

春夏季の茨城県浅海域における 動物プランクトンの消長とカイアシ類の分布特性

大森 健策

Vicissitude of zooplankton and distribution characteristics of copepods from spring through summer
at the shallow sea of Ibaraki prefecture.

Kensaku OOMORI

キーワード : カタクチイワシ, シラス, 一般化線形混合モデル, 溶存酸素量, 塩分濃度, 河川水.

目 的

三陸・常磐海域の沖合は黒潮統流と親潮の2大海流が交錯するため、生物生産性が極めて高く、世界的な好漁場として知られている(小達, 1994)。このような好漁場の形成要因は親潮系冷水と黒潮系暖水が接触する潮境の形成とその集積作用によってプランクトン等の餌生物が豊富となるためであり(宇田, 1960)、漁場の形成機構とプランクトン動態は密接な関係を示すことが古くから知られている。

本県の沿岸～沖合域は茨城県水産試験場が毎月実施している海洋観測調査において卵稚仔及びプランクトンの継続的なサンプリングが実施されてきた。この調査で得られた卵稚仔データはマイワシ *Sardinops melanostictus* やマサバ *Scomber japonicus* 等の資源評価およびカタクチイワシシラス *Engraulis japonicus* (以下、シラスという)の来遊量予測に活用されている(由上ほか, 2020a; 由上ほか, 2020b; 大森・高橋, 2021)。一方で、浅海域においてはこのような定期的かつ網羅的な観測調査はこれまで実施されておらず、水温環境をはじめ卵稚仔や動物プランクトンの動態については不明瞭なままというのが現状である。

シラスは本県における沿岸漁業の主要な漁獲対象種で、水深約10–30 m付近の比較的浅い海域が主漁場となっている。そのため、この海域における海洋構造および生息環境の把握はシラスの生態や来遊・漁場形成機構を解明するために必要不可欠である。シラスはカイアシ類 Copepoda を主要な餌料生物としており、水温や塩分の変化には強いものの、餌不足には極めて

弱く、餌料生物の多寡が初期減耗に影響を及ぼすことが知られているが(近藤, 1971)、カイアシ類について着目した研究事例は本県においてごく僅かであり(富永・二平, 1997)、前述のとおりシラスの漁場となる水深約10–30 mのような浅海域におけるカイアシ類の研究事例は皆無である。

そこで、本研究ではシラスの主漁期である5月から8月かつ主漁場となる本県浅海域において網羅的にカイアシ類を含む動物プランクトンを採集し、それらの分布密度を把握するとともに統計的手法からカイアシ類の分布特性を明らかにした。

方 法

2021年5月から2021年8月にかけて月1回の頻度で、漁業調査指導船「せんかい」(4.9トン)による動物プランクトンの採集調査を実施した。調査地は大津地先(36° 50' N)と須田地先(35° 50' N)の正東線とその間に緯度10'ごととなるよう正東線を引き、各正東線で灘側と沖側となる2地点を設け、計14地点で採集調査を実施した(図1)。なお、灘の地点は水深約10 m、沖の地点は水深約30 mとなるよう設定した。動物プランクトンの採集には北原式プランクトンネット(口径22.5 cm, 目合0.1 mm, 離合社製)を用いて、海底の1 m直上から鉛直曳きを実施した。同時にSTD(Rinko Profiler, JFEアドバンテック社製)を用いて鉛直的に水温(°C)、塩分(psu)、クロロフィル(以下、Chlという)(ppb)、溶存酸素量(以下、DOという)(mg/L)を測定した。採集した動物プランクト

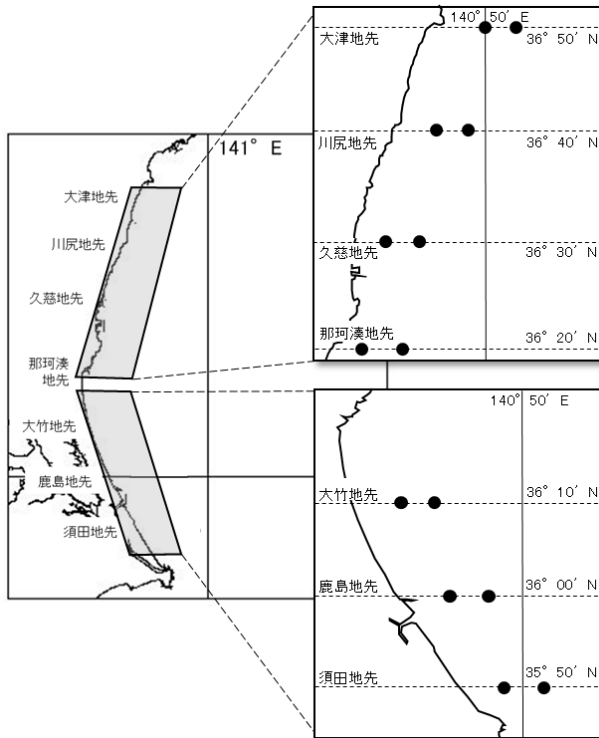


図1 各地先および調査地点 (●: 調査地点)

ンサンプルは10%中性ホルマリンで固定したのち、実験室へ持ち帰り、実体顕微鏡を用いて、便宜的にカイアシ類（ノープリウス幼生を含む）、ヤコウチュウ *Noctiluca scintillans*、オタマボヤ類 *Larvacea*、枝角類 *Cladocera*、ヤムシ類 *Chaetognatha*、多毛類 *Polychaeta*、貝類幼生 *Veliger larva*、甲殻類 *Crustacea*（カイアシ類、枝角類を除く）、カタクチイワシ卵 *E. japonicus egg*、その他 *Others* の10個の分類グループに分け、グループごとに個体数を集計した。集計した個体数は曳網距離から水量を算出し、個体数密度（個体数/L）に換算した。

灘側と沖側においてカイアシ類、ヤコウチュウ、オタマボヤ類、枝角類の個体数密度の差を比較したところ、有意な差が認められなかったため、各地先の灘・沖側における動物プランクトンの個体数密度と環境データの平均値を各地先の代表値として、月・地点別の比較および統計解析に使用した。なお、月・地点別の比較の際にはカイアシ類、ヤコウチュウ、オタマボヤ類、枝角類以外のグループは便宜的にその他としてまとめた。

統計解析には一般化線形混合モデル解析（以下、GLMM解析という）を使用し、カイアシ類の地点別個体数密度を目的変数、水深別環境データを説明変数とし、カイアシ類の分布に影響を与える環境データを検討した。また、調査地点や調査月による測定誤差を考

慮するため、調査地点および調査月をランダム効果として扱った。また、解析前には説明変数間の多重共線性を排除するために *vif* 値を算出し、*vif* 値が10以上となった説明変数のうちどちらか一方を除外した。カイアシ類の分布に影響を与える環境データの検討には Full モデルから Null モデルまでのすべての説明変数を用いた組み合わせにおいて赤池情報量基準（以下、AIC という）を計算し、AIC が最も低かったモデルをベストモデルとして採用した。これらの解析には R version4.0.4 を使用した。

結果

採集調査の結果、カイアシ類とオタマボヤ類が期間を通して全地点で確認された（表1）。カイアシ類の平均個体数密度は灘側で8.71、沖側で7.46と全グループの中で最も高く、次いでヤコウチュウ（灘側：6.06、沖側：6.18）、オタマボヤ類（灘側：2.45、沖側：1.71）、枝角類（灘側：0.61、沖側：0.65）の順となった。灘側と沖側でカイアシ類、ヤコウチュウ、オタマボヤ類、枝角類の個体数密度に差があるかを比較した結果、統計的に有意な差は認められなかった（表2）。

各グループの月別個体数密度を図2に示した。全体の個体数密度は5月から6月にかけて増加したのち、7月以降は減少した。グループごとに注目すると5月はカイアシ類が占める割合が最も多かったが、6月から7月にかけてヤコウチュウの割合が大きく増加し、8月に再びカイアシ類の占める割合が最も多くなった。

各グループの地点別個体数密度を図3に示した。地点別にみると、個体数密度は那珂湊以南の地点で高い傾向となった。グループごとに注目すると、南部（大竹以南）ほどヤコウチュウの個体数密度が高くなった。カイアシ類の個体数密度は那珂湊で最も高く、次いで大竹、久慈、須田の順となった。

地点・水深別で環境データを比較すると、水温は那珂湊以南の全層で高い傾向、塩分は0m深の那珂湊と須田で低い傾向となった（図4）。Chlは0m深の那珂湊と5m深の大竹で高く、DOは水深が深くなるにつれて低くなる傾向がみられた。

カイアシ類の分布に影響を与える環境データを検討するために GLMM 解析を実施した結果、0m深のDOと5m深の塩分を取り入れたモデルがベストモデルとなった（表3）。各説明変数の係数の符号はDO

表 1 採集された動物プランクトンの地点別・月別個体数密度 (個体数/L)

上段：灘側

グループ/地点・月	大津								川尻								久慈								那珂湊								大竹								鹿島								須田								平均
	5				6				7				8				5				6				7				8				5				6				7				8												
	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8																	
カイアシ類	1.34	10.38	3.71	7.75	5.80	7.53	4.60	3.60	13.22	14.06	3.89	11.33	16.57	12.17	7.41	15.60	13.88	13.21	9.67	11.79	4.90	3.07	3.61	11.57	4.90	3.07	3.61	11.57	4.90	3.07	3.61	11.57	3.83	10.17	4.07	15.21	8.71																				
ヤコウチユウ類	-	0.04	3.63	10.94	0.10	0.27	4.37	0.17	1.17	0.22	16.90	1.06	1.20	0.04	2.22	1.11	0.29	12.83	0.58	1.79	4.80	32.07	1.69	5.13	4.80	32.07	1.69	5.13	3.63	10.37	48.53	4.42	6.06																								
オタマボヤ類	0.09	0.63	0.54	1.19	1.00	0.30	1.00	0.23	4.61	0.67	0.83	3.28	8.89	0.92	2.78	1.53	2.54	2.54	5.71	5.13	2.17	0.33	1.56	3.30	2.17	0.33	1.56	3.30	2.17	3.13	2.70	8.75	2.45																								
枝角類	-	-	-	0.06	0.80	0.10	0.13	-	0.89	0.17	0.19	-	0.37	0.13	0.28	-	0.67	2.21	0.04	0.38	4.77	1.60	0.36	0.23	4.77	1.60	0.36	0.23	1.58	1.37	0.70	0.21	0.61																								
ヤムシ類	-	0.04	-	0.33	-	-	0.13	0.07	0.06	0.11	-	0.06	0.14	0.08	0.19	0.60	-	0.13	0.13	0.25	0.03	0.03	0.39	0.47	0.03	0.03	0.39	0.47	-	0.07	0.90	0.33	0.16																								
多毛類	0.42	0.96	0.04	0.94	1.10	0.67	-	-	1.22	0.39	0.05	-	0.14	0.25	0.05	-	0.17	0.13	0.04	0.04	-	0.07	0.17	0.10	-	0.07	0.17	0.10	-	0.10	-	0.21	0.26																								
貝類幼生	0.23	1.00	0.42	0.22	1.00	0.93	0.20	-	0.72	0.50	0.51	0.44	-	0.79	0.42	0.37	-	-	1.42	0.04	-	-	0.33	0.23	-	-	0.33	0.23	-	0.10	-	0.42	0.37																								
甲殻類	-	0.13	0.08	0.08	-	0.27	0.10	0.07	-	0.28	0.09	0.22	-	0.25	-	0.14	-	0.08	0.08	0.08	-	0.03	-	0.07	-	0.03	-	0.07	0.04	0.03	-	0.25	0.09																								
カタクチ卵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	-	0.03	-	0.01																								
その他	-	-	0.17	0.06	-	-	-	0.03	-	0.39	0.05	-	-	-	-	-	0.54	0.04	0.21	-	0.23	0.03	0.14	-	0.23	0.03	0.14	-	0.08	0.07	0.50	-	0.09																								

下段：沖側

グループ/地点・月	大津								川尻								久慈								那珂湊								大竹								鹿島								須田								平均
	5				6				7				8				5				6				7				8				5				6				7				8												
	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8																	
カイアシ類	5.19	8.14	3.33	3.86	4.33	7.78	2.97	3.64	5.89	7.62	3.07	3.10	24.28	22.61	7.67	7.50	4.63	9.17	6.33	16.08	4.25	5.03	7.56	6.67	3.03	7.72	6.33	11.03	7.46																												
ヤコウチユウ類	0.03	0.50	1.89	3.33	0.53	0.19	4.03	0.11	1.40	0.21	4.27	0.77	0.67	0.08	23.50	2.08	0.13	53.73	9.07	1.58	10.89	17.72	0.75	5.33	2.11	17.56	7.17	3.50	6.18																												
オタマボヤ類	0.72	1.36	0.25	0.42	2.47	0.44	0.69	0.56	2.26	1.04	0.60	0.09	2.94	1.03	2.50	2.44	1.80	0.67	4.03	5.29	1.44	0.56	1.50	3.19	1.28	0.86	3.31	4.22	1.71																												
枝角類	0.17	0.03	-	0.03	0.06	0.06	-	0.03	1.01	0.03	0.07	-	2.89	0.14	0.39	0.03	0.37	2.40	0.37	0.21	1.97	3.67	0.44	0.25	0.53	2.28	0.53	0.36	0.65																												
ヤムシ類	0.06	-	-	0.14	0.03	-	-	0.11	-	0.03	0.03	0.09	-	-	0.67	0.31	-	0.17	0.73	0.29	-	0.17	0.72	0.22	-	-	0.56	0.31	0.17																												
多毛類	0.75	0.47	0.03	0.19	0.14	0.42	-	0.03	0.36	0.63	0.03	-	0.08	0.06	0.11	0.06	0.03	0.07	0.10	0.04	-	-	0.17	0.03	-	0.08	0.17	0.08	0.15																												
貝類幼生	0.83	1.11	0.94	0.25	0.08	1.08	0.31	0.06	0.03	0.39	0.10	0.12	0.06	0.42	0.72	0.08	-	0.03	0.67	0.13	-	0.06	0.11	0.11	-	0.03	0.19	0.31	0.29																												
甲殻類	0.11	0.36	0.06	0.08	-	0.28	0.08	0.06	0.06	0.24	0.30	0.12	0.08	0.33	0.22	0.28	-	-	-	-	0.21	0.03	0.03	-	0.08	-	0.03	-	0.12																												
カタクチ卵	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-	0.01																												
その他	-	-	0.11	0.11	0.03	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-	0.22	-	0.40	0.03	1.13	-	-	0.06	0.11	-	0.06	0.03	2.53	-	0.18																												

が正、塩分が負となった。

表2 灘側と沖側の個体数密度 (個体数/L) の比較

	灘		沖		t 値	p 値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差		
カイアシ類	8.71	4.58	7.46	5.34	0.94	0.350
ヤコウチュウ類	6.06	10.83	6.18	11.14	-0.04	0.966
オタマボヤ類	2.45	2.34	1.71	1.36	1.44	0.157
枝角類	0.62	1.00	0.65	1.00	-0.14	0.886

考 察

カイアシ類は海産動物プランクトンの中で最も繁栄した分類群とされており、国内においても北海道や東北海域、富山湾、東京湾、相模湾、志々伎湾、北部薩南海域などでその優占が報告されている(中田, 1982; 上田, 1982; 城・宇野, 1983; 野村・村野, 1992; 小達, 1994; 関・清水, 1997; 小針ほか, 2020)。本研究の結果からも、本県浅海域に出現する動物プランクトンの中で最も個体数密度が高かったのはカイアシ類であった。

全体の個体数密度は那珂湊以南の南部で高く、これはカイアシ類およびヤコウチュウの個体数密度に起因していた。なお、7月になると南部だけでなく、北部においてもヤコウチュウの個体数密度が増加し

た。一方で、カイアシ類は7月に大きく減少しているが、富山湾や東京湾ではカイアシ類の出現種の変化によって春季と秋季に個体数密度のピークを迎える二峰型を示すことが報告されており(野村・村野, 1992; 井口・辻本 1997)、本県海域においても出現種の変化によって、7月に個体数密度が一時的に減少した可能性が考えられるものの、本研究では種レベルまでの同定を実施できなかったため、明確な減少要因は不明である。

GLMM 解析の結果、カイアシ類の分布に影響を与える要因は DO と塩分であることが示唆された。係数値をみるとカイアシ類の個体数密度と DO は正の相関を示したことから、DO が多いほど個体数密度が高く、塩分とは負の相関を示したことから、塩分が低いほど個体数密度が高くなるという結果になった。DO とカイアシ類の関係は、三河湾において貧酸素化の進行とともにカイアシ類群集が底層から消失したことが報告されている(鈴木, 1988)。本県海域は外洋に面することから湾奥部のような貧酸素水塊が発生する可能性は低いと考えられるが、GLMM 解析の結果からカイアシ類は本県海域において DO の多い環境を選好している可能性が示唆された。塩分とカイアシ類の関係については東京湾および富山湾において河川水や都市排水の流入量増加に伴い個体数密度が増加することが報告されている(平川ほか, 2004; 伊東・青木, 2010)。カイアシ類の個体数密度が最も高かった那珂湊地先は一級河川である那珂川の河口に隣接していること、また、比較的カイアシ類の個体数密度が高かった南部の地点にも一級河川である利根川の河口が存在していることから、本県海域においても大規模河川の河口周辺で個体数密度が高くなると考えられる。カイアシ類を主要な餌料とするシラスもまた河川水との間に深い関係がみられるとされ、近藤(1971)では主に河川水の流入する砂泥質の沿岸域に漁場が形成されるとし、三谷・長谷川(1988)によると、全長 3.5 cm 以下のシラスは低塩分域に生息するが、成長に伴う食性の変化(低塩分水域に生息する小型カイアシ類から沖合性の大型プランクトンへの食性変化)により河川水の影響の少ない海域へ移動するとしている。これまでに本県海域においてシラスの主要漁場が河口周辺に形成されるとの報告はないが、富永・二平(1997)によると、シラス漁場は水温・塩分差の大きいところおよび濁度の高いところに形成されるとしており、このような環境は河口周辺に形成されやすいと

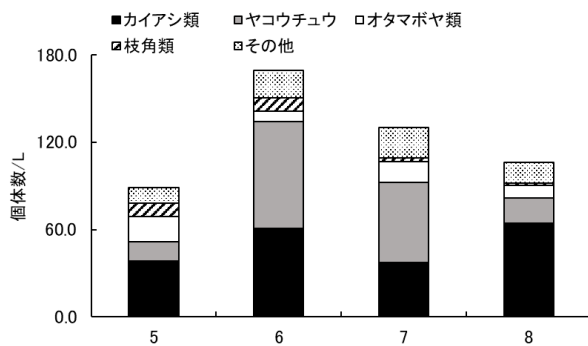


図2 各グループの月別個体数密度の推移

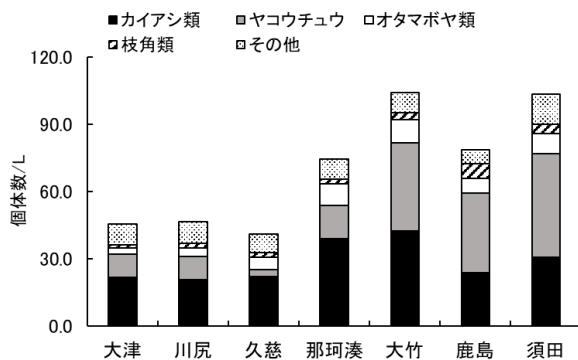


図3 各グループの地点別個体数密度

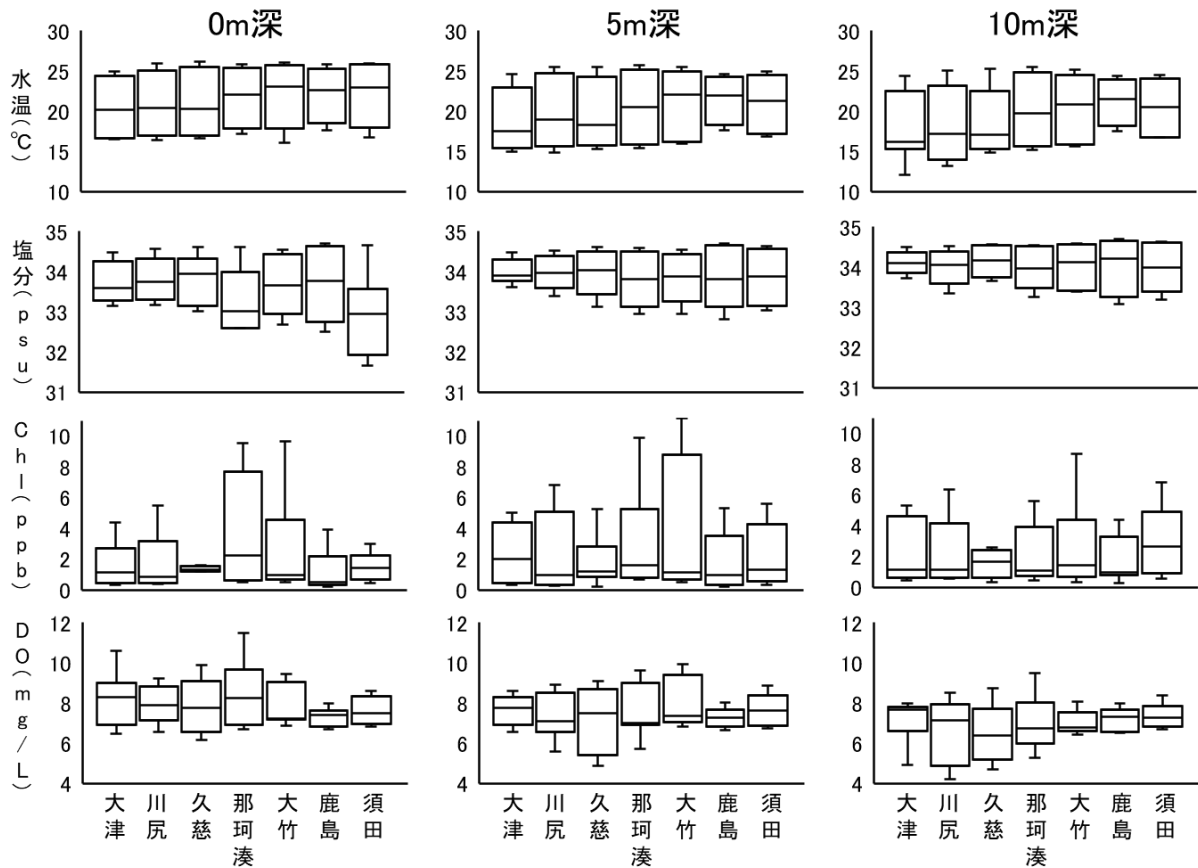


図4 地点・水深別の各環境データの比較

表3 カイアシ類の GLMM 解析結果

説明変数	カイアシ類			
	係数値	標準誤差	Pr(> z)	
切片 (固定効果)	64.8291	51.1125		
0m深	水温			
	塩分			
	Chl			
	DO	1.705	0.5777	**
5m深	水温			
	塩分	-2.0719	1.5137	
	Chl			
	DO			
10m深	水温	—	—	—
	塩分	—	—	—
	Chl			
	DO			

*: p<0.1, **: p<0.05, ***: p<0.01

・地点および調査月による測定誤差を考慮するため、これらの項目をランダム効果として設定した。
 ・多重共線性による影響を排除するため、各説明変数間の vif 値を算出し、vif 値が 10 以上となった場合はどちらか一方を除いた(表中(-))。

考えられることから、本県海域におけるシラスの漁場形成機構はカイアシ類の分布特性と密接に関係している可能性が示唆された。

要 約

(1) 春夏季にシラスの漁場となるような浅海域において網羅的な動物プランクトン採集調査を実施した結果、カイアシ類が最も優占して出現し、次いでヤコウチュウ、オタマボヤ類となった。カイアシ類の優占的な出現は全国各地で報告されており、本県浅海域においても同様の結果となった。

(2) 各グループ合計の月別個体数密度を比較すると、5月から6月にかけて増加したのち、7月に大きく減少、8月に再び増加した。グループ別の個体数密度は、5月にカイアシ類が占める割合が最も多かったが、6月、7月はヤコウチュウの占める割合が最も多くなった。8月になると再びカイアシ類が優占した。カイアシ類の増減は構成種の変化によるものと推察された。

(3) 調査地点別に個体数密度を比較すると、那珂湊以南で高い傾向となり、カイアシ類およびヤコウチ

ユウに起因して高くなっていることが明らかになった。

(4) GLMM 解析の結果、カイアシ類の分布に影響を与える要因として、DO (正の相関) と塩分 (負の相関) が抽出され、DO が多く、塩分が低いほどカイアシ類の個体数密度が高くなることが示唆された。そのため、本県海域では DO が多く、塩分の低い大規模河川の河口周辺で個体数密度が高くなる可能性が示された。

謝 辞

本研究を行うにあたり、調査手法および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首席研究員兼回遊性資源部長の須能紀之氏、同主任研究員の荒井将人氏、調査船の操船及び調査にご助力いただいた茨城県水産試験場の鬼澤達也氏、小瀧寿義氏、土田康範氏、サンプルの分析作業にご助力いただいた茨城県水産試験場の青木有希子氏に心より御礼申し上げます。

文 献

井口直樹・辻本 良 (1997) 富山湾におけるカタクチイワシ仔魚餌料としてのカイアシ類群集の季節変化. 日本海区水産研究所研究報告; 47: 79-94.

伊東 宏・青木延浩 (2010) 東京湾における浮遊性カイアシ類の時空間的分布. 日本プランクトン学会報; 57 (2): 94-104.

上田拓史 (1982) 志々伎湾の動物プランクトンに関する研究-II. 1975年9月から1976年4月までの動物プランクトン群集, 特に内湾性橈脚類の分布特性について; 西海区水産研究所研究報告; 58: 1-22.

宇田道隆 (1960) 海洋漁場学. 水産学全集第16巻, 恒星社厚生閣, 東京, 347pp.

小達和子 (1994) 東北海域における動物プランクトンの動態と長期変動に関する研究. 東北区水産研究所研究報告; 56: 115-173.

大森健策・高橋佑太郎 (2021) 2020年~2021年春季の常磐南部~鹿島灘海域における主要小型浮魚類卵・仔魚の出現状況. 中央ブロック卵・稚仔、プランクトン調査研究担当者協議会研究報告; 41: 100-105.

小針 統・山崎朱音・遠藤有紀・久米 元・小森田智大・一宮睦雄・幅野明正・有田洋一・牧野文洋 (2020) 北部薩南海域におけるメソ動物プランクトン群

集の時空間変動. 海の研究; 29 (6): 217-232.

近藤恵一 (1971) 発育と生活. pp. 10-32. カタクチイワシの生態と資源. 日本水産資源保護協会, 東京.

城 久・宇野史郎 (1983) 大阪湾における動物プランクトンの現存量とそれから見積られる生産量. 日本プランクトン学会報; 30 (1): 41-51.

鈴木輝明 (1988) 貧酸素水塊と赤潮 - その海洋生態学的 - 考察 -. 水質汚濁研究; 11 (7): 422-424.

関 二郎・清水幾太郎 (1997) 北海道広尾沿岸における春-夏季の動物プランクトン群集の分布性状. 日本プランクトン学会報; 44 (1/2): 21-30.

富永 敦・二平 章 (1997) 鹿島灘におけるカタクチイワシシラスの魚群分布と海洋環境. 茨城県水産試験場研究報告; 35: 13-18.

中田尚宏 (1982) 相模湾の動物プランクトンの時間的変動. 神奈川県水産試験場研究報告; 45: 63-71.

野村英明・村野正昭 (1992) 東京湾における中・大型動物プランクトンの季節的消長. La mer; 30: 49-56.

平川和正・後藤常夫・平井光行 (2004) 富山湾におけるマイワシおよびカタクチイワシ仔魚の餌料としてのカイアシ類 *Oithona* 属の分布. 日本プランクトン学会報; 51 (1): 1-12.

三谷 勇・長谷川 保 (1988) 河川水の流入に伴う表面塩分変化とカタクチシラス漁場の形成. 水産海洋研究会報; 52 (4): 297-303.

由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・井須小羊子・渡部亮介 (2021a) 令和2 (2020) 年度マイワシ太平洋系群の資源評価. 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, 52pp, https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2020/details_2020_01.pdf.

由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・井須小羊子・渡部亮介 (2021b) 令和2 (2020) 年度マサバ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産教育・研究機構, 東京, 53pp, https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2020/details_2020_05.pdf.