

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>）

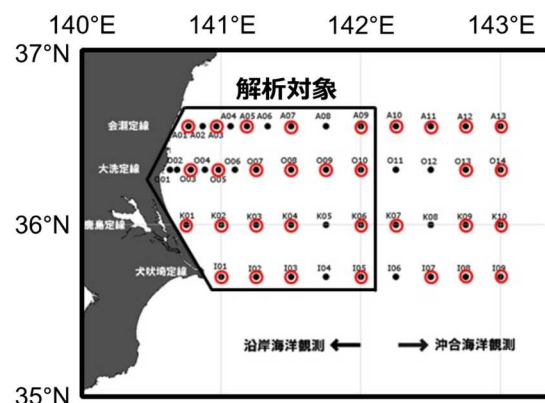


図1. 調査地点図（赤丸は卵仔魚の採集地点を示す）。

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、 ΔAIC 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

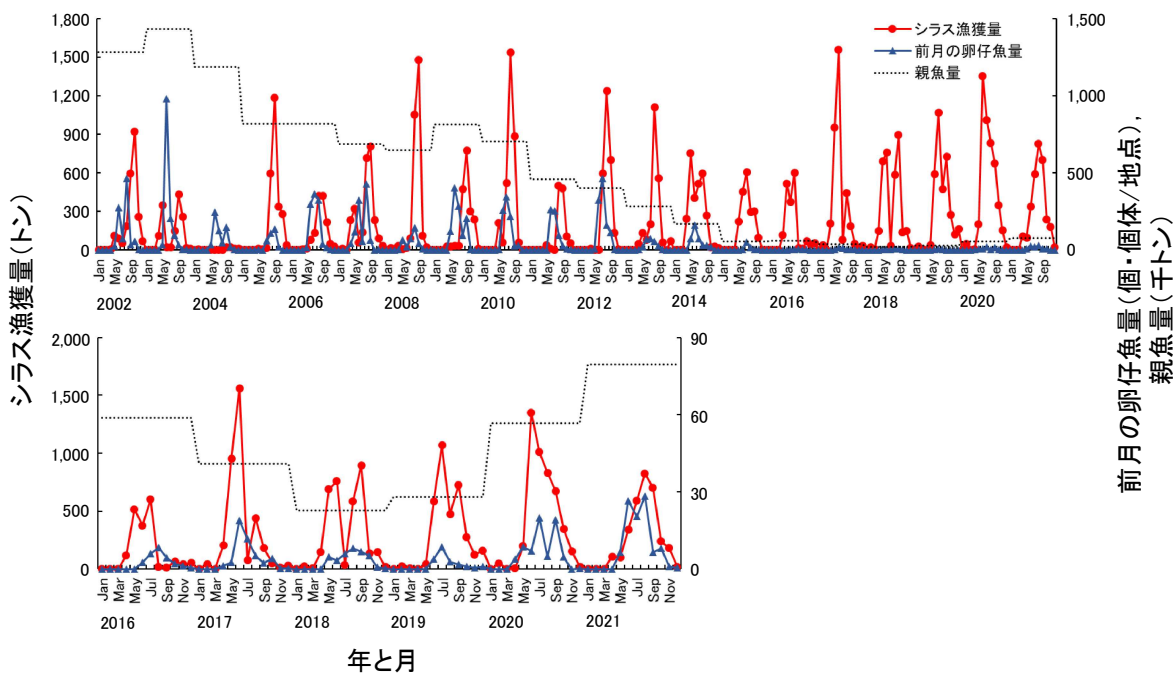


図 2. 茨城県沿岸域における各年各月のシラス漁獲量と前月の卵仔魚量およびカタクチワシ太平洋系群の親魚量の推移(上段, 2002–2021 年; 下段, 2016–2021 年)。親魚量については、我が国周辺の水産資源の評価(木下ら, 2023)より引用した。

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	ΔAIC	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。

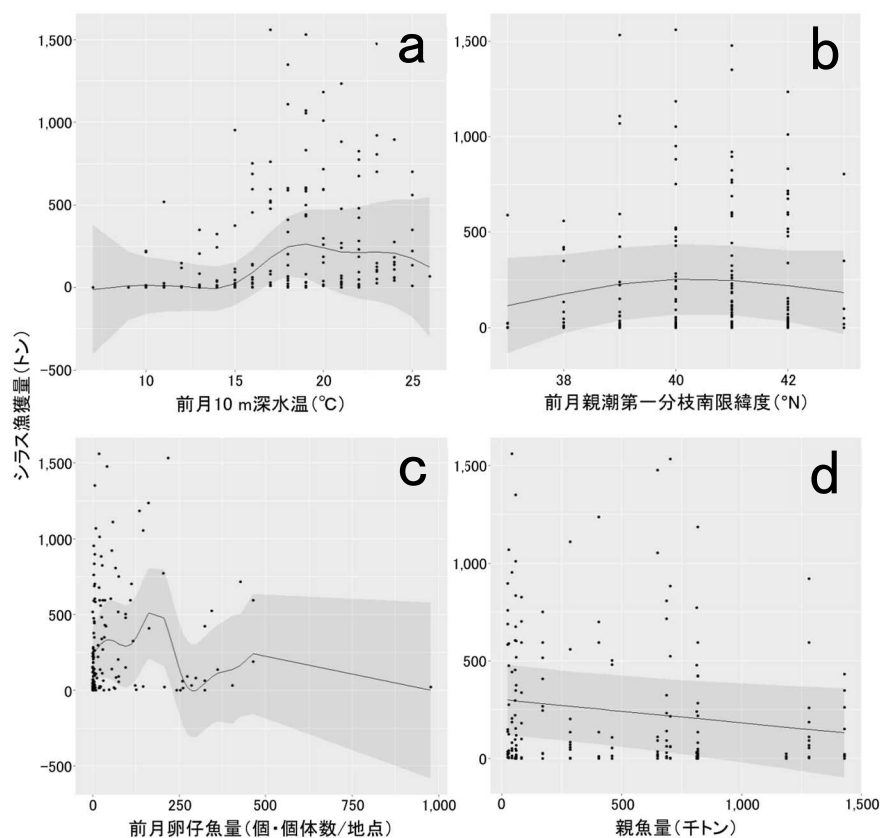


図 3. ベストモデルの各説明変数によるシラス漁獲量についてのプロット (a, 前月 10 m 深水温; b, 前月親潮第一分枝南限緯度; c, 前月卵仔魚量; d, 親魚量). 実線は予測線, 暗色部は 95%信頼区間を示す.

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 (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.