

ISSN 0916-1570

# 茨城県水産試験場研究報告

第 49 号

BULLETIN OF THE  
IBARAKI PREFECTURAL FISHERIES  
EXPERIMENTAL STATION

HITACHINAKA, JAPAN

No.49

茨城県水産試験場

ひたちなか市

令和6年12月

# 茨城県水産試験場研究報告

## 第 49 号

### 研究報告

- 常磐南部・鹿島灘海域における海況の長期変動および近年の海流と漁況との関係  
大森健策・小熊進之介・須能紀之・ . . . . . 1
- 茨城県沿岸域におけるシラス漁獲量の短期予測手法の検討  
小熊進之介・ . . . . . 1 2
- 透明骨格標本によるさば類幼魚の簡易種判別手法  
荒井 将人・ . . . . . 1 7
- 霞ヶ浦におけるワカサギ漁解禁直後の水揚げ動向から推定した  
2010年から2023年のワカサギ漁期加入尾数  
根本 孝・山崎幸夫・今野美紗子・飯田隼人・ . . . . . 2 1
- 霞ヶ浦におけるテナガエビの浮遊幼生の出現動向について  
根本 孝・ . . . . . 3 0
- 飼育実験による霞ヶ浦産テナガエビの抱卵期間と積算水温の関係  
根本 孝・ . . . . . 3 6
- 霞ヶ浦におけるテナガエビ個体群の成長と産卵成熟過程の観察  
根本 孝・ . . . . . 4 0
- 底曳網調査で得られた北限記録を含む茨城県初記録の魚類7種  
外山太郎・多賀 真・水谷宏太・浦本高志・荒山和則・ . . . . . 4 9
- 鹿島灘はまぐりの貝殻の色彩及び黒色型の色彩を標識とした種苗生産について  
宮本徳也・遠藤友樹・鶴見祐輔・関根和輝・黒山忠明・ . . . . . 5 6

# 常磐南部・鹿島灘海域における海況の長期変動および 近年の海流と漁況との関係

大森健策・小熊進之介・須能紀之

Long-term variation in oceanographic conditions and relationship between recent oceanic currents and  
fishing conditions in the southern Joban-Kashimanada area

Kensaku OOMORI, Shinnosuke OGUMA, Noriyuki SUNOU

キーワード：黒潮，親潮，水温，漁獲量，クラスター解析，重回帰分析

## はじめに

常磐南部・鹿島灘海域は、沖合では親潮と黒潮が交錯し、沿岸ではこれらの海流から波及する水と沿岸水が混合する海域で、寒・暖流性魚類の好漁場が形成されている（高島，2012；海老沢，2023）。本海域の特徴である親潮と黒潮の交錯は複雑な海況を呈するが、過去の観測結果から、次の3つのパターンに大きく区分できる：1) 沿岸域が親潮系冷水に覆われるかフロントが東西に形成される場合、2) 沿岸域・沖合域を親潮系冷水が南下しその中間に暖水が張り出す場合、3) 犬吠埼沖を東北東方向へ流去する黒潮からの暖水の影響を受けて沖合が高水温化する場合（久保，1988）。上記のような特徴を持つ本海域だが、近年は黒潮統流が北偏傾向で海水温が平年よりも高い状況が継続しており、漁況への影響が注視されている（Kawakami et al., 2023）。海水温の上昇は地球温暖化による影響も無視できないが、本海域における1973–2008年までの36年間の長期傾向解析によると、全期間での昇温トレンドは確認されていない（小日向，2011）。そのため、本海域においては中・短期的な海流の変化が海水温に与える影響が大きいと推察されるものの、本海域の海流や水温の変動については近年まとまった知見が無いのが現状である。

近年、日本近海においては、海水温の上昇傾向に伴う海産物の漁獲量の変化が全国的な事例となっており（高柳，2009；岡村ら，2021）、東北海域では三陸から仙台湾において暖水性魚類が増加し、水揚げの主体となりつつある一方、冷水性魚類が激減し、関連漁業

への影響が深刻となっている（高橋，2022）。茨城県ではタチウオ *Trichiurus japonicus* やイセエビ *Panulirus japonicus* をはじめとする暖水性の魚類や甲殻類の漁獲量増加が注目されているが、科学的な知見に基づいた報告事例は皆無である。

そこで本研究では、常磐南部・鹿島灘海域における海況の長期変動と、近年の海流の変動と漁況との関係を明らかにすることを目的とし、まず、本海域における過去30年間の海流および海水温の変化と過去10年間の主要漁獲対象種の変動を整理した。次いで、統計解析を実施して海流と各種との関係について明らかにし、海流の変動が各種に与える影響について検討した。

## 方法

### (1) 海流および水温データの取得

海流については、犬吠埼黒潮離岸距離（以下、黒潮離岸距離）を海上保安庁ホームページ「海洋速報」

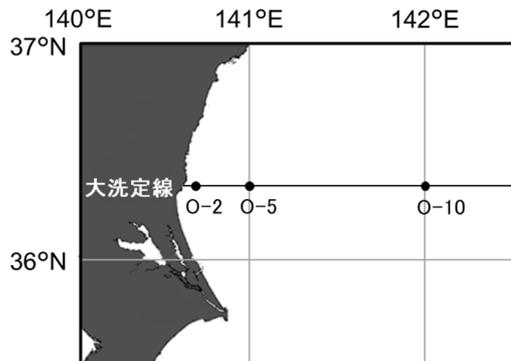


図1. 調査地点図.

( <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/KAIYO/qboc/index.html> ) から、黒潮続流の北限緯度 (以下、黒潮北限緯度) および親潮第一分枝の南限緯度 (以下、親潮南限緯度) をサンマ資源・漁海況検討会議報告と東北区水産研究所発行の東北海区水温図から取得した。水温については、各月に 1 回の頻度で実施している茨城県水産試験場の漁業調査指導船「水戸丸」、「ときわ」、「いばらき丸」のいずれかによる海洋観測調査において海水温度記録計 (MKN-21A-N, 村山電機製作所製) と CTD (SBE911plus, SeaBird 社製) による鉛直測定で得られた実測値のうち、大洗定線 (36° 19' N) の O-2 (140° 41' E), O-5 (141° E), O-10 (142° E) の 3 地点における 0 m 深および 100 m 深 (水深が 100 m より浅い O-2 を除く) のものを用いた (図 1)。取得期間は海流、水温ともに 1991 年 1 月から 2020 年 12 月までの 30 年間とし、各項目において年平均値を算出して解析に使用した。

### (2) 魚種別漁獲量の取得

近年の常磐南部・鹿島灘海域における主要漁獲対象種の変化を把握するために、茨城県水産試験場ホームページ「茨城県産重要魚種の生態と資源」

( <https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/suishi/t/eichaku/juuyogyoshu-seitai-shigen.html> ) に令和 3 年度末時点で掲載されている 21 種 (以下、掲載順: ヒラメ *Paralichthys olivaceus*, マコガレイ *Pseudopleuronectes herzensteini*, マガレイ *Pseudopleuronectes yokohamae*, イシガレイ *Platichthys bicoloratus*, ヤナギムシガレイ *Tanakius kitaharae*, キアンコウ *Lophius litulon*, アオメエソ *Chlorophthalmus albatrossis*, ムシガレイ *Eopsetta grigorjewi*, ユメカサゴ *Helicolenus hilgendorffii*, ヤナギダコ *Paroctopus conispadiceus*, マダコ *Octopus vulgaris*, ヤリイカ *Heterololigo bleekeri*, マイワシ *Sardinops melanostictus*, サバ類 *Scomber* spp., カタクチイワシ *Engraulis japonica*, カツオ *Katsuwonus pelamis*, サンマ *Cololabis saira*, カタクチイワシシラス (以下, シラス), イカナゴ *Ammodytes japonicus*, イシカワシラウオ *Neosalangichthys ishikawae*, サヨリ *Hyporhamphus sajori*) と、近年増減傾向が顕著な任意追加種 8 種 (マダラ *Gadus macrocephalus*, ブリ *Seriola quinqueradiata*, マアジ *Trachurus japonicus*, マダイ *Pagrus major*, タチウオ, サワラ *Scomberomorus niphonius*, スルメイカ *Todarodes pacificus*, イセエビ) の計 29 種の魚種別漁獲量を茨城県水産試験場の

漁獲管理 (TAC) 情報処理システムから取得した。本研究の目的は、近年の海流の変動と漁況との関係を明らかにすることであることから、取得期間は 2011 年 1 月から 2020 年 12 月までの 10 年間とし、県内 10 漁協の全漁法合計値を取得した。取得した漁獲量は年平均値を算出して解析に使用した。

### (3) 解析方法

過去 30 年間の常磐南部・鹿島灘海域における水温

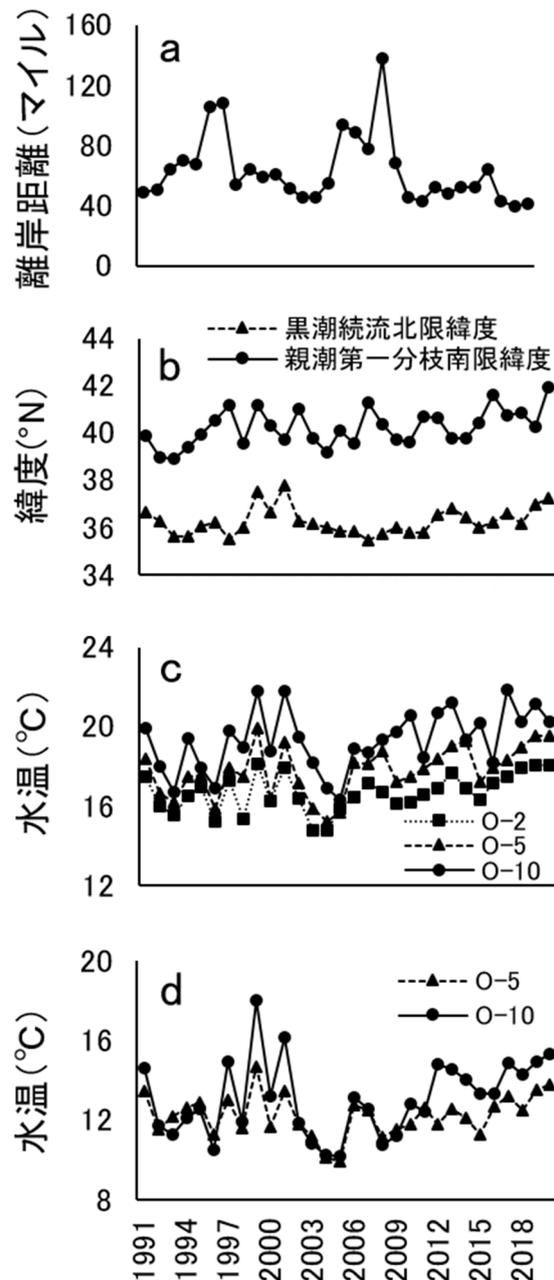


図 2. 1991–2020 年の常磐南部・鹿島灘海域における海流と水温の年平均値の推移 (a, 犬吠埼黒潮離岸距離; b, 黒潮続流の北限緯度および親潮第一分枝の南限緯度; c, 大洗定線 0 m 深水温; d, 大洗定線 100 m 深水温)。

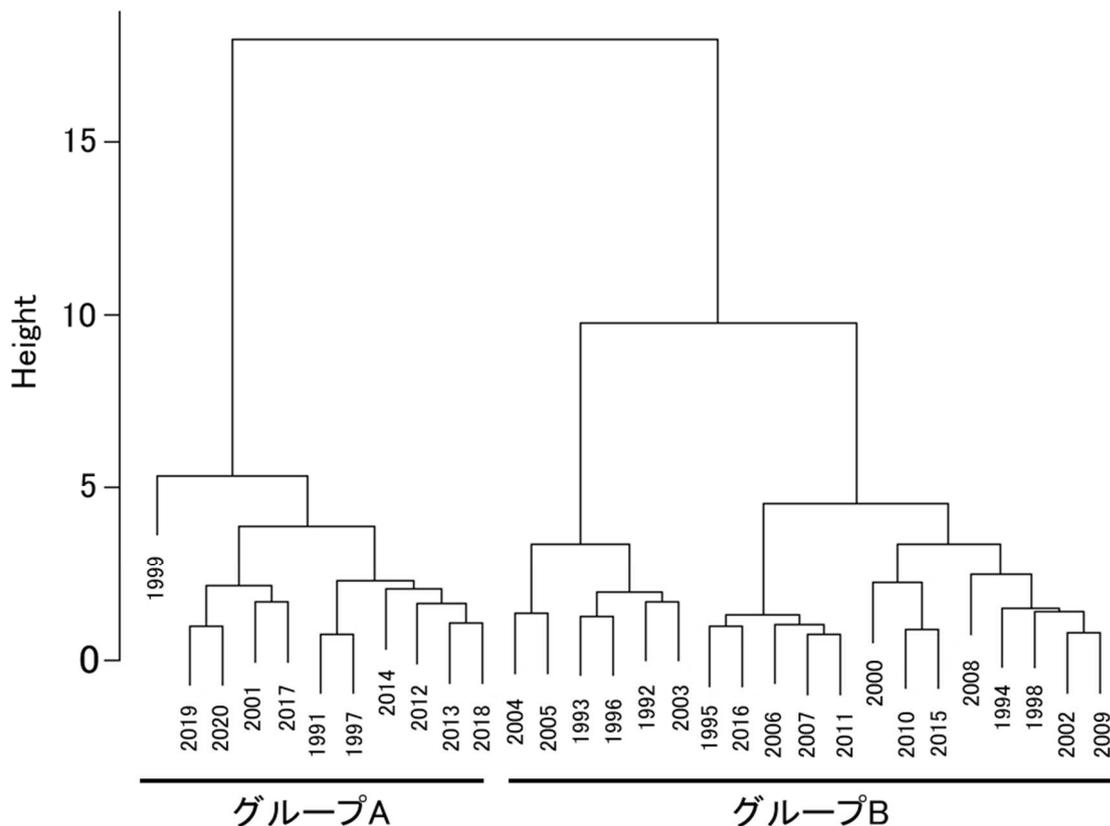


図 3. 1991–2020 年の常磐南部・鹿島灘海域における水温の年平均値に基づくクラスター解析結果.

に年単位でどのような類似性があるかを把握するために、ウォード法を用いて非類似度に基づくクラスター解析を実施した。分類された各グループ間で海流および水温に有意な差があるかどうかについては、Student's-*t* test を用いて調べた。

TAC システムから抽出した 29 種の近年における漁獲量変動の類似性を把握するために、ウォード法を用いて非類似度に基づくクラスター解析を実施した。漁獲量は種ごとに大きく異なるため、漁獲量が正規分布に従うと仮定し、各種の年別漁獲量から平均値を引いた値を標準偏差で割ることで標準正規分布 (平均 = 0, 標準偏差 = 1) に従う *Z* 値を算出し、標準化を行った。また、中坊編 (2013) や我が国周辺水域の漁業資源評価報告書 (<https://abchan.fra.go.jp/hyouka/>) などを参考に、クラスター解析によって分類された各グループの構成種について、主分布域および主漁場が本海域を境として南部に位置する種を暖水性魚類、北部に位置する種を冷水性魚類、生息域が広いか回遊を行う種を広域性魚類として便宜的に区分したうえで、各グループの特性を把握した。

海流の変化が各種に与える影響を調べるために、各

種の *Z* 値を目的変数、黒潮離岸距離、黒潮北限緯度、親潮南限緯度を説明変数として重回帰分析を実施した。重回帰分析の前には、各種の *Z* 値と各年で単回帰分析を行い、算出された単回帰係数 (*B*) が  $|B| > 0.25$  となった種を近年の増減傾向が大きい種として定義し、今回の解析対象とした。モデル選択の際は、Null モデルから Full モデルまですべての説明変数の組み合わせにおいて最も AIC が小さくなったモデルをベストモデルとして採用した。クラスター解析および重回帰分析には R ver. 4.0.4 を使用した。

## 結 果

### (1) 海流および水温の推移と特徴

過去 30 年間の海流および水温の推移を図 2 に示した。黒潮離岸距離は 1996–1997 年および 2006–2009 年に離岸傾向となり、2011 年以降は他の時期と比較して接岸傾向で推移していた (図 2a)。黒潮北限緯度は 1999–2001 年と 2012 年以降で北偏傾向、それ以外の期間で南偏傾向であった (図 2b)。親潮南限緯度は数年周期で北偏と南偏を繰り返したのち、2015 年以降は北偏傾向となった。大洗定線の 0 m 水温は 2000 年前

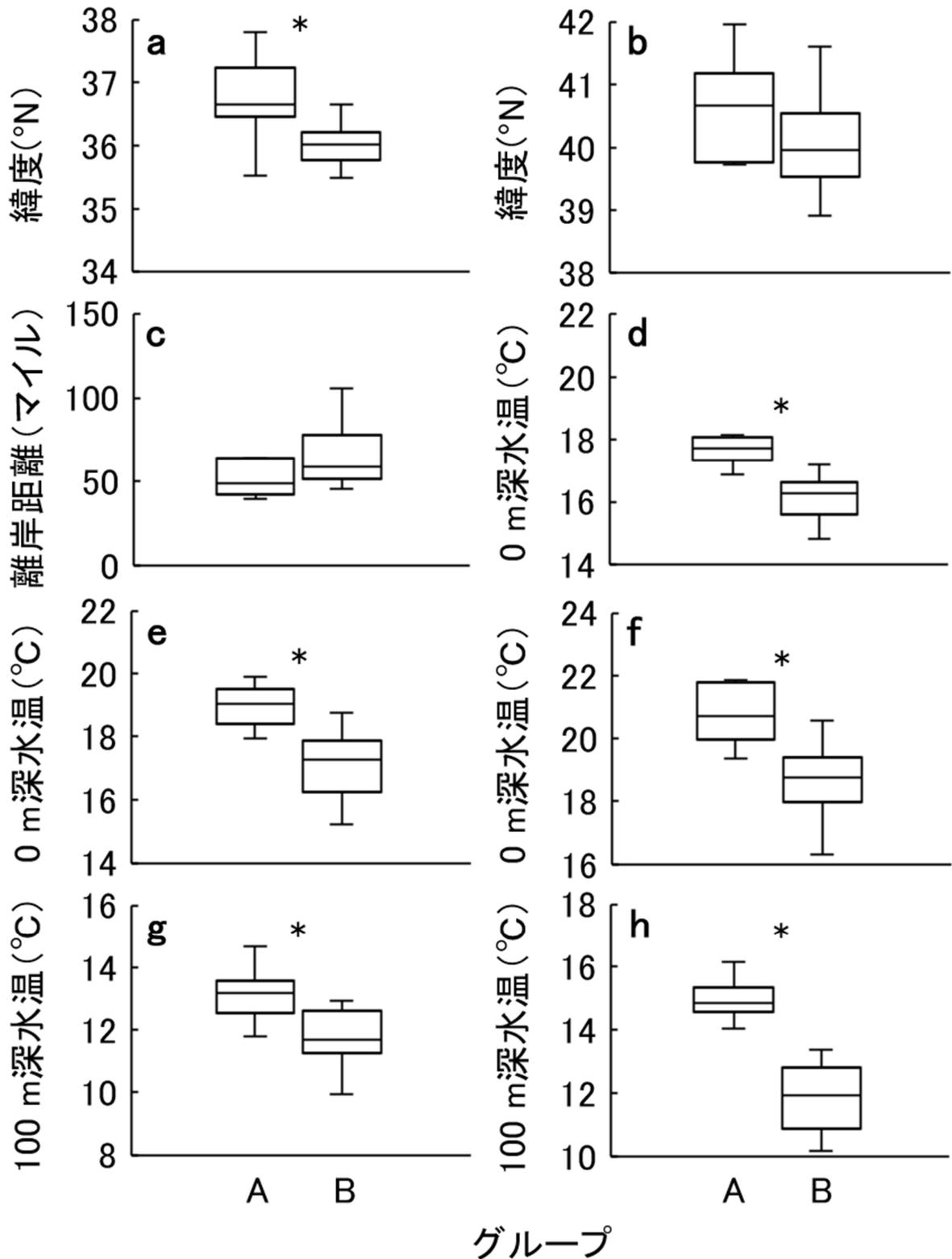


図4. 1991–2020年の常磐南部・鹿島灘海域における海流と水温の年平均値のグループ間での比較 (a, 黒潮統流の北限緯度; b, 親潮第一分枝の南限緯度; c, 犬吠埼黒潮離岸距離; d, 大洗定線 (O-2) 0 m 深水温; e, 大洗定線 (O-5) 0 m 深水温; f, 大洗定線 (O-10) 0 m 深水温; g, 大洗定線 (O-5) 100 m 深水温; h, 大洗定線 (O-10) 100 m 深水温). \*  $P < 0.05$ .

後に高水温傾向となり、2004–2005年頃まで徐々に降温した (図2c)。2006年以降は2015–2016年頃に一

時的な降温がみられたものの、昇温傾向が継続している。100 m 深水温は0 m 水温と概ね同様の傾向を示し

表 1. 2011–2020 年の常磐南部・鹿島灘海域における各種の漁獲量の年平均値（県内 10 漁協の全漁法合計値）。

科名	和名	漁獲量(t)									
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ニシン科	マイワシ	2,409.7	146.9	5,375.2	1,488.2	7,400.4	7,465.8	14,168.8	11,782.0	13,672.1	15,029.1
カタクチイワシ科	カタクチイワシ	8,473.1	2,081.7	3,833.6	1,918.5	1,103.8	305.0	162.9	380.4	257.5	499.4
	カタクチイワシシラス	1,200.6	2,682.8	2,269.3	2,851.7	1,981.7	1,812.5	3,567.0	3,450.1	3,497.7	4,660.7
シラウオ科	イシカワシラウオ	8.7	6.4	5.7	19.1	11.9	23.0	30.1	30.9	8.0	9.5
アオメエソ科	アオメエソ	143.1	73.9	64.3	83.1	82.6	319.5	428.0	275.5	163.1	233.4
タラ科	マダラ	62.1	41.4	0.0	35.7	165.4	110.2	41.9	24.3	8.1	3.0
アンコウ科	キアンコウ	56.6	36.4	35.1	40.0	74.7	65.6	108.1	118.6	128.8	78.0
サヨリ科	サヨリ	64.7	47.4	37.8	55.2	20.5	21.9	10.2	14.6	38.1	13.3
ダツ科	サンマ	16.8	987.6	2,118.4	714.1	1,047.7	248.5	1,238.6	138.2	5.2	13.9
メバル科	ユメカサゴ	12.4	12.6	16.8	15.0	12.4	17.6	18.1	30.4	36.5	32.7
	ブリ	128.6	206.5	221.3	133.5	202.1	110.6	144.9	66.3	72.5	63.2
タイ科	マアジ	97.2	63.6	120.9	397.7	65.9	144.9	71.5	72.1	46.5	57.5
	マダイ	36.1	34.3	123.3	90.9	116.8	59.7	84.5	58.5	99.2	100.8
イカナゴ科	イカナゴ	3.9	0.0	0.0	119.1	188.5	55.2	10.0	0.0	0.0	0.0
タチウオ科	タチウオ	0.1	0.1	2.0	1.0	2.9	6.4	12.0	7.2	27.7	25.7
サバ科	カツオ	25.9	46.6	59.9	3.2	4.0	42.9	17.3	57.8	3.0	5.0
	サバ類	1,241.4	66.7	1,156.0	6,100.4	24,673.2	38,988.6	27,232.5	22,266.2	14,898.1	6,051.8
	サワラ	0.7	1.4	14.3	2.2	12.6	12.8	13.1	4.5	28.5	48.5
ヒラメ科	ヒラメ	382.5	259.5	570.2	456.6	596.7	442.7	341.2	255.7	292.5	200.4
カレイ科	ムシガレイ	24.1	24.8	39.1	54.0	69.8	103.6	79.2	74.2	70.7	54.6
	イシガレイ	41.8	24.3	25.0	72.4	54.1	31.0	24.6	15.8	7.7	5.1
	マガレイ	4.5	7.9	7.1	4.5	3.9	4.8	5.3	3.5	3.2	0.4
	マコガレイ	109.7	40.9	70.3	45.1	54.0	42.0	28.4	24.5	19.8	9.1
	ヤナギムシガレイ	38.5	20.4	21.9	29.7	81.2	105.3	75.2	50.7	39.7	20.4
マダコ科	ヤナギダコ	301.1	156.1	123.5	160.6	175.9	164.1	132.0	153.1	117.6	75.9
	マダコ	197.8	129.0	61.3	112.7	115.3	136.1	166.3	147.6	86.4	149.6
ヤリイカ科	ヤリイカ	238.8	1,803.0	1,006.3	1,009.0	383.3	316.2	355.2	589.0	423.6	1,042.3
アカイカ科	スルメイカ	90.7	88.2	113.0	125.9	65.5	41.8	57.2	95.6	47.3	180.1
イセエビ科	イセエビ	8.9	4.6	7.1	7.4	6.5	8.1	8.2	10.0	18.3	19.9

た (図 2d)。

過去 30 年間に於ける常磐南部・鹿島灘海域の水溫の特徴を把握するためにクラスター解析を実施したところ、グループ A (1991, 1997, 1999, 2001, 2012–2014, 2017–2020 年) とグループ B (1992–1996, 1998, 2000, 2002–2011, 2015–2016 年) の 2 つに分類された (図 3)。これら 2 つのグループの海流と水溫を比較したところ、黒潮北限緯度 (図 4a) については、グループ A のほうが高緯度であった (Student's *t*-test,  $P < 0.001$ )。親潮南限緯度 (図 4b) については、有意差は認められなかったものの (Student's *t*-test,  $P = 0.10$ )、グループ A のほうが高緯度の傾向がみられた。黒潮離岸距離 (図 4c) については、有意差は認められなかったものの (Student's *t*-test,  $P = 0.18$ )、グループ A のほうが接岸傾向であった。水溫は、0 m 深、100 m 深ともに全地点でグループ A のほうが高かった (Student's *t*-test,  $P < 0.001$ ) (図 4d–h)。

(2) 近年における各魚種の推移と特徴

TAC システムから抽出した各種の近年における漁獲量の推移を表 1 に示した。マイワシやシラス、タチウオ、サワラ、イセエビで漁獲量の増加、カタクチイワシやブリ、イシガレイ、マコガレイで漁獲量の減少が確認された。

各種の 2011–2020 年における漁獲量に基づいてクラスター解析を実施した結果、グループ I (カタクチイワシ、マダラ、サヨリ、サンマ、ブリ、マアジ、イカナゴ、カツオ、ヒラメ、イシガレイ、マガレイ、マコガレイ、ヤナギダコ、マダコ、ヤリイカ、スルメイカ) とグループ II (マイワシ、シラス、イシカワシラウオ、アオメエソ、キアンコウ、ユメカサゴ、マダイ、タチウオ、サバ類、サワラ、ムシガレイ、ヤナギムシガレイ、イセエビ) の 2 つのグループに分類された (図 5)。各種の分布に基づき、便宜的に冷水性・暖水性魚類および広域性魚類に分類したところ、グループ I は冷水性魚類 (4 種) と広域性魚類 (9 種) が多く、グループ II は暖水性魚類 (8 種) が多くなった (表 2)。こ

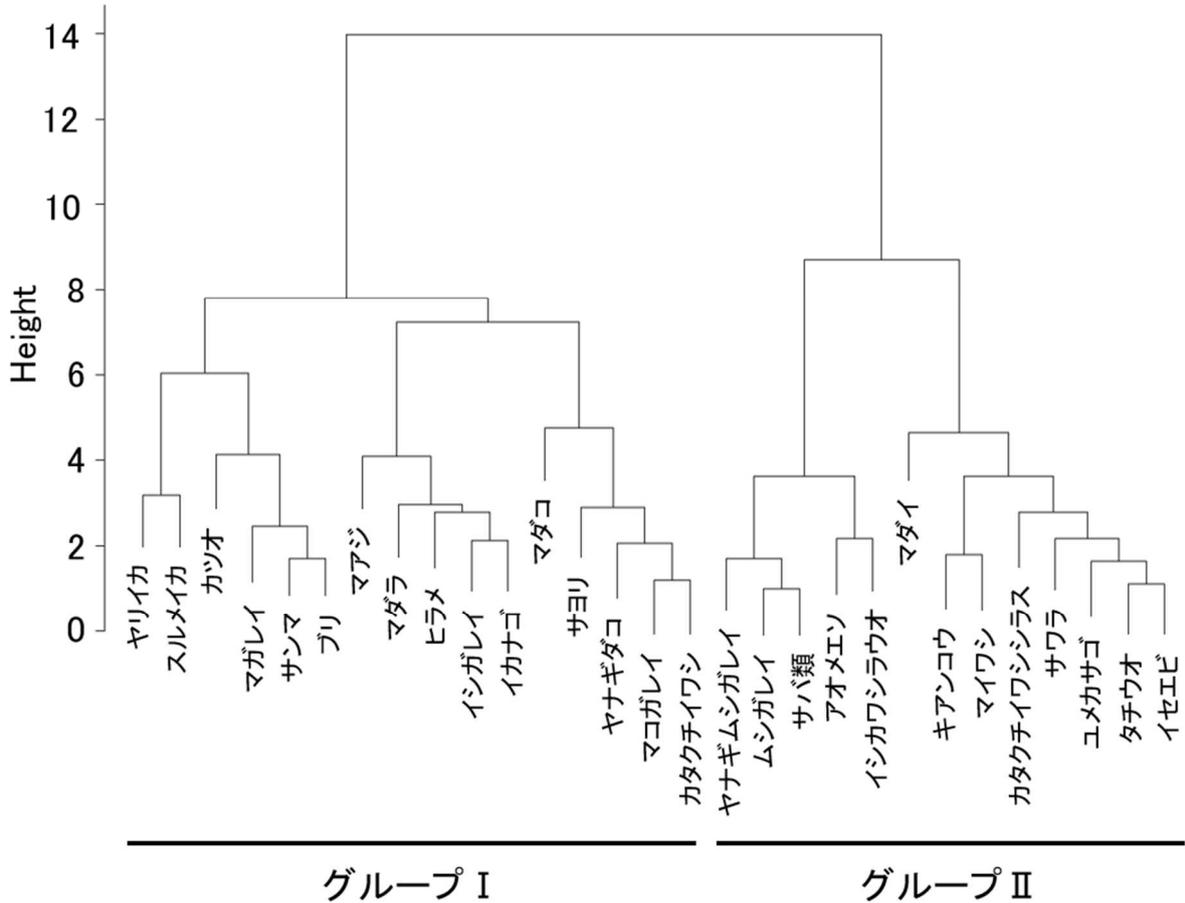


図 5. 2011–2020 年の常磐南部・鹿島灘海域における主要漁獲対象種および任意追加種計 29 種の年平均漁獲量の Z 値に基づくクラスター解析結果。

れら 29 種のうち、近年において漁獲量が大きく増加・減少した種を単回帰分析により抽出したところ、 $|B| > 0.25$  となった種は 12 種（マイワシ、カタクチワシ、シラス、キアンコウ、サヨリ、ユメカサゴ、ブリ、タチウオ、サワラ、マガレイ、マコガレイ、イセエビ）であった。

近年において増減傾向の大きな 12 種について、海流との関係を調べるために重回帰分析を行ったところ、ベストモデルで黒潮北限緯度が選択された種は 8 種で、そのうち 6 種（マイワシ、シラス、ユメカサゴ、タチウオ、サワラ、イセエビ）が正の相関、残り 2 種（カタクチワシ、マコガレイ）が負の相関を示した（表 3）。親潮南限緯度が選択された種は 7 種で、そのうち 4 種（マイワシ、タチウオ、サワラ、イセエビ）が正の相関、3 種（サヨリ、ブリ、マガレイ）が負の相関を示した。黒潮離岸距離が選択された種は 3 種（サヨリ、ユメカサゴ、イセエビ）で、3 種すべてで負の相関となった。

## 考 察

### (1) 海流と水温の関係

過去 30 年間における黒潮離岸距離は、数年おきに離接岸を繰り返してきたが、近年は接岸傾向が続いている。黒潮流軸の離岸距離は沿岸水温との関係が強く、特に常磐南部・鹿島灘周辺海域においては、千葉県犬吠埼から黒潮流軸までの距離と鹿島灘南部沖合域の水温偏差との関係が明らかにされているほか、黒潮の傾きや南北偏も沿岸水温を把握するうえで重要な指標となっている（小日向, 2010）。また、一般的に黒潮が接岸すると水温は上昇し、離岸すると水温は下がるとされているが、そのほかに黒潮本流からの暖水波及が沿岸水温を上昇させることも知られている（小熊, 2023）。黒潮北限緯度は、1999–2001 年には北偏傾向を示し、その後は南偏傾向で推移したものの、近年は再び北偏傾向となっている。黒潮北限緯度は北偏すると暖水塊が形成され、黒潮続流または形成された暖水塊が接岸することで親潮系冷水の南下が阻害されることが知られていることから（川合, 1989）、本海域の

表 2. クラスタ解析結果に基づく各種の区分(グループ I, II) と分布特性および各年の漁獲量に基づく単回帰分析結果.

魚種	分布特性	回帰係数	$ \beta  > 0.25$
<b>グループ I</b>			
カタクチイワシ	暖水性魚類	-0.27	*
ブリ	暖水性魚類	-0.25	*
カツオ	暖水性魚類	-0.12	
マダラ	冷水性魚類	-0.08	
イシガレイ	冷水性魚類	-0.20	
マガレイ	冷水性魚類	-0.26	*
ヤナギダコ	冷水性魚類	-0.24	
サヨリ	広域性魚類	-0.26	*
サンマ	広域性魚類	-0.15	
マアジ	広域性魚類	-0.10	
イカナゴ	広域性魚類	-0.05	
ヒラメ	広域性魚類	-0.16	
マコガレイ	広域性魚類	-0.30	*
マダコ	広域性魚類	-0.02	
ヤリイカ	広域性魚類	-0.08	
スルメイカ	広域性魚類	0.03	
<b>グループ II</b>			
カタクチイワシシラス	暖水性魚類	0.28	*
アオメエソ	暖水性魚類	0.19	
ユメカサゴ	暖水性魚類	0.30	*
マダイ	暖水性魚類	0.13	
タチウオ	暖水性魚類	0.30	*
サワラ	暖水性魚類	0.26	*
ヤナギムシガレイ	暖水性魚類	0.06	
イセエビ	暖水性魚類	0.27	*
イシカワシラウオ	冷水性魚類	0.12	
マイワシ	広域性魚類	0.32	*
キアッコウ	広域性魚類	0.27	*
サバ類	広域性魚類	0.16	
ムシガレイ	広域性魚類	0.22	

水温変化に影響を及ぼす要因の一つであると考えられる。親潮南限緯度は、数年周期で南北偏を繰り返していたが、近年は徐々に北偏傾向となっている。親潮南限緯度は親潮第一分枝の勢力を示す指標として用いられることが多く、南偏するほど本海域に冷水の影響を与えることが知られている(久保, 1981)。したがって、親潮南限緯度は黒潮離岸距離、黒潮北限緯度とともに本海域における海況を判断するための重要な指標であると考えられる。

大洗定線の 0 m 深および 100 m 深水温は、2000 年前後に急上昇したのち、2004-2005 年頃まで徐々に降温した。また、2006 年以降は、2015-2016 年頃を除

いて上昇傾向となっている。海流の変化と照らし合わせると、黒潮が接岸したタイミングや各海流が北偏したときに水温の上昇が確認され、各指標が本海域での水温変動を実際に反映していることが示された。また、クラスタ解析の結果、グループ A については、黒潮離岸距離は統計的に有意な差はみられなかったものの接岸傾向、黒潮北限緯度は北偏傾向、親潮南限緯度は統計的に有意な差はみられなかったものの北偏傾向、各地点それぞれの水温は高い傾向があることから、高水温と関連づけられた。一方、グループ B については、黒潮離岸距離は離岸傾向、黒潮北限緯度および親潮南限緯度は南偏傾向、水温は低い傾向があることから、低水温のグループであると考えられた。

(2) 漁獲量の推移とクラスタ解析によって得られた各グループの特徴

漁獲量の減少には各種の資源量の低下や生息域の変化、操業隻数の減少などの様々な要因が挙げられるが、近年の漁獲量の変動については海洋環境の変化が大きいと考えられている(高橋, 2022)。過去 10 年間の常磐南部・鹿島灘海域における漁獲量は種によって劇的な変化がみられ、例えばマイワシやタチウオなどのように急増した種もいる中で、カタクチイワシやマコガレイは急減していた。このような種ごとの漁獲量変動の特徴に基づいてクラスタ解析を行ったところ、主に冷水性魚類と広域性魚類で構成される減少傾向グループと、主に暖水性魚類で構成される増加傾向グループに分けられた。このような各グループの構成種の違いは、黒潮北限緯度や親潮南限緯度の北偏、黒潮流軸の接岸、水温の上昇といった海洋環境の変化に伴う漁獲量の増減によるものであると考えられる。また、本海域以南を主分布域とする魚類の漁獲量増加は、各種の主分布域のシフトを示している可能性がある。

近年において増減傾向の大きかった種を抽出するために単回帰分析を実施したところ、12 種が抽出された。さらに、これら 12 種それぞれの漁獲量に各海流がどのような影響を与えているのかを明らかにするために重回帰分析を行ったところ、カタクチイワシとシラスは黒潮北限緯度のみベストモデルで選択され、カタクチイワシは負の相関がみられたのに対し、シラスは正の相関がみられた。カタクチイワシの太平洋系群の資源量は、2002 年にピーク(291 万トン)をむかえたのち、2018 年には 9.5 万トンと最低水準となり、その後も低調な状態が継続している(木下ら, 2023)。そのため、資源量の低下と漁獲量の減少が関連づけら

表 3. 重回帰分析によって得られたベストモデルにおける各種の漁獲量の Z 値に影響を及ぼす各説明変数の係数.

魚種	係数(標準誤差)			P-value
	切片	黒潮北限緯度	親潮南限緯度 黒潮離岸距離	
<b>暖水性魚類</b>				
カタクチイワシ	39.400 (26.870)	-1.080 (0.737)		0.181
カタクチイワシシラス	-66.574 (19.025)	1.825 (0.522)		0.008
ユメカサゴ	-43.191 (23.407)	1.256 (0.629)	-0.055 (0.038)	0.077
ブリ	31.671 (18.401)		-0.779 (0.452)	0.124
タチウオ	-79.180 (23.001)	1.630 (0.540)	0.485 (0.345)	0.030
サワラ	-87.897 (18.227)	1.724 (0.428)	0.615 (0.273)	0.006
イセエビ	-62.816 (25.408)	1.272 (0.581)	0.462 (0.366)	-0.050 (0.035) 0.080
<b>冷水性魚類</b>				
マガレイ	31.361 (18.467)		-0.771 (0.454)	0.128
<b>広域性魚類</b>				
マイワシ	-62.778 (29.444)	1.048 (0.692)	0.603 (0.441)	0.169
キアンコウ	-25.056 (41.384)			
サヨリ	38.468 (17.652)		-0.877 (0.425)	-0.058 (0.041) 0.126
マコガレイ	55.826 (22.944)	-1.531 (0.629)		0.041

れるほか、黒潮北限緯度の北偏が本種の資源量・漁獲動向に何らかの影響を及ぼしていることが推察される。常磐南部・鹿島灘海域でのシラス漁獲量については、カタクチイワシの卵稚仔が春季に黒潮からの暖水によって供給されることと関連づけられることから(黒山ら, 2006), 黒潮北限緯度が北偏傾向となることにより、卵稚仔が供給される頻度が高くなり、それに伴って漁獲量が増加している可能性がある。なお、房総から道東海域においては、沖合群(4-5月には房総・常磐海域に分布し、その後は道東海域やそのはるか沖合域に移動・回遊する群)と沿岸群(6-11月中旬および1-3月に房総・常磐海域に来遊・分布する群)の存在が明らかにされていることに加え(八角ら, 2018), 本種の資源評価に用いられている資源量指標値の1つである北上期(5-7月)の0歳魚のCPUEが沖合域の調査船調査によるものであり、現在のように分布の主体が沿岸域となっている状況を十分に説明できていない可能性がある(木下ら, 2023)。本研究においても、カタクチイワシおよびシラスと黒潮北限緯度との関係が異なっていることから、本種の資源量の変化が必ずしも本県におけるシラス漁獲量と関連づけられるわけではないと考えられる。

ユメカサゴは黒潮北限緯度と黒潮離岸距離がベス

トモデルで選択され、前者で正の相関、後方で負の相関がみられた。本種は青森県および山陰・隠岐以南と東シナ海に分布しており、特に東シナ海ではよく漁獲されることが知られているが(山田ら, 2007), 常磐南部・鹿島灘海域における本種の成熟度については、明瞭な季節間での変化が認められていないことから(益子, 2015), 本海域ではほとんど再生産しておらず、黒潮の北偏および接岸に伴って南部海域から移動してきていることが推察される。

ブリとマガレイは親潮南限緯度のみベストモデルで選択され、両種ともに負の相関がみられた。ブリについては、三陸から仙台湾では2010年以降(高橋, 2022), 北海道では2011年以降から漁獲量が増加している(古川ら, 2023)。また、銚子港に水揚げされる大中型まき網(主漁場は常磐南部以南の海域)と中型まき網(主漁場は外房沿岸海域)による本種の漁獲量は、前者で2010年以降、後方で2009年以降に増加傾向となり、それぞれ2013年と2012年にピークに達した後は漁獲量が減少し、2020年までは概ね横ばいで推移している(鈴木・宮田, 2021)。さらに、外房の沿岸域で冷水の影響がみられた場合には、本種の北上が阻害されることで周辺海域に滞留した個体が漁獲される可能性も示唆されている(鈴木・宮田, 2021)。した

がって、2010年代以降においては、親潮南限緯度が北偏したために本種が常磐南部・鹿島灘周辺海域で滞留しにくい環境となっていることが考えられる。マガレイについては飼育実験によって水温が0℃を下回っても死亡せず、低水温に対する耐性が高い一方で、数日間程度生存しうる高温限界が水温約25–26℃であることが明らかにされていることから(高橋ら, 1987), 本海域は親潮南限緯度の北偏によって本種の生残に不適な水温環境に変化してきている可能性がある。

タチウオ, サワラ, マイワシについては黒潮北限緯度と親潮南限緯度がベストモデルで選択され, いずれの変数でも正の相関がみられた。タチウオについては, 和歌山県沿岸域において春季の水温上昇が親魚の産卵と関連している可能性が示唆されているほか(内海・武田, 2005), 加入が成功した場合には資源量が増大する可能性も指摘されている(柳川, 2022)。したがって, 各海流の北偏により常磐南部・鹿島灘海域が本種にとって好適な産卵水温になるまで暖かくなってきている可能性や, それに伴って本海域で資源量が増加してきている可能性がある。サワラについては, 日本海で1980年代後半と1990年代後半に起こったとされるレジームシフト(Tian et al., 2008)による高水温傾向に対応した漁獲量の増加が認められていることから(上田・的場, 2009), 常磐南部・鹿島灘海域においても, 黒潮北限緯度と親潮南限緯度の北偏による水温の上昇に伴って漁獲量が増加した可能性がある。マイワシの太平洋系群の資源量は, 1990年代から2000年代後半にかけて低調であったものの, 2014年には100万トンを上回り, それ以降も高水準で推移していることが知られている(古市ら, 2023)。したがって, 本種については太平洋系群の資源量の増加に伴って漁獲量が増加した可能性があるが, 2010年代中頃に起きたと考えられているレジームシフト(Kuroda et al., 2020), 親潮面積の減少や資源量増加によって本種の成長に密度効果をもたらした可能性のほか(谷津ら, 2023), 親潮系冷水の南下に伴う常磐南部・鹿島灘周辺海域での漁場形成等についても考慮する必要がある。

イセエビは黒潮北限緯度と親潮南限緯度および黒潮離岸距離がベストモデルで選択され, 黒潮北限緯度と親潮南限緯度で正の相関, 黒潮離岸距離で負の相関がみられた。本種は沿岸でふ化したのち, フィロソーマ幼生は黒潮によって北東方向に輸送され, その後黒潮反流に乗って琉球列島および国内の沿岸に来遊し着底すると考えられている(関口, 1985; Sekiguchi, 1997; Inoue and Sekiguchi, 2001)。したがって, 黒

潮続流の北偏や接岸, 親潮第一分枝の北偏によって常磐南部・鹿島灘海域にフィロソーマ幼生が来遊しやすい海況となり, 本県沿岸域で着底する個体が増加している可能性がある。

キアンコウはNullモデルがベストモデルとなり, 今回用いた3つの変数と漁獲量の関係をうまく説明することができなかった。常磐南部・鹿島灘海域における本種の漁獲量は増加傾向であり, 太平洋北部における本種の資源量水準も高位となっていることから(時岡ら, 2023), 本種にとって好適な環境になりつつあると考えられるが, 本研究では漁獲量が増加した要因について明らかにすることはできなかった。

サヨリは親潮南限緯度と黒潮離岸距離がベストモデルで選択され, いずれの変数でも負の相関がみられた。本種の産卵開始期は, 犬伏崎周辺海域で4月下旬(水温13–14℃台)であると推定されており(内山ら, 2003), この時期における産卵のための好適水温帯の形成が本種の漁獲量変動に寄与していることが推察される。黒潮が接岸傾向であるほど漁獲量が多くなる要因については, 本種が流れ藻などに卵を産み付ける産卵生態をもっていることと(千田, 1966), 流れ藻は潮目に集約することから(小松ら, 2009), 常磐南部・鹿島灘海域での加入量と黒潮の接岸による本海域への流れ藻の供給が関連づけられる可能性があるが, 本研究では具体的な要因について明らかにすることはできなかった。

マコガレイは黒潮北限緯度のみベストモデルで選択され, 負の相関がみられた。本種は瀬戸内海において, 水温の上昇に伴って資源水準が低下することや水温が繁殖生態に影響を及ぼしている可能性が示唆されていることから(Goto et al., 2000; 反田, 2008), 黒潮北限緯度の北偏に伴う常磐南部・鹿島灘海域での水温の上昇が, 本種の繁殖生態に影響を及ぼしていると推察される。

### (3) まとめ

本研究によって, 海流と水温および各種の漁獲量変動との関係が明瞭となったが, 漁獲量は海流による影響だけではなく, 餌環境や各種の生態的な変化などの生物的要因, 漁獲努力量の変化, 漁獲対象となる魚種の需要や他海域における漁獲状況による単価の変動といった社会的な変化などの様々な要因の影響を受けている。本研究ではこれらのような要因については考慮していないことから, 今後, より詳細な漁獲量変動要因を明らかにするためには, これらの影響を加味した解析を行っていく必要がある。

## 要 約

常磐南部・鹿島灘海域における海況の長期変動および近年の海流と茨城県での主要漁獲対象種との関係を調べた。犬吠埼黒潮離岸距離は 2011 年以降には概ね接岸傾向、黒潮統流の北限緯度は 1999–2001 年と 2012 年以降で北偏傾向、親潮第一分枝の南限緯度は 2015 年以降には北偏傾向となり、大洗定線の 0 m 深および 100 m 深水温は黒潮の接岸や各海流の北偏に伴って高くなっていた。近年の海流と本海域における主要漁獲対象種の漁獲量との関係をクラスター解析によって調べた結果、主に冷水性・広域性魚類で構成される減少傾向グループと、主に暖水性魚類で構成される増加傾向グループに分けられた。近年の漁獲量の変動が顕著な魚種について、海流との関係を重回帰分析によって調べたところ、近年における黒潮の接岸や、黒潮統流および親潮第一分枝の北偏が各種の漁獲量に影響を及ぼしていることが明らかとなった。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、有益なご助言を賜った茨城県水産試験場の皆様、本研究で使用した水温データの収集にあられた茨城県水産試験場の歴代の海況担当の皆様、海洋観測調査にご尽力いただいた茨城県水産試験場いばらき丸船長の大内政幸氏をはじめとする船舶職員の皆様に心より御礼申し上げます。

## 文 献

- 海老沢良忠 (2023) 水産研究のフロントから 茨城県水産試験場. 日水誌 ; 89 : 553–554.
- 古市 生・由上龍嗣・上村泰洋・西嶋翔太・渡部亮介 (2023) 令和 4 (2022) 年度マイワシ太平洋系群の資源評価. 58 pp. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京. [https://www.fra.affrc.go.jp/shigen\\_hyoka/SCmeeting/2019-1/20220810/FRA-SA2022-SC03-01.pdf](https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20220810/FRA-SA2022-SC03-01.pdf) (2023 年 12 月 26 日参照).
- 古川誠志郎・倉島 陽・岡本 俊 (2023) 令和 4 (2022) 年度ブリの資源評価. 74 pp. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京. [https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/07/details\\_2022\\_45.pdf](https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/07/details_2022_45.pdf) (2023 年 12 月 26 日参照).
- Goto, R., T., Kayaba, S., Adachi and K., Yamauchi (2000) Effects of temperature on sex determination in marbled sole *Limanda*

- yokohamae*. Fish. Sci.; 66: 400–402.
- Inoue, N. and H., Sekiguchi (2001) Distribution of late-stage phyllosoma larvae of *Panulirus japonicus* in the Kuroshio Subgyre. Mar. Freshwater Res.; 52: 1201–1209.
- 川合英夫 (1989) 東北海区近海の黒潮統流軸北限と親潮水南限の長期変動. 水産海洋研究 ; 53 : 353–363.
- Kawakami, Y., H., Nakano, L., S., Urakawa, T., Toyoda, K., Aoki and N., Usui (2023) Northward shift of the Kuroshio Extension during 1993–2021. Sci. Rep.; 13: 16223.
- 木下順二・安田十也・渡邊千夏子・渡井幹雄・井元順一・上村泰洋・河野悌昌・高橋正知 (2023) 令和 4 (2022) 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. 90 pp. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京. [https://www.fra.affrc.go.jp/shigen\\_hyoka/SCmeeting/2019-1/20220914/FRA-SA2022-SC06-01.pdf](https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20220914/FRA-SA2022-SC06-01.pdf) (2024 年 1 月 30 日参照).
- 小日向寿夫 (2010) 茨城県近海の黒潮の位置と変動並びに水温環境との関係について. 茨城水試研報 ; (41) : 7–17.
- 小日向寿夫 (2011) 茨城県沿岸域の水温の長期トレンド. 茨城水試研報 ; (42) : 1–7.
- 小松輝久・三上温子・鯨坂哲朗・上井進也・青木優和・田中克彦・福田正浩・國分優孝・田中 潔・道田豊・杉本隆成 (2009) ホンダワラ類流れ藻の生態学的特徴. 沿岸海洋研究 ; 46 : 127–136.
- 久保治良 (1981) 海況予測のための知見 特に冷水南下を予知するための手法について. 茨城水試創立 80 周年記念誌 : 103–108.
- 久保治良 (1988) 常磐南部から鹿島灘海域の海況特性. 茨城水試研報 ; (26) : 1–98.
- Kuroda, H., T., Saito, T., Kaga, A., Takasuka, Y., Kamimura, S., Furuichi and T., Nakanowatari (2020) Unconventional sea surface temperature regime around Japan in the 2000s–2010s: potential influences on major fisheries resources. Front. Mar. Sci.; 7: 1–21.
- 黒山忠明・八角直道・二平 章 (2006) 鹿島灘海域におけるカタクチイワシシラスの来遊機構の検討. 黒潮の資源海洋研究 ; (7) : 43–48.
- 益子 剛 (2015) 茨城県沖で漁獲されるユメカサゴについて. 東北底魚研究 ; (35) : 11–16.

- 中坊徹次 (編) (2013) 日本産魚類検索 全種の同定 第三版, 東海大学出版会, 秦野. 2428 pp.
- 小熊進之介 (2023) 茨城県沿岸域における黒潮系暖水波及発生時の水温変動の特徴. 茨城水試研報; (48) : 21-27.
- 岡村悠梨子・増田義男・矢倉浅黄・田邊 徹・阿部修久・雁部総明 (2021) 近年の宮城県における主要な漁獲物組成と海洋環境の変化. 黒潮の資源海洋研究; (22) : 41-46.
- 関口秀夫 (1985) イセエビ親個体群への幼生の加入過程: 研究の現状と将来の展望. 日本ベントス研究会誌; (28) : 24-35.
- Sekiguchi, H. (1997) Larval recruitment processes of Japanese spiny lobsters: A hypothesis. *Bull. Mar. Sci.*; 61: 43-55.
- 千田哲資 (1966) 瀬戸内海におけるサヨリの産卵: I. 流れ藻などに対する産卵. 日本生態学会誌; 16 : 165-169.
- 鈴木孝太・宮田直幸 (2021) 千葉県に水揚げされた 2019, 2020 年のブリ漁況の特徴について. 黒潮の資源海洋研究; (22) : 91-94.
- 高橋清孝 (2022) [解説] 海水温上昇による仙台湾と三陸沿岸の魚種交替. *JAFIC テクニカルレビュー*; (1) : 1-12.
- 高橋豊美・富永 修・前田辰昭 (1987) マガレイおよびマコガレイの摂餌と生存に及ぼす水温の影響. *日水誌*; 53 : 1905-1911.
- 高島葉二 (2012) 茨城県における海洋モニタリングの実施状況とその成果. *日水誌*; 78 : 832-834.
- 高柳和史 (2009) 地球温暖化の漁業および海洋生物への影響. *地球環境*; 14 : 223-230.
- 反田 實 (2008) 兵庫県瀬戸内海におけるマコガレイの生態と漁業に関する研究. *兵庫農技総研報 (水産)*; (40) : 1-96.
- Tian Y., H., Kidokoro, T., Watanabe and N., Iguchi (2008) The late 1980s regime shift in the ecosystem of Tsushima warm current in the Japan/East Sea: Evidence from historical data and possible mechanisms. *Prog. Oceanogr.*; 77: 127-145.
- 時岡 駿・成松庸二・富樫博幸・鈴木勇人・森川英祐・三澤 遼・金森由妃・永尾次郎 (2023) 令和 4 (2022) 年度キアンコウ太平洋北部の資源評価. 28 pp. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京. [https://abc.han.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/07/details\\_2022\\_36.pdf](https://abc.han.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/07/details_2022_36.pdf) (2023 年 12 月 26 日参照).
- 内山雅史・加藤正人・岡本 隆・清水利厚 (2003) 東京湾におけるサヨリの産卵期について. *千葉水試研報*; (2) : 15-22.
- 上田 拓・的場達人 (2009) サワラ漁獲量と水温との関係. *福岡水海技セ研報*; (19) : 69-74.
- 内海遼一・武田保幸 (2005) 和歌山県沿岸におけるタチウオ卵の出現について. 黒潮の資源海洋研究; (6) : 57-61.
- 山田梅芳・時村宗春・堀川博史・中坊徹次 (2007) 東シナ海・黄海の魚類誌. 1262 pp. 東海大学出版会.
- 柳川晋一 (2022) 日本産タチウオの生物学的特性. 黒潮の資源海洋研究; (23) : 3-8.
- 八角直道・平野和夫・永島 宏・小野寺光文 (2018) 房総・常磐海域～三陸・道東海域におけるカタクチイワシ成魚の回遊群構造. 黒潮の資源海洋研究; (19) : 3-17.
- 谷津明彦・和田時夫・斎藤克弥・由上龍嗣 (2023) 2003-2020 年におけるマイワシ太平洋系群の成長変動要因を探る. *水産海洋研究*; 87 : 93-101.

## 茨城県沿岸域におけるシラス漁獲量の短期予測手法の検討

小熊進之介

A study of short-term fish catch prediction method of shirasu (larvae of Japanese anchovy  
*Engraulis japonica*) in the coast of Ibaraki prefecture

Shinnosuke OGUMA

キーワード：漁獲量予測，カタクチイワシ，仔魚，鹿島灘，一般化加法モデル

### はじめに

カタクチイワシ *Engraulis japonica* の仔魚（以下、シラス）は茨城県における主要漁獲対象種の1つであり、県内においては船曳網によって漁獲されたのち、「しらす干し」の原料として加工・利用されている（黒山ら，2006；海老沢，2023）。とくに、近年においては本県でのシラス漁獲量が増加傾向となっていることから（大森ら，2024），漁獲量予測のニーズが高まってきている。しかしながら、本県沿岸域におけるシラス漁獲量は年や月による変動が大きいと、他海域と比較して漁獲量予測が困難であるといった実状がある。

本県でのシラス漁獲量予測に関する研究はこれまでにいくつか行われてきており、2-7月に漁獲されるシラス（春シラス）については那珂湊定地水温や他県でのまき網および定置網によるカタクチイワシ漁獲量等との関係（海老沢，1999），8-12月に漁獲されるシラス（秋シラス）については8月の漁獲量と7月の10m深水温および卵採集量との関係が明らかにされている（高橋，2020）。しかしながら、前者については近年の海洋環境や、カタクチイワシ太平洋系群の資源量の実態（木下ら，2023）と合わないこと、後者については8月以外の漁獲量予測が十分に行われていないことや、予測に用いたデータの期間が2013-2018年と短いことから、カタクチイワシ太平洋系群の資源量や親魚量等の変動を考慮しつつ、近年までの長期的なデータを用いて予測を行っていく必要がある。

そこで本研究では、茨城県沿岸域におけるシラス漁獲量の短期予測手法の開発に資するため、本県のシラス漁獲量と各環境変数およびカタクチイワシ太平洋系群との関係を明らかにした。

### 方法

#### (1) 海洋観測調査

毎月1回、茨城県水産試験場の漁業調査指導船「水戸丸」、「ときわ」、「いばらき丸」のいずれかで海洋観測調査を実施した（図1）。水温についてはCTD（SBE911plus，Sea-Bird社製）で測定した。カタクチイワシの卵仔魚については、濾水計を取り付けた改良型ノルパックネット（網口φ45cm，目合0.335mm）を用いて、水面からワイヤー長で150mの鉛直曳き（水深が150m未満の場合は水面から海底直上5mまで）を行い採集した。採集物は現場でただちに5%中性ホルマリン溶液を用いて固定し、水産試験場へ持ち帰った。その後、カタクチイワシの卵仔魚を選別し、個数・個体数を計数した。

#### (2) 海流とカタクチイワシのデータの取得

黒潮続流の北限緯度と親潮第一分枝の南限緯度については、水産研究・教育機構が公開している東北海区水温図から読み取った水塊指標値（<https://ocean.fra>）

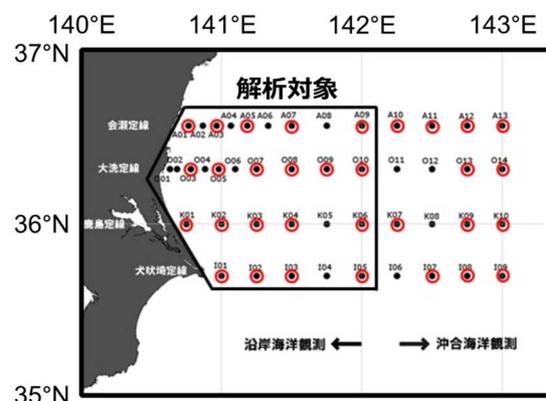


図1. 調査地点図（赤丸は卵仔魚の採集地点を示す）。

go.jp/temp/O-K.html) を用いた。なお、各海流の境界については、黒潮続流の北限緯度で 200 m 深 14℃、親潮第一分枝の南限緯度で 100 m 深 5℃とした。

カタクチワシ太平洋系群の資源量、親魚量、加入量は我が国周辺の水産資源の評価(木下ら, 2023) から引用した。各年各月における県内 10 漁協(平潟, 大津, 川尻, 久慈町, 久慈浜丸小, 磯崎, 那珂湊, 大洗町, 鹿島灘, はさき)のシラス漁獲量については、茨城県水産試験場の TAC システムを用いて集計した。

(3) 統計解析

シラス漁獲量に影響を及ぼす環境要因を明らかにするために、一般化加法モデル(GAM: Generalized additive model) 解析を行った。解析に用いたデータ期間は 2002–2021 年の過去 20 年間とし、目的変数は各年各月におけるシラス漁獲量、説明変数は月、水温、黒潮続流の北限緯度と親潮第一分枝の南限緯度、カタクチワシ卵仔魚の 1 地点あたりの個数・個体数(以下、卵仔魚量)のほか、カタクチワシ太平洋系群の資源量、親魚量、加入量とした。水温については、東日本で本種の卵仔魚が 50 m 深以浅に多く、とくに 30 m 深以浅を中心に分布のピークがみられることに加え(中田・今井, 1981; Kubota et al., 2002)、海面での日射の影響を考慮して 10 m 深の値を用いた。また、本種については水温が仔魚の成長率に影響を及ぼすこ

とや(Takasuka and Aoki, 2006; Takasuka et al., 2007)、茨城県沿岸域において 2015–2016 年に漁獲されたシラス(体長 15.5–30.0 mm)が 18–47 日齢であることが明らかにされており(柴口, 2018)、仔魚の成長あるいは生残状況が翌月のシラス漁獲量に影響を及ぼすことが想定されるため、水温、黒潮続流の北限緯度、親潮第一分枝の南限緯度、卵仔魚量については 1 か月前(以下、前月)の値を用いた。分布族には正規分布を、リンク関数には identity を用いた。GAM 解析の前には、多重共線性の問題を避けるために各説明変数間でスピアマンの順位相関係数を算出した。その結果、資源量、親魚量、加入量の間で互いに相関係数の絶対値が 0.9 を超える強い相関がみられたが、本種の生態的な理由からいずれか 1 つを選ぶことができなかったため、それぞれ 1 つずつを変数として用いて解析を行った。月はカテゴリカル変数として扱い、それ以外の変数は平滑化した。なお、茨城県では 1 月がシラス船曳網の禁漁期であることから、1 月については解析から除外した。Null モデルから Full モデルまですべての説明変数の組み合わせで赤池情報量基準(AIC; Akaike's Information Criterion)を算出した後、Koyama et al. (2016)を参考に、 $\Delta AIC$  が 2 未満のモデル(以下、上位モデル)において選択回数が半分より多い変数のみで構成されるモデルをベストモデ

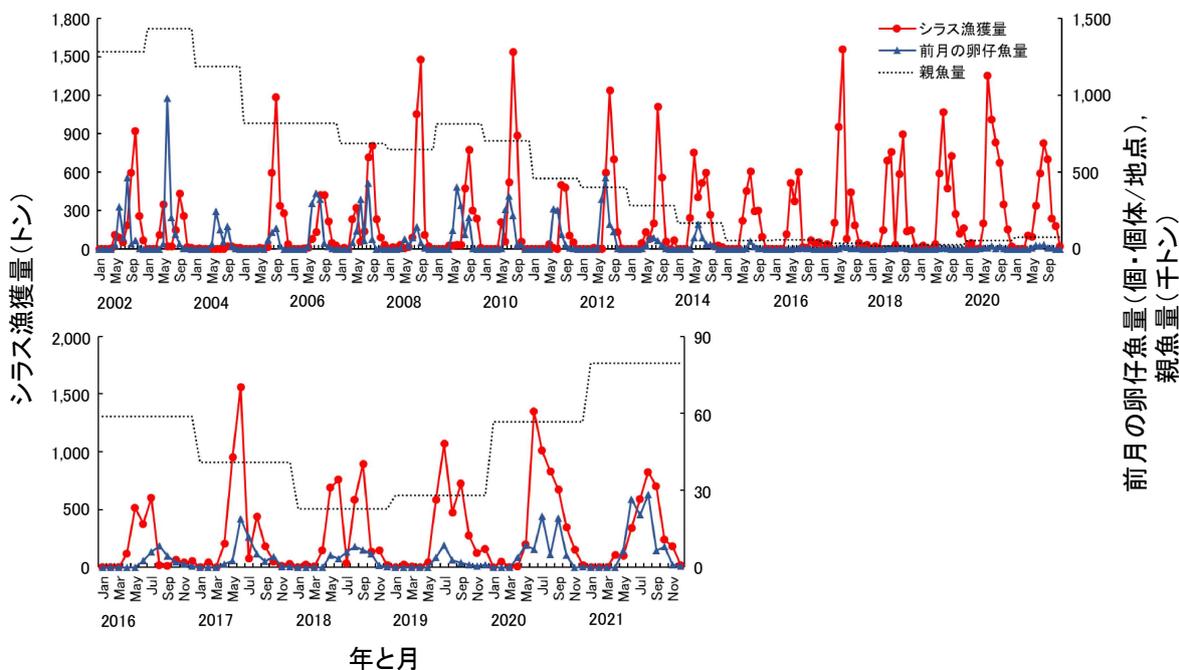


図 2. 茨城県沿岸域における各年各月のシラス漁獲量と前月の卵仔魚量およびカタクチワシ太平洋系群の親魚量の推移(上段, 2002–2021 年; 下段, 2016–2021 年)。親魚量については、我が国周辺の水産資源の評価(木下ら, 2023)より引用した。

表 1. 一般化加法モデル解析によって得られた上位モデル ( $\Delta AIC < 2$ ). +は選択された変数を示す.

モデル	AIC	$\Delta AIC$	Weight	切片	月	10 m深水温	黒潮北限	親潮第一分枝南限	卵仔魚量	親魚量
1(best)	2781.3	0.00	0.29	97.62	+	+		+	+	+
2	2782.6	1.34	0.15	81.73	+	+			+	+
3	2783.2	1.93	0.11	94.93	+	+	+	+	+	+

ルとした。全ての解析には R ver. 4.0.4 (R Core Team, 2021) を使用した。

### 結果と考察

#### (1) シラス漁獲量と卵仔魚量, 親魚量の推移

茨城県沿岸域における各年各月のシラス漁獲量と前月の卵仔魚量およびカタクチイワシ太平洋系群の親魚量の推移を図 2 に示した。2002–2021 年のシラス漁獲量は, 年による変動が大きいものの 2010 年と 2017 年以降に多い傾向がみられた。また, 月ごとにみると, 4–10 月頃にシラス漁獲量が多い傾向がみられたが, 年によっては 4 月に漁獲量が増加しない場合や, 11 月にもある程度漁獲がみられる場合も認められた。卵仔魚量は, 2000 年代には比較的多かったものの, 2015 年以降には大きく減少した。月ごとにみると, 前月の卵仔魚量が多い月にはシラス漁獲量も比較的多い傾向が

みられた。親魚量は, 卵仔魚量の増減と同様の傾向を示した。

#### (2) GAM 解析

GAM 解析結果を表 1 に示した。上位モデル中では月, 10 m 深水温, 親潮第一分枝の南限緯度, 卵仔魚量, 親魚量の選択回数が多く, これらの変数をすべて含むモデルをベストモデルとした。黒潮統流の北限緯度は, 上位モデル中での選択回数が 1 回と少なかった。

ベストモデルでの月の選択性を表 2 に示した。ベストモデルでは, 2 月を基準とした場合に, 5–6 月と 8–9 月に漁獲量が多くなっていた。本県においては, 2–7 月に漁獲される (ピークは 5 月) 春シラスと, 8–12 月に漁獲される (ピークは 8–9 月) 秋シラスに分けられることが知られており (柴口, 2018), 本研究の結果はこのようなシラス漁獲量の変動傾向を反映していると考えられた。

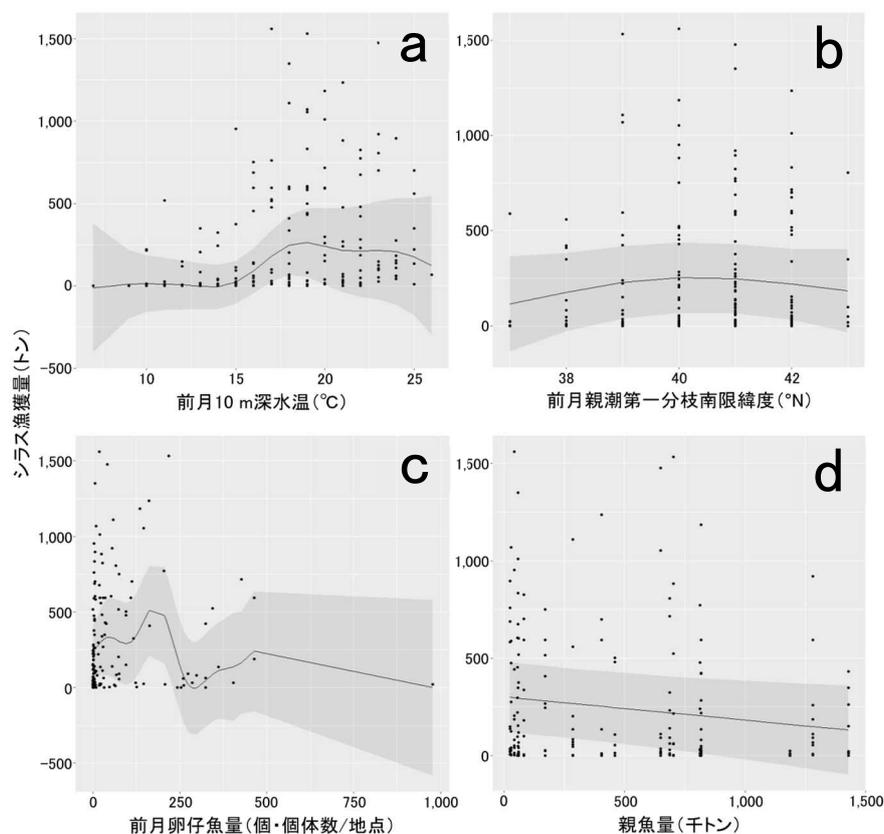


図 3. ベストモデルの各説明変数によるシラス漁獲量についてのプロット (a, 前月 10 m 深水温; b, 前月親潮第一分枝南限緯度; c, 前月卵仔魚量; d, 親魚量). 実線は予測線, 暗色部は 95%信頼区間を示す.

表 2. 一般化加法モデル解析によって得られたベストモデルにおける各月の推定値.

月	推定値	標準誤差	P値
2月	97.62	86.53	$P = 0.26$
3月	26.23	86.30	$P = 0.76$
4月	100.65	97.85	$P = 0.31$
5月	223.79	97.53	$P < 0.05$
6月	297.81	106.64	$P < 0.01$
7月	169.29	116.23	$P = 0.15$
8月	383.73	130.50	$P < 0.01$
9月	390.70	159.35	$P < 0.05$
10月	6.55	166.58	$P = 0.97$
11月	-78.30	148.25	$P = 0.60$
12月	-128.32	131.92	$P = 0.33$

ベストモデルにおけるシラス漁獲量と 10 m 深水温、親潮第一分枝の南限緯度、卵仔魚量、親魚量との関係を図 3 に示した。10 m 深水温については、前月の値が 19°C となった時にシラス漁獲量が最大となることが明らかになった (図 3a)。茨城県沿岸域においては、春季に水温が 18°C 以上で安定している年に本種の仔魚の生残が良くなることが知られており (二平・富永, 1999)、仔魚の生残率が高まることで翌月のシラス漁獲量が増加していることが推察された。

親潮第一分枝については、前月の南限緯度が 40°N の時にシラス漁獲量が最大となることが明らかになった (図 3b)。茨城県沿岸域においては、親潮系冷水の南下に伴う水温の低下により、シラスにとって不適な環境が形成されている可能性が指摘されている (黒山ら, 2006)。これらのことから、本県沿岸域においては少なくとも親潮の影響が弱い時に漁獲量が増加する傾向があると考えられた。

卵仔魚量については、前月の値が 163 個・個体/地点の時に最大となるが、卵仔魚量が多いほどシラス漁獲量は少なくなる傾向がみられた (図 3c)。また、親魚量についてもシラス漁獲量と負の相関がみられた (図 3d)。過去 20 年間におけるシラス漁獲量の変動をみると、2017 年以降に漁獲量が多い傾向があり (図 2)、それとは対照的に、卵仔魚量は親魚量の減少に伴って少なくなってきた傾向が認められた。このように、長期的には卵仔魚量とシラス漁獲量は逆の変動パターンを示していることから、資源高水準期に増大する沖合を回遊するカタクチイワシ太平洋系群の親資源の変動は、本県沿岸域でのシラス漁獲にあまり関与していない可能性がある。一方で、近年のシラス漁獲量は前月の卵仔魚量が増加した時に増大している傾向がある (図 2)。したがって、2000 年代と比較して量は少な

いものの、近年においても卵仔魚量の増加が翌月のシラスの漁獲加入と関連している可能性がある。

本研究によって、茨城県沿岸域におけるシラス漁獲量と各環境変数およびカタクチイワシ太平洋系群との関係が明らかとなった。ただし、今回作成したベストモデルでは説明変数に親魚量が組み込まれているが、親魚量を含むカタクチイワシ太平洋系群の資源評価結果の公表には時間を要するため、実際にシラス漁獲量の短期予測を行う際には説明変数として使いにくいといった課題もある。そのため、今後は今回作成したモデルの精度検証のほか、親魚量を説明変数から除く、より精度を高めるために漁獲努力量を考慮する、月を変量効果とした一般化加法混合モデル (GAMM) を構築する、といったモデルの改良が必要であると考えられる。とくに、本研究で作成した上位モデルで選択回数が少なかった黒潮続流の北限緯度については、解析期間によってはシラス漁獲量と関連づけられる場合もあるため (大森ら, 2024)、モデル改良時には再度、黒潮続流の北限緯度を説明変数として組み込むことについても検討する必要がある。

## 要 約

シラス漁獲量予測のために GAM 解析を行ったところ、ベストモデルでは月、10 m 深水温、親潮第一分枝の南限緯度、カタクチイワシ卵仔魚の 1 地点ごとの平均個数・個体数 (卵仔魚量)、太平洋系群の親魚量が選択された。ベストモデルでは、5-6 月と 8-9 月に漁獲量が多いこと、10 m 深水温が 19°C の時に漁獲量が最大になることが明らかになった。また、親潮第一分枝が 40°N の時に最大となることから、少なくとも親潮の影響が弱い時に漁獲量が多い傾向にあることも示された。さらに、卵仔魚量についてはやや変動が大きいものの、漁獲量との関係は概ね負の相関、親魚量も負の相関がみられたことから、長期的には卵仔魚量・親魚量とシラス漁獲量は逆の変動パターンを示しており、カタクチイワシの沖合回遊資源が本県でのシラス漁獲にあまり関与していない可能性がある。今後は、予測モデルの精度検証・改良が必要と考えられる。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、調査船調査にご協力いただいた歴代の茨城県水産試験場海況担当者といばらき丸船長の内政幸氏をはじめとする船舶職員、標本の同定・計数作業にご協力いただいた水土舎の斎藤真美氏に厚く御礼申し上げます。

本研究では、水産資源調査・評価推進事業によって得られた試料を用いた。

## 文 献

- 海老沢良忠 (1999) 重回帰分析による茨城県シラス水揚量の予測について. 茨城水試研報 ; (37) : 71–75.
- 海老沢良忠 (2023) 水産研究のフロントから 茨城県水産試験場. 日水誌 ; 89 : 553–554.
- 木下順二・安田十也・渡邊千夏子・渡井幹雄・井元順一・上村泰洋・河野悌昌・高橋正知 (2023) 令和4 (2022) 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. 90 pp. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京. [https://www.fra.affrc.go.jp/shigen\\_hyoka/SCmeeting/2019-1/20220914/FRA-SA2022-SC06-01.pdf](https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20220914/FRA-SA2022-SC06-01.pdf) (2024年1月30日参照).
- Koyama, A., R., Inui, H., Iyooka, Y., Akamatsu and N., Onikura (2016) Habitat suitability of eight threatened gobies inhabiting tidal flats in temperate estuaries: model developments in the estuary of the Kuma River in Kyusyu Island, Japan. *Ichthyol. Res.*; 63: 307–314.
- Kubota, H., A., Tsuchiyama, Y., Oozeki, R., Kimura, R., Kado, H., Ogawa, H., Fuxiang and K., Matsuda (2002) Diel vertical distribution of larvae and juveniles of pelagic and mesopelagic fishes by a newly developed frame trawl in the Kuroshio-Oyashio Transition Area in spring. *Fish. Sci.*; 68: 1897–1898.
- 黒山忠明・八角直道・二平 章 (2006) 鹿島灘海域におけるカタクチイワシシラスの来遊機構の検討. 黒潮の資源海洋研究 ; (7) : 43–48.
- 中田尚宏・今井千文 (1981) 神奈川県城ヶ島沖における魚卵・仔魚の垂直分布について. 神奈川水試研報 ; (3) : 19–28.
- 二平 章・富永 敦 (1999) 黒潮親潮移行域におけるカタクチイワシ仔魚の日間成長量. 茨城水試研報 ; (37) : 55–59.
- 大森健策・小熊進之介・須能紀之 (2024) 常磐南部・鹿島灘海域における海況の長期変動および近年の海流と漁況との関係. 茨城水試研報 ; (49) : 1–11.
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- 柴口怜佳 (2018) 春季の鹿島灘海域におけるカタクチイワシシラスの成長履歴. 黒潮の資源海洋研究 ; (19) : 41–45.
- 高橋佑太郎 (2020) 茨城県における秋シラス漁獲量と水温及び卵採集データとの関係. 黒潮の資源海洋研究 ; (21) : 69–73.
- Takasuka, A. and I., Aoki (2006) Environmental determinants of growth rates for larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in different waters. *Fish. Oceanogr.*; 15: 139–149.
- Takasuka, A., Y., Oozeki and I., Aoki (2007) Optimal growth temperature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*; 64: 768–776.

# 透明骨格標本によるさば類幼魚の簡易種判別手法

荒井将人

A simple species identification method for mackerel juveniles using transparent skeletal specimens

Masahito ARAI

キーワード：さば類, マサバ, ゴマサバ, 種判別, 判別指数, 透明骨格標本

## 目 的

日本近海に生息するさば類には、マサバ (*Scomber japonicus*) 及び ゴマサバ (*S. australasicus*) が知られている。両種は幼魚時点では外部形態が酷似しているが、資源量や生態が大きく異なることから、漁況予測等の資源研究を行う上で、種を分けた解析は不可欠である。外部形態によらない種判別の手法として、さば類ではPCR-RELP法による種判別(農林水産消費技術センター他, 2007)が報告されている。しかし、PCRでは分析機器の整備や高額な試薬類が必要となることに加え、微量の鋳型DNAであっても増幅されるため、コンタミネーション防止の措置を講じて検査する必要があり煩雑であることから、簡易な種判別手法の開発が必要である。

さば類の種判別簡便法として、判別指数(花井, 1999)が広く用いられている。判別指数は第1背鰭の第1棘~9棘の基底長/尾叉長(FL)×100により算出され、判別指数が12以上をマサバ、12未満をゴマサバと判断する。しかし判別指数の課題として、尾叉長50mm以上の個体で適用され、50mm未満の個体で使えるかどうかは未検討である(小西, 1999)。

判別指数の尾叉長50mm未満への適用については、体長13~33mmの稚魚で適用できることが報告されている(佐々・小西, 2014)。しかし、同報告では判別指数の計算式において標準体長(SL)を使用していることから、尾叉長で算出した場合について確認する必要がある。また、標準体長33mm以上、尾叉長50mm未満の幼魚について、判別指数の適用を検討した報告はない。このため本研究では、さば類幼魚の簡易な種判別方法として、尾叉長22~59mmの個体を用いて透明骨格標本を作成し、判別指数の適用を検討した。

なお、透明骨格標本の作成は中央水産研究所(1999)を基に行ったが、判別指数による種同定に特化するた

めに若干の改良を加えたことから、作成方法についても報告する。

## 方 法

透明骨格標本の作成は、中央水産研究所(1999)の軟骨・硬骨二重染色透明標本の作成方法を基に以下のとおり行った。

### (1) 材料

茨城県沿岸で船曳網により漁獲されたさば類180個体(尾叉長平均:39.5mm, 尾叉長範囲:22.2~59.2mm)を使用した(表1)。各標本について、デジタルノギス又は実体顕微鏡を用いて尾叉長及び標準体長を測定後、透明骨格標本作成に供した。

### (2) 薬品及び器具

アリザリンレッドS(特級)、過酸化水素水(特級)、酢酸(氷酢酸)、トリプシン(1:250)、ホルムアルデヒド液(1級)、エタノール(99.5%, 特級)、グリセリン(1級)、水酸化カリウム(特級)、チモール(特級)、ホウ砂(特級)、蒸留水

トリプシン混合液(飽和ホウ酸砂水溶液:30ml, トリプシン:0.5g, 蒸留水:70mlの割合で混合)、硬骨染色液(水酸化カリウム:0.5g, 蒸留水:100mlの割合で混合し、アリザリンレッドSをワインレッドの濃さを目安に微量を添加)

インキュベーター(35℃恒温, トリプシン処理に使用)。

### (3) 作成方法

①ホルマリン再固定(ホルマリン固定標本は①のステップから始める)

エタノール固定標本は、95%エタノールに入れ、15分間浸漬し、以降、同様に75%→40%→15%エタノールに移し、最後に蒸留水に浸漬する。その後、2~3日またはそれ以上の期間10%ホルマリン液で固定する。

生標本は、2～3日またはそれ以上の期間 10%ホルマリン液で固定する。

#### ①ホルマリン抜き

標本を2～3日水道水で洗浄し、ホルマリンを完全に抜く。

#### ②漂白

標本を1%過酸化水素水に30分～1時間浸漬し、体表の黒色素を漂白する。標本を1日水道水で洗浄し、過酸化水素を取り除く。

#### ③透明化

標本をトリプシン混合液に入れ、35℃に設定したインキュベーターに收容する。35℃の条件では数日～10日間程度で透明化するが、透明化に要する期間は標本の状態によって異なるので、適宜状況確認を行う。

#### ④硬骨染色

標本を硬骨染色液に入れ、2～24時間を目安に浸漬する。処理中に適宜硬骨の染色状況を確認する。硬骨が完全に赤染したら、0.5%水酸化カリウム溶液に標本を入れ、半日～1日浸漬し、余分な硬骨染色液を落とす。

#### ⑤保存

0.5%水酸化カリウム溶液とグリセリンの混合比が3:1の液に標本を入れ、4時間程度浸漬する。以降同様に、混合比1:1の液→1:3の液に浸漬した後、グリセリンに浸漬する。完成した標本は、防腐剤であるチモールを少量入れたグリセリン中で保存する。

#### (4) 判別指数の算出及び種同定

実体顕微鏡を用いて、作成した透明骨格標本の第1背鰭の第1棘～9棘の基底長を測定するとともに、背鰭担鰭骨数を計数した。

判別指数は、花井(1999)により下記の式で算出した。

$$\text{判別式} : A/B \times 100$$

A: 第1背鰭の第1棘～9棘の基底長

B: 尾叉長

マサバとゴマサバの種同定は、西田(1999)により背鰭担鰭骨数を基に行い、16以下をマサバ、17以上をゴマサバと同定した。

## 結 果

背鰭担鰭骨数による180個体の種同定の結果は、マサバ163個体、ゴマサバ17個体であった(表2)。これらについて、尾叉長を基に判別指数を算出したところ、マサバでは12以上、ゴマサバは12未満であった。判定結果は、花井(1999)の判定基準に合致している

ことから、判別指数によって尾叉長50mm以上の個体と同様に種判別が可能であることが確認された(図1)。

尾叉長と標準体長との関係を図2に示した。尾叉長に対する標準体長の割合(SL/FL)は $0.93 \pm 0.01$ で魚体サイズによらずほぼ一定であった。標準体長を基に判別指数を算出したところ、マサバ12.85以上、ゴマサバ12.71以下となり、12.8を基準とすれば両種を区別することが可能であった。

表1. 試験に供したさば類の標本一覧

年月日	個体数	尾叉長(mm)		漁獲場所
		平均	(範囲)	
2016/4/19	20	31.7	27.2～37.1	35° 47' N, 140° 48' E
2016/6/24	7	23.5	22.2～25.1	磯崎～那珂湊地先
2021/4/8	127	41.6	25.3～59.2	大洗地先
2021/4/9	26	39.6	29.5～48.1	大洗地先
計	180	39.5	22.2～59.2	

表2. 背鰭担鰭骨数によるさば類の同定結果

種名	個体数	尾叉長(mm)	
		平均	(範囲)
マサバ	163	38.9	22.2～59.2
ゴマサバ	17	44.7	32.5～58.2
計	180	39.5	22.2～59.2

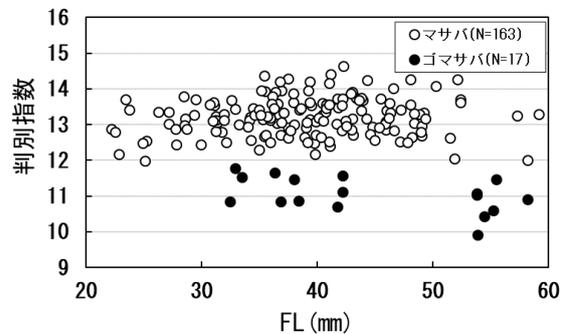


図1 マサバ・ゴマサバの判別指数の尾叉長分布

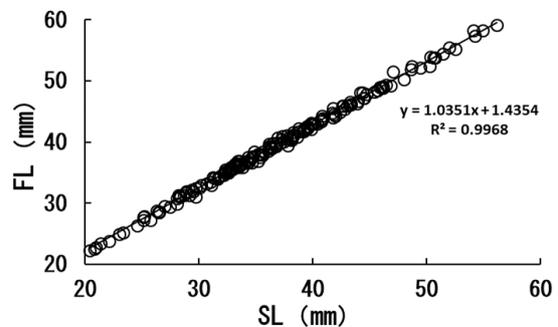


図2 尾叉長と標準体長の関係

## 考 察

(1) 尾叉長50mm未満での判別指数の適用

本研究では、尾叉長 50mm 以上のさば類の判別簡便法として広く用いられている判別指数について、透明骨格標本を作成することにより尾叉長 50mm 未満での適用を検討した。この結果、供試したさば類 180 個体（尾叉長：22～59mm）は判別指数により種判別が可能であり、尾叉長 22～50mm の個体でも判別指数が適用できることが確認された。

本研究以前の知見として、佐々・小西（2014）は標準体長 13～33mm の稚魚において判別指数により種判別ができると報告している。しかし、同報告は稚魚図鑑であるため、判別指数の算出にあたり花井（1999）で示された尾叉長ではなく、稚魚で一般的に測定される標準体長を使用している。尾叉長と標準体長の長さの違いはそれほど大きくはないが、マサバとゴマサバを分ける判別指数 12 付近の個体では、どちらの体長を用いるかが判定結果に影響する可能性がある。本研究で標準体長と尾叉長の関係を検討したところ、標準体長は尾叉長の約 93% であり大きな違いはなかった。しかし、標準体長を基に判別指数を算出し、花井（1999）に基づき 12 を基準に判別したところ、ゴマサバの約 41%（17 個体中 7 個体）がマサバと誤判定される結果となった。このため、本研究で検討した尾叉長 22～50mm のサイズでは、尾叉長に基づき判別する、もしくは標準体長に基づき 12.8 を区分の指標値にする必要がある。

なお、今回入手できた標本の多くがマサバであり、特に尾叉長 33mm 以下のゴマサバについてはデータが得られなかったことから、今後ゴマサバについて更なる知見の追加が望まれる。

## (2) 透明骨格標本を用いた簡易種判別法

本研究により尾叉長 22～50mm までの個体で判別指数による種判定が可能であることが確認された。判別指数の算出に当たり第 1 背鰭第 1 棘～9 棘基底長を測定する必要があり、生鮮標本では透明骨格標本を作成することなく、背鰭棘条を立てて測定できる。しかし、固定標本では背鰭棘条が固着し基底長の測定が困難な場合が多いため、これらについては透明骨格標本の作成により背鰭基底長を測定し、判別指数を算出する方法が有効である。

このため本研究では、中央水産研究所（1999）の透明骨格標本の作成方法を以下のとおり種同定に特化したものに改良した。

### ①軟骨染色の省略

第 1 背鰭第 1 棘～9 棘基底長の測定には、軟骨染色は不要であるため省略した。

### ②漂白処理による黒色素の除去

体表の黒色素が残り、背鰭基部の観察がしにくい事例があったため、体表の黒色素を除去して背鰭基部の測定が確実に行えるよう、河村・細谷（1991）に従い追加した。

### ③透明化処理温度条件

中央水産研究所（1999）には透明化処理の際の温度の指定はなく、室温で行った場合、10 日以上おいても透明化しない場合があった。このため、35℃のインキュベーター内で温度条件を一定にすることで処理期間の安定化を図った。

## 謝 辞

本研究は、文部科学省交付金特別電源所在県科学技術振興事業により行った。

## 要 約

- (1) 尾叉長 50mm 以上のさば類（マサバ・ゴマサバ）の判別簡便法として広く用いられている判別指数について、透明骨格標本を作成することにより尾叉長 50mm 未満での適用を検討した。供試したさば類 180 個体（尾叉長：22～59mm）は判別指数により種判別が可能であり、尾叉長 22～50mm の個体でも判別指数が適用できることが確認された。
- (2) 透明骨格標本の作成に当たり中央水産研究所（1999）の軟骨・硬骨二重染色法を改良（軟骨染色の省略、漂白処理による黒色素の除去、透明化処理温度条件の設定）を行った。

## 文 献

- 中央水産研究所（1999）軟骨・硬骨二重染色透明標本の作成方法. マサバ・ゴマサバ判別マニュアル, 水産庁 水産業関係試験研究推進会議 マサバ・ゴマサバ判別マニュアル作成ワーキンググループ：25-26.
- 花井孝之（1999）尾叉長と第 1 背鰭基底長による判別指数. マサバ・ゴマサバ判別マニュアル, 水産庁 水産業関係試験研究推進会議 マサバ・ゴマサバ判別マニュアル作成ワーキンググループ：10-15.
- 河村功一・細谷和海（1991）改良二重染色法による魚類透明骨格標本の製作. Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture 20：11-18.
- 小西芳信（1999）マサバ・ゴマサバの判別簡便法. マサバ・ゴマサバ判別マニュアル, 水産庁 水産業関

係試験研究推進会議 マサバ・ゴマサバ判別マニュアル作成ワーキンググループ：1-3.

西田宏（1999）その他の形態形質 I 背鰭担鰭骨数.  
マサバ・ゴマサバ判別マニュアル, 水産庁 水産業関係試験研究推進会議 マサバ・ゴマサバ判別マニュアル作成ワーキンググループ：6-18.

農林水産消費技術センター・水産総合研究センター  
(2007) サバ属魚類の魚種判別マニュアル, 埼玉,  
14pp.

佐々千由紀・小西芳信（2014）サバ属. 日本産稚魚図鑑第2版：1380-1391.

## 霞ヶ浦におけるワカサギ漁解禁直後の水揚げ動向から推定した 2010 年から 2023 年のワカサギ漁期加入尾数

根本 孝・山崎幸夫・今野美紗子\*1・飯田隼人

Estimation of the pond smelt *Hypomesus nipponensis* population in Lake Kasumigaura  
at the beginning of fishing season between 2010yr to 2023yr

Takashi NEMOTO, Yukio YAMAZAKI, Misako KONNO\*1, Hayato IIDA

\*1: Fisheries Administration Division, Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Ibaraki Prefecture

キーワード：ワカサギ，霞ヶ浦，初期資源尾数，トロール漁

### Abstract

We estimated the number of pond smelt *Hypomesus nipponensis* at the beginning of the fishing season in Lake Kasumigaura using Baranov catch equation. Total daily catches in Lake Kasumigaura at the beginning 10 days of fishing season in July were calculated using the partial pond smelt catch data used by the pond smelt processing plants near the lake. The number of boats operating in Lake Kasumigaura at the beginning 10 days of fishing season in July, was compiled by the Kasumigaura-Kitaura Fisheries Office of Ibaraki Prefecture, was also used.

The estimated number of pond smelt at the beginning of fishing season were 8.3 million to 275.1 million individuals in Lake Kasumigaura between 2010yr and 2023yr.

Key words: pond smelt, *Hypomesus nipponensis*, population, Lake Kasumigaura

### 目 的

霞ヶ浦におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* は古くから霞ヶ浦における代表的な水産有用種として珍重されており、1995 年には茨城県を象徴する水産物として「県の魚」の一つにも選定されている。

霞ヶ浦におけるワカサギの年間漁獲量は 1955 年以降でみると周期的な豊凶がみられる中、1965 年に最大値の 1,985 トンを記録し、2000 年に最小値の 19 トンを記録した。近年では 2010 年に 499 トンまで回復をみせたもののそれ以降減少傾向を示し 2021 年に 34 トンとなった。しかし、その後もワカサギ漁では深刻な不漁が続いていることからその漁獲量はさらなる減少が見込まれている。

霞ヶ浦におけるワカサギは、その大部分がわかさぎ・しらうおひき網漁業（通称トロール漁）により漁獲されている。トロール漁の操業期間は 7 月 21 日から 12 月 31 日までで、うち毎水曜日と毎日曜日は休漁日となっていることから、トロール漁の年間操業可能日数は 120 日である。

霞ヶ浦におけるワカサギの生活史は、冬季の 1 月から 2 月にかけて産卵期をむかえ、親魚は産卵後ほどなくして寿命を終える。仔魚は初春に現れはじめ、漁獲対象にまで成長した若魚のワカサギが 7 月 21 日からトロール漁で漁獲される。霞ヶ浦におけるワカサギは寿命をほぼ 1 年とする年魚であり、毎年資源が入れ替わる。

霞ヶ浦を代表する魚種であるワカサギについては、

\*1 茨城県農林水産部漁政課

毎年のワカサギ漁の見直しについて漁業者や霞ヶ浦周辺の水産加工業者の関心は高い。また、トロール漁解禁当初のワカサギは古くから煮干しとして利用され、地域の需要も非常に大きいこともあり、トロール漁解禁日の漁模様は地域の風物詩として毎年新聞報道もされている。

これまで霞ヶ浦のワカサギの漁期加入資源量を絶対数として推定する試みは根本 (1993, 1995, 2012), 久保田 (2002), Sakamoto et al (2014) によって示されているが、これら先行研究における漁期加入尾数の推定は、いずれもトロール漁の漁期全体を通じての漁獲データをもとに推計を行っている。

一方、近年のトロール漁ではワカサギの深刻な不漁が続いていることから、今後もワカサギ資源を持続的に利用していくためには、より適切な産卵親魚の確保を図ることが求められる。そのためにはより早期に、その年の漁期加入資源量を推定し、推定量の規模に応じた、その年の操業調整の検討も必要となるであろう。ワカサギは年魚であるがゆえに、その年のトロール漁の動向は漁期末における産卵親魚量の多寡に影響を及ぼす要因の一つとなるからである。

そこで本研究では、早期にその年の漁期加入尾数を推定する試みとして、トロール漁解禁直後の7月21日から約10日間の操業日(約7~9操業日に相当)について、ワカサギの主な水揚げ先である霞ヶ浦周辺の水産加工業者のうち主要な業者に対する集荷量(水揚量)の聞き取り結果から、霞ヶ浦全体の漁獲状況を推計し、その変動傾向をもとに漁獲方程式から霞ヶ浦全体の7月21日時点の漁期加入尾数を推定した。

また、同様に過去の集荷状況の聞き取り調査結果を再整理し、2010年から2023年までの漁期加入尾数を推定した。

## 材料と方法

### (1) 材料

ワカサギの水揚量データは、茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所による毎年7月21日から7月31日まで(年により8月1, 2日まで)、トロール漁の休漁日である水曜日と日曜日を除く毎操業日の、霞ヶ浦周辺の主要な水産加工業者への聞き取り結果を用いた。聞き取り内容は、各水産加工業者における操業日毎のワカサギの総水揚量(集荷量)と水揚漁船隻数である。

次に、その期間の霞ヶ浦全体の操業日毎の出漁隻数は、水産加工業者から聞き取った解禁後の経過に伴う

水揚隻数の変動を一次回帰式で近似した上で、毎年トロール漁の解禁日に茨城県霞ヶ浦水産事務所が調査している総出漁隻数(実数)を第1日目の値とし、その後7月31日まで(年により8月1, 2日まで)の経過日毎の隻数を近似式から求め、霞ヶ浦全体における7月31日まで(年により8月1, 2日まで)の総出漁隻数を推定した。

次に、霞ヶ浦全体におけるトロール漁解禁後7月31日まで(年により8月1, 2日まで)の操業日毎のワカサギの漁獲量は、水産加工業者から聞き取った操業日毎の総水揚量と水揚漁船隻数から1日1隻あたりの平均水揚げ重量を求め、霞ヶ浦全体における操業日毎の推定漁船総隻数を乗じて求めた。

また、ワカサギの7月の体重は、茨城県水産試験場内水面支場による毎年解禁日のワカサギ漁獲物の測定値を用いた。

### (2) 漁獲尾数の推定

7月21日から7月31日までの操業日毎の霞ヶ浦全体での漁獲尾数の推定は以下の手順により行った。

- (1) 解禁日を1日目とし、7月31日を11日目とする操業日別の主要水産加工業者への水揚総重量と水揚総隻数を整理し、操業日別1隻あたり漁獲重量(CPUE(kg/隻・日))を求める。
- (2) (1)のCPUEとワカサギの7月の平均体重から尾数に換算したCPUE(尾/隻・日)を求める。
- (3) 主要水産加工業者への操業日別の水揚総隻数の推移を1次回帰式で近似する。そこにトロール漁解禁日の総出漁隻数を初期値として、1日目から11日目までの操業日別の総出漁隻数を求める。
- (4) (2)のCPUEと(3)の操業日別推定総出漁隻数の積から、操業日別霞ヶ浦全体の総漁獲尾数を求める。

### (3) 漁期加入尾数の推定

- (5) 操業日毎に(2)のCPUEを図にプロットし、日々のCPUEの推移から、7月下旬のCPUEの推移の1次回帰式を算出する。なお、悪天候等によると考えられた水産加工業者への水揚げ隻数とその前後の操業日の隻数に比べて極端に少ない操業日のCPUEや、読図から特定の日のCPUEがその前後のCPUEの推移から急激な変動を示している場合は外れ値とみし回帰式から除く。
- (6) (5)で算出した1次回帰式から、解禁日( $t=1$ )

と、聞き取りを行った最終日(例えば10日目の場合(t=10))におけるCPUEを求め、解禁日のCPUEに対する最終日のCPUEの比、例えば10日目の場合は(CPUE(t=10) / CPUE(t=1))、を計算する。CPUEは田中(1960)によれば、その時点における資源量指数とみなすことができるから、その比をもって7月21日から7月31日までの間の、つまり7月下旬の期間生残率(S(t))とする。

- (7) (6)の生残率は、この約10日間内の漁獲死亡と自然死亡による減耗を経た結果となるが、根本(1993,1995)が解禁直後10日間のワカサギ漁獲尾数は年間漁獲尾数の34%から70%に及ぶとしているようにトロール漁が集中的に行われている時期といえ、減耗における漁獲圧力の影響は大きい時期といえる。また、この時期は漁期加入時期にあり、すでにワカサギの初期減耗期を経ていることから相対的に自然死亡は漁獲死亡に対して極めて小さいことから自然死亡はないと仮定した。それは、よって(6)の期間生残率は漁獲死亡のみによる反映であるとして、期間漁獲率(E(t))は $E(t)=(1-S(t))$ により求められる。
- (8) (4)の合計から7月の総漁獲尾数を求める。
- (9) 総漁獲尾数はその期間の資源尾数に対する漁獲率の積で示されるから、総漁獲尾数を漁獲率で除する、(8) / (7)の計算により、その期間の資源尾数を求める。それをもって7月解禁時の漁期加入尾数とする。

これらの生残過程は、土井(1975)、松石(2022)による以下の漁獲方程式式によった。

$$dN/dt = -ZN = -(F+M)N$$

N:資源量

Z:全減少係数

F:漁獲死亡係数

M:自然死亡係数

t=0,のとき N=N0 とすると

$$N(t) = N0 \cdot e^{-(Z)t} = N0 \cdot e^{-(M+F)t}$$

$$N(t)/N0 = S(t) = e^{-(M+F)t}$$

S:生残率

$$C(t) = (F/(F+M))(1 - e^{-(M+F)t})N0$$

C:漁獲量

$$E(t) = (F/(F+M))\{1 - S(t)\}$$

E:漁獲率

$$(F+M) \doteq F$$

$$N0 = C/E$$

## 結果

### (1) 2023年7月の漁期加入尾数の推定

2023年のトロール漁の解禁直後の状況を、表1に2023年7月21日のトロール漁解禁日から7月31日までの主要水産加工業者への聞き取り結果とそれに基づく推定結果として示した。なお、表中太枠内の数値は聞き取り結果と実測値であり、それ以外は計算値である。

図1に主要水産加工業者への水揚げ隻数の推移とその一回帰直線を示した。解禁日の霞ヶ浦全体の総出漁隻数は示されていることから(霞北水産だより, 2023), それ以降の全体の出漁隻数は回帰式の傾きによる変化をうとした。経過日毎の霞ヶ浦全体の推定出漁隻数は表1に示した。

図2に主要水産加工業者への水揚げ状況(CPUE)の経過日数毎の推移の変動傾向を一回帰式で示した。一回帰式を求めるにあたっては、読図からCPUE値のばらつき具合をみると、2023年は4日目および5日目のCPUEは全体の傾向と前後の日のCPUEの水準とは大きく異なっているため、突発的な変動とみなし

表1 2023年のトロール漁解禁直後の主要水産加工業者への水揚げ動向および霞ヶ浦全体の漁獲動向の推定結果

2023年月日	経過日(日目)	水揚げ隻数(隻)	水揚げ総量(kg)	水揚げCPUE(kg/隻)	水揚げCPUE(kg/隻)	総隻数(隻)	総漁獲量(kg)	魚体重(g)	総漁獲尾数(尾)	
	7月21日	1	19	186	9.8	6,537	107	1,049	1.5	699,442
	7月22日	2	19	172	9.1	6,046	103	934	1.5	622,698
	7月23日	3							1.5	0
	7月24日	4	14	54	3.8	2,552	102	391	1.5	260,343
	7月25日	5	7	37	5.3	3,514	101	532	1.5	354,943
	7月26日	6							1.5	0
	7月27日	7	6	42	7.0	4,633	98	681	1.5	454,067
	7月28日	8	9	51	5.7	3,793	97	552	1.5	367,881
	7月29日	9	7	46	6.6	4,410	96	635	1.5	423,314
	7月30日	10							1.5	0
	7月31日	11	10	60	6.0	3,967	95	565	1.5	376,833
	合計									3,559,522

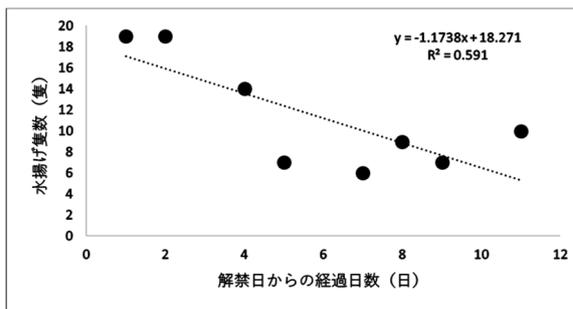


図1 主要水産加工業者への水揚げ隻数の推移

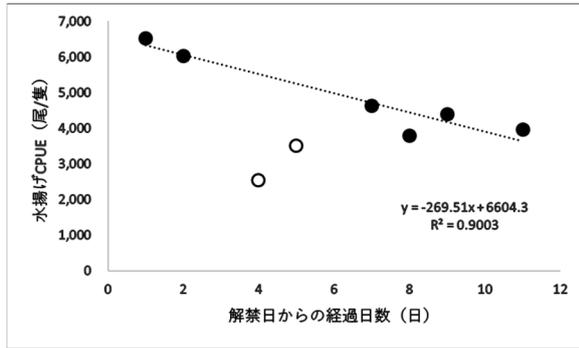


図 2 主要水産加工業者へのワカサギ水揚げ状況の CPUE の経日変化 (2023 年)

て外れ値と判断した。よってその 2 点を除外して CPUE の減少傾向を 1 次回帰式で求めた。

その結果、CPUE の経日変化は

$$CPUE(\text{尾/隻}) = -296.51(t) + 6604.3$$

となった。

次に 7 月下旬の期間内生残率 (S(t)) は、資源量指数である CPUE の前後との比であるから、CPUE の回帰式に  $t=1$ ,  $t=11$  を代入して 1 日目と 11 日目の CPUE 比を求めた。その結果、

$$S(t) = CPUE(t=11) / CPUE(t=1) \\ = 3639.6 / 6334.7 = 0.574$$

となった。よって、この期間中の漁獲率 (E(t)) は、自然死亡は漁獲死亡に比べて無視できるとしているから、

$$E(t) = 1 - S(t) = 0.426$$

となった。

表 1 からこの期間中の霞ヶ浦全体の総漁獲尾数 C(t) は  $C(t) = 3,559,522$  尾

であるから、漁期加入尾数 (N0) は

$$N0 = C(t) / E(t) = 8,366,487 \text{ 尾}$$

となった。

(2) 2010 年 7 月の漁期加入尾数の推定

次に農林水産省の漁業生産統計において、2010 年から 2022 年の間に霞ヶ浦のワカサギ漁獲量が最大値の 499 トンを記録した 2010 年 7 月の漁期加入尾数を推定した。

2010 年の解禁直後の状況は表 2 のとおりである。表中太枠内の数値が聞き取り結果と直接計測した値である。以降の計算は(1)と同様に行った。

図 3 に主要水産加工業者への水揚げ隻数の経過日数ごとの推移とその一次回帰直線を示した。解禁日の霞ヶ浦全体の出水揚げ隻数は、その後は回帰式の傾きで変化しているとし、7 月 21 日の霞ヶ浦全体の総隻数から経過日ごとの総隻数を推定しその結果を表 2 に示した。

図 4 に主要加工業者への水揚げの CPUE の経過日

表 2 2010 年のトロール漁解禁直後の主要水産加工業者への水揚げ動向および霞ヶ浦全体の漁獲動向の推定

2010年 月日	経過日 (日)	水揚げ隻 数(隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	53	7,755	117.7	88,474	172	20,239	1.33	15,217,462
7月22日	2	53	5,144	95.3	71,625	161	15,337	1.33	11,531,608
7月23日	3	46	2,764	56.4	42,406	155	8,742	1.33	6,572,932
7月24日	4	44	3,117	66.3	49,866	150	9,948	1.33	7,479,843
7月25日	5					145	0	1.33	0
7月26日	6	46	3,656	74.6	56,099	139	10,371	1.33	7,797,821
7月27日	7	50	3,231	64.6	48,592	134	8,660	1.33	6,511,392
7月28日	8					129	0	1.33	0
7月29日	9	7	292	41.7	31,353	123	5,129	1.33	3,856,466
7月30日	10	4	280	70.0	52,632	118	8,260	1.33	6,210,526
7月31日	11	4	200	50.0	37,594	113	5,650	1.33	4,248,120
合計									69,426,172

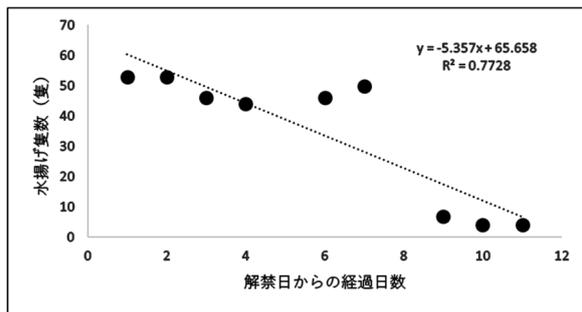


図 3 主要水産加工業者への水揚げ隻数の推移

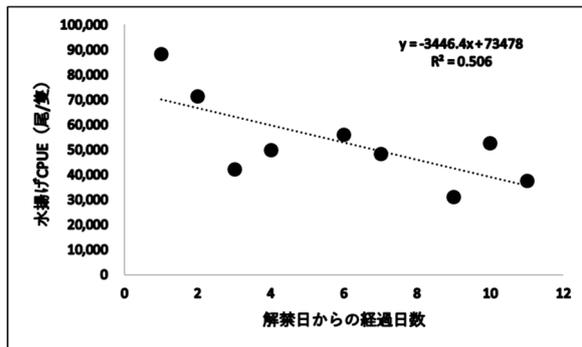


図 4 主要水産加工業者へのワカサギ水揚げ状況の CPUE の経日変化 (2010 年)

数毎の推移とその傾向を一次回帰式で示した。

その結果、CPUE の経日変化は以下となった。

$$CPUE(\text{尾/隻}) = -3346.4(t) + 73478$$

次に 7 月下旬の期間内生残率 (S(t)) は、CPUE の回帰式に  $t=1$ ,  $t=11$  を代入して求めた 1 日目と 11 日目の CPUE 比から、

$$S(t) = CPUE(t=11) / CPUE(t=1) \\ = 35567.6 / 70031.6 = 0.508$$

となり、この期間中の漁獲率 (E(t)) は、自然死亡を無視できるものとしていることから、

$$E(t) = 1 - S(t) = 0.492$$

となった。表 2 からこの期間中の霞ヶ浦全体の漁獲尾

数  $C(t)$ は

$$C(t) = 69,426,172 \text{ 尾}$$

であるから、漁期加入尾数( $N_0$ )は

$$N_0 = C(t) / E(t) = 141,110,105 \text{ 尾}$$

となった。

(3) 2010年から2023年までの漁期加入尾数

表3に2010年から2023年まで(1)と同様の手順で求めた漁期加入尾数及び各年の期間生残率、漁獲率を一覧に示した。また付表1に、2011年から2022年までの各年の7月21日のトロール漁解禁日から7月31日までの主要水産加工業者への聞き取り結果とそれに基づく推定結果を示した。

なお、CPUEの一次回帰式の算出において、2010年、2012年、2013年、2017年以外の年は、操業日別のCPUEにおいて、特定のCPUE値が全体的なCPUEの推移の傾向や、前後のCPUEの水準と比べ大きな変異を示した場合も外れ値とみなし、それを除外して計算した。表4に各年の主要水産加工業者への水揚げ状況のCPUEの経日変化の一次回帰式を示した。

ここで、推定した漁期加入尾数とワカサギの2010年から2022年までの年間漁獲量との関係を図5に示したところ両者には正の相関がみられた。

表3 各年のワカサギ漁期加入尾数の推定結果

年	7月生残率 S(t)	7月漁獲率 E(t)	7月漁獲量 (10 <sup>6</sup> 尾)	漁期加入尾数 (10 <sup>6</sup> 尾)
2010	0.508	0.492	69.42	141.11
2011	0.756	0.243	54.42	223.31
2012	0.626	0.378	66.75	176.51
2013	0.770	0.229	32.10	139.84
2014	0.870	0.129	29.46	226.72
2015	0.889	0.110	30.52	275.19
2016	0.629	0.370	24.54	66.25
2017	0.454	0.545	18.34	33.61
2018	0.541	0.458	36.71	80.02
2019	0.676	0.323	38.10	117.65
2020	0.732	0.267	20.80	58.08
2021	0.352	0.647	11.14	17.20
2022	0.482	0.517	11.59	22.40
2023	0.574	0.425	3.55	8.36

考 察

漁期加入尾数の推定において、今回その計算の対象期間をトロール漁操業開始直後の約10日間という短期間とし、この時期は漁獲の集中度が高いことをもっ

表4 各年の主要水産加工業者への水揚げ状況のCPUE経日変化の一次回帰式の一覧

CPUE(尾/隻) = -A(t) + B		
年	A	B
2010	3446.4	73478
2011	867.7	40029
2012	1813.4	60026
2013	595.8	29147
2014	430.8	33577
2015	387.8	35353
2016	768.7	23592
2017	1049.9	20290
2018	1643.6	37464
2019	4217.8	69328
2020	2784.6	61134
2021	1192.3	14081
2022	962.5	15838
2023	269.5	6604

て自然死亡の度合いは非常に小さいとしている。表5のとおり、根本(1993, 1995)が示したデータから、1984年から1992年におけるワカサギの年間漁獲尾数に対する7月から12月までの月別漁獲尾数の割合を整理した結果、7月には年間漁獲尾数のうち平均46%を漁獲しているとなった。この年代のトロール漁の操業期間は許可条件から12月10日までであり、7月の操業日数は全体の7.5%に過ぎない。

また、トロール漁の対象種はワカサギのほか、シラウオやテナガエビ、はぜ類があるが、それら3魚種の主漁期は8月、9月以降であることも7月の約10日間にワカサギへの漁獲が集中している理由でもある。

また、同じく表6に、久保田(2002)が示したデータから、1996年から2000年におけるワカサギの年間

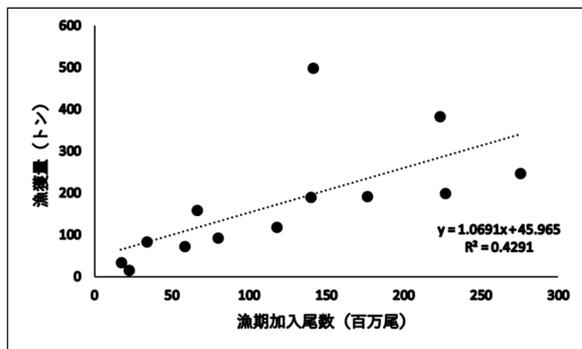


図5 漁期加入尾数とその年のワカサギ年間漁獲量の関係 (2010年-2022年)

表 5 トロール漁におけるワカサギの年間漁獲尾数に占める月別漁獲尾数の割合（根本，1993，1995）より改変）

	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1984	0.54	0.31	0.08	0.04	0.02	0.01
1985	0.34	0.39	0.11	0.09	0.05	0.01
1986	0.38	0.40	0.11	0.06	0.04	0.01
1987	0.34	0.34	0.12	0.10	0.08	0.02
1988	0.70	0.21	0.05	0.02	0.02	0.01
1989	0.50	0.30	0.10	0.05	0.04	0.01
1990	0.38	0.40	0.15	0.05	0.02	0.01
1991	0.51	0.33	0.09	0.04	0.02	0.02
1992	0.42	0.40	0.09	0.05	0.03	0.01
平均	0.46	0.34	0.10	0.06	0.04	0.01
操業日数	8	23	22	23	22	8

表 6 トロール漁におけるワカサギの年間漁獲尾数に占める月別漁獲尾数の割合（久保田，2002）より改変）

	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1996	0.51	0.24	0.08	0.08	0.06	0.02
1997	0.47	0.37	0.05	0.06	0.04	0.01
1998	0.71	0.22	0.03	0.02	0.01	0.00
1999	0.76	0.17	0.03	0.03	0.02	0.00
2000	0.48	0.44	0.01	0.02	0.04	0.01
平均	0.58	0.29	0.04	0.04	0.04	0.01
操業日数	8	23	22	23	22	8

表 7 トロール漁におけるワカサギの年間漁獲尾数に占める月別漁獲尾数の割合（2021，2022 年）

	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2021	0.38	0.40	0.12	0.06	0.03	0.01
2022	0.35	0.46	0.11	0.04	0.02	0.02
平均	0.37	0.43	0.12	0.05	0.03	0.01
操業日数	8	23	22	23	22	23

漁獲尾数に対する 7 月から 12 月までの月別漁獲尾数の割合も整理したところ，7 月は年間の操業可能日数の 7.5%ながら，年間漁獲尾数の平均 58%を漁獲していると示された。

さらに 2020 年の改正漁業法の施行に伴い，提出が義務化された各漁業許可にかかる漁獲成績報告書のデータを用いて解析を行った。表 7 に 2021 年，2022 年の結果を示した結果，年間漁獲尾数に占める 7 月の漁獲尾数の割合は平均 37%を占めており，この傾向は従来と大きくは変わっていないことがわかる。

霞ヶ浦のワカサギの漁期加入尾数は，前掲のこれまでの既往知見と本報告により，1984 年から 2023 年までほぼ連続した期間について推定されたことから，図

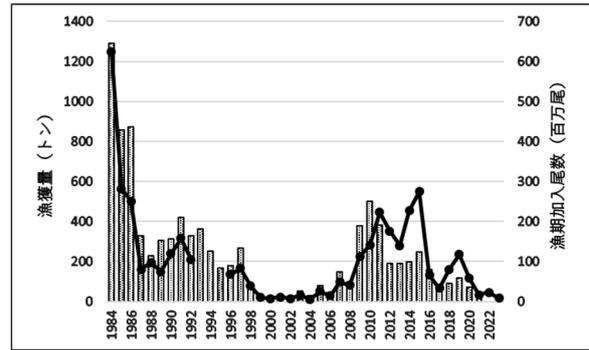


図 6 ワカサギ漁獲量と漁期加入尾数の推移 (Bar : 漁獲量, Line : 漁期加入尾数)  
1984 年－1992 年 根本 (1992, 1995)  
1996 年－2000 年 久保田 (2000)  
2001 年－2009 年 Sakamoto et al (2014)

6 に漁獲量の推移との関係を示した。

その結果，根本 (1993) によれば 1,290 トンの漁獲量を記録した 1984 年の漁期加入尾数 623.3 百万尾が最大であり，久保田 (2002) によれば漁獲量が 19 トンとなった 2000 年の漁期加入尾数 7.2 百万尾が最小となった。本報告においては 2023 年の漁期加入尾数は 8.3 百万尾となり，久保田 (2002) による 2000 年の値に次ぐ小さい値となったことから，2023 年の漁獲量の統計値は極めて低いものと推察される。

既往知見の漁期加入尾数の推定方法にはそれぞれ若干の相違がみられるものの，図 7 のとおり 1984 年から 2023 年までの漁獲量との関係においては強い相関が認められた (決定係数 0.7737)。

本報告における漁期加入尾数の推定は，毎日の主要水産加工業者への水揚げデータを元に，漁船 1 隻あたりの漁獲尾数の CPUE をその日の資源量指数として 7 月下旬の期間における生残率を求めているが，日々の水揚げ状況は，気象や海象の条件のほかにも，出漁の有無は漁業者の様々な判断による等複合的な条件の影

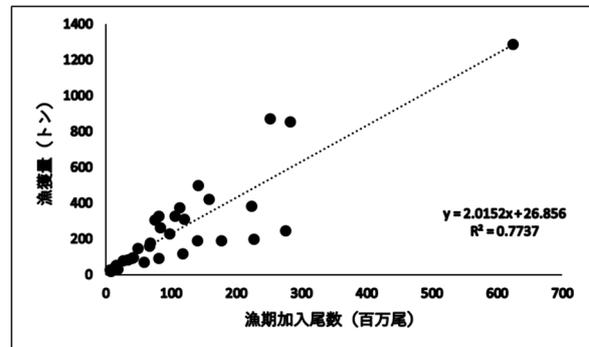


図 7 これまでの漁期加入尾数の推定値とワカサギ漁獲量の関係 (1984 年－2021 年)  
根本 (1993, 1995), 久保田 (2000), Sakamoto et al (2014) と本報を組み合わせで作図

響を受けるものである。したがって資源量指数としての CPUE ではあるが、個々のデータには資源以外の要因による影響が少なからず反映されている。そのため本報では、個々の CPUE のばらつきやその程度の判断を、CPUE の変動傾向を一次回帰直線でとらえるにおいて、読図から乖離の大きさを判定して外れ値とするチューニングを行っている。今後は CPUE が資源量指数以外の影響が大きいと判定する数値基準を明らかにすることが推定精度の向上には必須である。

今回 CPUE の外れ値の見極めは読図によったところであるが、漁期加入尾数の推定値と年間漁獲量との相関には一定程度の適合がみとめられた。

## 要 約

霞ヶ浦におけるワカサギ漁期加入尾数をより早期に推定するため、7月21日のワカサギ漁（トロール漁）の解禁当初約10日間における主要水産加工業者への水揚げ動向の聞き取りをもとに解析した。また、過去の聞き取り調査結果の解析も加えて、2010年から2023年の漁期加入尾数を推定した。その結果、各年の7月21日時点の漁期加入尾数は8.3百万尾から275.1百万尾と推定された。また、各漁期加入尾数とその年の年間漁獲量との間には正の相関が認められた。よって、トロール漁操業解禁直後の主要水産加工業者への水揚げデータを元に漁期加入尾数を推定することは有効といえた。

また、1980年代、1990年代の7月の漁獲尾数の割合は、年間漁獲尾数の46%から58%と高かった。2021年と2022年の7月の漁獲尾数の割合も年間漁獲尾数の37%となっていた。このことは、霞ヶ浦においてはトロール漁の操業開始初期はワカサギに対する漁獲圧力が相対的に高いという特徴を示しているといえた。

## 文 献

- 根本 孝 (1993) 霞ヶ浦におけるワカサギ資源量の変動傾向と漁業管理方策. 茨城県内水面水産試験場研究報告 ; 29 : 1-12.
- 根本 孝 (1995) 1990年から1992年までの霞ヶ浦におけるワカサギ資源量. 茨城県内水面水産試験場研究報告 ; 31 : 92-97.
- 久保田次郎 (2002) 霞ヶ浦北浦におけるワカサギ・シラウオの資源動向について. 茨城県内水面水産試験場研究報告 ; 37 : 1-28.
- 根本 孝 (2012) 霞ヶ浦のワカサギ漁における不漁年

の2002年と豊漁年の2010年の漁期末における残存資源量推定. 茨城県内水面水産試験場研究報告 ; 45 : 15-23.

Daisuke Sakamoto, Takashi Nemoto, Jun Iwasaki, Noriyuki Suno, Shintaro Niwa, Kazunori Arayama, Naoki Suzuki, Pai Son, Kasumi Sakuramoto (2014) Estimation of pond smelt *Hypomesus nipponensis* population in lakes Kasumigaura and Kitaura at the beginning of the fishing season. Fisheries Science ; 80 (5) 869-906.

田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海区水産研究所研究報告 ; 28 : 1-200.

土井長之 (1975) 水産資源力学入門(6). 日本水産資源保護協会月報 ; 131 : 18-36.

松石 隆 (2022) 水産資源学. 海文堂出版株式会社 ; 東京 ; 66-77.

霞北水産だより (2023) ワカサギ漁解禁. 霞ヶ浦北浦水産振興協議会 ; 60 : 2. [http://www.kasumikita-sinkou.jp/cgi/pamph/data/doc/1689739541\\_1.pdf](http://www.kasumikita-sinkou.jp/cgi/pamph/data/doc/1689739541_1.pdf) (2023年12月1日アクセス)

付表1 トロール漁解禁直後の主要水産加工業者への水揚げ動向および霞ヶ浦全体の漁獲動向推定結果(2011年-2022年)

2011年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	21	1,965	93.6	74.263	165	15,439	1.26	12,253,401
7月22日	2	47	3,788	80.6	63.956	160	12,894	1.26	10,233,029
7月23日	3	48	2,412	50.3	39,884	158	7,940	1.26	6,301,713
7月24日	4					155	0	1.26	0
7月25日	5	44	2,113	47.0	37,270	153	7,185	1.26	5,702,286
7月26日	6	38	842	21.6	17,125	151	3,258	1.26	2,585,806
7月27日	7					148	0	1.26	0
7月28日	8	32	1,192	36.1	28,668	146	5,274	1.26	4,185,474
7月29日	9	35	1,210	34.6	27,426	144	4,976	1.26	3,949,388
7月30日	10	30	1,164	38.8	30,794	142	5,510	1.26	4,372,698
7月31日	11					139	0	1.26	0
8月1日	12	44	1,960	44.5	35,352	137	6,102	1.26	4,843,187

2012年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	53	3,969	74.9	72.706	162	12,132	1.03	11,778,311
7月22日	2					160	0	1.03	0
7月23日	3	41	2,260	55.1	53,516	159	8,764	1.03	8,509,117
7月24日	4	47	2,522	52.5	51,001	158	8,300	1.03	8,058,192
7月25日	5					158	0	1.03	0
7月26日	6	44	1,949	41.5	40,250	157	6,509	1.03	6,319,242
7月27日	7	39	1,528	36.4	35,310	156	5,674	1.03	5,508,322
7月28日	8	42	1,746	41.6	40,349	155	6,442	1.03	6,254,103
7月29日	9					155	0	1.03	0
7月30日	10	43	1,900	44.2	42,888	154	6,803	1.03	6,604,719
7月31日	11	42	1,950	46.4	45,065	153	7,102	1.03	6,894,903
8月1日	12					0	0	1.03	0
8月2日	13	39	1,850	46.3	44,903	152	7,030	1.03	6,825,243

2013年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	2	120	60.0	31,746	143	8,580	1.89	4,539,683
7月22日	2	44	2,283	51.9	27,453	142	7,368	1.89	3,898,341
7月23日	3	44	2,245	51.0	26,996	141	7,194	1.89	3,806,457
7月24日	4					141	0	1.89	0
7月25日	5	45	2,351	52.2	27,637	140	7,313	1.89	3,869,136
7月26日	6	44	1,800	40.9	21,639	139	5,685	1.89	3,007,822
7月27日	7	37	1,616	43.7	23,103	139	6,069	1.89	3,211,331
7月28日	8					139	0	1.89	0
7月29日	9	43	1,826	42.5	22,462	138	5,859	1.89	3,099,779
7月30日	10	39	1,701	43.6	23,077	138	6,019	1.89	3,184,615
7月31日	11					138	0	1.89	0
8月1日	12	41	1,971	48.1	25,436	137	6,586	1.89	3,484,669

2014年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	1	75	75.0	37,129	119	8,925	2.02	4,418,317
7月22日	2	38	2,292	60.3	29,859	118	7,117	2.02	3,523,398
7月23日	3					118	0	2.02	0
7月24日	4	33	1,485	45.0	22,270	118	5,308	2.02	2,627,828
7月25日	5	36	2,180	60.6	29,978	118	7,146	2.02	3,537,404
7月26日	6	36	2,174	60.4	29,900	118	7,127	2.02	3,528,155
7月27日	7					118	0	2.02	0
7月28日	8	37	2,728	73.7	36,504	118	8,701	2.02	4,307,458
7月29日	9	38	2,592	68.2	33,761	118	8,047	2.02	3,983,807
7月30日	10					118	0	2.02	0
7月31日	11	40	2,444	61.1	30,248	117	7,149	2.02	3,538,960

2015年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	40	3,260	81.5	35,435	111	9,047	2.3	3,933,261
7月22日	2					109	0	2.3	0
7月23日	3	15	1,888	125.9	54,725	109	13,719	2.3	5,964,986
7月24日	4	44	3,725	84.7	36,807	108	9,143	2.3	3,975,190
7月25日	5	42	3,033	72.2	31,401	108	7,800	2.3	3,391,267
7月26日	6					107	0	2.3	0
7月27日	7	46	3,338	72.6	31,550	106	7,692	2.3	3,344,310
7月28日	8	42	2,790	66.4	28,877	106	7,040	2.3	3,060,942
7月29日	9					105	0	2.3	0
7月30日	10	41	3,045	74.3	32,291	105	7,798	2.3	3,390,509
7月31日	11	39	2,985	76.5	33,272	104	7,959	2.3	3,460,290

付表1の続き

2016年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	43	2,383	55.4	22,806	140	7,759	2.43	3,192,841
7月22日	2	45	2,325	51.7	21,262	138	7,130	2.43	2,934,156
7月23日	3	40	2,092	52.3	21,520	137	7,164	2.43	2,948,178
7月24日	4					137	0	2.43	0
7月25日	5	41	2,497	59.5	24,466	136	8,086	2.43	3,327,376
7月26日	6	41	1,999	48.7	20,059	135	6,580	2.43	2,707,995
7月27日	7					135	0	2.43	0
7月28日	8	39	1,981	45.0	18,523	134	6,032	2.43	2,482,108
7月29日	9	38	1,465	36.6	15,067	133	4,869	2.43	2,003,894
7月30日	10	39	1,549	38.7	15,931	133	5,149	2.43	2,118,832
7月31日	11					132	0	2.43	0
8月1日	12	35	1,838	52.5	21,612	131	6,880	2.43	2,831,171

2017年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	32	1,511	43.2	21,804	165	7,123	1.98	3,597,619
7月22日	2	33	1,141	34.6	17,463	164	5,670	1.98	2,863,851
7月23日	3					163	0	1.98	0
7月24日	4	35	1,102	31.5	15,895	163	5,130	1.98	2,590,830
7月25日	5	33	716	21.7	10,958	162	3,515	1.98	1,775,207
7月26日	6					162	0	1.98	0
7月27日	7	36	976	27.1	13,685	161	4,363	1.98	2,203,360
7月28日	8	24	646	26.9	13,594	161	4,334	1.98	2,188,678
7月29日	9	31	626	20.2	10,191	160	3,228	1.98	1,630,499
7月30日	10					160	0	1.98	0
7月31日	11	29	539	18.6	9,387	159	2,955	1.98	1,492,529

2018年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	25	2,047	81.9	41,563	140	11,463	1.97	5,818,883
7月22日	2					139	0	1.97	0
7月23日	3	23	1,190	51.7	26,264	139	7,192	1.97	3,650,629
7月24日	4	24	1,336	55.7	28,257	138	7,682	1.97	3,899,492
7月25日	5					138	0	1.97	0
7月26日	6	25	2,019	80.7	40,985	138	11,142	1.97	5,655,898
7月27日	7	26	2,102	80.8	41,039	137	11,076	1.97	5,622,296
7月28日	8	11	608	55.2	28,034	137	7,566	1.97	3,840,678
7月29日	9					137	0	1.97	0
7月30日	10	26	2,136	82.1		136	11,170	1.97	5,670,207
7月31日	11	22	816	37.1	18,826	136	5,044	1.97	2,560,277

2019年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	27	2,687	99.5	42,712	136	13,535	2.33	5,808,806
7月22日	2	30	4,441	148.0	63,526	135	19,982	2.33	8,576,073
7月23日	3	29	3,563	122.8	52,723	134	16,461	2.33	7,064,896
7月24日	4					134	0	2.33	0
7月25日	5	29	3,349	115.5	49,556	134	15,472	2.33	6,640,506
7月26日	6	28	4,914	175.5	75,322	133	23,342	2.33	10,017,811

2020年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	27	1,232	45.6	23,756	99	4,516	1.92	2,351,823
7月22日	2					98	0	1.92	0
7月23日	3					97	0	1.92	0
7月24日	4	25	995	39.8	20,719	97	3,859	1.92	2,009,719
7月25日	5	25	1,413	56.5	29,440	96	5,426	1.92	2,826,200
7月26日	6					96	0	1.92	0
7月27日	7	24	1,926	80.2	41,786	95	7,622	1.92	3,969,672
7月28日	8	23	1,797	71.9	37,444	95	6,830	1.92	3,557,156
7月29日	9					94	0	1.92	0
7月30日	10	24	1,774	71.0	36,956	94	6,670	1.92	3,473,888
7月31日	11	21	1,403	54.0	28,107	93	5,019	1.92	2,613,948

2021年 月日	経過日 (日)	水揚げ数 (隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	23	680	29					

付表1の続き

2022年 月日	経過日 (日)	水揚げ隻 数(隻)	水揚げ総 量(kg)	水揚げ CPUE (kg/隻)	水揚げ CPUE (尾/隻)	総隻数 (隻)	総漁獲量 (kg)	魚体重 (g)	総漁獲尾数 (尾)
7月21日	1	24	446	18.6	13,676	119	2,213	1.36	1,627,500
7月22日	2	12	386	19.3	14,191	117	2,258	1.36	1,660,368
7月23日	3	21	438	20.9	15,340	117	2,441	1.36	1,794,737
7月24日	4	21	225	10.7	7,868	116	1,241	1.36	912,647
7月25日	5	22	297	13.5	9,926	115	1,553	1.36	1,141,544
7月26日	6	19	226	11.9	8,750	115	1,369	1.36	1,006,250
7月27日	7	18	240	13.3	9,804	114	1,520	1.36	1,117,647
7月28日	8	20	228	11.4	8,379	114	1,299	1.36	955,169
7月29日	9	19	316	16.6	12,214	113	1,877	1.36	1,380,139

付表2 ワカサギの漁期加入尾数と年間漁獲量

1984年-1992年 根本(1992, 1995)  
 1996年-2000年 久保田(2000)  
 2001年-2009年 Sakamoto et al(2014)  
 2010年-2023年 根本(本報)

年	漁期加入尾数 (百万尾)	漁獲量 (ト)	年	漁期加入尾数 (百万尾)	漁獲量 (ト)
1984	623.31	1290	2005	25.6	78
1985	281.89	857	2006	14.5	44
1986	251.08	872	2007	49.0	147
1987	80.49	330	2008	41.3	98
1988	97.28	229	2009	112.7	377
1989	74.43	305	2010	141.1	499
1990	119.22	312	2011	223.3	383
1991	158.21	421	2012	176.5	192
1992	105.2	328	2013	139.8	190
1993		363	2014	226.7	199
1994		251	2015	275.1	247
1995		169	2016	66.2	159
1996	68.0	177	2017	33.6	83
1997	82.8	265	2018	80.0	92
1998	39.5	91	2019	117.6	118
1999	10.3	30	2020	58.0	72
2000	7.2	19	2021	17.2	34
2001	11.3	30	2022	22.4	16
2002	7.6	23	2023	8.36	
2003	15.0	52			
2004	5.8	29			

## 霞ヶ浦におけるテナガエビの浮遊幼生の出現動向について

根本 孝

Observation of appearance of the pelagic larva of *Macrobrachium nipponense* in Lake Kasumigaura

Takashi NEMOTO

キーワード：テナガエビ，ゾエア，霞ヶ浦

### Abstract

Pelagic larvae of *Macrobrachium nipponense* were collected in Lake Kasumigaura. The survey was carried out during July to October in 2012, within their summer spawning season, in the Lake Kasumigaura. The density of zoea larvae increased from the beginning of August, peaked on August 20, indicate 121.6 individuals/m<sup>3</sup> at the peak and then began to decrease. However, a seven-day moving average of the results of the number of collected larvae shows the density shows four ups and downs. The growth of zoea larvae was observed from the difference in some frequency distribution of cephalothorax length of zoea collected during July 24 to August 31. It was suggested the observation of the density of zoea larva could be used as an indicator of future recruitment to the fisheries stock in autumn.

Key words: *Macrobrachium nipponense*, zoea larvae, Lake Kasumigaura

### 目 的

霞ヶ浦におけるテナガエビ *Macrobrachium nipponense* は重要な水産資源の一つであり、漁業資源としての新規加入の動向について漁業関係者の関心が高い。

霞ヶ浦におけるテナガエビの産卵期は雌の抱卵個体の出現動向から概ね5月下旬から9月中旬頃、最盛期は7月、8月であることが明らかとなっている（茨城県、1912；久保、1949；茨城県水産振興場、1955；位田、1983）。受精卵はふ化までの間、雌の親エビの腹肢の間に保持されており、そこからふ化した後は浮遊幼生となりゾエア期を過ごす。Kwon・Uno (1969) によれば、ゾエア期には9回の脱皮を繰り返した後にpostlarvaへと脱皮、変態して着底生活に入る。また、根本 (1995) によれば、霞ヶ浦においては着底個体が成長して新たな漁獲対象資源として順次加入してくるのは概ね9月以降となっている。

漁業者らはこの新規の漁業資源として現れる稚エビをザザエビと称しており、小型機船底びき網漁業（通

称トロール漁業）においては9月以降になると、テナガエビが主たる漁獲対象種の一つとなる。このため漁業者の毎年のザザエビの加入動向への関心は高い。ふ化後のゾエア期の動向を把握することはその後の漁獲対象資源への加入動向の良否を推定する上で重要な指標の一つとなりうるものと考えられる。

これまで、霞ヶ浦におけるテナガエビの浮遊幼生の出現動向については既往知見において示されている（位田、1983；位田・鈴木、1979；小沼、1985；小沼ら、1984）。しかし、いずれの報文も、その採集において調査頻度が少ないことから、季節的な特性の把握となっており、連続的な時間経過としての出現動向は明らかになっていない。

そこで本研究では、テナガエビの浮遊幼生のゾエアの採集を、なるべく高い頻度で行うことで、ゾエアの出現時期や成長経過の詳細を明らかにすることにより、テナガエビの浮遊幼生であるゾエアの動向把握が将来の漁獲対象資源の予測の一つの方法となることを目指した。

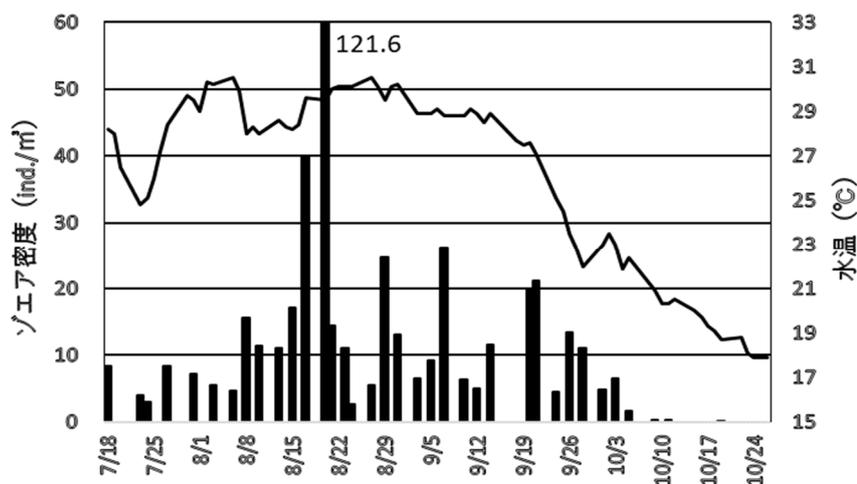


図1 採集したゾエアの分布密度の経時変化

## 方 法

### (1) 供試個体の採集

テナガエビのゾエアの採集は、2012年7月18日から2012年10月26日まで、1日1回の採集をなるべく1日おきを実施し、期間中の採集回数は計42回であった。また採集は毎回午前9時に行った。

採集場所は、霞ヶ浦北部の高浜入りで、茨城県水産試験場内水面支場地先距岸約500mに位置する、沖合のほぼ中央部とした。なお、高浜入りの中央部の水深は約4mで平坦な湖底が広がっている。

採集方法は湖面の表層を口径45cmのノルパックネット（目合335 $\mu$ m）による水平曳とした。曳網速度は約1m/sで、曳網時間は5分間とした。採集時の曳網距離の測定は、曳網開始点と曳網終点の位置をGPS測定し、その値を国土地理院の測量計算サイト (<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/bl2stf.html>) により、緯度経度値から距離変換を行い1m単位で算出した。

曳網時の採集物はすべて一括して10%ホルマリンで固定した後、採集物中のテナガエビのゾエアをとりだして計数した。計数にあたっては、動物プランクトンを主体とする採集物全部に適量の水を加えて流動性を持たせ、均一に混合した状態として、その水溶液の半数分割を複数回繰り返した。複数回の分割後、採集物が適当な濃度となった段階で混合物中のテナガエビのゾエアを計数し、採集物全量中のゾエアの個体数を推定した。

結果はノルパックネットの口径と曳網距離から求めた曳網体積で除して単位体積当たりのゾエア個体数に変換した。なお、ノルパックネットの濾水率は100%とした。

また、ゾエアの成長段階をみるため、一部の採集回において採集した浮遊幼生の頭胸甲長を顕微鏡下で計測した。また、茨城県水産試験場内水面支場の観測棧橋、距岸100mの地点にて午前9時に湖水温を測定した。

## 結 果

### (1) ゾエアの採集

表1にノルパックネットによるゾエアの採集結果を示した。2012年7月18日を採集初日として10月26日まで42回行った。その間ゾエアは毎回0個体から5,248個体まで、平均521個体/回が採集された。最初にゾエアが採集されたのは、採集初日の7月18日で、最後にゾエアが採集されたのは10月19日（調査開始日から94日目）となった。なお、10月19日のゾエアの採集は1個体で、それ以前の2回は採捕がなく、ゾエアを複数個体で連続的に採集できたのは10月11日が最後であった。

調査時の曳網距離は平均して301 $\pm$ 28m（平均 $\pm$ SD）となった。また曳網時の平均濾水量（ $m^3$ ）は、ノルパックネットの口径（面積）と曳網距離の積から求めたところ46 $\pm$ 4.4 $m^3$ （平均 $\pm$ SD）であった。

濾水量と採集個体数から採集毎のゾエア密度を算出したところ、単位体積当たり採集ゾエア数（個体/ $m^3$ ）は0個体/ $m^3$ から121.6個体/ $m^3$ となった。

### (2) ゾエアの出現傾向と水温変化

図1に調査期間内におけるゾエア密度の推移を示した。密度は7月18日から8月6日までの間は10個体/ $m^3$ 以下で推移し、8月8日から10個体/ $m^3$ を超えて増加し始めた。その後は、8月15日、17日、20日と密

度は連続して増加し、8月20日に調査期間中の最大の密度の121.6個体/m<sup>3</sup>となった。それ以降は減少傾向を示したが、20個体/m<sup>3</sup>を上回るような比較的高い日は間歇的に9月21日までみられた。10月1日以降密度は10個体/m<sup>3</sup>以下となり、10月15日以降0個体/m<sup>3</sup>となった。

調査期間中測定した観測棧橋の水深1mの水温の推移を示した(図1)。水温は、調査開始直後の7月23日に24.8℃と前日の28.2℃から一旦低下した後上昇し始め7月27日に28.4℃となった。それ以降は9月21日まで連日27.0℃以上であり、その間の最高水温は8月27日の30.5℃であった。9月21日以降は連日水温が低下し始め、10月11日に20.3℃に、それ以降は20℃以下を示し、最後にゾエアが採集できた10月19日の水温は18.7℃であった。

ゾエアの採集は平均すると2.4日毎に行ったことになるが、ゾエアの出現傾向をつかみやすくするため、付表1の結果からゾエア密度の7日間での移動平均を算出して、連続的な出現密度の変化の傾向を図2に示した。その結果、出現傾向には特徴がみられ、順に調査開始日から8月1日までに出現した群、次に8月上旬から8月22日頃までの出現群、次に8月下旬から9月10日頃までの出現群、最後に9月中旬から10月上旬頃までの出現群という、ピークを示すいくつかの時期がみられた。

### (3) ゾエアの時期別頭胸甲長組成

採集したゾエアの成長経過をみるため、調査期間のうち、7月24日から8月31日までの間に17回採集したゾエアについて、その頭胸甲長を顕微鏡下にて計測した。測定した頭胸甲長は0.1mmごとに区分した頻度分布として採集日毎に表2に示した。

テナガエビの幼生はふ化後およそ20日間浮遊幼生として9期のゾエア期を経た後、脱皮してポストラーバとなり着底生活に移行することが知られていること

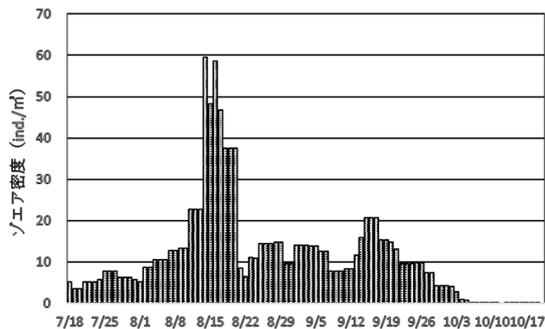


図2 7日間移動平均によるゾエア密度の経時的変化

から、頻度分布結果をゾエア各期の平均頭胸甲長をもとに(Kwon・Uno, 1969), ポストラーバにいたるまでの経過時間がわかる成長の経過を、前期、中期、後期の3段階に組み分けして成長段階ごとの出現動向をみた。

組み分けは、ゾエア期の9段階の成長過程を便宜的に3区分に分けたものであるが、前期は第1期ゾエアから第3期ゾエアまでの頭胸甲長の個体とし、中期は、第4期ゾエアから第6期ゾエアまでの頭胸甲長の個体とし、後期は第7期ゾエアから第9期ゾエアまでの頭胸甲長の個体とした。

それぞれの成長段階別に出現個体数の推移を図3に示した。その結果、前期群は7月24日に20個体/m<sup>3</sup>と測定期間中の平均以上の密度を示した後一旦低下するものの、8月3日から8月21日までの間に8月17日にピークとなる急上昇を示した。また、8月27, 29日にも密度の急上昇を示した。一方、中期群もこの間3つの時期に密度のピークを示しており、それらは8月8, 10日と8月21日、そして8月27, 29日であった。なお、表2のとおり測定したゾエアはそのほとんどが前期群と中期群のゾエアで構成されており、後期群のサイズのゾエアの採捕はまれであった。

このとき前期群の出現と中期群の出現にはある周期性をもった時期のずれがみられた。それは前期群の個体数が中期群の個体数を上回った日のおよそ1週間後に中期群の個体数が前期群の個体数よりも上回っているものであった。これは群れとしてのゾエアが、時間経過とともに変態により成長し、その結果が後に中期群の増加として現れているといえた。

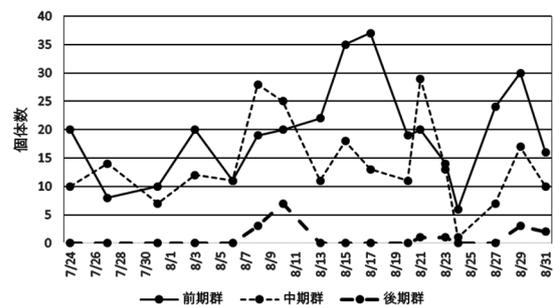


図3 採集したゾエアの成長段階別構成数の推移

## 考 察

霞ヶ浦におけるテナガエビ幼生の出現に関するこれまでの知見からは、鈴木・位田(1977)は7回の表層の水平曳の結果から、ゾエアは7月に出現し8月上旬に個体数密度がピークになるとし、そのピーク時密度

表1 ゾエアの採集結果

採集日	経過日数	曳網距離	採集個体数	密度
	日目	m	ind.	ind./m <sup>3</sup>
7月18日	1	276	352	8.4
7月23日	6	294	180	4.0
7月24日	7	287	128	2.9
7月27日	10	301	384	8.4
7月31日	14	295	320	7.1
8月3日	17	312	264	5.6
8月6日	20	248	176	4.7
8月8日	22	293	696	15.6
8月10日	24	290	504	11.4
8月13日	27	312	528	11.1
8月15日	29	331	864	17.2
8月17日	31	295	1,792	40.0
8月20日	34	284	5,248	121.6
8月21日	35	270	592	14.4
8月23日	37	284	480	11.1
8月24日	38	280	112	2.6
8月27日	41	303	256	5.6
8月29日	43	294	1,104	24.7
8月31日	45	234	464	13.0
9月3日	48	299	296	6.5
9月5日	50	292	412	9.3
9月7日	52	313	1,248	26.2
9月10日	55	316	304	6.3
9月12日	57	300	232	5.1
9月14日	59	231	408	11.6
9月20日	65	294	896	20.1
9月21日	66	315	1,016	21.2
9月24日	69	321	224	4.6
9月26日	71	329	672	13.4
9月28日	73	343	576	11.0
10月1日	76	317	232	4.8
10月3日	78	335	336	6.6
10月5日	80	275	68	1.6
10月9日	84	304	14	0.3
10月11日	86	360	13	0.2
10月15日	90	316	0	0.0
10月17日	92	309	0	0.0
10月19日	94	386	1	0.0
10月22日	97	293	0	0.0
10月24日	99	290	0	0.0
10月26日	101	297	0	0.0
最大値		386	5,248	121.6
最小値		231	0	0.0
平均値		300	521	11.7
SD		28	850	19.5

表2 採集したゾエアの頭胸甲長組成の経時変化

CL(mm)	7/24	7/27	7/31	8/3	8/6	8/8	8/10	8/13	8/15	8/17	8/20	8/21	8/23	8/24	8/27	8/29	8/31
0.1≦ CL <0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2≦ CL <0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0.3≦ CL <0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.4≦ CL <0.5	12	0	2	2	3	14	12	15	20	24	9	7	11	5	8	13	9
0.5≦ CL <0.6	8	8	8	18	8	5	8	7	14	13	10	13	3	1	16	17	7
0.6≦ CL <0.7	0	7	4	7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.7≦ CL <0.8	2	6	3	4	0	3	12	3	8	7	7	9	8	0	3	8	3
0.8≦ CL <0.9	4	0	0	0	1	9	4	7	6	4	1	13	3	1	2	7	5
0.9≦ CL <0.10	4	1	0	1	0	10	6	1	4	0	2	5	2	0	2	1	1
0.10≦ CL <0.11	0	0	0	0	0	6	3	0	0	2	1	2	0	0	0	1	1
0.11≦ CL <0.12	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2
0.12≦ CL <0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.13≦ CL <0.14	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0.14≦ CL <0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15≦ CL	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total	30	22	17	32	22	50	52	33	53	50	30	50	28	7	31	50	28
min	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3
MAX	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	1.2	1.5	0.9	0.9	1	1	1.1	1.2	0.7	0.9	1.2	1.1
average	0.54	0.55	0.48	0.50	0.50	0.69	0.68	0.51	0.51	0.49	0.53	0.63	0.55	0.43	0.52	0.57	0.59
SD	0.19	0.12	0.11	0.10	0.09	0.26	0.28	0.18	0.18	0.15	0.18	0.18	0.21	0.14	0.13	0.20	0.23
前期群	20	8	10	20	11	19	20	22	35	37	19	20	14	6	24	30	16
中期群	10	14	7	12	11	28	25	11	18	13	11	29	13	1	7	17	10
後期群	0	0	0	0	0	3	7	0	0	0	0	1	1	0	0	3	2

は約 15 個体/m<sup>3</sup>であった。また、位田・鈴木 (1979) は 7 回の表層の水平曳の結果から、6 月下旬から 10 月上旬までゾエアが出現し 8 月下旬がピークとした。

小沼ら (1984) は 6 回の水平曳の採集結果から、ゾエアは 7 月 28 日から 10 月 19 日までの間出現し 8 月 18 日がピークと示した。このほか、小沼 (1985) は各年 5 回の水平曳の採集結果から 1983 年は 7 月中旬から 10 月中旬に出現し、8 月 10 日がピークで 24 個体/m<sup>3</sup>、1984 年は 6 月下旬から 9 月中旬まで出現し、8 月 25 日がピークで 15 個体/m<sup>3</sup>と示した。

これらのテナガエビの幼生の出現動向は、総じて 8 月中下旬が出現のピークであるとしているのみであり、細かい時系列での変化は示されていないいわば定性的な知見であった。しかし今回の調査から、ゾエアの出現は 8 月中旬を密度のピークとしつつも、複数回の出現密度の高まりがみられることが明らかとなった。

今回の調査開始は 7 月 18 日であるが、その時点でゾエアが採捕されていたことから、7 月 18 日以前にもゾエア密度の高まりがある可能性もうかがえた。

事実、根本 (2012) によれば、この年 2012 年に霞ヶ浦において抱卵したテナガエビ個体を初めて確認したのは 5 月 15 日であり、最後に抱卵個体を確認したのは 9 月 18 日が最終であった。また、茨城県水産試験場内水面支場の観測棧橋、距岸 100m の地点での水深 1m 点の水温は 5 月 15 日から 6 月 14 日までの 1 か月間の平均水温は 21.3°C であったことと、位田 (1983)

がはく離したテナガエビの受精卵を水温 20°C でふ化まで観察した結果から積算水温をおよそ 600°C 日と推定していることや、根本 (2012) が水槽飼育により抱卵エビを水温 20°C でふ化までの期間を観察した結果では、試験した抱卵エビの 80% がふ化完了した期間を 31.0 日、積算温度 620.0°C 日としていることから、すでに初確認の抱卵個体からは 2012 年 6 月中旬にはゾエアが出現していると推察される。

本研究で採集されたゾエアの分布密度としては、採集された回のみの結果からみると、最小値 0.02 個体/m<sup>3</sup>、最大値 121.6 個体/m<sup>3</sup>、平均 11.7 個体/m<sup>3</sup>となっている。一方で、既往知見で得られている密度では鈴木・位田 (1977) の最大値 15.6 個体/m<sup>3</sup>、位田 (1979) の最大値 3.5 個体/m<sup>3</sup>、小沼 (1985) の最大値が 24 個体/m<sup>3</sup>となっている。このとき、1977 年から 1985 年までの霞ヶ浦におけるえび類の年平均漁獲量は 2,828 トンであるのに対し、本研究時の 2012 年のえび類の年間漁獲量が 272 トンとその差は大きい。よって、ゾエア密度と年間漁獲量との関係はまだみえていない。

今後はゾエアの高い採集頻度での出現動向を長期にわたり把握することで、ゾエアの出現動向と漁獲対象資源の加入動向との関係が明確になると考えられた。

## 要 約

霞ヶ浦におけるテナガエビの漁獲対象資源への新規

加入動向の指標とするため、その産卵期にあわせてふ化後のゾエア幼生を採集しその出現動向を観察した。

2012年7月18日から2012年10月26日まで延べ42回、ノルパックネットの水平曳により採集を行った結果、ゾエア幼生は7月18日から10月19日の間採集され、採集毎のゾエア幼生の密度は0から121.6個体/m<sup>3</sup>となった。

ゾエア幼生の密度は凡そ8月上旬から高まり8月20日にピークを迎えその後減少に転じた。しかし調査期間中の採捕結果を7日間移動平均による変化傾向をみると、密度の上下動の動きが調査期間中4つ現れた。

採集したゾエアのうち、7月24日から8月31日までの間に採集したゾエアの頭胸甲長の頻度分布の推移をゾエア幼生の成長サイズに合わせて前期、中期、後期の3区分に分けてみた結果、前期群の出現密度は凡そ8月17日と8月27、29日に密度のピークを示し、中期群は8月8、10日と8月21日、8月27、29日に密度のピークを示した。このうち前期群と中期群の出現ピークのずれはちょうどその間のゾエア幼生の成長が現れているものといえた。

長期間高頻度でのゾエア幼生の出現を把握することで分布密度の複数回の変動が明らかになったことで、テナガエビが産卵期に複数回の抱卵ふ化を行うこととの関連が伺えたほか、今後のデータの蓄積により漁獲対象資源への加入動向との関係が明確になっていくと考えられた。

## 謝 辞

本報告を執筆するにあたり、採集調査にご協力いただいた現茨城県水産試験場内水面支場の大塚久美子氏に厚くお礼を申し上げます。

## 文 献

- 小沼洋司 (1985) 霞ヶ浦・北浦の湖沖帯に現れる稚仔とその摂餌酸素について. 茨城県内水面水産試験場研究報告; 22: 1-44.
- 小沼洋司・高橋惇・鈴木健二・藤富正毅 (1984) 霞ヶ浦における底生動物の生産に関する研究-I. -ハゼ類及びテナガエビの生態と現存量-. 国立公害研究所研究報告; 53: 61-84.
- Kwon Chin Soo, Yutaka Uno (1969) The Larval Development of *Macrobrachium nipponense* (De Haan) reared in the Laboratory. Bulletin de la Societe frsanco-japonaise d'oceanographie; Tone

7: No4.

- 茨城県水産試験場 (1912) 茨城県霞ヶ浦北浦漁業基本調査報告; 1: 113-138.
- 茨城県水産振興場 (1955) 霞ヶ浦におけるえび類の産卵期について. 調査資料 17: 1-5.
- 鈴木健二・位田俊臣 (1977) 霞ヶ浦における漁業資源の生産構造に関する研究-I 食物連鎖におけるワカサギの地位. 茨城県内水面水産試験場研究報告; 14: 1-10.
- 位田俊臣 (1983) 霞ヶ浦産テナガエビ資源の動態に関する研究-III. 抱卵期などについて. 茨城県内水面水産試験場研究報告; 20: 36-42.
- 位田俊臣・鈴木健二 (1979) 霞ヶ浦テナガエビ資源の動態に関する研究-II. ゾエアの被捕食構造. 茨城県内水面水産試験場研究報告; 16: 99-109.
- 根本 孝 (2012) 霞ヶ浦のテナガエビ抱卵個体のふ化に対する水温の影響. 平成 24 年度日本水産学会秋季大会要旨集; 926.
- 根本 孝 (1995) 霞ヶ浦におけるテナガエビ資源量の経年変動. 茨城県内水面水産試験場研究報告; 31: 1-22.

# 飼育実験による霞ヶ浦産テナガエビの抱卵期間と積算水温の関係

根本 孝

Relationship of incubation period of *Macrobrachium nipponense* for hatch out and accumulated water temperature

Takashi NEMOTO

キーワード：テナガエビ，抱卵，ふ化，経過日数，積算水温

## Abstract

The number of days until the eggs hatch from shrimp holding fertilized eggs, *Macrobrachium nipponense*, were examined in a water tank. These shrimp were incubated under five different conditions of water temperature, 20°C, 23°C, 25°C, 27°C, 30°C. Observations showed that the number of days until the eggs hatched became shorter as the water temperature increased.

The period was about 28 days or 560 (°C x days) of accumulated water temperature at 20°C, and about 12 days or 300 (°C x days) at 23-25°C, and about 10 days or 270 (°C x days) at 27-30°C.

Results suggest that the spawning period of *Macrobrachium nipponense* would be longer or that the number of times shrimp spawn would increase because the water temperature in Kasumigaura has tended to increase in recent years.

Key words: *Macrobrachium nipponense*, fertilized egg, hatch, accumulated temperature

## 目 的

霞ヶ浦におけるテナガエビは古くから水産資源の一つとして利用されている重要な資源である。加瀬林・芹田（1956）によれば、霞ヶ浦ではテナガエビの産卵期は概ね5月中旬からはじまり、7月、8月を盛期として9月上旬まで続くとされ、テナガエビの新規加入は秋に、9月以降から稚エビの出現が盛期となってみられる。

また、位田（1983）によれば、一産卵期間において同一個体で複数回の産卵が行われるとされている。産卵からふ化までに要する期間は、水温の高低により変化し、早期に産卵した場合のふ化に要する日数は長く、盛夏に産卵した場合のふ化に要する日数は短いことが知られている（茨城県水産試験場, 1912）。山根（1995）は、産卵期にあたる夏季の水温の変動は、テナガエビ資源の全体の産卵量の多寡に影響し、高水温はふ化個

体の成長も促進することから、秋の新規加入以降の漁獲量の変動として現れるとしている。

しかし、位田（1983）によるテナガエビの抱卵個体からのふ化に要する期間の水温との関係については、雌エビ個体からはく離れた受精卵を *in vitro* で、複数の水温条件下においてふ化までの積算水温を測定したのとなっており、また、雌エビ自身の腹肢の振動による受精卵への酸素供給といった保育行動のない場合でのふ化日数の測定である。

一方実際の、雌エビが腹肢の間に抱卵する受精卵の発達状態の観察では、その卵塊の外側の卵の方が内側の卵よりも早く発眼がみられ、かつふ化も早いとみられている（茨城県水産試験場, 1912）。そこで本研究では、複数の水温条件下において抱卵エビを水槽で飼育し、そこでの産卵からふ化までの日数について測定を行うこととした。

## 材料と方法

### (1) 供試個体の採集

テナガエビの供試個体は、産卵、受精し腹肢の間に抱卵をはじめた日が特定できた雌エビ（以下、「抱卵個体」と称する）とした。

抱卵を開始した日が特定できる抱卵個体を得るため、テナガエビの採集は、2012年5月から6月にかけて適宜、茨城県水産試験場内水面支場の栈橋からあらかじめ湖底に沈めておいたプラスチック製トラップを引き上げて、そこに蟄集しているテナガエビを回収して行った。同期間の採集地点の霞ヶ浦の底層水温は17.1°C~22.9°Cの範囲（平均20.7°C±1.4sd.）であった。

次に、採集したテナガエビは、雌雄混合であり、体サイズとも様々な個体がみられたが、そのうち採集した時点ですでに抱卵していた個体はすべて放流し、その残りの雄エビと未抱卵の雌エビをすべて屋外に設置した同一水槽に収容した。その水槽をしばらくの間放置し、水槽内で自然の交尾、受精を行わせ、抱卵する個体が出現するのを待った。

抱卵個体が出現すると直ちにその個体を取り出すとともに、かつその日に一定数の抱卵個体が確保できた場合に以後の実験に供した。

なお、抱卵個体の出現した日を抱卵0日目として、以後の経過日数のカウントの基準日とした。

### (2) 飼育水槽の設置

飼育には60×36×30cmのガラス水槽を用い、井水を約45L満たした。注水は水槽上部から1時間当たり1L程度を滴下するかけ流しとした。水槽の曝気はエアストーン1個を投入して行った。

水槽の水温調整にはサーモスタット付き500Wのヒーターを用いた。水槽内の水温に不均衡な部分が生じないように、ヒーター、排水パイプ及び温度センサーはそれぞれ水槽内で遠ざけて設置した。

テナガエビは同種間で互いを干渉しあう（争う）性質があることから、これを防ぐため水槽内にテナガエビが身を隠すことができるよう障害物となる網目状の筒型構造をした小型のプラスチック製トラップを設置した。

### (3) 抱卵個体の採集および水温区分の設定

供試個体は、日中屋外の水槽に混養しておく、収容後概ね数時間以内に交尾受精、抱卵する個体が現れるので、それを採集して一定尾数が確保できた場合、実験区の水槽に収容した。

水槽内の水温条件は20°C、23°C、25°C、27°C、30°Cの5区分とし、試験期間中それぞれ一定に保った。試験区ごとの抱卵個体の収容尾数は、20°C区に5尾、23°C区13尾、25°C区11尾、27°C区9尾、30°C区16尾とした。

なお、試験区毎に収容尾数が異なっているのは、複数回にわたり屋外での混養を行ったが、同一日に抱卵した個体を複数、かつ各試験区で同数を確保することが困難だったためである。

確保した抱卵個体は、屋外水槽中では湖内水温より高い水温下にあったが、抱卵個体を採集後は水温差に対する馴致を行わずにそれぞれの試験区に収容し、その日を経過0日目として観察を開始した。

なお、供試個体の体サイズは、CL長（頭胸甲長）で平均±標準偏差は11.6mm±0.47の範囲にあった。また、飼育期間中へい死は生じなかった。給餌は毎日午前9時に行い、配合餌料を残餌が出ないよう適量与えた。

抱卵個体の観察は日中適宜行い、ふ化によって供試個体の腹肢間の受精卵が確認できなくなった日を供試個体のふ化完了日とし、各試験区ですべての供試個体のふ化が完了するまで観察を続けた。なお、ふ化完了した供試個体は水槽から除去せずにそのまま飼育を継続した。

## 結果

### (1) テナガエビのふ化完了個体の出現動向

図1にテナガエビの経過日毎のふ化完了個体の出現状況について、収容尾数に対するふ化完了個体数の累積割合の推移を示した。

また、付表1にテナガエビの経過日毎のふ化完了個体の出現数を示した。

ふ化完了個体の出現が最も早かったのは30°C区の2日目で、最も遅かったのは20°C区の25日目であった。

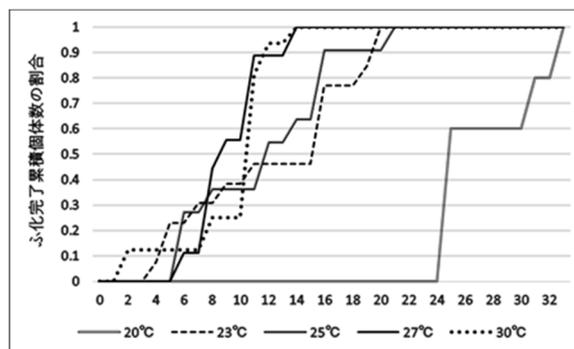


図1 ふ化完了個体の経過日数における出現数の累積割合の推移

しかし、ふ化完了個体の出現日の遅速は試験区の温度勾配とは一致せず、25℃区と27℃区では6日目にふ化完了個体が出現したのに対し、23℃区では4日目に出現していた。

一方、試験区ごとのふ化完了個体の出現は、同日に複数個体で確認されたり、また連日のようにその出現が続いた時期は、20℃区では25日目、23℃区は16日から20日の間、25℃区は12日から16日の間、27℃区は8日から11日の間、30℃区は11日から12日の間にふ化完了個体が出現していた。

このことから、抱卵エビのふ化完了の遅速には個体差があるが、群れとしてふ化が完了する経過日数は温度勾配に従い高水温区ほどふ化までの経過日数は短くなる傾向が示された。

そこで、温度勾配ごとにふ化完了個体の出現する平均経過日数を算出し表1および図2に示した。なお、平均経過日数の算出方法は、各供試個体がふ化完了した経過日数をその個体の得点として各試験区の各供試個体の得点の合計値を求め、その値を各試験区の収容尾数で除して算出した。

表1 水温区毎の平均ふ化完了経過日数

	20℃	23℃	25℃	27℃	30℃
標準偏差(上限)	31.7	18.6	17.2	12.0	13.2
平均日数	27.8	12.6	12.1	9.6	9.8
標準偏差(下限)	23.9	6.6	7.0	7.2	6.5

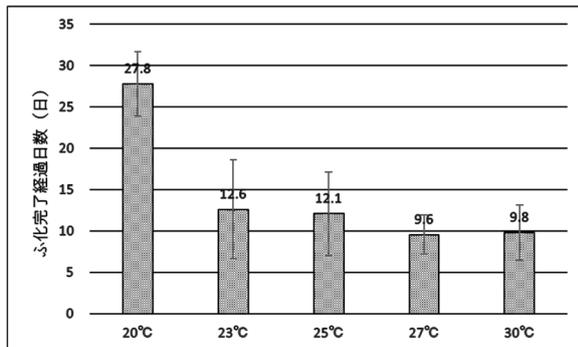


図2 水温区毎の平均ふ化完了経過日数  
Bar: 平均経過日数, Line: 標準偏差

この結果、ふ化完了に要する平均経過日数は20℃区では27.8日、23℃区及び25℃区は12.1日から12.6日、27℃区及び30℃区は9.6日から9.8日となった。

20℃区と23℃区との間、また25℃区と27℃区との間では、両者の平均経過日数に有意差がみられた ( $p < 0.05$ ) ことから、20℃から30℃までにかけてふ化までの経過日数は水温区分の上昇にしたがって、次第に短期間へと変化する傾向が明らかとなった。

このことから、ふ化に要する平均日数は20℃で約28

日間、25℃までで約12日間、27℃以上では約10日間とみなすことができた。なお、表1を積算水温になおすと表2のとおりである。

表2 水温区毎のふ化完了までの平均積算水温

	20℃	23℃	25℃	27℃	30℃
標準偏差(上限)	634	428	430	324	396
平均積算水温	556	290	303	259	294
標準偏差(下限)	478	152	175	194	195

(単位: °C・日)

## 考 察

本研究では、同一日に抱卵した個体群を異なる水温で飼育観察し、ふ化完了に要する日数を測定した。その結果、高水温ほどふ化までの経過日数は短くなる傾向が明らかとなったが、いずれの水温区も、全個体がふ化完了するまでの日数の幅が大きかった。最小の日数幅は20℃区と27℃区の9日間であり、最大の日数幅は23℃区の17日間であった。しかし、そのような個体はいずれの区も少数であったので、供試エビの個体差によると考えられた。この要因としては、飼育水槽へ調温しない井水を用いたこと及び水槽内にプラスチック製トラップを設置したことにより、テナガエビの居場所における水温や水流の不均衡が生じていたためと考えられた。しかし、本研究での平均ふ化完了日数は試験区の個体群の重心となる日数であることから、それら個体差の影響は小さかったといえる。

ふ化完了までの積算水温では、水温区分が上昇するにつれて平均積算水温では556℃日から259℃日まで小さくなったが、位田(1983)も20℃で600℃・日、25℃で475℃・日、30℃で330℃・日と示しており、水温上昇に伴い積算水温が小さくなる程度はほぼ一致しているといえた。

霞ヶ浦においてテナガエビの産卵期にあたる5月中旬から8月下旬の水温は、茨城県水産試験場内水面支場による測定から2012年から2023年まで水温の推移は年々上昇する傾向がみられており、この期間(約100日間)の測定値の平均値は2023年27.8℃、2012年25.4℃であり、約2.4℃の上昇がみられている。このことは近年の水温環境からみると産卵期のテナガエビのふ化完了に要する期間は次第に短期間になっていると推察された。

## 要 約

テナガエビの抱卵個体においてふ化完了までに要する日数、積算水温を測定するため、水温20℃、23℃、

25℃, 27℃, 30℃の各一定水温の下, それぞれ複数の抱卵個体を収容して抱卵個体のふ化が完了する日数を観察した。各試験区の収容個体はいずれも同一日に産卵受精した個体とした。同一試験区において最も早くふ化が完了した個体と最も遅くふ化が完了した個体の日数差は 9 日から 17 日までみられ, ふ化完了に至る日数には個体差がみられた。しかし各試験区とも, 多くの個体のふ化完了までの経過日数は一定の時期に収れんする傾向を示し, 温度勾配に従い高水温区ほどふ化までの経過日数は短くなった。各試験区の平均ふ化完了日数は 20℃で約 28 日, 25℃までで約 12 日, 27℃以上では約 10 日となった。近年の霞ヶ浦の産卵期における水温環境は上昇傾向にあるため, 水温環境からみると産卵期におけるふ化完了までの日数は次第に短期間になっていると推察された。

文 献

加瀬林成夫・芹田 茂 (1956) Shelter の効果に関する基礎的研究. 茨城県水産振興場調査研究報告 ; 1 : 11-18.

位田俊臣 (1983) 霞ヶ浦産テナガエビ資源の動態に関する研究-III 抱卵期などについて. 茨城県内水面水産試験場研究報告 ; 20 : 36-42.

茨城県水産試験場 (1912) 茨城県霞ヶ浦北浦漁業基本調査報告. 1 : 113-138.

山根 猛 (1995) 琵琶湖テナガエビ, *Macrobrachium nipponense*, 漁獲量に現れる積算水温の影響. 近畿大農紀要 ; 28 : 61-64.

根本 孝 (2012) 霞ヶ浦産テナガエビ抱卵個体におけるふ化に対する水温の影響. 平成 24 年度日本水産学会春季大会要旨集.

付表 1 水温区別経過日別のふ化完了個体の出現数

経過日数	20℃	23℃	25℃	27℃	30℃
収容尾数	5	13	11	9	16
1					
2					2
3					
4		1			
5		2			
6			3	1	
7		1			
8			1	3	2
9		1		1	
10					
11		1		3	9
12			2		2
13					
14			1	1	1
15					
16		4	3		
17					
18					
19		1			
20		2			
21			1		
22					
23					
24					
25	3				
26					
27					
28					
29					
30					
31	1				
32					
33	1				

# 霞ヶ浦におけるテナガエビ個体群の成長と産卵成熟過程の観察

根本 孝

Observation of the process of growth and maturation in a population of *Macrobrachium nipponense* in  
Lake Kasumigaura

Takashi NEMOTO

キーワード：テナガエビ，個体群，成長，成熟，霞ヶ浦

## Abstract

Observation of the process of growth and maturation of the shrimps, *Macrobrachium nipponense*, in Lake Kasumigaura shows as below,

When water temperature reaches about 20°C in the spring, females begin to mature and then spawn. At the beginning of the spawning season, the larger females begin to mature, and the smaller females begin to mature later. Newly born shrimps were sequentially added to the population from August onward. In mid-August, very small shrimp with CL (Carapace Length) sizes of about 4 mm to 7 mm also began to mature and then embrace fertilized eggs, indicating that females newly born in its summer also begin to spawn as early as the parental generation from the summer of that year. After the spawning season in the summer, most of the larger individuals involved in spawning both males and females disappeared gradually because of its life span. During the winter months, the overwintering and surviving shrimp population show little growth due to the low water temperatures.

Key words: *Macrobrachium nipponense*, population, growth, maturation, Lake Kasumigaura

## 目 的

霞ヶ浦のテナガエビ *Macrobrachium nipponense*, は重要な水産資源の一つである。しかし近年、霞ヶ浦におけるテナガエビ漁獲量は大きく減少しており、1975年には過去最高の4,305トンを記録したもののその後長く減少傾向が続き2022年は19トンとなっている。こうした中、テナガエビ資源を持続的に利用していくためには、テナガエビ個体群としての成長や再生産等の生態を明らかにすることが必要となってくる。これまで、テナガエビ個体群の資源生物学的な研究は数多く示されており、霞ヶ浦におけるテナガエビの産卵期は、概ね5月下旬から9月中旬頃であり、最盛期は7月、8月であるとされている（茨城県水産試験場, 1912; 久保, 1949; 加瀬林ら, 1956; 位田,

1983)。

また、テナガエビの行動生態については、根本(1992)によれば、テナガエビは霞ヶ浦の全域に分布し、通常は水深3m以深程度の水底にいるほか、物陰となるシェルター様構造物等への蟻集指向が強く、特に産卵期にはメスの蟻集が顕著であってメスの性比が極めて高いほか、越冬期もオスメスともにシェルター様構造物の蟻集密度は、周辺の平坦域の密度よりも高いことなどが明らかとなっている。加瀬林(1956)、中村ら(1989)によれば産卵期にシェルターへ蟻集することで産卵に関与するテナガエビが保護されるとしている。

こうした特性は、茨城県水産試験場(1912)においてテナガエビが湖岸の水生植物帯へも蟻集するとされていることや、霞ヶ浦では古くから伝統漁法として、

粗朶を束ねた束を沈めて、そこへ蟻集するテナガエビを漁獲する筐浸漁が行われていることとも符合している。

また、再生産の過程においては、茨城県水産試験場(1912)によると、テナガエビのメスの産卵からふ化までに要する期間は水温の高低により変化し、早期に産卵した場合のふ化に要する日数は長く、盛夏に産卵した場合のふ化に要する日数は短いとされている。また位田(1983)は、一産卵期間において同一個体が複数回の産卵を行うと指摘しており、したがって毎年の再生産の動向は夏季の湖水温の動向によって影響を受けていると考えられる。

メスの産卵期における成熟過程の進行は、卵巣の発達が見られた後、交尾・産卵を経て、受精卵を腹肢の間で抱卵・保育し、ふ化へと進む。また、その成熟の時期は各個体の体サイズなどによって異なるほか、同一個体が一産卵期に、受精卵のふ化後直ちに次の成熟産卵過程に入るという、複数回の産卵を行う個体もあることから、天然水域においてテナガエビ個体群としての再生産への成熟の過程は、様々な成熟段階の個体が同時に存在している形で観察されている。

しかし、これまでの個体群の成熟過程についての研究では、産卵期が比較的長いことから季節的、月単位での評価が中心であり、短い時間間隔でかつ個々の成長差にも着目して、様々な成熟段階が同時に進行する成熟過程を追跡した研究は少ない。

そこで本研究では、年間を通じてテナガエビ個体群の成長パターンを追跡するほか、短い時間間隔によりメス個体群の成長と成熟過程の推移を観察した。

## 材料と方法

### (1) 供試個体の採集

テナガエビの採集は、2012年4月12日から2013年3月25日まで行った。

採集地点は、茨城県行方市玉造甲地先の茨城県水産試験場内水面支場の棧橋であり、あらかじめ湖底に沈めておいたシェルター様のプラスチック製トラップを引き上げて採集した。なお、トラップの設置位置は距岸100m、水深約3.5mの湖底とした。

トラップの形状は、テナガエビの蟻集を誘因する効果が確認されている筒型シェルター構造であり(中村ら, 1989; 根本, 1991)、作成したトラップは口径10cm、長さ50cm、表面が2cm×3cmのメッシュ状となっているプラスチック製の筒を15本、ピラミッド状に積

み上げて固定した。

トラップ全体のサイズは縦50cm、横50cm、高さ45cmの三角柱であり、その側面の一部と底面にはトラップを引き上げる際にテナガエビが逸散しにくいよう、トラップをくるむ様に5mm目合のモジ網を取り付けた。

トラップの引き上げは1日1回行った。また、引き上げは可能な限り毎月高い頻度で行った。採集した回数は表1のとおり、期間中合計で123回である。

採集したテナガエビは、原則として全量について雌雄判別を行い、全個体の頭胸甲長(以後「CL」と表記する。Carapace Length)と体重を測定した。

また、メス個体については産卵期における成熟の進行過程を確認するため、測定の都度頭胸甲内の卵巣の発達の程度を外部から肉眼で観察して、成熟の状態を以下により5段階に類型化した。

成熟状況の類型区分は、頭胸甲内の卵巣の発達が認められない個体を「未熟」とし、次に卵巣の発達が始まり、卵巣の色が外観上、薄緑色、黄色、オレンジ色を呈している個体を「成熟」とし、受精卵を腹肢の間に付着、充満させて保育している個体を「抱卵」とした。次に、受精卵がまだ一部腹肢に付着しているもののそれと同時に卵巣が再び発達している個体及び、受精卵はすべてふ化し腹肢の間が空洞のように開いている状態で卵巣が再び発達している個体を「再成熟」とした。そして、腹肢の間が空洞のように広がっており、かつ卵巣の発達が認められない個体を「産卵終了」(以後「終了」と記す。)とした(図2)。

なお、受精卵がふ化した後腹肢の間が広がっており、かつ空洞のように開いた形態については、ふ化を終えたメスは、第二腹節の側板が外側に広がったままの状態にあり、また腹肢の間隔が開いていることから、腹面がよく観察できるか否かをもって判定した。

また、雌雄の判別は茨城県水産試験場(1912)、I.Kubo(1937)に基づき、第二腹肢の内葉の突起の有無を実体顕微鏡下で確認することにより行った。

表1 トラップ引き上げ回数の月別推移

月	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	計
回数	2	14	11	15	19	10	12	11	9	8	5	7	123

## 結 果

### (1) テナガエビの採集結果

付表 1, 付表 2 に採集したテナガエビについて雌雄別に, CL のサイズ別頻度を月別にまとめた推移を示した。

付表から雌雄比の傾向をみると, 表 2 のとおり 4 月及び 12 月から 3 月は, メス比率が 40% から 50% 台にあり, ほぼ 1:1 だが, 産卵期に相当する 5 月から 9 月は, メスの比率が 70% を超えていた。

また, 月毎に引き上げ 1 回あたりの採集個体数を算出してその推移をみると, 7 月から 9 月の産卵期と 2 月, 3 月の越冬期は, 年間の月平均値を上回り, 採集量が高まることを示していた。

表 2 採集したテナガエビの性比及び平均採集数

月	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
メス比(%)	51.1	73.8	82.8	85.1	89.7	91.2	67.9	65.3	57.6	43.3	54.3	54.1
採集数/回	24	29	31	40	58	65	39	28	31	27	63	45

### (2) テナガエビ個体群の成長

雌雄別のテナガエビについて, それぞれ 4 月から翌年 3 月までの成長過程をみるため, 付表 1, 付表 2 から作成した CL の頻度分布の推移を図 1 に示した。

図 1 (左側) のオスの推移をみると, 5 月は 6mm 台にモード (図 1 (左側) 横軸 7 の階級を指す。CL が 6mm 以上 7mm 未満である階級。) をもつ単峰形を示し, 6 月は 7mm 台にモードが移動し, 7 月は 8mm 台をモードとして同じ単峰形で推移した。この間の個体群の成長を示していた。

なお, 4 月は個体数が少なく単峰形の形は不明瞭であるが, 採集個体の CL の範囲は 5 月と同じであった。なお, 最小個体は 4 月から 6 月までの間に CL4mm 台に現れた。

8 月は顕著な二峰形を示し, CL9mm 台をモードとする群と CL4mm 台をモードとする群に分かれた。小型の群は今季新たにふ化した新規加入の稚エビ群であり, 大型の群は越冬群として 4 月以降成長している親エビ世代である。ここで小型群の CL の幅は 2mm 台から概ね 5mm 台とみられるが, 4 月からの主群の推移をみると, 両者の CL サイズの境界は不明瞭であり, CL6mm 台前後のテナガエビには両方の群が混在しているといえた。

9 月から 11 月にかけては, 二峰形はそれぞれのモードを徐々に成長させながら推移した。

特に, 親エビ世代において 10 月のモードを 12mm 台とする群と 11 月のモードを 13mm 台とする群は,

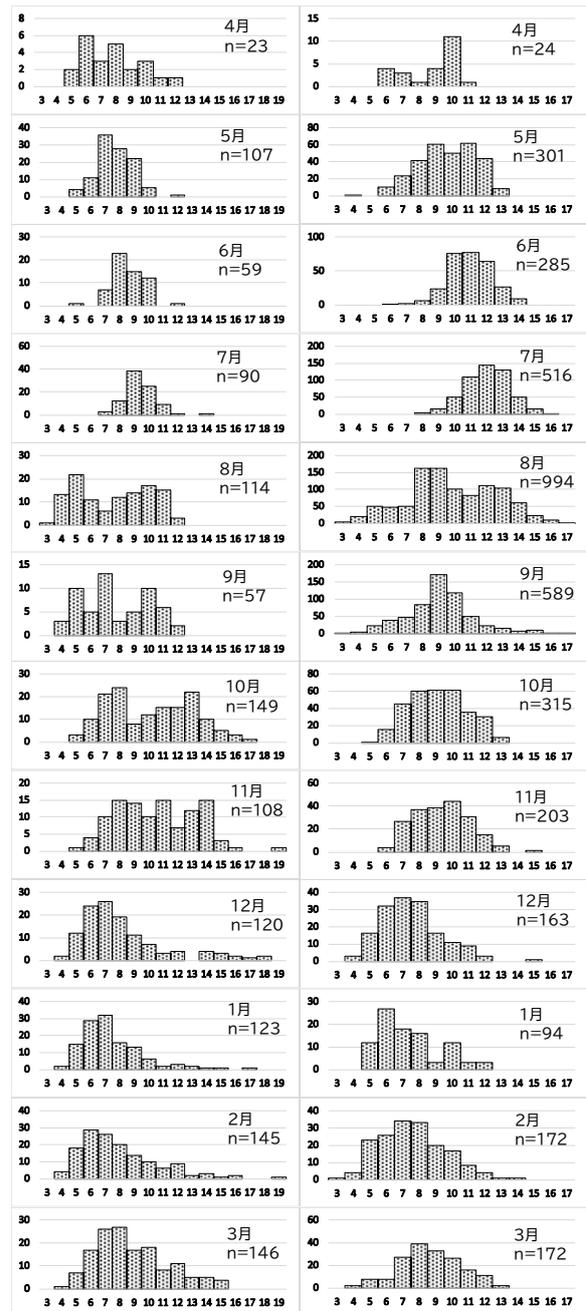


図 1 テナガエビの CL 組成の推移 (L: male, R: female)  
横軸: CL 階級 (mm), 横軸の数字 (n) は  $(n-1) \leq CL < n$  を示す。

第二胸脚が著しく伸長した, いわゆる“トビ”状の典型的な大型のオスを中心とするものであるが, 一方で, CL7mm 台付近に含まれる個体では, 第二胸脚の著しい伸長はみられない個体であった。この特徴は, “トビ”状の大型オス個体による小型オスへの成長抑制作用が現れている例といえた (酒井ら, 1986)。

12 月以降になると, 親エビ世代の群では特にトビ状の大型オスを中心として急激に個体数が減少した。これは自然死亡による減耗も反映されていると考えられる。

一方, 稚エビ群では, 8 月にその出現がみられて以

降, 11月にモードが7mm台まで成長した。しかし12月, 1月になるとモードが6mm台に小型化を示し, 2月にはさらにモードが5mm台となった。3月にモードは再び7mm台になったが, 群れの構成は小型の個体群が主体であった。

このように12月にみられた稚エビ群のモードの低下は産卵期の後半時期にふ化した稚エビ群が順次加わってきたこと示し, この間は越冬期にあたることから, 稚エビ群の成長も停滞していることの現れといえた。

次に図1(右側)のメスのCL組成の推移をみると, 4月は個体数は少ないが二峰形がうかがえ, CLのモードは9mm台と5mm台にみられた。

5月から7月までは, 4月にみられた大型群が主体となった形の単峰形で推移し, 7月のモードは11mm台まで成長した。

8月には, 4月にみられた二峰形がそれぞれ成長した形が現れ, CL11mm台と8mm台をモードとする明瞭な二峰形を示した。ここで新たにふ化した新規加入の稚エビ群がCL2mm台以上でみられた。このときオスと同様, CL6mm台前後のテナガエビには, 稚エビ群と親エビ世代の小型群が混在しているといえた。

9月になると, 8月のCL11mm台をモードとした大型群は急激に個体数が減少し, 親エビ世代のうちの小型群と稚エビ群が混在するCL8mm台をモードとする単峰形となった。

10月, 11月はモードを9mm台として単峰形が推移しているが, その主体は6mmから8mm台までの小さい個体群に偏っており, 稚エビ群の加入が順次現れていることを示していた。

12月には単峰形のモードが6mm台へと低下した。それ以降3月まで単峰形のまま推移し, またその成長は, モードの推移では, 1月は5mm台に, 2月は6mm台に, 3月は7mm台とわずかずつの上昇であった。11月から12月へのモードの低下と, その後の単峰形での推移は, オスと同様産卵期の後半にふ化した稚エビ群の加入が続いていることと, 越冬期における個体群の成長停滞を示している。

### (3) テナガエビ(メス)の時期別の成熟過程

テナガエビのメス個体群の産卵にむけた成熟過程の推移をみるため, 採集したすべてのメス個体の成熟段階を5つの類型に分けた。なお, 5類型の模式図を図2に示した。

また, 類型別の出現割合を毎月の旬別に集計し, その推移を図3に示した。

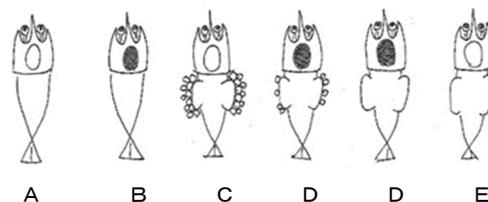


図2 テナガエビ(メス)の成熟過程の模式図

A: 未熟, B: 成熟, C: 抱卵, D: 再成熟, E: 終了

5月上旬の個体群はすべての個体で「未熟(A)」の段階にあり成熟は始まっていなかった。

5月中旬は, 「未熟」は36.5%(5月中旬のメス個体全体の36.5%)に減少した一方, 「成熟(B)」が62.0%で群れの主体となった。さらに「抱卵(C)」が2尾(1.5%)出現した。よってこの時期から急速に成熟が始まったといえた。なお, この時期のトラップ設置場所の水温は(水深1m点の毎日午前9時測定結果による。)旬別の平均値をとると, 4月下旬, 5月上旬, 5月中旬, 5月下旬の順に14.8°C, 18.9°C, 19.8°C, 20.9°Cであった。

6月中旬は, 「未熟」5.2%, 「成熟」20.9%, 「抱卵」51.3%となった。さらに「再成熟(D)」も21.7%の割合で出現したほか, 今期の産卵過程を終えた「終了(E)」も1尾(0.9%)出現した。これは6月上旬には産卵期の初期に抱卵した群から最初のふ化が始まったことを示していた。

7月中旬は, 「未熟」は0尾, 「成熟」も1尾(0.6%)に減少した。一方で, 「抱卵」75.6%, 「再成熟」18.8%となり, 両者の合計では94%を超えた。この合計値は旬別でみると最も高く, この時期には, ほぼすべてのメスが産卵に関与していた。なお, 「終了」も8尾(5.0%)へと増加した。

7月下旬は, 「成熟」が0尾となった一方, 「抱卵」56.6%, 「再成熟」21.9%, 「終了」21.1%となった。これは7月上旬の成熟段階の構成が一段階進行した形になっており, 7月で越冬群世代による初回の産卵に向けての成熟は終了したことを示していた。

8月になると成熟過程の構成に大きな変化がみられた。それは「未熟」の割合が増大してきたもので, 今期の産卵期にふ化した稚エビ群が加入してきたためといえた。

8月中旬, 8月下旬には, 7月に一旦みられなくなった「成熟」が再び出現し, それぞれ23.7%と18.1%を占めた。これは未熟個体が初めての産卵に向けて成熟を開始したことを指しているが, これらは図1のメスのCL頻度分布の8月において明瞭な二峰形が現れた群

れと呼応しているものといえた。

ここで8月の「再成熟」の割合を旬別にみると、8月上旬3.7%、同中旬5.3%、同下旬0.9%であり、7月のその割合に比べて大きく低下していたことから、産卵（抱卵）した個体群が、再度の産卵に関与しうる時期は6月中旬から7月下旬までの間といえた。

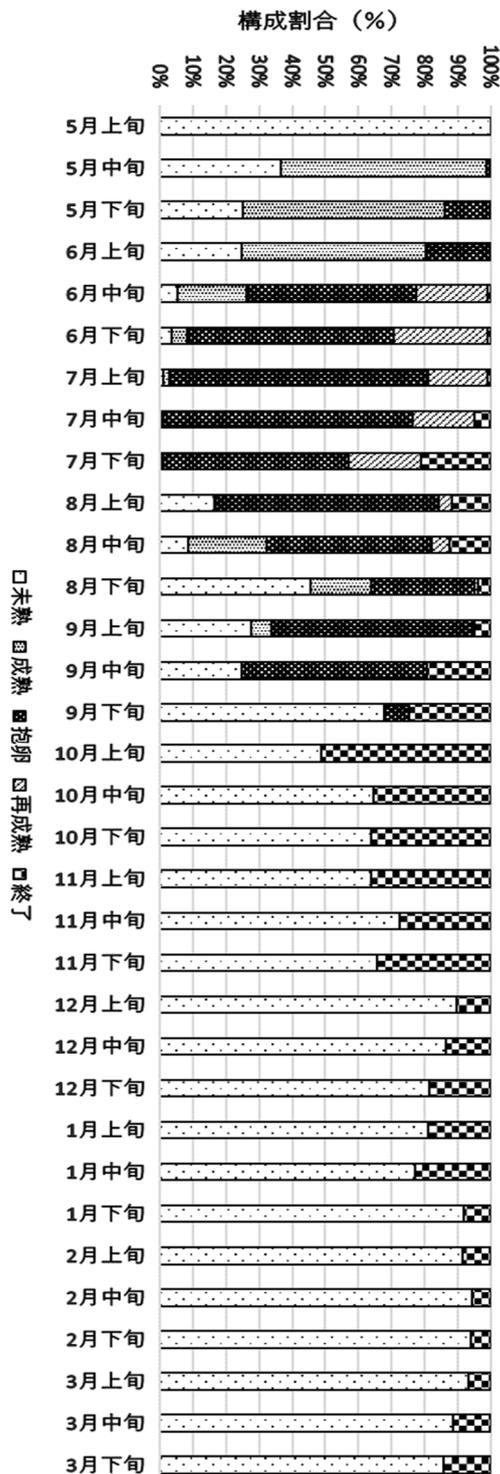


図3 テナガエビ（メス）の成熟段階別出現割合の旬別推移

「成熟」は9月上旬に「成熟」5.9%出現したことを最後にそれ以降はみられなかった。一方、8月の「成熟」は9月上旬に「抱卵」へと変わり、その割合は60.9%を占め、次いで9月中旬には56.3%を占めた。しかし、9月下旬になると「抱卵」は6尾(7.4%)まで減少し、10月以降「抱卵」はみられなくなった。このことから、産卵への成熟発達は9月上旬で終了し、抱卵個体からのふ化は9月下旬で終了した。

なお、9月の水深1mの水温は、旬別平均値では、9月上旬、同中旬、同下旬の順に28.9℃、28.3℃、24.2℃であり、中旬以降に水溫が急速に低下した。

10月から3月までは、個体群の構成は、「未熟」と「終了」のみとなった。一方で、「終了」の割合は10月以降月を追うごとに徐々に低下し、その個体数は2月全体では6.9%、3月全体で9.8%へと減少した。

#### (4) テナガエビ（メス）のサイズ別の成熟過程

メスの4月以降の成長過程をみると、越冬群は親エビ世代となるがその体サイズにはすでに大小の成長差がみられており、次いで新たにふ化した小型の稚エビが加わってくるという構成を示している。また、夏の水溫上昇により成長が促進されることから、親エビ世代の小型群と成長が進んだ稚エビ群との間には体サイズの差が次第に目立たなくなってくる。このように二つの世代と三つの体サイズの群れが混在する中、5月から9月までの長期の産卵期において個々のエビは成長に応じた成熟発達をみせるため、個体群の成熟状況は同時に様々な発達段階の群れが現れるものといえた。

そこで、図4に体サイズ別の成熟段階の構成について旬別の推移を示した。

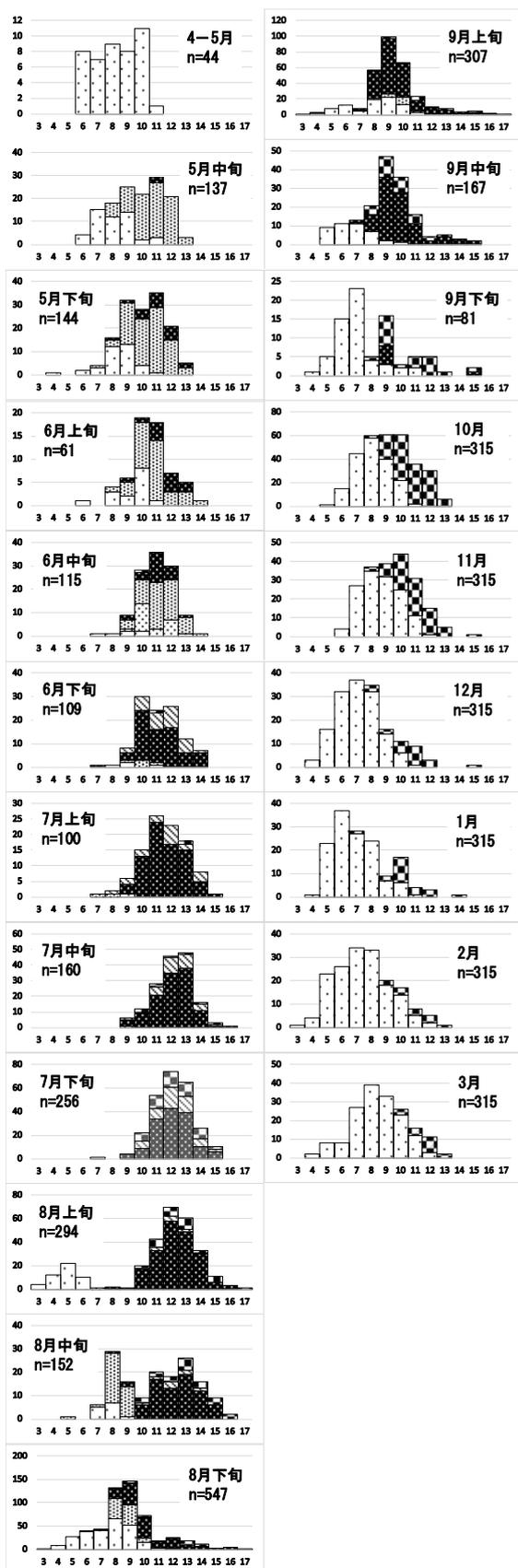
5月中旬にみられた卵巣の発達開始は主にCL9mm台以上の大型の群から始まっており、それより小型群での発達は一部にとどまっていた。またこの時期、最初に出現した抱卵個体はCL10mm台であった。

5月下旬には、多くの小型群にも卵巣の発達がみられ、CL7mm台に抱卵個体が出現した。なお、「抱卵」の主体はCL9mm台以上で、5月中旬の「成熟」から進行したものといえた。

6月下旬には、すべてのサイズで「抱卵」または「再成熟」の個体がみられ、CL6mm台の抱卵個体も出現した。

6月下旬から7月中旬までの間、すべてのサイズで、ほぼすべての個体が「抱卵」と「再成熟」の段階となっていた。

しかし、「終了」の個体はまだ少数なことからこの期



□未熟 ■成熟 ▨抱卵 ▩再成熟 ▪終了

図4 テナガエビ(メス)のCL別成熟段階の季節推移 横軸:CL階級(mm), 数字(n)は(n-1) ≤ CL < nを示す

間が産卵の盛期にあたるといえた。7月下旬は、CL9mm以上の群において「終了」の個体が急増加した。

8月上旬は、それまでの単峰形からCL4mm台をモードとする小型群が加わり、明瞭な二峰形となった。それら小型群は大部分が「未熟」の新規加入の稚エビ群であった。しかし、二つのモードの境界付近のCL7mm台の個体は、それが親エビ世代か新規加入の稚エビ群であるかを外観上明確に区別することは困難であり、「成熟」と「抱卵」の個体がそれぞれ1尾みられた。

8月中旬は、多くの「成熟」がCL7mm台をモードに出現した。また、稚エビ群とみなしうるCL4mm台にも「成熟」の個体が出現した。このとき「抱卵」の主体はCL9mm以上であったが、CL7mm台と8mm台にも抱卵個体が計3尾出現した。

8月下旬になるとは、CL5mm台に「成熟」個体が出現したほか、6mm台に「抱卵」個体が出現した。また、「抱卵」の主体が急に小型化し、CL9mm台以下の群となった。

ここで8月上旬に出現した稚エビ群の「未熟」の成長過程を8月下旬までの推移から判断すると、8月のCL7mm台にみられた「成熟」、「抱卵」は稚エビ群が主体と考えられ、さらにより小型の4mm台から6mm台の個体にも「成熟」と「抱卵」段階の個体が現れたことから、明らかに新規加入の稚エビの一部はその年の産卵に関与するといえた。

9月上旬は、「成熟」がCL7mm台を最小として出現した。しかしそれ以降「成熟」はみられなくなった。「抱卵」は8mm台を主体とし、CL6mm台を最小に出現した。

9月中旬は「抱卵」の出現するほぼ最後の時期となった。9月下旬にみられた「抱卵」の個体は6尾でごく少数であった。

10月から3月までの間、個体群の構成は「未熟」と「終了」のみで推移した。「終了」は大部分がCL9mm台以上の個体であり、経過とともに大型個体の数は減少した。

### 考 察

霞ヶ浦におけるテナガエビの年間漁獲量には大きな増減がみられている。その経過は、霞ヶ浦の流出部の常陸利根川に常陸川水門が設置された1963年以降の漁獲量は、それまで年間千トン以下であったが急増

し、1975年に過去最高の4,305トンを記録した。その後減少傾向となり、2003年に322トンまで減少した。しかし翌年は644トンに増加した。しかし再び減少し2022年に19トンとなった。長期にわたり漁獲量が大きく減少した要因は、湖沼環境以外にも社会的な情勢等様々な要因による複合的な影響と考えられるが、要因もその軽重も不明確である。こうした中2004年にわずか1年で2倍に漁獲量が回復した要因も不明確である。このことからテナガエビの成長段階を細分化しその推移をみることで、霞ヶ浦のテナガエビ個体群の変動が現れる段階を明らかにし、環境要因との関係を検討していくことが必要といえた。

本研究では、特にメス個体群の産卵成熟過程を中心に、産卵期における成長段階を細分化して観察を行った。

産卵期にシェルター様トラップに蝟集したテナガエビは、メスが70%以上と特異的に高い割合である中、同時期の、平坦な湖底であり蝟集する空間がない霞ヶ浦の沖側に分布する、テナガエビの産卵期における性比は不明だが、位田(1983)は6月から8月にトロール漁法で得られた沖側のテナガエビのメスの割合は平均50.9%と示している。

また、今回越冬期に蝟集した個体の性比はほぼ50%ずつとなったが、同年の2012年の越冬期にトロール漁法で採捕した沖側のテナガエビの性比も、1月はメス55%、4月はメス56%であった(根本、私信)。これは産卵期のメスは特に、平坦な沖側の湖底よりもいわゆる物陰部分へ分布域を移動する性向が高まるといえよう。メスにとって、中村ら(1989)のシェルターには食害などの影響を受けにくい効果があるとの指摘のとおり、より安定的に産卵、再生産の機会を確保できることになる。

また、シェルター様トラップではオスメスともに産卵期後は越冬期にかけて、大型群の個体数が大きく減少したが、同時期の沖側の分布量でも同様の減少がみられ、かつ沖側では急激な減少であった(図5 茨城県水産試験場内水面支場)。これは大型群が産卵期後、死亡により大きく減耗している中、翌春へ生き残る大型群が越冬期に分布域を移動していることを示唆している。

メスの産卵成熟過程では、外部観察で初めて卵巣の発達が認められた「成熟」の個体の出現は、5月11日の採集からであり、最初の「抱卵」の個体は5月15日の採集からであった。成熟開始時期は気象条件、特に水温によって変化すると考えられ、酒井ら(1986)は

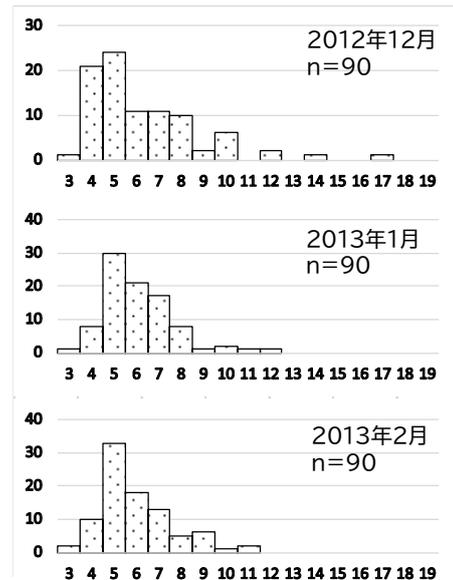


図5 沖側におけるテナガエビのCL組成  
横軸：CL階級(mm)  
横軸の数字(n)は(n-1) ≤ CL < nを示す。

水温 20℃を超えると卵巣の発達が始まると指摘している。今回5月中旬の平均水温は19.8℃で、5月16日に20.1℃となっており、この指摘と一致していた。

テナガエビは複数回産卵することが明らかとなっているが、現場調査から産卵回数を推定することは困難であるが、今回、新規加入した稚エビ群の一部がその年の産卵期に産卵に関与することが、CL組成の推移から明らかとなった。

今後、テナガエビ個体群としての成熟過程の良否やその時期の相違が再生産に及ぼす影響を明らかにすることにより、霞ヶ浦のテナガエビの資源変動機構の解明にむけて寄与できると考えられた。

## 文 献

- 茨城県水産試験場(1912)茨城県霞ヶ浦北浦漁業基本調査報告. 113-138.
- 久保伊津男(1949)淡水産エビ類の増産に関する研究. 水産研究会報; 2: 47-63.
- 加瀬林成夫・芹田 茂(1956) Shelter の効果に関する基礎的研究. 茨城県水産振興場調査研究報告: 11-18.
- 位田俊臣(1983)霞ヶ浦産テナガエビの資源の動態に関する研究-3-抱卵期などについて. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告; 20: 36-42.
- 根本 孝(1992)霞ヶ浦におけるテナガエビ(*Macrobrachium nipponense*)のシェルターへの蝟集行動に関する研究. 茨城県内水面水産試験

場調査研究報告 ; 28 : 20-34.

中村 誠・市毛清記 (1989) シェルターに夜テナガエビ, ハゼ類の集魚効果調査 ; 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 ; 25 : 70-73.

根本 孝・中村 誠・川前正幸・庄司邦男 (1991) 筒型シェルターにおけるテナガエビの蝸集特性に関する研究. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 ; 27 : 13-27.

Ituo Kubo (1937) Sexual Dimorphism in Abdominal Appendages of Some Palaemonoid Shrimps of Japan. 日本水産学会誌 ; 5 : (6) : 346-348.

酒井光夫・春日清一・田中昌一 (1986) 霞ヶ浦におけるテナガエビ資源に関する研究. 環境省国立公害研究所霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会講演報告集 ; 1 : 39-43.



## 底曳網調査で得られた北限記録を含む茨城県初記録の魚類 7 種

外山太一郎\*1・多賀 真・水谷宏太・浦本高志\*2・荒山和則\*1

New distributional records of trawled fishes from Ibaraki Prefecture, Pacific coast of Honshu Island

Taichiro TOYAMA\*1, Makoto TAGA, Kouta MIZUTANI, Takashi URAMOTO\*2, Kazunori ARAYAMA\*1

キーワード: ハナメイワシ, メダマアンコウ, ヒメアンコウ, アカイサキ, ヒチビキ, ニラミハゼ, アズマガレイ, オッタートロール, ソリネット, 分布記録, 茨城県沖

## はじめに

茨城県沖は親潮と黒潮が交錯し、温帯性のみならず、亜寒帯性、亜熱帯性の多様な魚類が見られる海域である(浅野ら, 1955)。近年、本県沖を含む東北太平洋側海域では、親潮第一分枝の流量が年々減少傾向にある一方で(Kuroda et al., 2020)、黒潮統流は北上傾向にある(Kawakami et al., 2023)。また、茨城県沖を中心とする関東の東の海域の年間平均海面水温は、100年間で $1.02 \pm 0.48^\circ\text{C}$ 上昇した(気象庁, 2023)。このような海洋環境の変化に伴い、県内ではタチウオやサワラなどの暖水性魚類の漁獲量が増加しつつあると同時に、冷水性のマガレイの漁獲量が減少傾向にあることが明らかとなった(大森ら, 2024)。また、県内ではこれまで記録のなかった暖水性魚類の報告例が増加している(例えば、大森・外山, 2020; 外山ら, 2021; 棟方ら, 2022)。このように、急激な海洋環境の変化が魚種組成に影響を及ぼす中、その実態を把握するためには、当該海域における漁獲量データの収集と併せて、魚類相に関する知見を更新していくことも重要である。加えて、魚類相を明らかにする上では、再現性を担保するため、標本や写真に基づいた再検証可能な記録を蓄積することが望ましい。

2021年および2023年の茨城県水産試験場による底曳網を用いた調査において、本県沖からハナメイワシ *Sagamichthys abei* Parr, 1953, メダマアンコウ *Lophiodes mutilus* (Alcock, 1894), ヒメアンコウ *Lophiodes naresi* (Günther, 1880), アカイサキ

*Caprondon schlegelii* (Günther, 1859), ヒチビキ *Erythrocles microceps* Miyahara and Okamura, 1998, ニラミハゼ *Heteroplopomus barbatus* (Tomiyama, 1934) およびアズマガレイ *Symphurus orientalis* (Bleeker, 1879) の7種が採集された。これらは本県において記録のない種であり、うちヒメアンコウ, アカイサキ, ヒチビキおよびアズマガレイの4種は分布の北限を更新するため、標本および写真に基づきここに報告する。

## 方 法

標本は、茨城県漁業調査指導船いばらき丸(179 t)ではオッタートロール(袖網10m, 袋網16 m, コッドエンド3 m, 網幅約10 m, 網高約1.5 m, コッドエンドの目合い20 mm)を、同漁業調査指導船せんかい(4.9 t)では水工研II型ソリネット(開口幅2 m, 目合2.0 mm)をそれぞれ着底させて曳網することで得られた。採集した標本は氷冷もしくは10%ホルマリン水溶液で固定し、水産試験場へ持ち帰った。ニラミハゼを除く各種は生鮮時あるいは冷凍後に、ニラミハゼはホルマリン固定後に写真撮影を行った。各標本はホルマリン固定後に50%イソプロピルアルコール水溶液で置換して保存した。標本の計数・計測方法は基本的に中坊・中山(2013)に従ったが、ヒメアンコウ属 *Lophiodes* の2種については松沼ら(2022)、ニラミハゼについては明仁ら(2013)、アズマガレイについてはMunroe(1998)に従った。計測はデジタルノギスを

\*1 茨城県農林水産部水産振興課

\*2 茨城県農林水産部漁政課

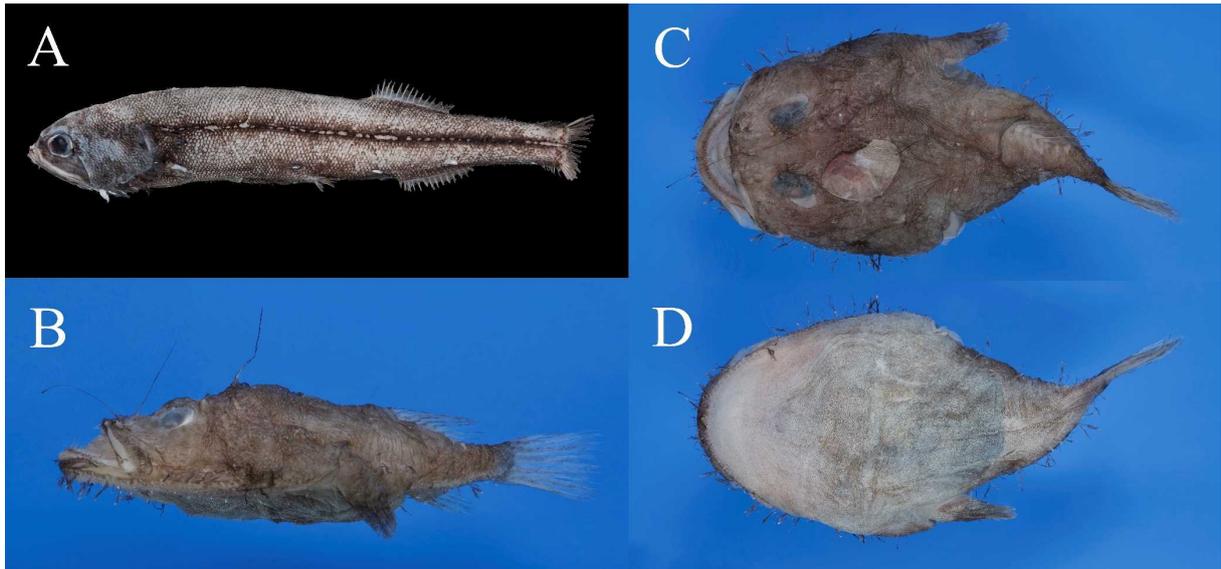


図1 A: ハナメイワシ *Sagamichthys abei*, INM-1-96901, 体長 257.5 mm; B-D: メダマアンコウ *Lophiodes mutilus*, NSMT-P 147988, 体長 81.3 mm (Bのみ左右反転).

用いて 0.01 mm 単位まで行い、小数第 2 位を四捨五入した。科名、学名および標準和名は本村 (2024) に従った。標本に関する情報は、標本番号、標準体長 (以下、体長と表記)、採集場所、水深情報 (着底後に曳網した水深)、採集年月日、漁法、採集者の順に記した。本研究に用いた標本は国立科学博物館 (NSMT) およびミュージアムパーク茨城県自然博物館 (INM) に保管されている。

## 記 録

### ハナメイワシ科 Platytroctidae

#### *Sagamichthys abei* Parr, 1953

ハナメイワシ (図 1A)

**標本** INM-1-96901, 体長 257.5 mm, 茨城県日立市久慈町沖, 水深 550 m, 2024 年 3 月 14 日, オッターロール, 水谷宏太.

**分布** 北海道太平洋沖, 岩手県と宮城県沖, 房総半島沖, 相模湾, オホーツク海, 千島列島太平洋沖, カムチャッカ半島東岸, ベーリング海, 赤道から北緯 40 度付近にかけての中央-北太平洋, 東太平洋 (ブリテイツェコロンビア~バハカリフォルニア沖, チリ~ペルー沖にかけて) から記録がある (中坊・甲斐, 2013).

**備考** 本標本は吻の先端が尖らず鈍いこと, 口の後縁が眼の後縁を超えること, 擬鎖骨後方に肩部孔がないこと, 胸鰭上方に黒い小管があること, 腹部を横切る発光器が 3 本あることが, 中坊・甲斐 (2013) が示したハナメイワシの標徴とよく一致したため, 本種に同定された。

これまで茨城県における本種の記録はなく, 本研究で得られた標本が本県初記録となる。

### アンコウ科 Lophiidae

#### *Lophiodes mutilus* (Alcock, 1894)

メダマアンコウ (図 1B~D)

**標本** NSMT-P 147988, 体長 81.3 mm, 茨城県日立市久慈町沖, 水深 250 m, 2023 年 5 月 15 日, オッターロール, 多賀 真.

**分布** アフリカ東岸からバヌアツ, ウォリス・フツナ, ニューカレドニアと, オーストラリア北部から日本にかけてのインド-西太平洋に広く分布し, 日本国内では福島県, 千葉県, 駿河湾, 遠州灘, 熊野灘, 土佐湾, 九州南部および東部から東シナ海 (陸棚斜面上部と沖縄トラフ南部) にかけて, 九州-パラオ海嶺から記録がある (松沼ら, 2022).

**備考** 本標本は体表の皮弁が短いこと, 下顎の歯列が大きさの異なる 4 タイプの歯からなる 4 列で構成されること, 背鰭が 5 棘 8 軟条であること, 誘引突起が体表とほぼ同色であること, 擬餌状体がやや扁平な球状で一様に黒色であること, 胸鰭が 17 軟条 (左側が破損しているため右側で計数) であることが, 松沼ら (2022) が示したメダマアンコウの標徴とよく一致したため, 本種に同定された。松沼ら (2022) は, 本種の調査標本のうち体長 100 mm 未満の小型個体において, 21% の個体の腹鰭が著しく小さいか, 皮下に埋没する状態であったと報告した。本研究における観察標本 (体長 81.3 mm) においても, 松沼ら (2022) の調

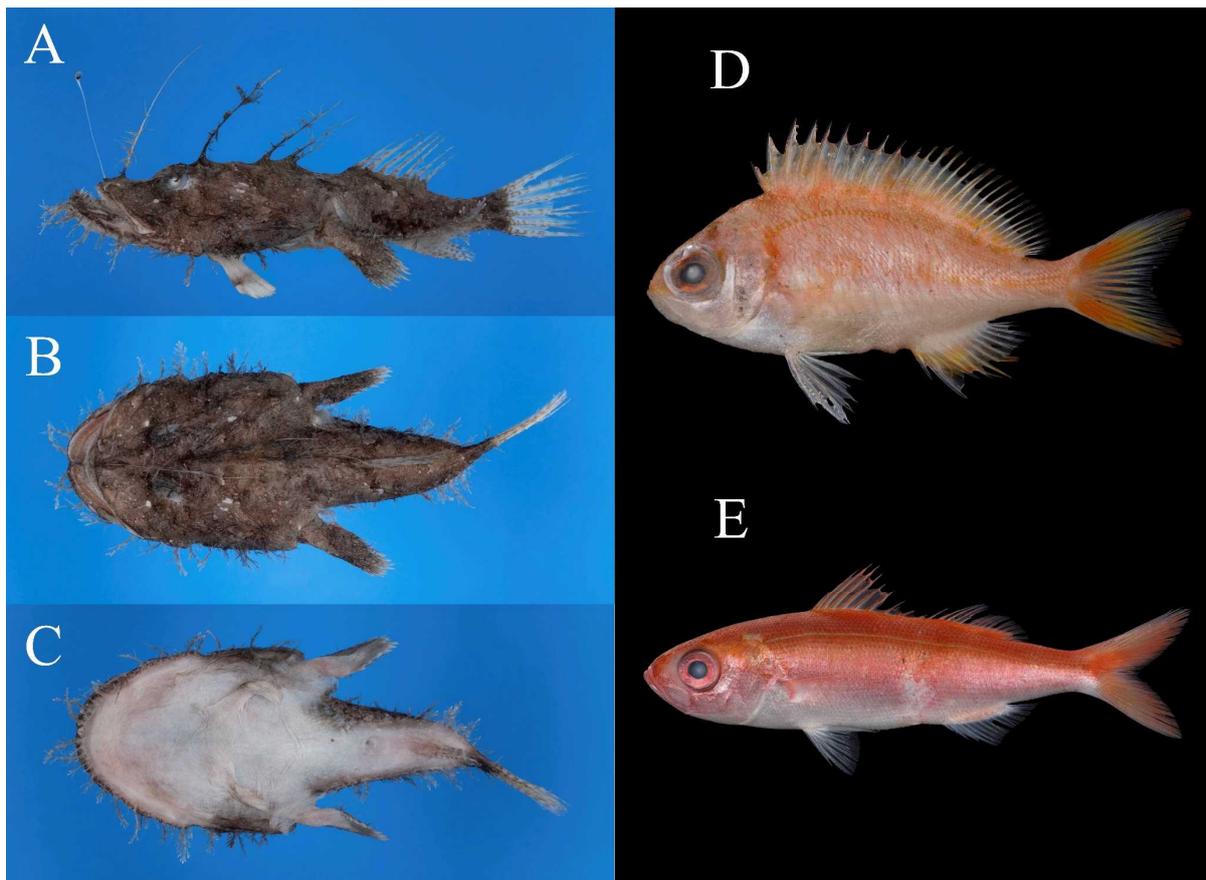


図 2 A-C: ヒメアンコウ *Lophiodes naresi*, INM-1-96896, 体長 111.4 mm; D: アカイサキ *Caprodon schlegelii*, INM-1-96900, 体長 60.9 mm; E: ヒチビキ *Erythrocles microceps*, INM-1-96898, 体長 99.0 mm.

査標本と同様、腹鰭が左右とも皮下に完全に埋没していた。なお、本種の標徴として、背鰭第 3 棘の長さや同棘に付着する皮弁の状態が挙げられるが（松沼ら, 2022）、本標本の背鰭第 3 棘は破損しており、状態を確認することができなかった。

これまで茨城県における本種の記録はなく、本研究で得られた標本が本県初記録となる。

#### *Lophiodes naresi* (Günther, 1880)

ヒメアンコウ (図 2A~C)

**標本** 2 個体 (体長 108.4~111.4 mm): INM-1-96896, 体長 111.4 mm, INM-1-96897, 体長 108.4 mm, 茨城県日立市久慈町沖, 水深 150 m, 2023 年 10 月 12 日, オッタートロール, 多賀 真.

**分布** インドネシア・ジャワ島南沖, パプアニューギニア, ニューカレドニア, オーストラリア東部, フィリピン, 台湾および日本の, インド洋南東部と太平洋西部に分布し, 日本国内では駿河湾, 遠州灘, 熊野灘, 土佐湾, 東シナ海の陸棚縁辺部から陸棚斜面域から記録がある (松沼ら, 2022)。

**備考** 本標本は背鰭が 6 棘 8 軟条であること, 擬餌状体に黒色の球状体が 2 個付着すること, 胸鰭が 15 軟条であることが, 松沼ら (2022) が示したヒメアンコウの標徴とよく一致したため, 本種に同定された。

これまで知られていた本種の北限は駿河湾であったため (松沼ら, 2022), 本研究で得られた標本は茨城県初記録であると同時に, 北限記録となる。

#### ハナダイ科 Serranidae

*Caprodon schlegelii* (Günther, 1859)

アカイサキ (図 2D)

**標本** INM-1-96900, 体長 60.9 mm, 茨城県日立市久慈町沖, 水深 150 m, 2023 年 11 月 30 日, オッタートロール, 浦本高志.

**分布** 兵庫県香住から九州南岸にかけての日本海および東シナ海沿岸, 対馬, 相模湾から九州南岸にかけての太平洋沿岸, 鹿児島湾, 瀬戸内海, 伊豆・小笠原諸島, 西七島海嶺, 東シナ海の大陵棚縁辺域, 口永良部島, 種子島, 屋久島, 奄美大島, 沖永良部島, 与論島, 沖縄島, 宮古・八重山諸島, 朝鮮半島南岸, 済州



図 3 A, B : ニラミハゼ *Heteroplopomus barbatus*, INM-1-96907, 体長 37.7 mm ; C, D : アズマガレイ *Symphurus orientalis*, NSMT-P 147987, 体長 87.4 mm.

島, 台湾, オーストラリア東岸・西岸, ハワイ諸島, チリから記録がある (三浦, 2012 ; 瀬能, 2013 ; 竹内ら, 2015 ; 岩坪・本村, 2017 ; 木村ら, 2017 ; Motomura and Harazaki, 2017 ; Nakae et al., 2018 ; 本村ら, 2019 ; Koeda et al., 2021 ; Motomura, 2023)。

**備考** 本標本は体が側扁すること, 背鰭が 10 棘 20 軟条で欠刻せず, 棘条部中央と軟条部がほぼ同じ高さであること, 臀鰭が 3 棘 8 軟条であること, 腹鰭先端が尖ること, 尾鰭が浅い湾入形であること, 背鰭基底に数個の黒斑があること [冷凍により薄く変化した (図 2D)] が, 瀬能 (2013) が示したアカイサキの標徴とよく一致したため, 本種に同定された。

これまで知られていた本種の北限は相模湾であったため (瀬能, 2013), 本研究で得られた標本は茨城県初記録であると同時に, 北限記録となる。

#### ハチビキ科 Emmelichthyidae

*Erythrocles microceps* Miyahara and Okamura, 1998

ヒチビキ (図 2E)

**標本** INM-1-96898, 体長 99.0 mm, 茨城県ひたちなか市沖, 水深 150 m, 2023 年 12 月 14 日, オッタートロール, 浦本高志。

**分布** 京都府若狭湾沖合, 兵庫県浜坂, 土佐湾, 奄美大島, 九州一パラオ海嶺から記録がある (波戸岡・萩原, 2013 ; 田城ら, 2017 ; Nakae et al., 2018)。

**備考** 本標本は体が細く, 体高が体長の 25.7% であること, 鰓腔後縁背方に 1 つの肉質突起があること, 第 1 および第 2 背鰭が近接し, 全ての棘に鰭膜がある

こと, 胸鰭が 20 軟条であること, 尾柄に隆起線がないことが, 波戸岡・萩原 (2013) が示したヒチビキの標徴とよく一致したため, 本種に同定された。波戸岡・萩原 (2013) はヒチビキとハワイチビキ *Erythrocles scintillans* の識別形質として, 体長に対する尾柄高の比率が前者では 6.4~8.8%, 後者では 8.4~9.6% であることを挙げた。本研究におけるヒチビキ観察標本では本比率が 9.2% であり, ハワイチビキの範囲に含まれたが, ヒチビキの範囲との差は 0.4 ポイントと僅かであること, その他の形質はヒチビキの特徴とよく一致することから, 体長に対する尾柄高の比率については種内変異の範囲内であると考えた。

これまで知られていた本種の北限は, 太平洋側では土佐湾, 日本海側では兵庫県浜坂あるいは京都府若狭湾沖合であったため (波戸岡・萩原, 2013 ; 田城ら, 2017), 本研究で得られた標本は茨城県初記録であると同時に, 北限記録となる。

#### ハゼ科 Gobiidae

*Heteroplopomus barbatus* (Tomiya, 1934)

ニラミハゼ (図 3A, B)

**標本** 9 個体 (体長 23.5~37.7 mm) : INM-1-96903, 体長 26.0 mm, INM-1-96904, 体長 28.5 mm, INM-1-96905, 体長 30.1 mm, 茨城県銚田市玉田沖, 水深 17 m, 2021 年 3 月 12 日, ソリネット, 荒山和則 ; INM-1-96906, 体長 36.0 mm, 茨城県銚田市玉田沖, 水深 15 m, 2021 年 5 月 11 日, ソリネット, 荒山和則・水谷宏太 ; INM-1-96907, 体長 37.7 mm, 茨城県銚田市玉田沖, 水深 10 m, INM-1-96908, 体長 36.5

mm, INM-1-96909, 体長 37.5 mm, 茨城県銚田市玉田沖, 水深 15 m, 2021 年 6 月 14 日, ソリネット, 荒山和則・水谷宏太; INM-1-96910, 体長 36.5 mm, 茨城県銚田市玉田沖, 水深 17 m, 2021 年 8 月 5 日, ソリネット, 水谷宏太; INM-1-96911, 体長 23.5 mm, 茨城県銚田市玉田沖, 水深 17 m, 2021 年 9 月 13 日, ソリネット, 水谷宏太。

**分布** 青森県三沢から土佐湾にかけての太平洋沿岸, 青森県津軽半島から長崎県橘湾の日本海および東シナ海沿岸, 有明海, 瀬戸内海から記録がある (明仁ら, 2013)。

**備考** 本標本は頭部が縦扁すること, 眼が大きいこと, 下顎腹面に明瞭な突起があること, 前鰓蓋管の開孔が M' と N' の 2 個であること, 後眼肩甲管の開孔が K' と L' の 2 個であること, 背鰭前方鱗があることが, 明仁ら (2013) および瀬能 (2021) が示したニラミハゼの標徴とよく一致したため, 本種に同定された。

これまで茨城県における本種の記録はなく, 本研究で得られた標本が本県初記録となる。

#### ウシノシタ科 Cynoglossidae

##### *Symphurus orientalis* (Bleeker, 1879)

アズマガレイ (図 3C, D)

**標本** NSMT-P 147987, 体長 87.4 mm, 茨城県日立市久慈町沖, 水深 250 m, 2023 年 5 月 15 日, オッタートロール, 多賀 真。

**分布** 駿河湾, 三重県尾鷲, 土佐湾, 宮崎県門川町, 鹿児島県志布志湾, 山口県日本海側, 東シナ海, 台湾から記録がある (山田・柳下, 2013; Lee et al., 2013; 園山ら, 2020; 村瀬ら, 2021)。

**備考** 本標本は口がほぼ直線状であること, 頭と体に有孔側線がないこと, 有眼側の体側, 背鰭, 臀鰭に多くの暗色帯があること, 無眼側の体側が一様に白色であること, 背鰭が 97 軟条であること, 臀鰭が 82 軟条であること, 尾鰭が 12 軟条であること, 横列鱗数が 40 であること, 腹膜が青黒いことが, 山田・柳下 (2013) および Lee et al. (2013) が示したアズマガレイ *Sy. orientalis* の標徴とよく一致した。なお, 日本産アズマガレイ属 *Symphurus* 魚類は 7 種が知られ (本村, 2024), それらのうちハシナガアズマガレイ *Symphurus longirostris* Lee, Munroe and Kai, 2016, *Symphurus robustus* Lee and Munroe, 2021 および *Symphurus oxyrhynchus* Lee, 2022 の 3 種は近年記載された。ハシナガアズマガレイは背鰭が 81~88 軟条, 臀鰭が 68~74 軟条, 横列鱗数が 21~26, *Sy.*

*robustus* は背鰭が 85~88 軟条, 臀鰭が 72~76 軟条, 横列鱗数が 31~34, *Sy. oxyrhynchus* は尾鰭が 14 軟条, 横列鱗数が 31 であり (Lee et al., 2016; Lee and Munroe, 2021; Lee, 2022), 本標本とは明らかに異なる。以上より, 本標本をアズマガレイと同定した。

これまで知られていた本種の北限は駿河湾であったため (山田・柳下, 2013; Lee et al., 2013), 本研究で得られた標本は茨城県初記録であると同時に, 北限記録となる。なお, 山田・柳下 (2013) は本種の分布域に韓国を含めたが, 本種の再記載および分布域の詳細な検討を行った Lee et al. (2013) では, 韓国における分布を疑問の余地があるとしたため, 本研究では後者に従い分布域に韓国を含めなかった。

#### 謝 辞

本報告を執筆するにあたり, いばらき丸およびせんかいの船長ならびに乗組員の皆様には標本の採集に多大なるご協力を頂いた。国立科学博物館の藤原恭司氏およびミュージアムパーク茨城県自然博物館の北澤佑子氏には標本の登録に関してご支援を賜った。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の水木裕翼氏にはソリネット採集標本の整理にご協力いただいた。水産無脊椎動物研究所の片山英里氏にはアズマガレイ属魚類の, 北九州市立自然史・歴史博物館の日比野友亮氏にはハチビキ科魚類の, 近畿大学の野村玲偉氏にはヒメアンコウ属魚類の同定に関して有益なご助言を賜った。国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所の櫻井慎大氏および株式会社環境指標生物の内田大貴氏には文献の入手にご協力いただいた。以上の方々に対し, 厚く御礼を申し上げます。

#### 文 献

- 明仁・坂本勝一・池田祐二・藍澤正宏 (2013) ハゼ亜目, pp. 1347-1608, 2109-2211. 中坊徹次 (編) 日本産魚類検索 全種の同定 第三版. 東海大学出版会, 秦野.
- 浅野長雄・原田和民・藤本 武・丹下 孚 (1955) 茨城県海産動物相に関する研究 - II 魚類について. 茨城県水産試験場試験報告; 昭和 27 年度: 87-97.
- 波戸岡清峰・萩原清司 (2013) ハチビキ科, pp. 911-912, 2000-2001. 中坊徹次 (編) 日本産魚類検索 全種の同定 第三版. 東海大学出版会, 秦野.
- 岩坪洸樹・本村浩之 (編) (2017) 火山を望む甕海 鹿児島湾の魚類. 鹿児島水圏生物博物館, 鹿児島・

- 鹿児島大学総合研究博物館, 鹿児島. 302 pp.
- Kawakami, Y., H. Nakano, L. S. Urakawa, T. Toyoda, K. Aoki and N. Usui (2023) Northward shift of the Kuroshio extension during 1993-2021. *Sci. Rep.*; 13: 16223.
- 木村祐貴・日比野友亮・三木涼平・峯苔 健・小枝圭太 (編) (2017) 緑の火山島 口永良部島の魚類. 鹿児島大学総合研究博物館, 鹿児島. 200 pp.
- 気象庁 (2023) 海面水温の長期変化傾向 (関東の東). [https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a\\_1/japan\\_warm/cfig/warm\\_area.html?area=L#title](https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/cfig/warm_area.html?area=L#title) (参照 2024-04-17)
- Koeda, K., S. Takashima, T. Yamakita, S. Tsuchida and Y. Fujiwara (2021) Deep-sea fish fauna on the seamounts of southern Japan with taxonomic notes on the observed species. *Journal of Marine Science and Engineering*; 9 (1294): 1-20.
- Kuroda, H., Y. Toya, S. Kakehi and T. Setou (2020) Interdecadal variations of the Oyashio and extreme cold water events near the Japanese coast from the 1960s to the 2010s, pp. 217-244. In C. T. Chen and X. Guo (eds.) *Changing Asia-Pacific Marginal Seas. Atmosphere, Earth, Ocean & Space*. Springer, Singapore.
- Lee, M.-Y. (2022) A new species of deep-water tonguefish (Pleuronectiformes: Cynoglossidae: *Symphurus*) from the western North Pacific Ocean. *Zootaxa*; 5189 (1): 233-242.
- Lee, M.-Y. and T. A. Munroe (2021) Unraveling cryptic diversity among shallow-water tonguefishes (Pleuronectiformes: Cynoglossidae: *Symphurus*) from the Indo-West Pacific region, with descriptions of five new species. *Zootaxa*; 5039 (1): 1-55.
- Lee, M.-Y., T. A. Munroe and Y. Kai (2016) Description of a new cryptic species of tonguefish (Pleuronectiformes: Cynoglossidae: *Symphurus*) from shallow waters off Japan. *Ichthyological Research*; 10.1007/s10228-016-0541-8 (Jul. 2016), 64 (1): 71-83 (Jan. 2017).
- Lee, M.-Y., T. A. Munroe and K.-T. Shao (2013) *Symphurus orientalis* (Bleeker) redefined based on morphological and molecular characters (Pleuronectiformes; Cynoglossidae). *Zootaxa*; 3620 (3): 379-403.
- 松沼瑞樹・野村玲偉・甲斐嘉晃 (2022) 日本産アンコウ科ヒメアンコウ属魚類の標準和名と分類形質. *Ichthy, Natural History of Fishes of Japan*; (21): 47-74.
- 三浦信男 (2012) 美ら海市場図鑑 知念市場の魚たち. ウェーブ企画, 与那原. 140 pp.
- Motomura, H. (2023) An annotated checklist of marine and freshwater fishes of Tanega-shima and Mage-shima islands in the Osumi Islands, Kagoshima, southern Japan, with 536 new records. *Bulletin of the Kagoshima University Museum*; (20): 1-250.
- 本村浩之 (2024) 日本産魚類全種目録. これまでに記録された日本産魚類全種の現在の標準和名と学名. Online ver. 24. <https://www.museum.kagoshima-u.ac.jp/staff/motomura/jaf.html> (参照 2024-04-20)
- 本村浩之・萩原清司・瀬能 宏・中江雅典 (編) (2019) 奄美群島の魚類図鑑. 南日本新聞開発センター, 鹿児島. 436 pp.
- Motomura, H. and S. Harazaki (2017) Annotated checklist of marine and freshwater fishes of Yaku-shima island in the Osumi Islands, Kagoshima, southern Japan, with 129 new records. *Bulletin of the Kagoshima University Museum*; (9): 1-183.
- 棟方航平・黒田悠真・外山太一郎 (2022) 茨城県初記録の魚類 14 種. *Niche Life*; 10: 69-74.
- Munroe, T. A. (1998) Systematics and ecology of tonguefishes of the genus *Symphurus* (Cynoglossidae: Pleuronectiformes) from the western Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin*; 96 (1): 1-182.
- 村瀬敦宣・緒方悠輝也・山崎裕太・三木涼平・和田正昭・瀬能 宏 (編) (2021) 新・門川の魚図鑑: ひむかの海の魚たち. 宮崎大学農学部附属フィールド科学教育研究センター延岡フィールド, 延岡. 358 pp.
- 中坊徹次・甲斐嘉晃 (2013) ハナメイワシ科, pp. 349-350, 1828-1829. 中坊徹次 (編) 日本産魚類検索全種の同定 第三版. 東海大学出版会, 秦野.
- 中坊徹次・中山耕至 (2013) 魚類概説 第三版, pp. 3-30. 中坊徹次 (編) 日本産魚類検索 全種の同定 第三版. 東海大学出版会, 秦野.
- Nakae, M., H. Motomura, K. Hagiwara, H. Senou, K.

- Koeda, T. Yoshida, S. Tashiro, B. Jeong, H. Hata, Y. Fukui, K. Fujiwara, T. Yamakawa, M. Aizawa, G. Shinohara and K. Matsuura (2018) An annotated checklist of fishes of Amami-oshima Island, the Ryukyu Islands, Japan. *Memoirs of the National Museum of Nature and Science, Tokyo*; 52: 205-361.
- 大森健策・小熊進之介・須能紀之 (2024) 常磐南部・鹿島灘海域における海況の長期変動および近年の海流と漁況との関係. 茨城県水産試験場研究報告; (49): 1-11.
- 大森健策・外山太一郎 (2020) 茨城県初記録ならびに太平洋側北限記録のクサヤモロ *Decapterus macarellus*. 茨城県水産試験場研究報告; (47): 30-33.
- 瀬能 宏 (2013) ハタ科, pp. 757-802, 1960-1971. 中坊徹次 (編) 日本産魚類検索 全種の同定 第三版. 東海大学出版会, 秦野.
- 瀬能 宏 (監) (2021) 新版 日本のハゼ. 平凡社, 東京. 588 pp.
- 園山貴之・荻本啓介・堀 成夫・内田喜隆・河野光久 (2020) 証拠標本および画像に基づく山口県日本海産魚類目録. 鹿児島大学総合研究博物館研究報告; (11): 1-152.
- 竹内直子・瀬能 宏・清野聡子 (2015) 対馬の魚類相 1948-2015 年の調査から. 日本生物地理学会会報; 70: 1-11.
- 田城文人・鈴木啓太・上野陽一郎・船越裕紀・池口新一郎・宮津エネルギー研究所水族館・甲斐嘉晃 (2017) 近年日本海南西部海域で得られた魚類に関する生物地理学的・分類学的新知見—再現性を担保した日本海産魚類相の解明に向けた取り組み—. タクサ; 42: 22-40.
- 外山太一郎・福地伊芙映・山崎和哉 (2021) 茨城県から得られた熱帯・亜熱帯性ボラ科魚類 4 種の北限記録. *Ichthy, Natural History of Fishes of Japan*; (6): 54-65.
- 山田梅芳・柳下直己 (2013) ウシノシタ科, pp. 1693-1698, 2233-2234. 中坊徹次 (編) 日本産魚類検索 全種の同定 第三版. 東海大学出版会, 秦野.

## 鹿島灘はまぐりの貝殻の色彩及び 黒色型の色彩を標識とした種苗生産について

宮本徳也\*1・遠藤友樹・鶴見祐輔\*1・関根和輝・黒山忠明

The colors of hard clam shells and the production of young hard clam using  
the color of the black type as a marker

Tokuya MIYAMOTO\*1, Tomoki ENDO, Yusuke TSURUMI\*1, Kazuki SEKINE, Tadaaki KUROYAMA

キーワード：鹿島灘はまぐり，チョウセンハマグリ，貝殻，色彩，遺伝，栽培漁業，種苗生産技術，標識

### 目 的

鹿島灘はまぐり（標準和名：チョウセンハマグリ *Meretrix lamarckii*，以下、「ハマグリ」という）は、外海砂浜海岸に棲む大型の二枚貝で、茨城県における重要な漁獲対象種である。その発生量は変動が大きく（浜田・安川，1985），資源を適切に利用するための輪番操業や操業時間制限，水揚金額のプール制等の資源管理方策が実施されている（二平ら，1982；小島ら，2009）。また，資源加入の底支えを図るため，栽培漁業の対象種として種苗生産技術開発や放流効果調査などが取り組まれてきている。

茨城県におけるハマグリの種苗生産研究は1967年以来増殖対策の一環として行われ，多段式飼育水槽による流水連続飼育や餌料藻類の1トン規模での大量培養技術の開発を経て，1995年からは財団法人茨城県栽培漁業協会（現公益財団法人茨城県栽培漁業協会）において種苗の大量生産技術開発が取り組まれてきた。さらに放流効果を確認するため，ハマグリ種苗にはALC（アリザリンコンプレクソン）標識が施されてきた。しかし，ALC標識の有無は蛍光顕微鏡下で確認する必要があるほか，試薬が高価であること，1年以上時間が経過すると標識が薄れ，認識しにくくなり調査・追跡が困難となることから，代替手法の導入が重要な課題となっていた。

他方，天然海域で漁獲されたハマグリには，貝殻全体が黒色のものが僅かに見られるが，同じく二枚貝であるアサリ *Ruditapes philippinarum* では貝殻の模様や色彩が遺伝することが知られており（岸岡ら，1997），ハマグリでも同様に貝殻の色彩が遺伝するのであれば，希少な殻色のハマグリ成貝を親貝とした種

苗生産を行い，それらを放流することで，殻色を標識として放流効果を確認できる可能性がある。

本研究では，ハマグリの殻色が放流種苗の標識として利用可能かを検討するために，成貝の殻色のタイプと自然界での各タイプの割合を確認するとともに，成貝の殻頂付近の色彩を観察することで，成貝と稚貝の殻色関係を明らかにした。併せて，貝殻全体が黒色の成貝を親貝とした交配試験を実施し，黒色の貝がどの程度出現するかを検証した。

### 方 法

(1) ハマグリ成貝の殻色タイプ分け

2021年12月6日に大洗町夏海地先の距岸200m～300mの海域で，茨城県漁業調査指導船「せんかい」を用いて小型貝桁網（桁幅56cm，爪間隔24mm，袋網の目合20mm）を10分間曳網し，ハマグリ成貝を122個採集した。採集したハマグリは実験室に持ち帰り，各貝を貝殻の色に基づき①黒色型，②茶色型，③赤褐色型，④白色型の4タイプに大別した（図1）。

貝殻の色に基づき大別したタイプについては，目視によるタイプ分けの個人差を確認するために，分別試験を行った。分別試験には，上記と同様に茨城県漁業調査指導船「せんかい」による小型貝桁網で2021年12月21日に大洗町夏海地先で採集したハマグリの成貝2,903個から各タイプ20個を抽出し，合計80個を用いた。分別試験では，第2著者が4タイプに大別したハマグリ計80個をプラスチック製容器（横55cm×縦40cm×高さ30cm）の中に全て混ぜ入れ，茨城県水産試験場の研究補助員6名それぞれにハマグリのタイプ分けを行わせた。タイプ分けの際は研究補助員

\*1 公益財団法人 茨城県栽培漁業協会



図1 採集されたハマグリ成貝の貝殻色（左から黒色型、茶色型、赤褐色型、白色型）

に対し、タイプは各自が任意に設定すること、殻長の違いでは分別しないことのみを伝え、計 80 個のハマグリを自由に分別させた。

## (2) ハマグリ稚貝と成貝の殻色色彩関係

分別試験用に採集したハマグリ成貝 2,903 個のうち任意に選んだ 342 個について、前述の 4 タイプの殻色（黒色型 50 個体、茶色型 44 個体、赤褐色型 94 個体、白色型 154 個体）に区分したうえで、稚貝時の色彩を示す殻頂付近の色彩を観察し、成貝の殻色タイプとの対応と殻色タイプの特徴が発現する稚貝時の殻長を調べた。

## (3) ハマグリ人工種苗における殻色タイプの発現率

殻色タイプの発現率を明らかにするための交配試験は、ハマグリ種苗生産を行っている、公益財団法人茨城県栽培漁業協会で行った。

### 1) 親貝の入手

種苗生産に供する親貝は、2022 年 2 月 25 日から 2022 年 7 月 5 日にかけて鹿島灘において鹿島灘漁業協同組合、大洗町漁業協同組合、はさき漁業協同組合の貝桁網漁業で漁獲された成貝の中から殻色と殻長で選別し、殻長（以下、「SL」という）85 mm 前後、体重（BW）139 g 前後の黒色型個体を雌雄合わせて計 747 個体とした。

### 2) 採卵

雌雄ともに黒色型の親貝を FRP 水槽（横 65 cm × 縦 140 cm × 高さ 27 cm）に静置し、採卵を行った。ハマグリは、有効積算温度が 300°C 前後になると産卵する（高島、2001）ため、必要に応じてヒーターで加温した。卵は水槽の排水口にプランクトンネットを設置して回収した。30 μm と 180 μm のプランクトンネットを二重にして、180 μm のプランクトンネットでゴミを除去した。30 μm のネット上に回収された卵は余

剰の精子を洗い流した後、あらかじめ 5 μm のフィルターを通した精密濾過海水（以下、「濾過海水」という）を張った 1,000 L 円形パンライト水槽に収容した。卵の収容密度は、10 粒/mL 程度とした。

採卵は、2022 年 4 月 26 日から 2022 年 7 月 6 日にかけて計 12 回行った。黒色型親貝の雄が合計 147 個体放精、雌が合計 130 個体産卵し、合計 54,870 万粒の受精卵を得て、そのうち 26,980 万粒を幼生飼育に供した。

### 3) 浮遊幼生飼育

浮遊幼生飼育は、1,000 L 円形パンライト水槽を使用し、流水給餌飼育方法（高島・児玉、1992）により行った。飼育水には濾過海水を用いて 1.0 回転/日の注水を行い、更にガラス管で水槽中央部から飼育水が緩やかに攪拌される程度の通気を行った。

浮遊幼生飼育は延べ 51 水槽を用いて行った。飼育海水中の餌料濃度は、主餌料の *Chaetoceros calcitrans*（マリンテック（株））が  $0.7 \sim 1.0 \times 10^4$  cells/mL、補助餌料のナトリウム灯下で培養した *Nannochloropsis* sp. が  $1.0 \times 10^4$  cells/mL になるように調整して添加した。給餌にあたっては、排水口で飼育水をビーカーに採り、コールターカウンター Z1 型（BECKMAN COULTER（株））で餌料濃度を測定した後、不足分を 9 時と 16 時に添加した。飼育期間中の平均水温は 24.2°C であった。

浮遊幼生飼育で合計 4,942.2 万個の沈着稚貝を得て稚貝飼育に供した。

### 4) 稚貝飼育

浮遊幼生飼育で得られた沈着稚貝は、児玉・部（1983）に従い、多段式循環水槽 1 基（1 槽あたり横 60 cm × 縦 60 cm × 高さ 20 cm、合計 36 槽）あたり 540 万個体（1 槽あたり 15 万個体）を目安に収容して飼育を行った。飼育水には 25°C に加温した濾過海水を用い、貯水槽に 1.0 ~ 2.0 回転/日となるように注水を行った。餌料は 1,000 L 円形パンライト水槽において培養した *Isochrysis galbana* を用い、稚貝の成長に合わせ、飼育水中の餌料濃度が  $2.0 \sim 3.0 \times 10^4$  cells/mL の範囲となるよう調整し、流水連続給餌法（高島・児玉、1992）により飼育した。

### 5) 生産稚貝の殻色タイプ分け

2022 年 7 月 12 日と 2022 年 8 月 30 日に、400 μm ~ 2,500 μm のメッシュのプランクトンネットを使用し、稚貝を大よそ SL5 mm、2 mm、2 mm 未満と、サイズ毎に選別した。選別した稚貝は、平均サイズが SL5 mm と 2 mm になるよう仕分けし、それぞれを 5 mm

種苗，2 mm 種苗とした。生産した稚貝の個体数は，容積法により個体数を計数し，5 mm 種苗が 6.0 万個体（平均 SL5.9 mm（4.5 mm～9.7 mm）），2 mm 種苗が 326.7 万個体（平均 SL2.4 mm（1.1 mm～11.0 mm））であった。

選別した稚貝は，5 mm 種苗と 2 mm 種苗を対象に，無作為に抽出し，稚貝の殻の色彩によるタイプ分けを実施した。2 mm 種苗のタイプ分けは，SL2.5 mm 未満ではどのタイプの色彩が発現するかの判断はできない（結果(2)参照）ことから，種苗の一部をタイプ分けが可能な SL まで育成した後に実施した。なお，選別した SL2 mm 未満の個体については，タイプ分けには使用しなかった。

生産した 5 mm 種苗のうち 219 個体，2 mm 種苗のうち 220 個体を抽出し SL を測定後，目視により 4 タイプ（①黒色型，②茶色型，③赤褐色型，④白色型）に分別し，貝殻の色彩別の個数と割合を求めた。

### 結 果

#### (1) ハマグリ成貝の殻色タイプ分け

採集した成貝を殻色によりタイプ分けしたところ，各タイプの割合はそれぞれ，①黒色型が 3.3%（4 個体），②茶色型が 4.1%（5 個体），③赤褐色型が 31.1%（38 個体），④白色型が 61.5%（75 個体）であり，①の黒色型の割合が最も低かった。

分別試験では，研究補助員によって 5～7 つのタイプに分別された（表 1）。この内，黒色型の個数は 20 個で 6 名全員のタイプ分けが一致した。一方で茶色型，赤褐色型，白色型の殻色の個体は濃淡や模様の有無でそれぞれ最大 2 タイプに細分されていた。茶色型の総数は 20 個，赤褐色型の総数は 20～21 個，白色型の総数は 19～20 個に分かれた。細分化したタイプについてはそれぞれ内訳が一致しなかった。

表 1 分別試験の結果 括弧内はタイプ分けの基準を開き取りしたもの。

殻色 (タイプ)	研究補助員					
	A	B	C	D	E	F
黒色型	20	20	20	20	20	20
茶色型	20	20	11 (濃) 9 (薄)	20	20	10 (濃) 10 (薄)
赤褐色型	12 (紫) 8 (グレー)	21	9 (紫) 11 (グレー)	21	17 (濃) 4 (薄)	14 (紫) 7 (グレー)
白色型	20	13 (模様無) 6 (模様有)	14 (模様無) 6 (模様有)	11 (模様無) 8 (模様有)	16 (模様無) 3 (模様有)	19
タイプ数	5	5	7	5	6	6

また，タイプ分けの様子を観察していると，6 名全員が黒色型の 20 個を最初に取り分けていた。

#### (2) ハマグリ稚貝と成貝の色彩関係

4 つのタイプの成貝の殻頂をそれぞれ観察したところ，黒色型の個体の殻頂の特徴は 50 個全て一致しており，殻頂の特徴が複数に分かれていた他の 3 タイプとは明確に区別できた（図 2）。また，殻頂の大きさを測定したところ，黒色型の特徴が発現するのは SL2.5 mm 以上であり，確実に識別できるのは SL5.0 mm 以上であった。なお，その他の色彩型については，図 2 に示したとおりであった。

#### (3) ハマグリ人工種苗における殻色タイプの発現率

生産した 5 mm 種苗から 219 個体を抽出してタイプ



図 2 ハマグリ成貝殻頂付近の色彩の特徴



図3 5 mm 種苗

表2 5 mm 種苗タイプ分けの結果

殻色 (タイプ)	測定個数	割合
黒色型	169	77.2%
茶色型	0	0%
赤褐色型	50	22.8%
白色型	0	0%

分けしたところ、黒色型 77.2% (169 個)、赤褐色型 22.8% (50 個)、茶色型 0.0% (0 個)、白色型 0.0% (0 個) の発現率であった (図 3, 表 2)。

2 mm 種苗については、一部を継続飼育し、平均 SL6.1 mm まで育成した後、220 個体を抽出してタイプ分けを行った結果、黒色型 74.5% (154 個)、赤褐色型 25.5% (56 個)、茶色型 0.0% (0 個)、白色型 0.0% (0 個) であった (図 4, 表 3)。

両者の割合を平均すると、黒色型 75.9%、赤褐色型 24.1%、茶色型 0%、白色型 0% であった。

### 考 察

ハマグリ の殻の色彩を大別した結果、第 2 著者は黒色型、茶色型、赤褐色型、白色型の 4 タイプに区分したのに対し、人によっては 5~7 タイプに分別していた (表 1)。このように、殻の色彩による分別には個人差が生じるが、その内、黒色型の分別は全員が一致し、さらに全員が黒色型を最初に分けていたことから、分別にあたって人による違いが生じにくい色彩であると考えられた。

黒色型親貝同士を掛け合わせて種苗を生産した結果、5 mm 種苗では 219 個体のうち 169 個 (77.2%) が黒色型、2 mm 種苗の一部を継続飼育した種苗では 220 個体のうち 154 個 (74.5%) が黒色型となり、種苗全体の約 75% が黒色型となることが確認された (表 2, 3)。アサリでは、帯紋型青色系の斑紋は自然界で 1%

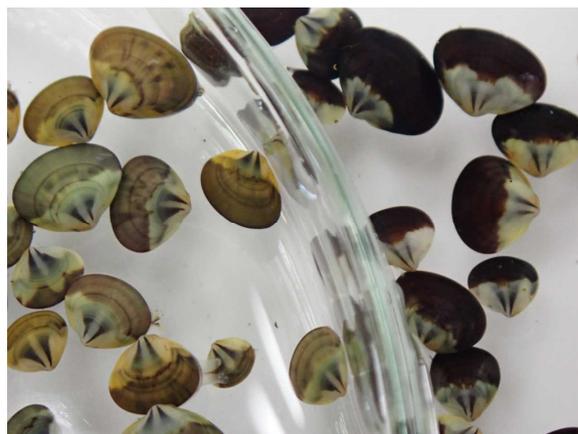


図4 2 mm 種苗 2 mm 種苗の一部を、平均 SL6.1mm まで育成した後、タイプ分けを行った。

表3 2 mm 種苗タイプ分けの結果

殻色 (タイプ)	測定個数	割合
黒色型	164	74.5%
茶色型	0	0%
赤褐色型	56	25.5%
白色型	0	0%

以下の比率でしか出現しないが、帯紋型青色系同士で集団交配すると F1 の 68.1% が帯紋型青色系になることが分かっており、青色系の斑紋は遺伝的形質であると考えられている (岸岡ら, 1997)。

今回生産した黒色型のハマグリも、自然界では約 3% の出現率であるが、黒色型の親貝同士を交配した種苗生産結果から見て、黒色型の色彩は遺伝的形質であると考えられる。また、5 mm 種苗と 2 mm 種苗は、雌雄ともに別々の親貝に由来することから、黒色型同士で交配させれば、安定して黒色型の種苗が生産できることが明らかになった。

殻長部の色彩に注目し成貝と稚貝の色彩関係を比較した結果、SL2.5 mm 以上になると各タイプの特徴が出現し始め、SL5.0 mm 程度にまで成長すれば、黒色型とそれ以外の型を確実に見分けることができるようになると考えられた (図 2)。実際に、種苗生産試験においてハマグリ種苗の色彩を確認した結果、2 mm 種苗では色彩の判別が困難であったが、5 mm 種苗では色彩が明確に確認でき、特に黒色型の発現は他の色彩とはっきりと判別することができた。黒色型の発現割合は、5 mm 種苗と 2 mm 種苗の一部を継続飼育した場合で約 75% とほぼ同じ割合であったため (表 2, 3)、SL5.0 mm の稚貝を確認すれば、色彩の判別が困難な 2 mm 種苗の黒色型の割合も推定できると考えら

れた。

このように黒色型のハマグリは、自然界で約 3%程度の割合しか存在しない希少な色彩であること、人による誤分別が生じにくい色彩であること、雌雄とも黒色型の貝で種苗生産を行えば約 75%の割合で大量に生産できること、稚貝の時点で黒色型と区分されたものは、生涯、黒色型成貝として区別できることから、放流種苗の標識としては現状、最も有効なタイプであると考えられる。これまで使用してきた ALC 標識の確認には、蛍光顕微鏡での観察が必要であること、標識付けに必要な試薬が高価であること、1年以上時間が経過すると標識が薄れ、調査・追跡が困難となることといった課題があった。しかし、黒色型の色彩を標識として使用した場合、目で標識確認ができること、試薬の費用がかからないこと、貝殻の色彩であるため 1年以上経過した後も追跡調査ができることなど、ALC 標識の課題を解決できるため、ALC 標識に代わる新たな標識として活用されることが期待される。

その一方、黒色型の貝は自然界にも分布していることから、卓越年級群が発生し、自然に生じる黒色型貝、さらにその他貝が大幅に増加した場合、放流種苗の生残状況に関わらず、放流種苗の混入率は減少することになる。人為的な物理標識ではないため、黒色型種苗の大量放流による放流効果の算定には注意を要することも指摘したい。

### 要 約

チョウセンハマグリは放流効果を評価するための標識として貝殻の色彩に着目し、殻の色彩の判別試験による誤判別の有無や、成貝の殻頂の観察による成貝と稚貝時の色彩パターンの対応の確認、人工種苗における各色彩タイプの発現率の確認を行った。チョウセンハマグリは殻色は 4 つのタイプに大別され、この内、黒色型は出現率約 3%と少ない希少な型であるうえ、識別しやすい型であった。黒色型としての識別は、殻長 5.0 mm 程度で確実に可能であった。黒色型親貝同士を掛け合わせることで、約 75%を黒色型として生産することができた。以上のことから、放流種苗の標識として活用できると考えられた。

### 謝 辞

本研究を行うにあたり、本文執筆について有益なご助言を賜った茨城県水産試験場の多賀真博士、茨城県農林水産部水産振興課の荒山和則博士および公益財団法人茨城県栽培漁業協会の中村丈夫専務、高島葉二技術アドバイザーに厚く御礼申し上げる。

調査船調査にご協力いただいた漁業調査指導船「せんかい」の鬼澤達也氏をはじめとする船舶職員、サンプルの測定作業および分別試験にご協力いただいた川前孝二氏、二川祐子氏、漆間しのぶ氏をはじめとする研究補助員、種苗飼育試験にご協力いただいた大鷲康子氏に心より御礼申し上げます。

### 文 献

- 浜田篤信・安川隆宏 (1985) : 鹿島灘における二枚貝類発生量変動に関する 2, 3 の考察. 茨城県水産試験場試験研究報告 ; 25 : 97-103.
- 岸岡正伸・立石 健・酒井治己 (1997) : 帯紋型青色アサリの選抜試験とその遺伝様式の推定. 水産育種 ; 25 : 91-97.
- 小島 彰・初澤敏生・阿部高樹・井上 健・熊本尚雄 (2009) : ハマグリ漁におけるプール制について—鹿島灘漁協, はさき漁協, 大洗町漁協の事例—. 福島大学研究年報 ; 5 : 33-38.
- 児玉正碩・薮 伸一 (1983) : ホッキガイの種苗生産について. 昭和 58 年東北ブロック増養殖研究連絡会議報告書.
- 二平 章・安川隆宏・藤富正毅・真岡東雄 (1982) : 広域的共同漁業権漁場における漁業管理の一事例—茨城県鹿島灘の貝桁漁業—. 北日本漁業 ; 12 : 81-97.
- 相良順一郎・田中彌太郎・浜田サツ子・二宮直尚 (1968) : チョウセンハマグリは発生に及ぼす環境要因の影響に関する研究 I. 昭和 42 年度茨城県水産試験場試験報告, 117-123.
- 高島葉二・児玉正碩 (1992) : 流水連続給餌による二枚貝の種苗生産. 茨城県水産試験場研究報告 ; 30 : 101-108.
- 高島葉二 (2001) : 鹿島灘はまぐりの産卵期—II 卵巣の季節的变化と産卵期の変動, 茨城県水産試験場研究報告 ; 39 : 7-14.

---

---

茨城県水産試験場研究報告 第49号

令和6年12月 発行

発行所 ひたちなか市平磯町三ツ塚 3551 の8  
茨城県水産試験場  
電話 029 (262) 4158  
〒311-1203

---

---