春季から夏季の霞ヶ浦の張網内におけるチャネルキャットフィッシュによる 魚類・エビ類の捕食実態

古旗 峻一,^{1a*} 所 史隆,² 根本 隆夫,² 加納 光樹¹

(2021 年 3 月 13 日受付, 2021 年 8 月 31 日受理, 2021 年 10 月 26 日 J-STAGE 早期公開)

¹茨城大学地球・地域環境共創機構水圏環境フィールドステーション, ²茨城県水産試験場内水面支場

Predation on fishes and shrimps by channel catfish inside a large fyke-net in Lake Kasumigaura,
Japan in spring and summer

RYOICHI FURUHATA,^{1a*} FUMITAKA TOKORO,² TAKAO NEMOTO²
AND KOUKI KANOU¹

¹Water Environmental Field Station, Global and Local Environment Co-creation Institute, Ibaraki University, Itako, Ibaraki 311-2402, ²Freshwater Branch Office, Ibaraki Fisheries Research Institute, Namegata, Ibaraki 311-3512, Japan

In order to clarify predatory impacts on fyke-net catches by invasive channel catfish, the stomach contents of 176 specimens (4.6–57.6 cm in standard length, SL), collected with a large fyke-net in Lake Kasumigaura, Ibaraki Prefecture, Japan between afternoon and the next morning once a month from June to August 2016 and from March to August 2017, were examined. Major food items of the catfish comprised undigested important fisheries species, such as *Hypomesus nipponensis*, *Salangichthys microdon*, *Gymnogobius urotaenia* and *Macrobrachium nipponense*, frequently occurring also in the fyke-net catches. Mean stomach fullness index in each size class larger than 20 cm SL was extremely high (6.7–8.8) compared to those in the natural environment. It is therefore highly possible that individuals larger than 20 cm SL ate small fishes and shrimp in the fyke-net. The estimated proportion of predation on each species by the catfish in the fyke-net throughout the study period was 73.7%, 80.1%, 36.6% and 33.3% for *H. nipponensis*, *S. microdon*, *G. urotaenia* and *M. nipponense* entering the net, respectively. Thus, predation by the catfish on important fisheries species inside the fyke-net was considered to be a major problem in local lake fisheries.

キーワード：霞ヶ浦, 漁業, チャネルキャットフィッシュ, 特定外来生物, 張網, 捕食

チャネルキャットフィッシュ *Ictalurus punctatus* は北アメリカのカナダ南部からメキシコ北東部にかけての湖沼や河川下流域に自然分布する淡水ナマズ類であり,^{1,2)} 養殖や遊漁のために北アメリカの自然分布域外の水域のほかヨーロッパやアジア諸国などに導入され定着している。^{3,4)} 日本では 1971 年に養殖用種苗がはじめて持ち込まれ,⁵⁾ 1980 年代以降に自然水域で分布を拡げ,⁶⁾ 現在までに阿武隈川水系, 利根川水系, 宮川水系, 矢作川水系, 淀川水系などで定着が確認されている。^{7,8)} 本種が定

着した水域では, 在来生物や水産有用種が捕食されており, 在来生態系や水産業への影響が懸念されている。⁹⁾ そのため, わが国では外来生物法に基づいて本種は特定外来生物に指定されており, 飼養, 保管, 運搬, 輸入等の規制や防除の対象となっている。⁸⁾

千葉県北東部から茨城県南東部に位置する霞ヶ浦 (西浦, 北浦, 外浪逆浦, 北利根川, 鰐川, 常陸利根川を合せた水域の総称) は, 日本第 2 位の湖面積 220 km² を有する海跡湖である。霞ヶ浦では古くから張網 (定置網)

漁業や曳網漁業が盛んに営まれ、ワカサギ *Hypomesus nipponensis*, シラウオ *Salangichthys microdon*, テナガエビ *Macrobrachium nipponense* などの漁獲量が国内有数であることが知られている。¹⁰⁾ しかしながら, 2000年代以降, チャネルキャットフィッシュが優占的に出現するようになってから,^{9,11)} 本種による絶滅危惧種を含む在来生物の捕食のほか,¹²⁻¹⁴⁾ 張網内部での漁獲物の被害や張網(定置網)漁獲量の減少, 胸鰭と背鰭にあるトゲによる漁業者の負傷, 漁網・漁獲物の損傷などの甚大な被害が発生している。^{9,15,16)} 霞ヶ浦の漁業の現場では, 本種の増殖に伴って張網漁業が衰退の一途を辿るなかで, とくに, 本種による張網内での漁獲物の被害が大きな問題として認識されているにも関わらず, その実態については漁業者等からの定性的な事例報告しかない。本種は夜間に摂餌行動が活発になり,¹⁷⁾ 飼育実験下では食べやすい位置の底生性ハゼ類・エビ類を主に摂餌する。¹⁵⁾ また, 自然環境下では小型魚類や甲殻類, 陸生・水生昆虫のほか大型魚類の死骸や植物も摂餌し,^{12,18)} 成長に伴って, もしくは餌料環境の変動に応じて利用する餌生物の種類や大きさを変化させる。^{12-14,19)} したがって, 張網内においても, 特定の魚類・エビ類もしくは大きさの個体を主に捕食する可能性がある。そのような張網内での捕食実態を把握しておくことは, 今後, 張網内での被害を低減する対策を検討するうえで極めて重要である。

そこで本研究では, 張網内でのチャネルキャットフィッシュによる魚類・エビ類の捕食実態を把握するため, まず, 張網内での本種の摂餌特性(空胃率, 胃内容物組成, 捕食する魚類・エビ類の大きさ)の成長に伴う変化を明らかにした。さらに, 本種の胃内と張網内で出現した魚類・エビ類の種組成や重量, 大きさを比較し, 捕食されやすい魚類・エビ類の特徴についても検討した。

材料と方法

調査地 霞ヶ浦を構成する湖の一つである西浦は, 面積が 172 km², 水深が平均 4 m, 最大約 7 m の浅い湖である。茨城県水産試験場内水面支場では, 2015 年 10 月以降, 西浦西岸の阿見町大室地先で張網による漁獲物のモニタリング調査を実施している。この地点では, 例年, チャネルキャットフィッシュが春季から夏季に継続的に入網しており, それとよく似た傾向は過去に張網による漁獲物のモニタリング調査が実施された西浦の他地点²⁰⁾でも確認されている。そのため, 本研究では, 西浦西岸の阿見町大室地先を調査地として設定した(Fig. 1)。なお, 本調査地は沖側に構造物がなく開放的な水域で, 底質は砂泥質であった。また, 調査地周辺の湖岸には, 魚類の生息場所となるヨシ帯^{21,22)}が 1 km 以上にわたって認められた。

Fig. 1 Map of the Lake Kasumigaura system showing the study site at Omuro, Ibaraki Prefecture, Japan.

魚類の採集と標本処理 張網内でのチャネルキャットフィッシュによる魚類・エビ類の捕食実態を調べるため, 調査地の水深約 1.5–3 m の範囲において 2016 年 6 月から 8 月と 2017 年 3 月から 8 月の各月 1 回ずつ(計 9 回), 霞ヶ浦の張網漁業で使用される標準的な大型張網[全長約 100 m で, 魚を誘導する垣網(長さ約 75 m, 目合 10 mm), 魚がたまるもと網(目合 7.5 mm), 入網した魚が逃げ出しにくい漏斗状構造がある筒形の袋網(長さ約 4 m, 直径 65 cm, 目合 4 mm)からなるもので, 富永ら²⁰⁾の Fig. 3 と同型]を用いて採集調査を実施した。この張網を 13 時に仕掛け, 翌朝 7 時に袋網内に入網した本種を含む魚類とエビ類を回収した。なお, 張網設置日の水深 1 m 層の水温は, 2016 年 6 月に 25.3°C, 7 月に 25.5°C, 8 月に 27.6°C, 2017 年 3 月に 9.1°C, 4 月に 16.6°C, 5 月に 19.9°C, 6 月に 25.3°C, 7 月に 25.5°C, 8 月に 28.0°C であった。

張網で採集したチャネルキャットフィッシュは, 現場で氷冷し殺処理した後, 研究室に持ち帰った。研究室では標準体長(以下, 体長)と体重をデジタルノギスと電子天秤でそれぞれ 1 mm と 0.01 g の精度で計測・秤量した後, 採集後 2–3 時間以内に冷凍し保管した。本種と同時に張網に入網した魚類・エビ類についても, 種を同定した後, 種ごとに個体数を計数し, 体サイズ(魚類では体長, エビ類では頭胸甲長)を計測し, 体重を秤量した。種の同定は魚類については中坊²³⁾に, エビ類については豊田・関²⁴⁾に従った。なお, 従来, トウヨシノボリ *Rhinogobius* sp. OR とされていた種²⁵⁾については, 本研究ではヨシノボリ属の一種 *Rhinogobius* sp. と

して扱った。

食性調査 食性の調査には、上記の張網調査で採集されたチャンネルキャットフィッシュ計 176 個体（体長 4.6–57.6 cm）を用いた。なお、各月の張網調査の採集結果によって月ごとの供試魚の個体数や体長範囲にはばらつきが認められ、2016 年 6 月は 4 個体（体長 9.9–38.2 cm）、7 月は 6 個体（体長 12.3–57.6 cm）、8 月は 13 個体（体長 14.8–48.4 cm）、2017 年 3 月は 102 個体（体長 4.6–53.6 cm）、4 月は 19 個体（体長 8.3–55.9 cm）、5 月は 19 個体（体長 6.3–42.8 cm）、6 月は 3 個体（体長 9.1–39.9 cm）、7 月は 6 個体（体長 36.2–51.2 cm）、8 月は 4 個体（体長 17.4–55.1 cm）であった。各供試個体について解剖用のハサミで開腹して胃を摘出した。本種の胃内容物中には、大型魚類の断片や植物の破片のような不定型物も出現したため、餌の個体数だけでなく、重量も解析した。各個体の胃内容物を実体顕微鏡下で観察して餌を同定し、餌項目ごとの湿重量を 0.01 g の精度で秤量した。胃内容物中に含まれていた未消化の魚類とエビ類については、それぞれ中坊²³⁾と豊田・関²⁴⁾に従って種を同定し、体長と頭胸甲長を計測した。餌利用パターンは、空胃率（VI, vacuity index）、²⁶⁾ 胃充満度指数（SFI, stomach fullness index）、²⁷⁾ 重量百分率（%W）、²⁷⁾ 出現頻度（%F）を調べることによって推定した。

VI は、以下の計算式で求めた。

$$VI (\%) = \frac{\text{空胃個体数}}{\text{全供試個体数}} \times 100$$

SFI は摂餌強度の指標であり、空胃個体も含めて、以下の計算式で求めた。

$$SFI = \frac{\text{胃内容物重量}}{\text{体重} - \text{胃内容物重量}} \times 100$$

%W は、摂餌個体ごとに、次の計算式で求めた。

$$\%W = \frac{\text{特定の餌項目の重量}}{\text{胃内容物全体の重量}} \times 100$$

それらの値を平均することで、平均 %W を算出した。

%F は、次の計算式で求めた。

$$\%F = \frac{\text{特定の餌項目が胃内から出現した個体数}}{\text{全摂餌個体数}} \times 100$$

解析方法 霞ヶ浦でのチャンネルキャットフィッシュの食性は、成長に伴って変化することが知られている。^{12,15,18,28)} 本研究では、まず、張網内における本種の摂餌特性の成長に伴う変化の傾向を調べるために、調査期間中の全供試個体を用いて体長階級（0–9.9, 10.0–19.9, 20.0–29.9, 30.0–39.9 cm, 40.0 cm 以上）の間で、VI を比較するとともに、主要な餌項目の %W に違いがあるか否かを Kruskal–Wallis test と多重比較法（Steel–Dwass test）で調べた。また、張網内において本種が成長に伴ってより大きな餌を食べようになるのか否かを

調べるため、本種の体長と胃内容物中から出現した全餌生物の体サイズ（魚類では体長、エビ類では頭胸甲長）を用いて、魚類とエビ類のそれぞれについてスピアマンの順位相関係数（rs）を算出した。さらに、本種が成長するにつれて捕食可能な餌生物の最大体サイズが大きくなるのかを調べるため、本種の体長と胃内容物中から出現した餌生物の最大体サイズとの関係を、魚類とエビ類のそれぞれについて単回帰分析により判定をした。なお、単回帰分析の際、餌生物の最大体サイズとしては、本種の体長を 1 cm ごとに区分した各体長階級における最大の被食生物の体サイズを用いた。

各月において張網内に入網した魚類・エビ類各種がチャンネルキャットフィッシュによってどの程度の割合で捕食されているのかを把握するため、各種について張網内被食率（PPC）を、次の計算式で求めた。

$$PPC (\%) = \frac{\text{胃内から出現した重量}}{\text{胃内から出現した重量} + \text{張網内から出現した重量}} \times 100$$

本種が張網内に入網した魚類・エビ類のなかでどの程度の大きさの個体を捕食する傾向にあるのかを調べるため、魚類とエビ類のそれぞれについて、全調査期間中に本種の胃内から出現した個体と張網内に入網した個体（張網内から出現した個体と胃内から出現した個体の合計）の体サイズ組成に違いがあるか否かを Mann–Whitney's *U*-test で調べた。

結 果

張網内でのチャンネルキャットフィッシュの摂餌特性調査期間中に採集されたチャンネルキャットフィッシュ 176 個体（体長 4.6–57.6 cm）のうち、109 個体（61.9 %）が空胃であり（Table 1）、SFI の平均値 ± 標準偏差は 3.0 ± 4.5 であった。本種の胃内容物中に出現した餌項目は、小型魚類（ゲンゴロウブナ *Carassius cuvieri*, ギンブナ *Carassius* sp., タイリクバラタナゴ *Rhodeus ocellatus ocellatus*, ハクレン *Hypophthalmichthys molitrix*, モツゴ *Pseudorasbora parva*, タモロコ *Gnathopogon elongatus elongatus*, ツチフキ *Abbottina rivularis*, スゴモロコ *Squalidus chankaensis biwae*, チャンネルキャットフィッシュ, ワカサギ, アユ *Plecoglossus altivelis altivelis*, シラウオ, ボラ *Mugil cephalus cephalus*, クルメサヨリ *Hyporhamphus intermedius*, スマチチブ *Tridentiger brevispinis*, ヨシノボリ属の一種 *Rhinogobius* sp., ウキゴリ *Gymnogobius urotaenia* の 17 種で、いずれも個体全体が出現し、体長 15 cm 以下のもの）、エビ類（テナガエビの 1 種）、大型魚類の断片（骨、表皮を含む肉片、鱗などの大きさや形状からハクレン成魚などの大型コイ科魚類と推定されるもの）、ユスリカ類幼虫、

Table 1 Mean percentage weight (%W) and percentage frequency (%F) of food items in the diet of channel catfish during the study period

Food items	%W	%F
Small fishes		
<i>Carassius cuvieri</i>	2.0	3.0
<i>Carassius</i> sp.	0.1	3.0
<i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>	0.2	6.0
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	1.7	3.0
<i>Pseudorasbora parva</i>	2.0	11.9
<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>	0.3	1.5
<i>Abbottina rivularis</i>	0.2	1.5
<i>Squalidus chanakaensis biwae</i>	+	1.5
<i>Ictalurus punctatus</i>	1.6	13.4
<i>Hypomesus nipponensis</i>	45.9	70.1
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	0.7	1.5
<i>Salangichthys microdon</i>	14.4	34.3
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	+	1.5
<i>Hyporhamphus intermedius</i>	2.5	14.9
<i>Tridentiger brevispinis</i>	2.1	25.4
<i>Rhinogobius</i> sp.	0.1	6.0
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	14.8	37.3
Shrimp		
<i>Macrobrachium nipponense</i>	6.1	32.8
Others		
Fragments of large fishes	1.4	7.5
Chironomid larvae	3.0	3.0
Terrestrial plants	0.9	1.5
No. of fish examined	176	
No. of fish with no food examined	109	
Vacuity index	61.9	

+, <0.1

陸上植物片（ヨシの茎や根）など様々であった（Table 1）。これらのうち、小型魚類とエビ類はほとんど未消化の状態で見出し（Fig. 2），平均%Wでそれぞれ88.6%と6.1%を占めていた（Table 1）。種別にみると、ワカサギが45.9%，ウキゴリが14.8%，シラウオが14.4%，テナガエビが6.1%を占め、主要な餌項目となっていた。これらの餌項目は%Fでも高い値（32.8–70.1%）を示し、重要な餌であると推定された。一方で、大型魚類の断片、ユスリカ類幼虫、陸上植物片は、平均%Wでそれぞれ1.4, 3.0, 0.9%を占めるのみの稀な餌項目であった。

チャネルキャットフィッシュの体長階級間でVIを比較すると、体長0–9.9 cmで98.4%，10.0–19.9 cmで71.4%，20.0–29.9 cmで37.5%，30.0–39.9 cmで5.3%，40.0 cm以上で0%であり、成長に伴って摂餌個体の割合が増加した（Fig. 3）。体長階級間でSFIの平均値±標準偏差を比較すると、体長0–9.9 cmで 0.1 ± 1.1 ，体長10.0–19.9 cmで 1.6 ± 2.7 ，体長20.0–29.9 cmで 6.7

Fig. 2 (a) Channel catfish (57.6 cm in standard length, SL) caught with a large fyke-net and (b) its stomach contents (101 individuals of *Hypomesus nipponensis* and 3 individuals of *Macrobrachium nipponense*). **Fig. 3** Vacuity index (top) and stomach fullness index (SFI) (bottom) in each size class of channel catfish caught with a large fyke-net in Lake Kasumigaura at Omuro during the study period. Numerals above each column in the top figure indicate the number of stomachs examined. Bars in the bottom figure indicate standard deviations. (a–c) Significant differences were found between groups with different characters at $p < 0.05$ by the Steel–Dwass test.

±5.8 と徐々に増加し、その後は体長 30.0–39.9 cm で 7.2 ± 4.8 , 体長 40.0 cm 以上で 8.8 ± 3.6 と高い値で推移した (Fig. 3)。体長階級間で SFI には有意な差が認められ (Kruskal-Wallis test, $H=263.3$, $p<0.001$), 体長 0–9.9 cm よりも体長 10.0–19.9 cm で、さらに、体長 10.0–19.9 cm よりも体長 20.0–29.9 cm から体長 40.0 cm 以上で明らかに高かった (Steel-Dwass test, $p<0.05$)。

各体長階級における各餌項目の平均 %W は、ゲンゴロウブナ、モツゴ、ワカサギ、シラウオ、クルメサヨリ、スマチチブ、ウキゴリなどの小型魚類が 78.9–93.3 % を占めており、次いで、ユスリカ類が 0–12.5%, エビ類 (テナガエビ) が 0.4–8.6% を占めていた (Fig. 4)。体長階級間で各餌項目の平均 %W を比較すると、ユスリカ類幼虫やシラウオ、スマチチブが体長 10–19.9 cm のみで多い傾向、ワカサギやウキゴリが体長 20 cm 以上の階級で多い傾向にあるものの、いずれの餌項目においても有意な差は検出されなかった (Kruskal-Wallis test, ゲンゴロウブナ, $H=4.06$, $p=0.25$; モツゴ, $H=4.24$, $p=0.24$; ワカサギ, $H=4.36$, $p=0.22$; シラウオ, $H=4.27$, $p=0.23$; クルメサヨリ, $H=5.21$, $p=0.16$; スマチチブ, $H=3.74$, $p=0.29$; ウキゴリ, $H=8.01$, $p=0.05$; テナガエビ, $H=3.88$, $p=0.28$; ユスリカ類幼虫, $H=6.35$, $p=0.10$) (Fig. 4)。

チャネルキャットフィッシュの体長と胃内容物中から出現した小型魚類の体長およびテナガエビの頭胸甲長との関係を Fig. 5 に示す。本種によって捕食されていた主要な小型魚類の体長の平均値±標準偏差は、ゲンゴロウブナで 11.8 ± 3.2 cm, モツゴで 4.3 ± 1.1 cm, ワカサギで 6.1 ± 1.7 cm, シラウオで 6.2 ± 0.7 cm, クルメサヨリで 8.1 ± 2.0 cm, スマチチブで 2.8 ± 0.9 cm, ウキゴリで 3.2 ± 0.6 cm であり、また、テナガエビの頭胸甲長の平均値±標準偏差は 0.5 ± 0.2 cm であった。本種の体長と胃内容物中に出現した全餌生物の体サイズとの相関を調べたところ、小型魚類の体長との間に正の相関はほとんどないうえに ($rs=0.176$, $p<0.001$), テナガエビの頭胸甲長との間には弱い負の相関 ($rs=-0.283$, $p<0.001$) が認められた。一方で、本種の体長と胃内容物中に出現した小型魚類の最大体長もしくはテナガエビの最大頭胸甲長との間には、それぞれ有意な正の直線関係が認められた (単回帰分析, 小型魚類, $n=62$, $r^2=0.358$, $p<0.001$; テナガエビ, $n=20$, $r^2=0.190$, $p<0.001$)。

チャネルキャットフィッシュによる張網漁獲物への捕食影響 全調査期間中に張網内とチャネルキャットフィッシュの胃内から出現した魚類・エビ類各種の個体数と重量および体サイズを Table 2 に、また、各月に張網内と本種の胃内から出現した魚類・エビ類各種の重量

Fig. 4 Mean percentage weight (%W) of food items in the diet of each size class of channel catfish collected with a large fyke-net during the study period. Numerals above each column indicate the number of fish with food examined.

Fig. 5 Relationship between prey-fish's standard length (PFL) and channel catfish's standard length (CCL) or between prey-shrimp's carapace length (PSL) and CCL. Asterisks indicate maximum PFL/PSL in each 1-cm interval size class of channel catfish.

に基づく PPC を電子付録の Table S1 に示した。張網内と胃内から合計 20 個体以上が得られた種についてみると、調査期間中の平均 PPC はクルメサヨリが 100% と最も高く、次いで、シラウオ (80.1%), ワカサギ

Table 2 Individual numbers, weights and body length ranges of each fish and shrimp species collected using a fyke-net and contained in stomach contents of channel catfish entering the fyke-net throughout the study period

Species	Fyke-net catch			Stomach content		
	No. of individuals	Weight (g)	Body length (cm)*	No. of individuals	Weight (g)	Body length (cm)*
Fishes						
<i>Anguilla japonica</i>	1	988.4	78.0	0	0	
<i>Cyprinus carpio</i>	7	5862.0	3.3–46.5	0	0	
<i>Carassius cuvieri</i>	23	18499.9	8.0–35.0	2	148.9	8.6–15.0
<i>Carassius</i> sp.	153	43199.7	2.4–33.5	3	9.5	4.8–5.3
<i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>	15	15.3	2.5–4.3	19	15.5	2.7–3.5
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	43	625.9	4.1–11.2	11	134.1	4.7–10.3
<i>Ischikauia steenackeri</i>	1	570.7	30.0	0	0	
<i>Opsariichthys uncirostris uncirostris</i>	3	170.1	3.9–20.0	0	0	
<i>Pseudaspius</i> sp.	19	2355.7	3.5–32.5	0	0	
<i>Pseudorasbora parva</i>	23	48.8	2.2–6.7	30	62.3	2.0–6.4
<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>	124	157.5	2.1–7.1	2	4.9	5.2–5.4
<i>Hemibarbus barbus</i>	19	2360.9	3.3–42.6	0	0	
<i>Abbottina rivularis</i>	0	0		1	2.7	5.4
<i>Squalidus chankaensis biwae</i>	10	41.2	3.7–9.3	1	1.8	6.2
<i>Megalobrama amblycephala</i>	9	19.1	3.9–5.5	0	0	
<i>Ictalurus punctatus</i>	271	83368.5	3.8–58.2	17	61.0	3.3–8.9
<i>Hypomesus nipponensis</i>	209	296.9	2.8–11.5	676	1794.3	2.5–10.9
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	0	0		1	25.5	11.2
<i>Salangichthys microdon</i>	13	11.0	5.8–7.0	121	72.0	3.2–7.6
<i>Mugil cephalus cephalus</i>	1	1223.4	37.0	1	0.2	2.3
<i>Hyporhamphus intermedius</i>	0	0		31	105.4	1.8–12.2
<i>Lateolabrax japonicus</i>	12	15264.3	9.5–65.0	0	0	
<i>Lepomis macrochirus macrochirus</i>	12	1134.3	2.9–17.7	0	0	
<i>Micropterus salmoides</i>	2	1478.0	29.1–31.4	0	0	
<i>Acanthogobius lactipes</i>	17	16.9	2.1–5.6	0	0	
<i>Tridentiger brevispinis</i>	579	241.6	1.9–7.1	96	35.0	1.8–9.9
<i>Rhinogobius</i> sp.	292	69.3	1.9–2.8	16	3.2	1.9–3.1
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	1793	1275.7	2.3–5.8	554	483.0	2.1–6.4
Shrimps						
<i>Macrobrachium nipponense</i>	471	665.9	0.4–2.3	335	224.8	0.2–1.8
<i>Palaemon paucidens</i>	39	22.4	0.6–1.3	0	0	
Total	4161	179983.4		1917	3184.0	

* Standard length for fishes and carapace length for shrimps.

(73.7%), モツゴ (64.4%), ウキゴリ (36.6%), タイリクバラタナゴ (35.0%), テナガエビ (33.3%) であった。一方で、ゲンゴロウブナ、ギンブナ、タモロコ、チャネルキャットフィッシュ、ヨシノボリ属の一種、スジエビ *Palaemon paucidens* では 0–5.4% と低かった。

調査期間中に張網内での本種の主要な餌項目となっていた 4 種（ワカサギ、シラウオ、ウキゴリ、テナガエビ）について、PPC の季節変化を Fig. 6 に示した。PPC はワカサギでは 2017 年 6 月を除くすべての月で 50% 以上、シラウオでは出現した 3–5 月に常に 60% 以上と高かった。一方、ウキゴリでは 2016 年 8 月と 2017 年 5 月で 50% 以上と高いものの、それ以外の月

は 30% 未満と低かった。テナガエビでは月によって 20% 未満や 45% 以上と変動する傾向がみられた。

チャネルキャットフィッシュが張網に入網した魚類・エビ類のなかでどの程度の大きさの個体を捕食するのかを調べるため、魚類とエビ類のそれぞれについて、全調査期間中にチャネルキャットフィッシュの胃内から出現した個体と張網内に入網した個体の体サイズ組成を Fig. 7 に示した。魚類の体長については、張網内と胃内の間で有意な差がみられ (Mann-Whitney's *U*-test, $z = -2.09$, $p < 0.05$), 張網内と胃内ともに体長 2.0–5.9 cm の個体が多くを占めていたものの、張網内のみで体長 15 cm より大きな個体（主にギンブナとチャネルキャッ

Fig. 6 Weights of major prey species collected using a large fyke-net and contained in stomach contents of channel catfish within the net in each month. The proportion of prey consumed in the fyke-net (PPC: solid circles) for each species in each month was calculated by dividing stomach-content weight by the sum of stomach-content and fyke-net catch weights.

Fig. 7 Size-frequency distributions of all the fishes and shrimps in stomach contents of channel catfish collected using a large fyke-net during the study period and in both stomach contents and fyke-net catches during the same period.

トフィッシュ) が出現し、また、体長 20 cm 以上の個体も入網した全個体数の約 6.7% を占める程度に認められた (Fig. 7, Table 2)。エビ類の頭胸甲長についても、張網内と胃内の間で有意な差がみられ (Mann-Whitney's U -test, $z = -11.47$, $p < 0.001$), 張網内と胃内ともに 2-6 mm の個体が多かったが、張網内でのみで 12 mm より大きな個体も比較的多く出現する傾向がみられた (Fig. 7)。

考 察

張網内での食性と胃充満度の高さ 本研究において一昼夜 (13 時から翌朝 7 時の 18 時間) 設置した張網で採集されたチャネルキャットフィッシュの VI は、体長 10 cm 未満では 98.4% と著しく高かったが、体長 10.0-19.9 cm で 71.4%, 体長 20.0-29.9 cm で 37.5%, 30.0-39.9 cm 以上の体長階級で 0-5.3% と低くなり、成長に伴って摂餌個体が増加した。また、SFI は体長 10 cm 未満では平均 0.1 と著しく低かったが、体長 10-19.9 cm では平均 1.6 になり、体長 20-29.9 cm 以上の体長階級では平均 6.7-8.8 と高い値が確認された。これまでに霞ヶ浦の沿岸帯で釣獲された本種の食性を解析した事例によると、体長 2-6 cm の個体は VI が 9%, SFI が平均 1.65,²⁹⁾ 体長 15-59 cm では VI が 34%, SFI が平均 0.46,¹²⁾ 体長 13-60 cm では VI が 26%, SFI が平均 0.39¹³⁾であることが示されている。したがって、自然環境下と比べると、本研究の体長 10 cm 未満の個体は極端に食べていない状態、逆に、体長 20 cm 以上の個体は胃が餌で十分に満たされている状態にあると判断された。

張網で採集されたチャネルキャットフィッシュは体長

10–20 cm から体長 40 cm 以上のどの体長階級においても小型魚類とテナガエビを主に摂餌していた。本種の体長と胃内容物中に出現した全餌生物の体サイズとの相関を調べたところ、小型魚類とテナガエビのそれぞれについて正の相関は認められなかったが、本種の体長と胃内容物中から出現した小型魚類の最大体長もしくはテナガエビの最大頭胸甲長との間にはそれぞれ有意な正の直線関係が認められた。したがって、本種が成長するにつれて、張網内でより大きな餌生物を選択的に捕食する傾向はないものの、捕食可能な餌生物の体サイズは大きくなると推察された。同様に、霞ヶ浦（北浦）の沿岸帯で実施された本種の食性調査においても、小型魚類やテナガエビが主要な餌に含まれており、成長に伴って捕食する魚類の最大体サイズが大きくなることが確認されている。¹²⁾ なお、本研究では本種の摂餌器官（口径や食道径、歯の形状など）を計測しておらず、捕食可能な餌生物のサイズが何によって制限されるのかについては不明である。一方で、張網で採集された本種の胃内からは大型魚類の断片やユスリカ類幼虫、陸上植物片が稀に出現するのみ（%W で 0.9–3.0%；%F で 1.5–7.5%）であったが、霞ヶ浦の沿岸帯では本種によってこれらの餌項目がよく利用されていた（%W と %F は大型魚類の断片で 20.5–33.0% と 43.0–48.1%，ユスリカ類幼虫で 3.3–7.5% と 28.8–41.9%，陸上植物片で 8.8–36.5% と 21.5–48.1%）。^{12,13)} このような胃内容物組成の差異は、張網内では捕食可能な餌が小型魚類・エビ類に限られることと関連付けられる。先述したように、本種の体長 20 cm 以上の個体では小型魚類・エビ類のみで胃が満たされているため、そのほとんどの個体が張網内に同時に入網した漁獲物の小型魚類・エビ類を捕食することで胃が餌で十分に満たされている状態に至ったと考えられる。一方、本種の体長 10 cm 未満の個体については、霞ヶ浦の沿岸帯ではユスリカ類幼虫やミジンコ類をよく摂餌しているのに対し、²⁹⁾ 張網内ではそれらの餌生物を摂餌しておらず空胃個体が多かったのは、入網した後に餌生物（とくにユスリカ類幼虫）にアクセスしづらいというに、本種を含む大型の魚食魚が張網内で活動することによりミジンコ類を摂餌することすら困難な状態で長時間を過ごしたためと考えられる。

張網で採集されたチャンネルキャットフィッシュの胃内容物組成には、張網へ入網のタイミングや胃内からの餌料排出速度の影響があることも想定される。本研究で張網を設置していた 18 時間（13 時から翌朝 7 時）のなかで、本種がいつ頃入網したのかについての詳細は不明だが、本種は夜行性で、昼間に休息し日の入りとともに活発に索餌遊泳する習性をもつことから、^{12,17,29)} 調査期間中の日の入り（18–19 時）より前に入網した個体は少ないのではないかと推測される。日の入り直後に本種が

入網した場合、網内では最長で 12–13 時間程度を過ごすことになる。調査期間中の水温は 9.1–29.6℃であり、これに近い水温条件下（10, 16, 21, 24, 27, 29℃の 6 区分）で本種の 2–3 歳魚（平均重量 380 g）にペレットを摂餌させた後に無給餌状態で保つと、胃内で消化されずに残っている内容物の量は 6 時間後で 31–87%（各水温条件下の平均 63%）、12 時間後で 21–71%（平均 43%）となることが報告されている。³⁰⁾ 本種の胃内からの餌料排出速度から判断すると、仮に、沿岸帯において夜間に餌を食べた後、明け方近くに張網に入網し、張網内で摂餌したとしても、小型魚類やエビ類以外の餌料がより高い割合で残っているはずである。以上のことから、本研究の供試魚の胃内容物組成は、張網に入網した後の張網内での捕食実態をよく反映していると考えられる。

張網内で捕食される魚類・エビ類の特徴 本研究のチャンネルキャットフィッシュの胃内容物からは、ワカサギやシラウオ、ハゼ類をはじめとする小型魚類計 17 種とエビ類 1 種（テナガエビ）が出現した。これらの種のなかでチャンネルキャットフィッシュによって最も多く捕食されていた種はワカサギであり（平均 %W で 45.9%）、次いで、ウキゴリ（14.8%）、シラウオ（14.4%）、テナガエビ（6.1%）であった。これら 4 種はいずれも霞ヶ浦の水産有用種である。³¹⁾ 調査期間中の重量に基づく平均 PPC はワカサギで 73.7%，ウキゴリで 36.6%，シラウオで 80.1%，テナガエビで 33.3% であり、チャンネルキャットフィッシュによる張網内での捕食によって深刻な漁業被害が生じていることが明らかとなった。これら 4 種について PPC の季節変化をみると、ワカサギは 2017 年 6 月を除くすべての月で約 50–100% と高く、シラウオは出現した 3–5 月に約 60–90% と高かった。ウキゴリとテナガエビについては一部の月では 50% 以上と高いが、半分以上の月では 25% 未満と低い傾向がみられた。これら 4 種や捕食者であるチャンネルキャットフィッシュの入網状況には採集日による変動もあるため、本研究の結果のみからどの種がどの季節に被害を受けやすいかについて明示するのは困難であるものの、今回調査を実施したどの月においても一定程度の被害が存在しているといえる。

張網内と胃内から合計 20 個体以上が得られた魚類・エビ類各種で被食率を比較すると、上述したワカサギやシラウオ、ウキゴリ、テナガエビと同様に平均 PPC が 35.0–100% と高頻度で捕食される種（例えば、タイリクバラタナゴ、モツゴ、クルマサヨリ）が認められるのに対し、平均 PPC が 0–5.4% でほとんど捕食されない種（例えば、ゲンゴロウブナ、ギンブナ、タモロコ、ヨシノボリ属、スジエビなど）も認められた。チャンネルキャットフィッシュは自然環境下において季節や場所に

よって餌料環境が変化するなかで、生息密度が高く摂餌しやすい餌料をよく利用することが知られているが、^{13,18)} 張網内の狭い空間に様々な餌生物が存在するなかで、このように種間で被食率が異なる理由としては、①餌生物の大きさや形状、②網内での餌生物の遊泳・逃避行動もしくは斃死の有無、③餌生物の入網のタイミングが想定される。

①については、先述したように、本種は成長に伴ってより大きな餌生物を捕食しうようになるが、餌生物が一定以上の大きさであったり、被食回避に役立つ棘要素を鱗などに有していたりする場合、本種の摂餌器官の構造上の制約によって捕食できないことが想定される。胃内と張網内との間で出現した魚類やエビ類の体長組成を比較したところ、胃内よりも張網内の方が明らかに大きかった。魚類についてみると、張網内のみで体長 15 cm よりも大きな個体（主にフナ類）が出現し、また、体長 20 cm 以上の個体も入網した全個体数の約 6.7% を占める程度に出現していた。したがって、本種（供試魚の体長約 5-58 cm）は張網内においても成長に伴ってより大きな餌生物を捕食可能となるものの、魚類については概ね体長 15 cm を超える個体を丸のまま捕食することができないと考えられる。

次に、②については、水槽内でチャンネルキャットフィッシュに魚類やエビ類を捕食させた実験によると、底生魚である本種は高水位の場合には食べやすい位置に定位している底生性ハゼ類・エビ類を主に捕食し、遊泳魚（タイリクバラタナゴ）をあまり捕食しないが、低水位の場合には遊泳魚もよく捕食することが示されている。¹⁵⁾ さらに、飼育下では死んだエビを積極的に捕食することや、¹⁵⁾ 野外ではハクレンの死骸を捕食すること¹³⁾ も知られている。張網内という狭い空間に底生魚や遊泳魚が高密度で遊泳している場合には、単に遊泳層のみならず、狭い空間内で捕食者から逃避する能力を有していない種は捕食されやすくなる可能性がある。さらに、網内で擦れ等によって斃死しやすい種（ワカサギやシラウオ、クルマサヨリなど）については、張網内において斃死した場合に捕食されやすくなると考えられる。

最後に、③については、張網は 18 時間設置されており、各種が入網する時間帯はそれぞれの種の活動時間帯によって変化する可能性がある。例えば、日の入り前後にチャンネルキャットフィッシュが入網する場合に、本種より先に入網していた種は本種と多くの時間を網内で過ごすことになり捕食されやすいが、本種の胃が餌で十分に満たされた後の日の出後に入網する種がいた場合には、その種はあまり捕食されないことも想定される。今後、本種による張網漁業の被害を低減する観点から、上記①-③が各種の張網内被食率の多寡にどの程度関与しているのかについても調査・検討することが望まれる。

張網内での捕食被害を減らすための対策 前述したように、本研究によって、チャンネルキャットフィッシュの体長約 20-58 cm の個体が張網内で魚類・エビ類を捕食して胃が餌で十分に満たされた状態となること、また、それらの個体でも体長 15 cm より大きな魚類を丸のまま捕食しないことが明らかとなった。したがって、本種による張網内での食害を低減するためには、水産有用種である小型魚類やエビ類を入網させながらも、体長 20 cm 以上の本種の入網を可能な限り防ぐことが必要である。近年、霞ヶ浦の張網漁業者の一部は、張網内での本種による漁獲物への捕食被害を減らすために、張網の袋網の網口部分に格子状のスクリーンを取り付けて、本種の大型個体が入網を防止し小型魚類やエビ類を入網させる方法で操業を継続している。この方法が本種の大型個体が入網の防止と漁獲物の捕食被害の低減に役立つという漁業者からの聞き取り情報はあるものの、どの程度の効果があるのかの詳細についてはまだ検証されていない。今後、季節や場所によって変化する主要な漁獲対象に応じて、侵入防止スクリーンの効果を検討することが望まれる。

謝 辞

本研究を行うに当たり、採集調査に同意していただいた霞ヶ浦漁業協同組合の方々、採集調査にご協力いただいた霞ヶ浦漁業協同組合の大崎 匠氏、標本の採集や測定にご協力いただいた茨城県水産試験場の荒井将人氏、綿引 悟氏、大塚久美子氏、富川孝史氏、調査方法について有益なご助言をいただいた茨城県水産試験場の須能紀之氏と荒山和則氏、千葉県水産総合研究センター内水面水産研究所の尾崎真澄氏、茨城大学広域水圏環境科学教育研究センターの平山拓弥氏と内田大貴氏、原稿について有益なご指摘をくださった匿名の 2 名の査読者に心より御礼申しあげる。

文 献

- 1) Hubert WA. Biology and management of channel catfish. In: Irwin ER, Hubert WA, Rabeni CF, Schramm HL Jr., Coon T (eds). *Catfish 2000: Proceeding of the International Ictalurid Symposium*. American Fisheries Society, Symposium 24, Bethesda, Maryland. 1999; 3-22.
- 2) Tucker CS, Hargreaves JA. *Biology and Culture of Channel Catfish*. Elsevier, Amsterdam. 2004.
- 3) Lever C. *Naturalized Fishes of the World*. Academic Press, Great Britain. 1996.
- 4) Fuller PL, Nico LG, Williams JD. *Nonindigenous Fishes Introduced into Inland Waters of the United States*. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland. 1999.
- 5) 丸山為蔵, 藤井一則, 木島利通, 前田弘也. アメリカナマズ. 「外国産新魚種の導入経過」水産庁研究部資源課・水産庁養殖研究所, 東京. 1987; 123-125.
- 6) 尾崎真澄, 宮部多寿. 利根川下流域におけるチャンネルキャットフィッシュの漁獲実態. 千葉県水産総合研究セ

- ンター研究報告 2007; **2**: 33-41.
- 7) 片野 修, 佐久間徹, 岩崎 順, 喜多 明, 尾崎真澄, 坂本 浩, 山崎裕治, 阿部夏丸, 新見克也, 上垣雅史. 日本におけるチャネルキャットフィッシュの現状. 保全生態学研究 2010; **15**: 147-152.
 - 8) 諸澤崇裕, 今井 仁, 加納光樹. 魚類 Pisces. 「最新 日本の外来生物」(自然環境研究センター編) 平凡社, 東京. 2019; 139-200.
 - 9) 荒山和則. 霞ヶ浦における近年の外来種問題—チャネルキャットフィッシュの現状—. 水環境学会誌 2015; **38** (A): 56-59.
 - 10) 茨城県. 「霞ヶ浦北浦の水産」霞ヶ浦北浦水産事務所, 土浦. 2019.
 - 11) 野内孝則, 荒山和則, 富永 敦. 霞ヶ浦北浦で確認された外来魚の導入経緯. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 2008; **41**: 47-54.
 - 12) 遠藤友樹, 金子誠也, 猪狩健太, 加納光樹, 中里亮治, 亀井涼平, 碓井星二, 百成 渉. 茨城県北浦の沿岸帯におけるチャネルキャットフィッシュの摂餌特性. 水産増殖 2015; **63**: 49-58.
 - 13) 平山拓弥, 遠藤友樹, 金子誠也, 碓井星二, 加納光樹. 富栄養湖のヨシ帯における餌料環境の季節変化に応じたチャネルキャットフィッシュの餌利用シフト. 水産増殖 2018; **66**: 141-145.
 - 14) 平山拓弥, 山崎和哉, 加納光樹. 北浦に流入する小河川におけるチャネルキャットフィッシュの季節的出現と食性. 水産増殖 2018; **66**: 329-333.
 - 15) Arayama K. Experimental determination of the attributes of channel catfish prey. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2010; **76**: 68-70 (in Japanese).
 - 16) Arayama K, Iwasaki J. Recent problems on the invasive alien fish in Lake Kasumigaura, Ibaraki Prefecture: current states and reduction methods for channel catfish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2012; **78**: 761-764 (in Japanese).
 - 17) Matsuda K. Diel activity and reduced feeding with LED lighting in channel catfish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2017; **83**: 639-641 (in Japanese).
 - 18) 半澤浩美. 霞ヶ浦におけるチャネルキャットフィッシュ (*Ictalurus punctatus*) の食性. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 2004; **39**: 52-58.
 - 19) Bailey RM, Harrison Jr. HM. Food habits of the southern channel catfish (*Ictalurus lacustris punctatus*) in the Des Moines River, Iowa. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1948; **75**: 110-138.
 - 20) 富永 敦, 半澤浩美, 野内孝則, 荒山和則. 霞ヶ浦における魚類及び甲殻類の現存量の経年変化. 陸水学雑誌 2013; **74**: 1-14.
 - 21) Usui S, Kanou K, Sano M. Comparison of fish assemblage structures between reed stands and bulkheads in Lake Kitaura, Ibaraki Prefecture, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2014; **80**: 741-752 (in Japanese with English abstract).
 - 22) Usui S, Kanou K, Arayama K, Sano M. Seasonal changes in the structure of reed stand fish assemblage in Lake Kitaura, Ibaraki Prefecture, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2015; **81**: 964-972 (in Japanese with English abstract).
 - 23) 中坊徹次. 「日本産魚類検索 全種の同定 第三版」東海大学出版会, 秦野. 2013.
 - 24) 豊田幸詞, 関 慎太郎. 「日本産淡水性・汽水性甲殻類 102 種 日本の淡水性エビ・カニ」誠文堂新光社, 東京. 2014.
 - 25) 明仁, 坂本勝一, 池田祐二, 岩田明久. ハゼ亜目. 「日本産魚類検索 全種の同定 第二版」(中坊徹次編) 東海大学出版会, 東京. 2000; 1139-1310, 1606-1628.
 - 26) Molinero A, Flos R. Influence of season on the feeding habits of the common sole *Solea solea*. *Mar. Biol.* 1992; **113**: 499-507.
 - 27) Nakai T, Sano M, Kurokura H. Feeding habits of the darkfin hind *Cephalopholis urodeta* (Serranidae) at Iriomote Island, southern Japan. *Fish. Sci.* 2001; **67**: 640-643.
 - 28) 中里亮治. 霞ヶ浦で大繁殖している特定外来生物「チャネルキャットフィッシュ」が底生動物群集の現存量に及ぼす影響に関する研究. 河川環境管理財団平成 19 年度河川整備基金助成事業報告書, 公益財団法人河川財団, 東京. 2008.
 - 29) Yamazaki K, Kanou K, Arayama K. Nocturnal activity and feeding of juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus*, around offshore breakwaters in Lake Kasumigaura, Japan. *Ichthyol. Res.* 2019; **66**: 166-171.
 - 30) Shrable JB, Tiemeier OW, Deyoe CW. Effects of temperature on rate of digestion by channel catfish. *Progressive Fish-Culturist* 1969; **31**: 131-138.
 - 31) 萩原富司, 熊谷正裕. 「平成調査 新・霞ヶ浦の魚たち」霞ヶ浦市民協会, 土浦. 2007.