体、オオクチバス1個体を捕獲した。これらの魚種のうち個体数が多かったコクチバスとフナについて、解析を行った。コクチバスとフナの全長組成を目合ごとにTable 2, Table 3に示す。

コクチバスに対する刺網の選択性を表すモデルのうち、相対漁獲強度を考慮した二峰性正規関数モデルのみが適合した（ χ^2 検定, $p > 0.05$ ）(Table 4)。目合相対全長が3.1のときの相対効率は約0.25であり、目合相対全長が約4.0で相対効率が最大（1.0）になった後、目合相対全長が4.8を越えると相対効率は0.25以下に減少

Table 2 Frequency distribution of total length of smallmouth bass *Micropterus dolomieu*

Length class, l_j (cm)	Nominal mesh size (mm)				Total
	30	62	76	92	
7.6-12.5	4	0	0	0	4
12.6-17.5	6	1	1	0	8
17.6-22.5	0	5	0	0	5
22.6-27.5	1	23	5	0	29
27.6-32.5	0	11	21	4	37
32.6-37.5	0	5	12	13	30
37.6-42.5	0	1	3	5	9
No. net used, x_i	13	13	13	13	52
Relative catch effort ($x_i / \sum x_i$)	0.25	0.25	0.25	0.25	

Table 3 Frequency distribution of total length of crucian carp *Carassius* sp.

Length class, l_j (cm)	Nominal mesh size (mm)			Total
	62	76	92	
19.1-21.0	4	0	0	4
21.1-23.0	9	7	0	16
23.1-25.0	4	17	2	23
25.1-27.0	1	13	3	17
27.1-29.0	0	1	5	6
29.1-31.0	0	1	5	6
No. net used, x_i	13	13	13	39
Relative catch effort ($x_i / \sum x_i$)	0.33	0.33	0.33	

Table 4 The parameters of master curve of selectivity and the values of model deviance for smallmouth bass *Micropterus dolomieu*

Model	$R_0(R_a, R_i)^\dagger$	$(a, b)^\dagger$	\dagger	\dagger	q_1^\ddagger	q_2^\ddagger	Parameters		MLL [¶]	$d.f.$	Model deviance	p value	AIC [#]
							q_3^\ddagger	q_4^\ddagger					
Normal													
q_i estimated	4.46	0.94			0.24	0.29	0.27	0.21	- 111.9	16	45.9	<0.01	233.8
q_i fixed	4.54	0.93			0.25	0.25	0.25	0.25	- 112.3	19	47.6	<0.01	228.7
Lognormal													
q_i estimated	3.97	0.21			0.24	0.37	0.25	0.15	- 106.8	16	30.4	0.02	223.7
q_i fixed	4.27	0.21			0.25	0.25	0.25	0.25	- 108.7	19	39.9	<0.01	221.5
Bi-normal													
q_i estimated	5.39	1.77	10.85	11.51	0.29	0.40	0.21	0.10	- 99.2	12	9.62	0.65	216.4
	3.94	0.49											
q_i fixed	6.55	1.95	7.65	8.13	0.25	0.25	0.25	0.25	- 104.5	15	27.6	0.02	221
	4.18	0.55											

† Parameter of bi-normal model.

‡ Relative fishing intensity of each mesh size.

¶ Maximum Log-Likelihood.

Akaike's Information Criterion.

した。目合相対全長が5.0を越えたあたりから相対効率の減少は緩やかになり、曲線の右側（大型個体側）が大きく歪んだ（Fig. 2）。このことは、目合相対全長が大きいコクチバスが罹網したことを意味している。他のモデルの適合性が悪かったことから、これらのモデルでは大型個体側が漁獲される現象を表現できなかったものと考えられる。この現象の理由を罹網部位から次のように考えた。

捕獲された122個体のコクチバスのうち93個体の罹網部位を特定できた。コクチバスの罹網部位は、主鰓蓋上縁から主鰓蓋骨後端で45個体（48%）と最も多く、次いで主上顎骨後端以降の24個体（26%）であった（Fig. 3）。刺しによる漁獲の過程に注目すると、魚体の頭部が後進不可能な程度に十分に網目に入り、最大胴周部が網目を通過できないという2つの条件をとともに満たせば漁獲が成立する（松岡，2001）ことから、主鰓蓋上縁から主鰓蓋骨後端ならびに主上顎骨後端以降で罹網した個体は刺しによって罹網したといえる。一方、吻端から主上顎骨後端での罹網が16個体（17%）

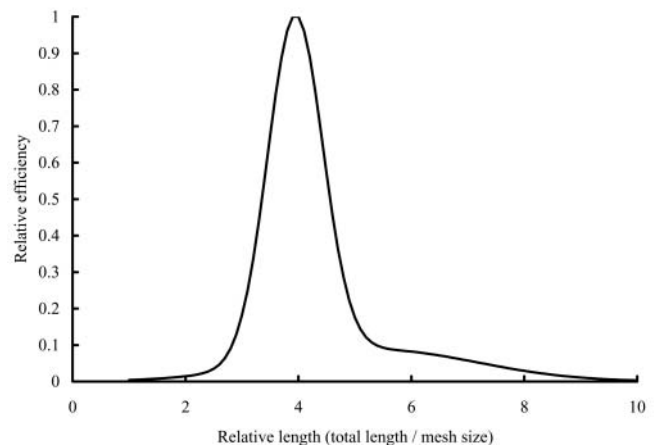


Fig. 2 Master curve of gillnets selectivity for smallmouth bass *Micropterus dolomieu*.

を占めた。主上顎骨後端での周長は、主鰓蓋上縁から主鰓蓋骨後端ならびに主上顎骨後端以降の周長に比べて明らかに小さく（Fig. 3）、罹網した目合に比べても明らかに小さいことから、この部位で罹網した個体は絡みによっていたと考えた。コクチバスの罹網過程は

解明されていないが、同属のオオクチバスの刺網に対する行動の特徴は、網地の抵抗を感じると後退すること、また、後退時に主上顎骨に網が罹りやすいことから（全国内水面漁業協同組合連合会、1992）、コクチバスの主上顎骨における罹網は同様の過程で生じてい

る可能性がある。また、主上顎骨以外にも、コクチバスには上鰓蓋骨の棘や第1背鰭の棘条など絡みの原因となる突起が多い。このようなコクチバスの体型と行動の特徴が絡みを誘発し、目合相対全長が大きい個体の罹網を生じさせていたと考えた。

刺網でコクチバスを捕獲するには、全長にかかわらずより多くの個体を罹網させることが望ましい。絡みにより目合相対全長が大きい個体の罹網が見られたため、刺しだけでなく、絡みによる罹網をより多くすることでコクチバスの捕獲数を向上させることが考えられる。しかし、目合相対全長が大きい個体側に歪んだ部分の相対効率は高くても0.1程度であり、さほど高くはない。今回用いた刺網の縮結は50%~60%であり、刺網として一般的な値であった。したがって、通常の刺網では絡みによる罹網はあるものの、捕獲数の大幅な向上は期待できない。

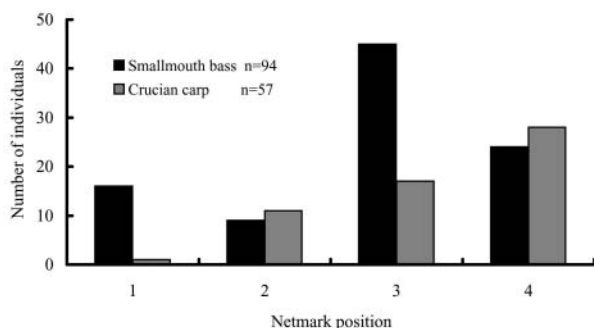
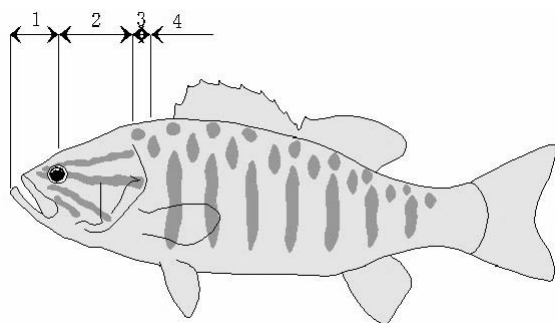


Fig. 3 Netmark position of smallmouth bass (black) and crucian carp (grey). 1: ~ rear end of maxillary; 2: rear end of maxillary ~ upper end of opercular region; 3: upper end of opercular region ~ rear end of opercular region; 4: rear end of opercular region ~ .

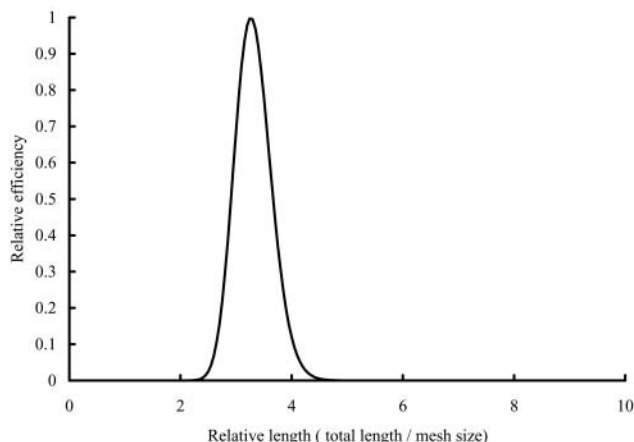


Fig. 4 Master curve of gillnets selectivity for crucian carp *Carassius* sp.

Table 5 The parameters of master curve of selectivity and the values of model deviance for crucian carp *Carassius* sp.

Model	$R_0(R_a, R_b)^\dagger$	$(a, b)^\dagger$	†	†	q_1^\ddagger	Parameters			MLL [¶]	d.f.	Model deviance	p value	AIC [#]
						q_2^\ddagger	q_3^\ddagger						
Normal													
q_i estimated	3.31	0.32			0.33	0.33	0.34		- 47.41	8	8.27	0.41	102.8
q_i fixed	3.31	0.32			0.33	0.33	0.33		- 47.41	10	8.26	0.60	98.8
Lognormal													
q_i estimated	3.28	0.10			0.32	0.33	0.36		- 46.73	8	6.24	0.62	101.5
q_i fixed	3.27	0.10			0.33	0.33	0.33		- 46.74	10	6.26	0.79	97.5
Bi-normal													
q_i estimated	3.16	0.19	0.44	1.43	0.64	0.25	0.12		- 46.33	4	4.53	0.34	108.7
	3.19	0.42											
q_i fixed	3.31	0.32	2.78	1	0.33	0.33	0.33		- 47.41	6	8.26	0.22	106.8
	3.18	<0.01											

† Paramater of bi-normal model.

‡ Relative fishing intensity of each mesh size.

¶ Maximum Log-Likelihood.

Akaike's Information Criterion.

フナは目合30mmの刺網における漁獲がなかったため、目合62mm, 76mm, 2mmの3網について解析した。フナに対する刺網の選択性を表すモデルは全てのモデルが適合した(χ²検定, $p > 0.05$) (Table 5)。それらのうち、網地への相対漁獲強度を一定にした対数正規関数モデルが選択されたものの、その形状はほぼ左右対称であった (Fig. 4)。目合相対全長が2.8のときの相対効率は0.25に達し、目合相対全長が約3.3で相対効率が最大(1.0)になった後、目合相対全長が3.9で相対効率は0.25を下回った。

フナではほぼ左右対称の選択性曲線が選択された理由を、罹網部位から考えた。フナは57個体で罹網部位を特定できた。フナの罹網部位は主上顎骨後端以降が28個体(49%)と最も多く、次いで主鰓蓋上縁から主鰓蓋骨後端の17個体(30%)であった (Fig. 3)。一方、吻端から主上顎骨後端での罹網はコクチバスとは異なり、1個体(2%)だけであった。松岡ら(1995)は、任意の体長における罹網が成立する部位の周長の分布を正規分布で近似できると仮定して左右対称の理論的選択性曲線を求め、刺しを主体に漁獲される種で精度よく選択性を推定している。松岡ら(1995)は、コイは大型個体を中心に絡みによる漁獲が現れたとする報告しているが、本研究におけるフナでは顕著でなかった。フナは刺しによる罹網が主体であったことから、選択性曲線マスターカーブがほとんど左右対称になったと考えた。

コクチバスに対する網目選択性曲線マスターカーブは5cm階級という粗い分け方により得られた結果であり、厳密な数値への当てはめはできない。しかしながら、おおよその傾向は示せる。コクチバスの目合相対全長が約4.0倍のときに相対効率が最大になったので、コクチバスの全長の約1/4がコクチバスの捕獲に用いる刺網の目合の目安になる。例えば、全長30cmのコクチバスを捕獲するためには目合を75mmにすると最も効率がよい。その場合、全長24cmおよび37cmの個体は全長30cmの個体の1/4程度の確率でしか捕獲されない。したがって、コクチバスの全長組成に応じて目合を変更する必要がある。選択されたモデルでは目合62mmの相対漁獲強度(q_s)が最大になったことから (Table 4)、試験を行った時点においては、この目合で最も強く漁獲される全長階級のコクチバスが湖内に最も多く現存していたと考えられる。青木湖漁業協同組合による駆除では、大型個体が獲れなくなったために小さな目合の刺網を多用するようになったと言われており、大型魚の減少が使用網の変更をもたらしたと考えられている(河野ら, 2006)。このようにコクチバスの全長組成に応じて刺網の目合を変更したり、

あるいは複数の目合の刺網を組み合わせることで、刺網による駆除を効果的に実施できる。一方、フナは目合の約3.2倍の全長で相対効率が最大になったことから、目合を75mmにすると全長24cmのフナに対する相対効率が最大となる。したがって、目合の違いによってコクチバスを選択的に漁獲することは困難であった。このような場合には、刺網の浸漬時間帯による選択漁獲(本多・藤田, 2005)を考えるべきである。

謝 辞

現地調査に関してご協力をいただきました、青木湖漁業協同組合の長澤正組合長(故人)、加蔵正一組合長、西澤達郎副組合長、科学技術振興事業団科学技術特別研究員(当時; 現所属: 大韓民国特許庁)の崔浙珍博士、長野県水産試験場および中央水産研究所内水面利用部(現内水面研究部)の皆様へ感謝します。本研究は農林水産技術会議予算における行政対応特別研究「外来魚コクチバスの生態学的研究および繁殖抑制技術の開発」の一環として実施された。

文 献

- 藤森康澄・東海正, 1999: 石田の方法と北原の方法によるMS-Excelを用いた刺網の網目選択性曲線の推定. 水産海洋研究, 63, 14-25.
- Fujimori, Y. and T. Tokai, 2001: Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. *Fish. Sci.*, 67: 644-654.
- 本多直人・藤田薫, 2005: 刺網浸漬時間帯によるコクチバスの選択漁獲, 日水誌, 71: 60-67.
- 環境省, 2004: 「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」(環境省編). 財団法人自然環境研究センター, 東京, pp. 17-21.
- 片野修, 2005: 外来魚コクチバス問題の現状と対策. 日水誌, 71: 399-401.
- 河野成実・細江昭・傳田郁夫, 2006: 青木湖におけるコクチバス個体群の動向. 長野県水産試験場研究報告, 8: 32-34.
- 松岡達郎・杜勝久・斉藤良仁, 1995: 刺し網のサイズ選択性の計算法とその水槽実験による検証. 日水誌, 61: 880-888.
- 松岡達郎, 2001: 魚類に対する刺網の理論的選択性曲線. 「漁具の選択特性の評価と資源管理」(東海正・北原武編). 恒星社厚生閣, 東京, pp.20-29.

Millar, RB., 1995: The functional form of hook and gillnet selection curves cannot be determined from comparative catch data alone. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52: 883-891.

日本魚類学会自然保護委員会, 2002: 「川と湖沼の侵略者ブラックバス - その生態学と生態系への影響 - 」(日本魚類学会誌自然保護委員会編), 恒星

社厚生閣, 東京, 150pp .

全国内水面漁業協同組合連合会, 1992: 「ブラックバスとブルーギルのすべて～外来魚対策検討委託事業報告書～」. 全国内水面漁業協同組合連合会, 東京, 221pp .

全国内水面漁業協同組合連合会, 2000: 非常事態！コクチバスは約3倍に. 広報ないすいめん, 20, 15-18 .