

[報告] 気仙沼港における竿釣漁業による生鮮カツオ水揚量予測の検証

Evaluation of the forecasting methods and results of annual landing of fresh skipjack tuna at Kesen-numa port, northern Japan, by pole and line fishery

谷津明彦¹⁾ 水野紫津葉¹⁾

Akihiko Yatsu Shizuha Mizuno

1) 水産情報部

要旨：

気仙沼港における竿釣り漁業による生鮮カツオの年間水揚量予測に関する 2002～2018 年のデータを用いた先行論文について、2022 年までのデータを用いて、その手法と予測結果を検証した。先行論文は、気仙沼港における生鮮カツオのうち、XA 群（秋生まれ 1 才魚（X 群）と冬生まれ 1 才魚（A 群）の合計）の年間（5～12 月）の水揚量を前年同期の DE 群（秋生まれ 0 才魚（D 群）と冬生まれ 0 才魚（E 群）の合計）の水揚量から予測、BC 群（春生まれ 1 才魚（B 群）と夏生まれ 0 才魚（C 群）の合計）の年間（5～12 月）の水揚量を千葉県勝浦港における同年 1～4 月の BC 群の水揚量と 3 月の伊豆諸島南部海域の海面水温から予測した。先行論文における統計的予測手法は、各群の水揚量と漁獲努力量が減少傾向にあることから、各群の水揚量の推移に当てはめた直線回帰式と各年の実際の水揚量の差（残差）を用いた（重）回帰モデルであった。今回の検討では、直線回帰式と各年の実際の水揚量の比も用いた。本報告では、（重）回帰モデルの残差が正規分布に従わない可能性がある場合は、一般化線形モデルを用いた。また、気仙沼港における X 群の水揚量は比較的少なく、その推定精度は劣るため、X 群と A 群に分けて予測を行った。これらの結果を AICc により評価したところ、①残差より比を用いることが適当、②BC 群の説明変数は先行論文と同様で重回帰モデルが適当、③X 群は前年 3 月の黒潮統流域の海面水温のみが説明変数として選択されたため予測対象としては不適当、④A 群の説明変数は前年の E 群の水揚量が選択され残差の正規性の判断結果により重回帰モデルまたは一般化線形モデルが適当とされた。また、2018～2022 年の予測結果（前年の実測値に対する相対評価：上回る/下回る）は、BC 群の 2018 年の予測を除き中していた。しかし、実際の水揚量と予測水揚量は乖離している場合が多かったため、この原因について考察した。

キーワード：報告、漁海況、かつお

1. はじめに

日本近海に來遊するカツオ *Katsuwonus pelamis* は熱帯・亜熱帯海域でほぼ周年にわたって発生し、その一部は 3～5 月には黒潮や黒潮統流付近、6～11 月に日本近海の主漁場である三陸・常磐沖（黒潮親潮移行域）に來遊し、9 月頃から南下を開始する。¹⁾
³⁾ また、宮城県気仙沼港は過去 26 年間に於いて生鮮カツオ水揚量が国内で最も多く、千葉県勝浦港がこれに次ぐ。⁴⁾

三陸・常磐沖に來遊するカツオには複数の体長（尾叉長）モードが見られ、これらは季節発生群を代表すると考えられている。⁵⁻⁶⁾ これら季節発生群（XX～F 群）について、推定された成長と気仙沼港と勝浦

港における銘柄の関係を図 1 に示した。気仙沼港と勝浦港の生鮮カツオは、主に近海竿釣漁業により水揚げされ、その水揚げ盛期と主群は、気仙沼港では 6～11 月の A 群（冬生まれ 1 才魚）、B 群（春生まれ 1 才魚）、C 群（夏生まれ 0 才魚）、勝浦港では 2～5 月の XX 群（夏生まれ 1 才魚）、4～7 月の B 群と C 群である（図 2）。図 1 によると、XX 群は前年の C 群、X 群は前年の D 群、A 群は前年の E 群が成長し、三陸・常磐沖へ再北上したものと考えられる。

気仙沼港における生鮮カツオの水揚げ量予測には強いニーズがある。そのため谷津ほか⁶⁾は、日本近海に來遊するカツオのうち、主要な発生季節群（X 群と A 群の合計（XA 群）および B 群と C 群の合計（BC 群）について、予測手法を開発した。具体的に

は、気仙沼港の XA 群の年間（5～12 月）水揚量は同港の前年同期の DE 群の水揚量から、気仙沼港の BC 群の年間（5～12 月）水揚量は同年 1～4 月の勝浦港の BC 群の水揚量と 3 月の伊豆諸島南部海域の平均海面水温により予測した。

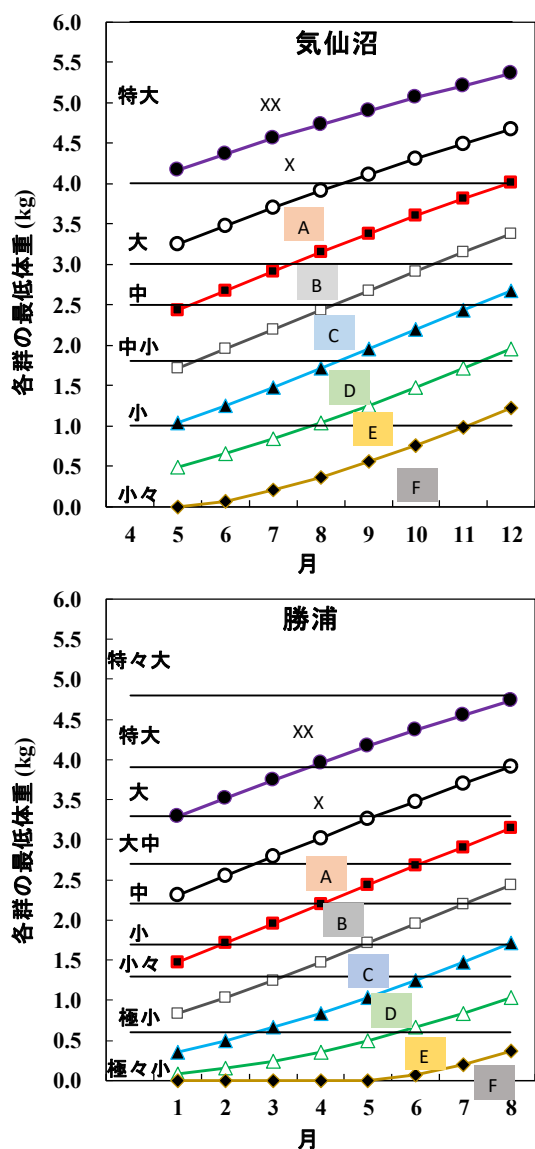


図 1 気仙沼港と勝浦港における銘柄（体重範囲）と季節発生群（XX～F 群）の成長（体重下限値）の関係 例えば、X 群の体重範囲は XX 群と X 群の各体長下限値の間となる。

各群の銘柄別水揚量を季節発生群に割り振るために使用した成長式は、体重 5 kg（尾叉長 60 cm）以上で観測値が少なく、観測値と成長式の乖離が著しい。⁵⁾従って、気仙沼港における X 群の推定水揚量は不確実性が大きい。また、X 群は気仙沼港の主群

ではない（図 2）。そのため本報告では、気仙沼港における X 群と A 群の水揚量を個別に予測することとした。

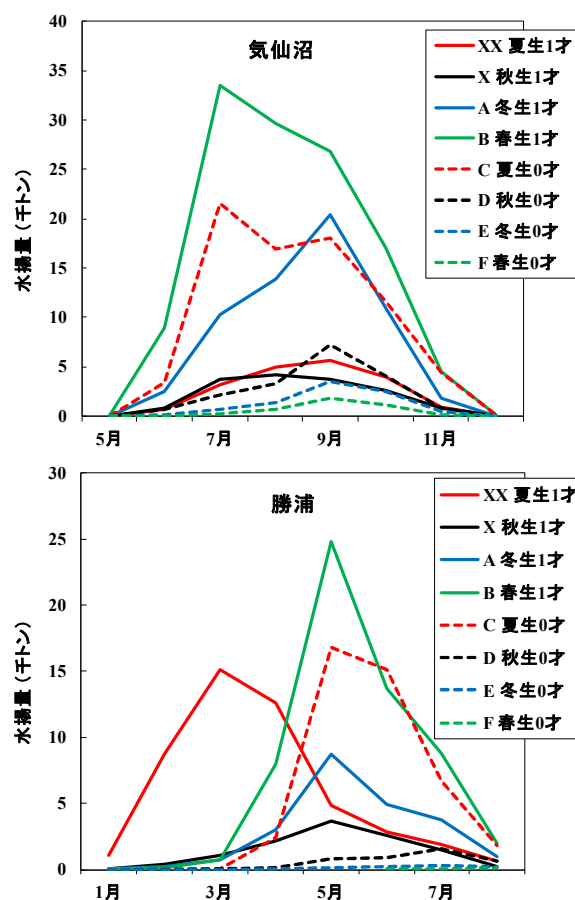


図 2 気仙沼港と勝浦港における季節発生群（XX～F 群）の月別水揚量の推移（2002～2020 年の平均）

谷津ほか⁶⁾は、①解析に用いた気仙沼港と勝浦港における各群の推定水揚量が経年的に減少傾向を示したこと、②カツオ竿釣中型漁船の年間漁獲努力量にも直線的な減少傾向が認められたことから⁷⁾、各群の推定水揚量（以下、観測値という）の推移に直線回帰式を当てはめ（図 3、4）、各年の観測値の直線回帰式からの差（残差）をデータとして使用した。ここで、各年の観測値と回帰式からの推定値の比を用いることも考えられる。また、重回帰モデル（LM）では、観測値のモデルからの残差分布が正規分布であることが前提条件であるが、この前提条件が満たされない場合、一般化線形モデル（GLM）の適用が考えられる。⁸⁾

本報告では、データとして残差または比を用いた場合、および比のデータについて LM と GLM を用いて検討し、最適なモデルにより過去の予測を検証することを目的とした。

2. データと方法

2002～2022 年の気仙沼港と勝浦港における竿釣漁業による月別銘柄別水揚量 (kg) は、全国近海かつお・まぐろ漁業協会、気仙沼漁業協同組合および勝浦漁業協同組合が作成した資料によった。これら各港の月別銘柄別水揚量に対して図 1 の基準を適用し、各群に割り振った。ここで、ある銘柄が 2 群にまたがる場合、各月の当該銘柄の体重範囲と上記成長式の関係から水揚量を案分した。この案分は当該 2 群の平均体重を境界値とし、当該銘柄の体重範囲と境界値の関係が各群の水揚量と直線関係にあると仮定した。最後に、各月の推定水揚量を年毎にまとめて基礎データとした。

統計的分析手法は谷津ほか⁶⁾に準じ、分析にはフリーソフトウェア R (Ver. 3.3.1) を使用した。2002～2020 年における各群の年間水揚量間の相関係数は、データが正規分布に従わない場合があるため、Spearman の順位相関係数を用いた。⁹⁾また、予測対象は気仙沼港における BC 群の年間 (5～12 月) 水揚量 (NBC)、気仙沼港における X 群と A 群の年間 (5～12 月) 水揚量 (それぞれ NX と NA) である。

各群の予測モデルにおける説明変数も谷津ほか⁶⁾に従い、NBC の説明変数は勝浦港における 1～4 月の BC 群の水揚量 (UBC) と 3 月の伊豆諸島南部海域の平均表面水温 (SST)、NX と NA の説明変数は気仙沼港における前年 5～12 月の D 群と E 群の水揚量 (それぞれ ND と NE) および前年 3 月の黒潮統流域の平均表面水温 (SST1) である。ここで、気仙沼港と勝浦港における各群の水揚量 (観測値) が減少傾向にあることから、各群の観測値に直線回帰式を当てはめ (図 3、4)、回帰式からの各年観測値の残差と比をデータとして用いた。また、3 月の伊豆諸島南部海域と黒潮統流域の平均海面水温は、気象庁の COBE-SST¹⁰⁾から計算した。

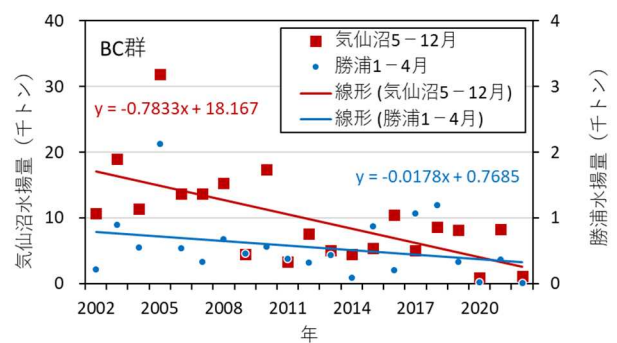


図 3 気仙沼港の 5～12 月と勝浦港の 1～4 月における BC 群 (B 群と C 群の合計) の水揚量の経年変動と直線回帰式

表 1 気仙沼港における生鮮カツオの X, A, B, C 群と前年の C, D, E, D 群 (C1, D1, E1, F1) の年間水揚量の順位相関係数 ρ (対角線の右上三角部) およびその統計的有意水準 P (対角線の左下三角部) 赤色セル: $P < 0.01$ 黄色セル: $P < 0.05$ 太字: $\rho > 0.5$

	X	A	B	C	C1	D1	E1	F1
X		0.64	0.34	-0.08	0.55	0.48	0.35	0.02
A	0.005		0.78	0.30	0.30	0.57	0.69	0.53
B	0.171	0.000		0.74	0.23	0.58	0.66	0.42
C	0.766	0.226	0.000		0.07	0.25	0.26	0.06
C1	0.018	0.219	0.367	0.798		0.54	0.24	-0.19
D1	0.046	0.014	0.012	0.320	0.020		0.74	0.30
E1	0.152	0.002	0.003	0.299	0.337	0.000		0.78
F1	0.951	0.025	0.079	0.817	0.448	0.229	0.000	

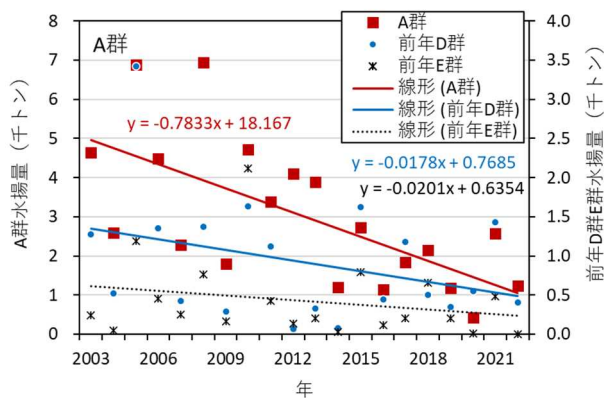


図 4 気仙沼港の 5～12 月における A 群と同港前年 5～12 月における D 群と E 群の水揚量の経年変動と直線回帰式

重回帰モデル (LM) と一般化線形モデル (GLM) における多重共線性の問題を回避するため、説明変数の各年の観測値から夫々の全年の平均値を差し引いて中心化した。また、多重共線性の判断は VIF (variance inflation factor) により行った。比のデータを用いた GLM では、ガンマ分布を仮定した。LM と GLM における最適なモデルは、説明変数の候補とそれらの交互作用を含むフルモデルから、小標本に対応した赤池情報量規準 (AICc) を基準とし、R の dredge 関数により変数選択を行った。モデルからの

観測値の残差分布を評価する Q-Q プロットと異常値 (外れ値) の影響を評価する Cook の距離の検討法は金⁸⁾に従った。データとして使用した残差と比の評価および LM と GLM の評価にも AICc を用いた。

3. 結果

3.1 気仙沼港における各群の年間水揚量の相関

2002～2020 年の気仙沼港における各群の年間水揚量間の順位相関係数と統計的有意水準を表 1 に示した。X～C 群は水揚量の予測対象、C1～F1 群 (前年の C～F 群) は説明変数となる可能性があるものである。統計的に有意 (5%水準) で、やや強い相関関係 ($\rho > 0.5$) が認められたのは、①X～C 群および C1～F1 群のうち隣接したもの (想定した発生時期が近いもの) に加え、②X 群は前年の C 群、A 群は前年の D、E、F 群、B 群は前年の D 群と E 群であった。

3.2 予測モデルの比較

2002～2020 年のデータを用いて、予測対象とし

表 2 気仙沼港における生鮮カツオの BC 群、X 群および A 群の年間水揚量予測モデルの比較結果 詳細は本文参照。GLM : 一般化線形モデル LM : 重回帰モデル NBC : 気仙沼の BC 群の水揚量 NC1, ND1, NE1 : 気仙沼港の前年の C, D, E 群の年間水揚量 SST : 伊豆諸島南部海域の 3 月の平均海面水温 SST1 : 前年 3 月の黒潮統流域の平均海面水温 UBC : 勝浦港の BC 群の水揚量 コロン : 交互作用

群	データ	手法	AICcによる最適なモデル	多重共線性	残差の正規性	AICc	外れ値
BC	残差	LM	NBC ~ SST + UBC	ナシ	妥当	108.1	アリ (2005年)
BC	残差	LM	NBC ~ SST + UBC + SST:UBC	ナシ	妥当	108.1	ナシ
BC	比	LM	NBC ~ SST + UBC	ナシ	妥当	25.9	ナシ
BC	比	GLM	NBC ~ SST + UBC	ナシ	—	28.2	アリ (2005年)
X	残差	LM	NX ~ NC1 + SST1	ナシ	疑問	33.5	アリ (2006年)
X	比	LM	NX ~ SST1	—	妥当	41.3	ナシ
X	比	GLM	NX ~ SST1	—	—	28.6	ナシ
A	残差	LM	NA ~ ND1	—	疑問	62.0	ナシ
A	比	LM	NA ~ NE1	—	疑問	18.2	アリ (2010年)
A	比	LM	NA ~ NE1 (2010年のデータ除去)	—	疑問	14.0	ナシ
A	比	GLM	NA ~ NE1 (2010年のデータ除去)	—	—	15.7	ナシ

た気仙沼港の BC 群、X 群および A 群の年間水揚量について、使用したデータ（残差、比）、手法（LM、GLM）、最適な予測モデルなどについて表 2 にまとめた。BC 群の水揚量予測に最適なモデルは、比を用いた重回帰モデルであり、説明変数として、勝浦港の 1～4 月の BC 群の水揚量（UBC）と 3 月伊豆諸島南部の平均海面水温（SST）が選択された。X 群の場合は、比を用いた GLM が最適であったが、説明変数は黒潮統流域の平均海面水温（SST1）のみであった。これに加え、X 群は気仙沼港における主要群でないことも考慮し、本報告では X 群は予測対象から外した。A 群の場合、重回帰モデルにおける残差分布が Q-Q プロットが直線から外れる傾向にあったため、正規分布に従わない可能性が高い。そのため、GLM の方が LM より AICc が若干大きいものの、より適切なモデルの可能性がある。また、A 群に関して比を用いた全てのモデルで、説明変数は前年の気仙沼港における E 群の水揚量（NE1）のみが選択された。一方、残差を用いたモデルでは、前年の気仙沼港における D 群の水揚量（ND1）のみが選択されたが、AIC c は比を用いたモデルより著しく大きかった。

表 3 気仙沼の BC 群の年間水揚量の予測とその当否（下回ったか上回ったか）

年	観測値 (千トン)	予測値 (千トン)	予測（対 前年）	実際（対 前年）	予測の当否 (増減)
2017	5.03				
2018	8.64	4.79	95%	172%	×
2019	8.18	4.13	48%	95%	○
2020	0.86	4.48	55%	10%	○
2021	8.26	2.83	330%	964%	○
2022	1.09	0.93	11%	13%	○

表 4 重回帰モデル LM による気仙沼の A 群の年間水揚量の予測とその当否（下回ったか上回ったか）

	観測値 (千トン)	予測値 (千トン)	予測（対 前年）	実際（対 前年）	予測の当否 (増減)
2017	1.83				
2018	2.15	2.27	124%	117%	○
2019	1.18	1.39	65%	55%	○
2020	0.43	0.87	74%	36%	○
2021	2.57	1.10	258%	604%	○
2022	1.24	0.94	37%	48%	○

表 5 一般化線形モデル GLM による気仙沼の A 群の年間水揚量の予測とその当否（下回ったか上回ったか）

	観測値 (千トン)	予測値 (千トン)	予測（対 前年）	実際（対 前年）	予測の当否 (増減)
2017	1.83				
2018	2.15	2.14	124%	117%	○
2019	1.18	1.35	65%	55%	○
2020	0.43	0.96	74%	36%	○
2021	2.57	1.02	258%	604%	○
2022	1.24	0.94	37%	48%	○

3.3 最適な予測モデルによる予測の検証

BC 群と A 群について、2002～2022 年のデータに最適なモデルを適用した場合について、2018～2022 年の予測結果を表 3～5 と図 5～7 に示した。

前年の水揚量に対して当年の予測水揚量が上回ったか下回ったか、という観点から予測の適否を評価すると、BC 群の 2018 年を除き、全て的中していた（表 3～5）。一方、予測水揚量と観測値（群別に推定した水揚量）には乖離が大きかったものの、A 群の 2018～2020 年と 2022 年では比較的類似していた（表 3～5、図 5～7）。また、A 群の LM と GLM の予測結果は類似していた。

4. 考察

気仙沼港における BC 群の水揚量予測モデルの説明変数は、先行研究（谷津ほか⁶⁾）と同様に勝浦港における BC 群の 1～4 月の水揚量と伊豆諸島南部海域の 3 月の平均海面水温であったが、今回の検討では比を用いた LM が最適と考えられた。A 群の予測モデルの説明変数は E 群の前年の水揚量であること、2010 年を外れ値することも先行研究⁶⁾と同様であったが、BC 群と同様に比を用いた LM または GLM が最適と考えられた。これらのことから、説明変数や外れ値については検証されたが、予測に使用する各群のデータとしては、観測値の直線回帰式からの残差よりも比を用いることにより、より妥当な予測モデルが得られた。また、A 群の最適予測モデルは、前年の E 群が A 群に連続するという仮説（図

1、2)とも整合していた。

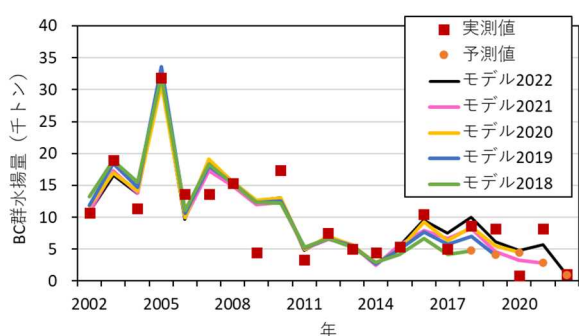


図5 気仙沼のBC群の年間水揚げの実測値と予測値 (2018～2022年の各モデル)

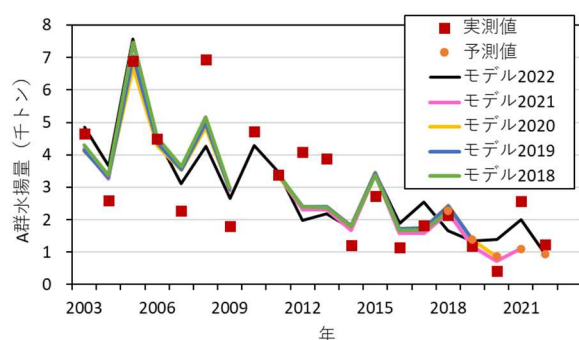


図6 重回帰モデルにLMによる気仙沼のA群の年間水揚げの実測値と予測値 (2018～2022年の各モデル)

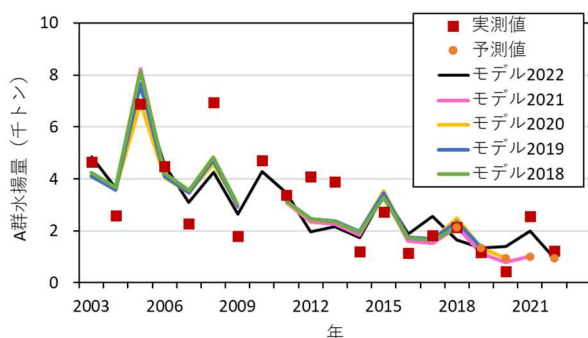


図7 一般化線形モデルGLMによる気仙沼のA群の年間水揚げの実測値と予測値 (2018～2022年の各モデル)

前年の水揚げ(観測値)と予測値の相対的關係(上回ったか下回ったか)は、ほぼ妥当と考えられた。しかし、予測値と観測値の乖離は大きい場合が多かった。この原因としては以下のことが考えられる。

BC群については、勝浦港への1～4月の水揚げが

5月の盛漁期前であるため(図2)、BC群の来遊量としては代表性が低いと考えられる。特に、2021～2022年のように1～4月に九州南方が主漁場となった場合¹¹⁾や伊豆諸島より東側を北上した場合には、勝浦の水揚げは過小評価となる。一方、A群については、前年のE群が越冬して再北上することを仮定しており、近年のアーカイバル(記録型)標識の放流再捕結果¹²⁾がこの仮定を支持しているものの、越冬中における死亡や三陸・常磐海域への再北上以外の回遊も想定されることなどにより、推定精度が低下すると考えられる。

両群に共通する原因として、銘柄別水揚げから季節発生群の水揚げに変換する際に、成長の年変動があれば、年々の群別水揚げに推定誤差が生じると考えられる。なお、隣接する季節発生群の推定水揚げ間には相関関係が見られた原因として、カツオの初期生活環境が加入量に影響することが考えられる。

13)

今後も、気仙沼港におけるカツオの水揚げ予測を継続し、その結果を検証し、より妥当な方法を検討したい。また、カツオの生活史や成長・回遊に関する新知見を利用し、予測結果の解釈や予測方法の改善に努めたい。最後に、水揚げデータを提供していただいた各機関に感謝します。

参考文献

- 1) 二平 章:潮境域におけるカツオ回遊魚群の行動生態および生理に関する研究. 東北水研報, 58, 137-233, 1996.
- 2) 清藤秀理:カツオの研究最前線!!データ記録型標識による行動の追跡. FRANEWS, 34, 16-17, 2013.
- 3) Aoki Y. et al.: Skipjack migration in the western central Pacific Ocean estimated from the particle tracking simulation with dynamic energy budget model. WCPFC-SC13-2017/ SA-IP-09, 2017.
- 4) 読売新聞:気仙沼のカツオ水揚げ量、辛くも首位

確実で26年連続日本一…漁獲は昨年の4分の1 (2022年12月15日)
<https://www.yomiuri.co.jp/economy/20221212-OYT1T50204/>

- 5) 谷津明彦ほか：日本近海におけるカツオの「季節発生群」に関する耳石日周輪および標識放流・再捕データ解析による推定成長に基づく再検討. 水産海洋研究, 83, 161-166, 2018.
- 6) 谷津明彦ほか：気仙沼港における竿釣漁業による生鮮未成熟カツオ水揚量の予測. 水産海洋研究 83, 181-190, 2019.
- 7) 青木良徳・清藤秀理：平成29年度カツオ来遊資源豊度の予測. 平成29年度カツオ資源研究会議報告, 41-47, 2018
- 8) 金 明哲：Rによるデータサイエンス(第2版), 森北出版, 2017.
- 9) 市原清志：バイオサイエンスの統計学—正しく活用するための実践理論. 南江堂, 1990.
- 10) 気 象 庁 : COBE-SST
https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/pub/JMA-product/cobe2_sst_glb_M/
- 11) 水野紫津葉・谷津明彦：2022年カツオ漁海況と竿釣り漁業による今期水揚量予測. 令和4年度水産関係者との意見交換会「今年度のカツオ・ビンナガの漁海況の見通し」要旨集, 漁業情報サービスセンター, 2022.
- 12) 青木良徳ほか：標識放流調査から明らかになったカツオ・ビンナガの移動. 令和4年度水産関係者との意見交換会「今年度のカツオ・ビンナガの漁海況の見通し」要旨集, 漁業情報サービスセンター, 2022.
- 13) 田邊智唯：西部北太平洋熱帯域におけるカツオの初期生態に関する研究. 水産総合研究センター研究報告, 3, 63-132, 2002.

(2023年3月20日受理、Ser. No. 14)