

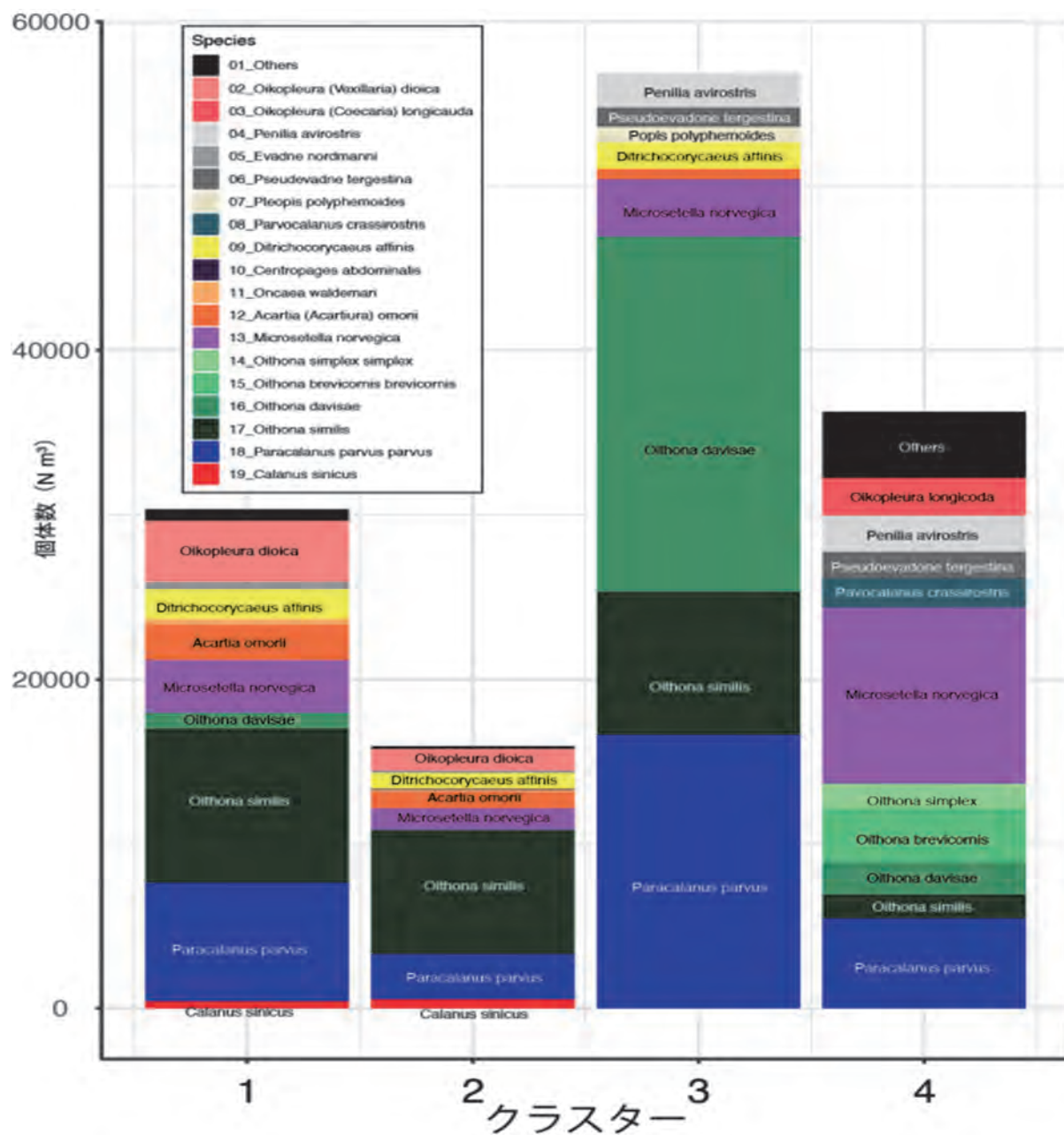


図4 各クラスターの優占種（個体数の上位10種）

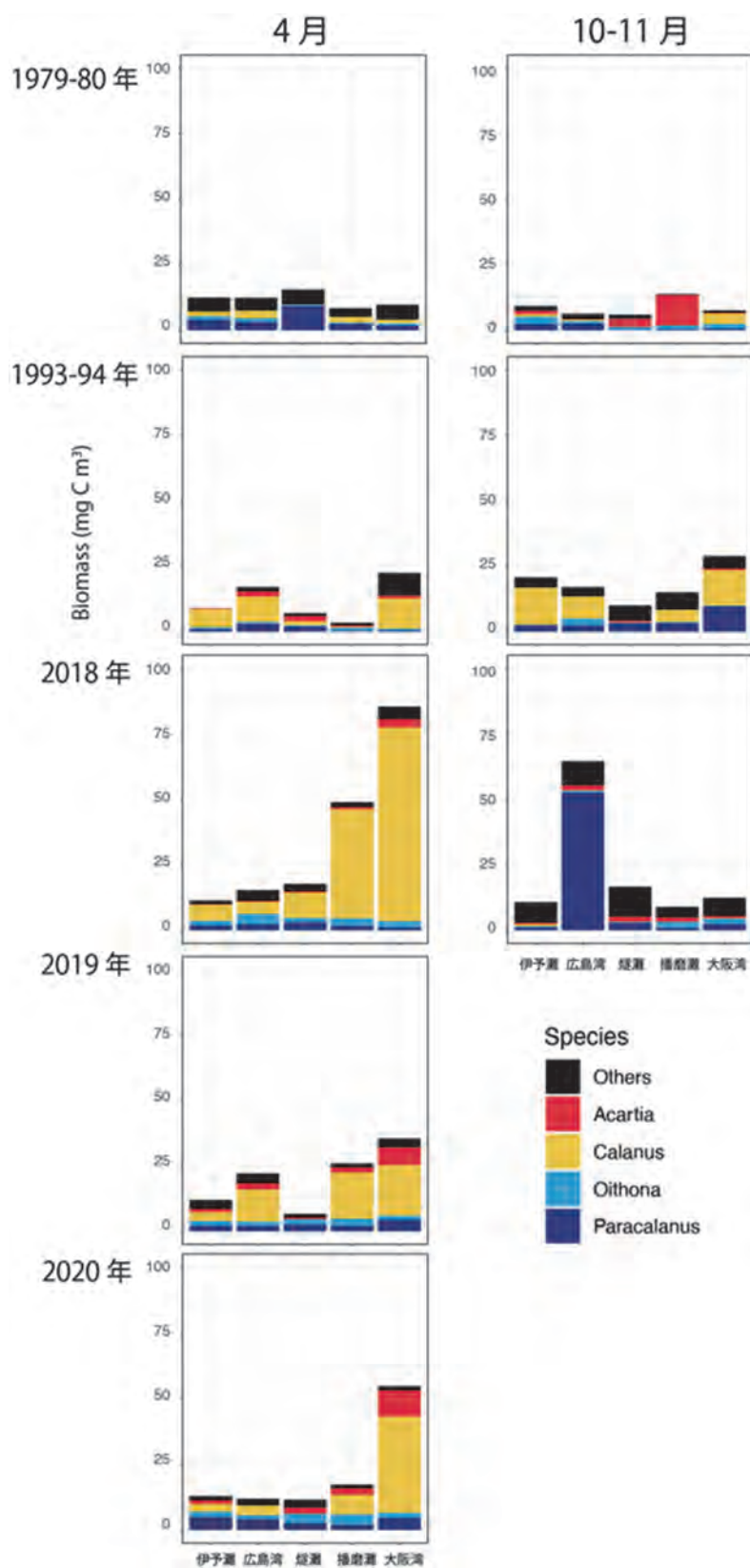


図5 4月と10月の主要種の現存量 (mg C m⁻³) の比較

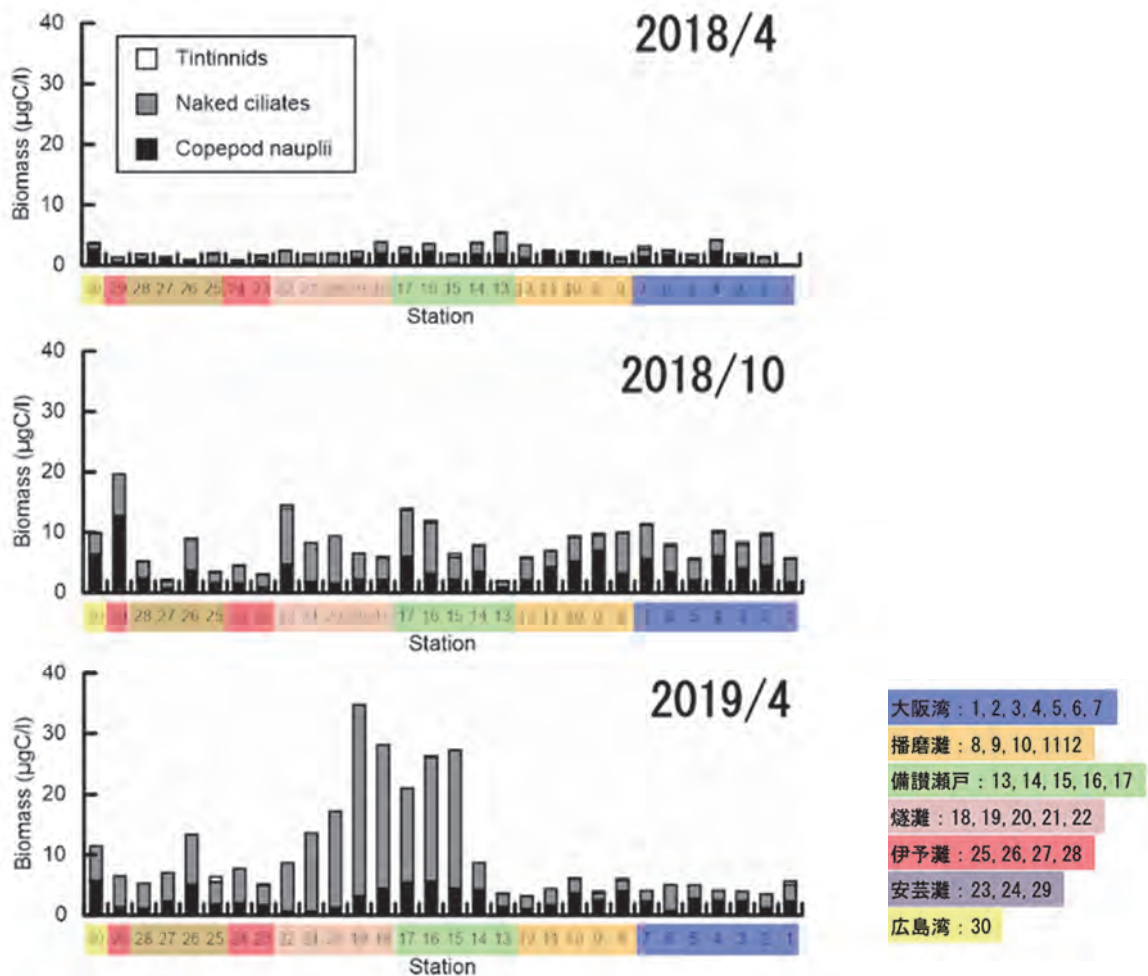


図6 各観測点におけるマイクロ動物プランクトンの現存量 (mg C m^{-3})

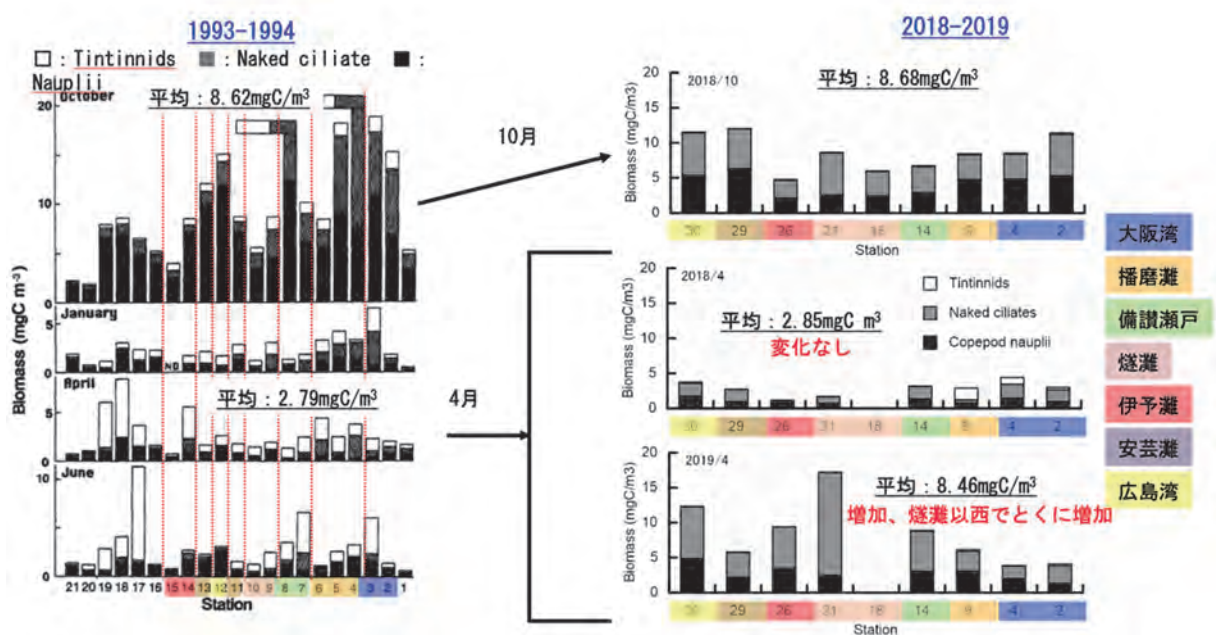


図7 4月と10月のマイクロ動物プランクトンの現存量 (mg C m^{-3}) の年代間の比較

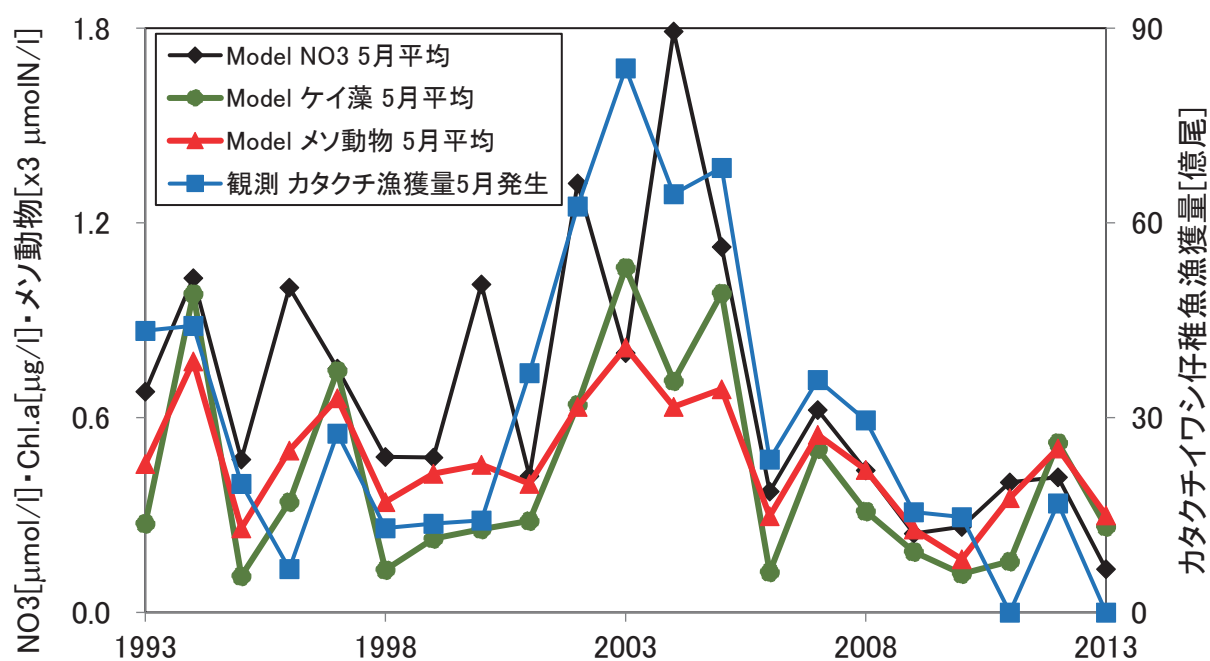


図8 モデルにより再現された春季(5月)の栄養塩濃度、ケイ藻・メソ動物現存量と観測されたカタクチイワシ仔稚魚5月発生群の経年変動

	Model ケイ藻 5月	Model メソ動物 5月	観測カタクチ 5月発生
Model NO3 5月	<u>0.63</u>	<u>0.71</u>	<u>0.65</u>
Model ケイ藻 5月	⋮	<u>0.94</u>	<u>0.79</u>
Model メソ動物 5月	⋮	⋮	<u>0.75</u>

図9 モデルにより再現された春季(5月)の栄養塩濃度、ケイ藻・メソ動物現存量と観測されたカタクチイワシ仔稚魚5月発生群の経年変動間の相関係数(全て $p < 0.01$)

		冬のChl.aとの相関				春のChl.aとの相関				夏のChl.aとの相関				秋のChl.aとの相関			
		DIN		DIP		DIN		DIP		DIN		DIP		DIN		DIP	
		DIN-0m	DIN-B1	DIP-0m	DIP-B1	DIN-0m	DIN-B1	DIP-0m	DIP-B1	DIN-0m	DIN-B1	DIP-0m	DIP-B1	DIN-0m	DIN-B1	DIP-0m	DIP-B1
東部	和歌山	0.24	0.21	0.10	-0.08	-0.07	0.02	-0.22	-0.18	-0.19	-0.10	0.07	0.07	0.29	0.12	0.26	0.09
	徳島(紀伊水道)	0.03	-0.24	-0.29	-0.45	-0.16	-0.09	-0.08	-0.06	-0.02	0.11	0.09	0.33	-0.32	-0.34	-0.14	0.02
	徳島(播磨)	-0.45	-0.18	-0.32	-0.03	-0.21	-0.33	-0.33	-0.10	-0.31	-0.25	-0.33	0.05	-0.62	-0.48	-0.44	-0.36
	大阪	0.46	-0.11	0.30	-0.14	0.54	0.38	0.24	0.16	0.39	0.19	0.11	-0.07	0.09	0.02	0.13	0.03
	兵庫	0.09	-0.28	0.11	-0.15	-0.20	0.02	0.22	0.21	0.30	-0.05	0.17	-0.04	0.04	-0.03	0.35	0.21
中部	岡山	-0.13	-0.24	-0.10	-0.08	-0.03	0.00	0.19	0.29	0.35	-0.12	0.13	-0.25	0.21	0.12	0.21	0.14
	香川(播磨)	0.10	-0.04	0.18	0.11	-0.16	-0.16	-0.25	-0.09	0.08	-0.19	0.21	-0.14	-0.24	-0.14	0.04	0.07
	香川(備讃瀬戸)	-0.17	-0.17	-0.07	-0.03	-0.18	-0.25	0.03	-0.05	-0.12	-0.19	-0.16	-0.30	-0.14	-0.11	0.02	-0.06
	香川(綾瀬)	0.13	0.07	0.13	0.12	-0.24	0.27	-0.15	0.09	-0.09	-0.09	-0.18	-0.23	-0.19	-0.18	-0.11	-0.14
	広島(備後)	0.00	0.03	-0.40	-0.25	-0.22	0.24	-0.19	-0.06	-0.25	-0.18	-0.11	-0.26	0.08	0.08	0.08	-0.04
西部	広島(安芸灘)	0.09	0.17	-0.20	-0.26	0.01	0.25	-0.04	0.10	0.03	-0.13	-0.35	-0.38	-0.34	-0.18	0.07	0.38
	広島(広島湾)	-0.02	0.28	-0.24	0.10	0.33	-0.08	0.14	-0.04	-0.03	0.09	-0.28	-0.22	0.20	0.09	0.05	-0.21
	愛媛(綾瀬)	0.24	0.00	0.11	0.15	-0.06	0.22	-0.02	0.12	0.17	-0.04	0.11	-0.08	-0.25	-0.40	-0.21	-0.07
	山口	0.28	0.41	-0.04	-0.17	0.07	0.01	0.10	-0.19	-0.07	-0.04	0.32	-0.20	0.45	0.25	0.38	0.19
	福岡	0.25	0.31	-0.11	-0.16	0.10	0.15	0.31	0.23	0.11	0.19	-0.12	-0.14	0.38	0.42	0.34	0.38
西部	大分(豊前)	0.14	0.20	-0.48	-0.20	-0.11	-0.01	0.06	-0.02	0.34	0.12	0.02	-0.06	0.10	0.09	0.16	0.00
	大分(伊予灘)	-0.09	0.08	-0.13	-0.09	-0.06	0.19	-0.06	-0.04	0.05	-0.21	0.09	0.03	0.11	-0.07	0.22	0.11
	大分(別府)	0.19	-0.23	-0.15	-0.14	0.10	0.12	-0.13	-0.09	-0.07	0.09	0.51	0.09	-0.02	0.02	-0.07	0.08

赤：正の相関、青：負の相関、信頼限界95%以上で太字、99%以上で下線

図 1 0 1981 年から 2013 年にかけての海域別・季節別の栄養塩(DIN・DIP, 表層 0m, 底層 B-1m)、植物プランクトン(表層 Chl.a)の経年変動間の相関係数

		水温と動プラの相関				栄養塩と動プラの相関							
		水温		水温(偏差)		DIN		DIP		DIN(偏差)		DIP(偏差)	
		水温-0m	水温-B1	水温-0m	水温-B1	DIN-0m	DIN-B1	DIP-0m	DIP-B1	DIN-0m	DIN-B1	DIP-0m	DIP-B1
冬	1月	0.19	0.16	0.22	0.17								
	2月	0.47	0.42	0.33	0.28	-0.15	0.14	-0.04	-0.02	0.12	0.19	0.05	-0.09
	3月	0.10	0.12	0.02	-0.06								
春	4月	0.44	0.46	0.40	0.37								
	5月	0.14	0.11	0.13	0.11	0.39	0.31	0.12	0.26	0.46	0.49	0.12	0.28
	6月	-0.39	-0.23	-0.41	-0.05								
夏	7月	-0.26	-0.42	-0.25	-0.37								
	8月	-0.12	0.12	-0.05	0.19	0.15	0.20	-0.03	0.22	0.22	0.13	0.00	0.27
	9月	0.22	-0.18	0.17	-0.10								
秋	10月	-0.11	-0.46	0.06	-0.31								
	11月	-0.17	-0.28	-0.08	-0.24	-0.17	-0.16	0.07	-0.10	-0.34	-0.21	0.06	-0.09
	12月	-0.07	-0.13	-0.14	-0.21								

赤：正の相関、青：負の相関、信頼限界95%以上で太字、99%以上で下線

図 1 1 1981 年から 2013 年にかけての大阪湾における月別の水温・水温偏差(表層 0m, 底層 B-1m)、栄養塩濃度・栄養塩濃度偏差(DIN, DIP, 表層 0m, 底層 B-1m)、動物プランクトン(*Paracalanus parvus*)現存量・現存量偏差(鉛直積算値)の経年変動間の相関係数

課題番号：2) -イ

課題名：水質環境及び餌料環境と小型魚類生産量との因果関係の評価

水産研究・教育機構 水産技術研究所

米田道夫，中村政裕

水産研究・教育機構 水産資源研究所

河野悌昌，高橋正知

香川県水産試験場

山本昌幸，西岡俊洋，宮川昌志

【背景・目的】

瀬戸内海の有用魚類複数種において、近年、漁獲量の減少や低迷が顕著になっている。瀬戸内海の代表有用種であるカタクチイワシでは、当該系群全体の資源水準は中位で、動向は横ばいと評価されている（水産庁 2019）。しかし、灘や湾によってその状況は異なり、特に燐灘のカタクチイワシでは加入量の低迷が顕在化しており、2014 年にはシラス（仔魚）が全く漁獲されないという異例の不漁に陥った。このような現象は、生息域の物理・生物環境、対象種の生物特性や生活史が湾や灘によって異なることに起因しているのではないかと考えられるが、その詳細は不明である。カタクチイワシをはじめ、多くの魚類は動物プランクトンを餌料として利用していることから、栄養塩等の水質環境が小型魚類の生産量に及ぼす影響を評価するには、動物プランクトンを介した水質環境と対象種の生産量の因果関係を明らかにすることが重要である。そこで、本課題では、燐灘およびその周辺海域での海洋環境調査およびカタクチイワシなどの卵仔魚調査や成熟・産卵調査を進め、過去の調査結果と比較しながら、海洋環境と加入量との関連性を検証する。これにより、小型魚類の生産量に及ぼす環境条件の影響を評価するための基盤作りを行う。今年度は、まず、燐灘の餌料環境およびカタクチイワシ卵仔魚等の調査を行い、最近年の加入動向を把握した。次に、燐灘の海洋環境やカタクチイワシの生物特性に関する経年変化について、一般化加法モデル(GAM)や線形混合効果モデル(LME)などを利用しながら、生物・物理環境と加入量の関係を明らかにした。最後に、得られた成果に基づいて、燐灘におけるカタクチイワシの加入低迷と低次生産環境との因果関係を考察した。

【方法】

(1) 海洋環境およびカタクチイワシ卵仔魚調査

2020 年 4～9 月において、CTD や採水などによる海洋環境（水温、動物プランクトン）調査、丸特ネットなどを用いたカタクチイワシ卵仔魚調査などを行った。また、漁獲された親魚の肥満度の月別変化、耳石の日齢査定結果などに基づいた仔稚魚の発生月別漁獲尾数を推定した。肥満度は次式により求められた：肥満度＝ $\text{卵巣除去体重} \times 10^6 / \text{SL}^3$ 。最近年の動向を調べるため、2018～2020 年の調査結果を比較した。

(2) 加入量，産卵量，初期生残指数の長期データ解析

仔稚魚の発生月別漁獲加入尾数（加入尾数）を推定するため、漁獲された仔稚魚の耳石日

齡解析から各發育段階の平均体長（体重）と日齡を求め、仔稚魚の漁獲量から個体数と發生月を求めた。各月の総産卵数の推定では、河野・錢谷（2008）に従って、卵發生と水温の關係や卵期の生殘率（0.6）などを考慮して求めた。1994～2019 年 5、6 月における加入尾数と総産卵数の關係を LME により調べた。仔魚密度の推定では、丸特ネットで採取された 1 m³ 当たりの仔魚（体長< 約 5 mm）の平均個体数を月毎に求めた。各發育段階の生殘指數を次式により求めた：卵～仔魚期（卵～摂餌開始（約 4 日齡））＝仔魚密度／産卵数，卵～加入量（卵～約 50 日齡）＝加入尾数／産卵数，仔魚～加入量（摂餌開始～約 50 日齡）＝加入尾数／仔魚密度。生殘指數に及ぼす海面表層水温（SST）と調査年の影響を GAM により調べた。

（3） 燐灘カタクチイワシ親魚の餌料環境の経年変化と摂餌選択性

2001～2019 年にノルパックネットにて採取されたカイアシ類の 8 種の現存量（炭素重量）を調べた。カイアシ類各種の炭素重量（mg/m³）は Uye (1982, 1991), Uye et al. (2002) に基づいて推定した。カイアシ類各種の現存量に及ぼす SST と調査年の影響を GAM により調べた。親魚の摂餌選択性を調べるため、2015～2017 年に親魚の胃内容物調査と餌料調査が同日に実施された計 6 回について、クラスター分析を用いてカイアシ類 5 種のグループ毎に区別した（調査期間に出現しなかった *Calanus*, *Centropages*, *Oncaea* を除いた）。

（4） 親魚の肥満度の経年変化および餌料環境との関係

2001～2019 年 5、6 月に採取された雌親魚（体長 90～110mm）計 8120 尾の肥満度の経年変化を LME により調べた。また、（3）の餌料調査の結果に基づいて、カイアシ類の現存量に及ぼす SST と調査年の影響を GAM により調べるとともに、5、6 月のカイアシ類現存量と雌親魚の肥満度の關係を LME により調べた。

（5） 燐灘カタクチイワシの卵サイズと水温の關係における豊漁年と不漁年の比較

2005～2006 年、2009～2010 年、2015～2016 年の 5、6 月に採取された卵の体積（V mm³， $V = \text{長径} \times \text{短径}^2 \times 4 \div 3$ ）と SST の關係における調査期間（年）の影響を LME により調べた。また、各調査年における肥満度と生殘指數（卵～漁獲仔稚魚（卵～約 50 日齡）＝加入尾数÷産卵数）について、3 期間を LME により比較した。

（6） ボンゴネット採集に基づく初期生殘の豊漁年と不漁年の比較

2001～2005 年（豊漁年）および 2016～2020 年（不漁年）の初期生殘について、ボンゴネット採集による調査を実施し、Zenitani et al. (2007) に基づいて、仔魚の日間生殘率をそれぞれ推定した。また、加入尾数と日間生殘率の關係、日間生殘率と餌料環境の關係を一般化線形モデル (GLM) により調べた。

【結果】

（1） 海洋環境、カタクチイワシ卵仔魚および加入動向

2020 年 4～7 月に丸特ネットで採取されたカイアシ類の沈殿量は最近 3 年間で最も低く推移した（図 1a）。2020 年 4～6 月の雌親魚の肥満度も過去 3 年間で最も低く推移した（図 1b）。2020 年 5、6 月のカイアシ類ノープリウス幼生の密度は最近 3 年間で最も低かった（図 1c）。2020 年 5 月發生の加入尾数は、最近 3 年間ではやや高い傾向が認められたものの、5、6 月發生の加入尾数は中位であった（図 1d）。以上から、カタクチイワシの加入量は依然として低く推移していることが示された。

（2） 加入量、産卵量、初期生殘指數の経年変化

燧灘では 5, 6 月発生群が加入の主体を構成していたが, 2005 年から 5 月発生群の加入尾数が激減するとともに, 2010 年から 6 月発生群の加入尾数も減少した (図 2)。産卵数は年による変異が比較的大きいものの, 経年的に増加し, 特に 2015 年以降には 4, 5 月の産卵量が増加した (図 3a)。このような最近年の産卵数の増加は昇温の早期化が起因していることが示された。すなわち, SST の経年変化から, 15°C に達する時期は 90 年代後半では 5 月上旬であったが, 2015 年以降は 4 月下旬に早まっていること, さらに 2015 年以降 5~6 月の昇温が加速していることがそれぞれ判明した。カタクチイワシでは, 水温 15°C 以上の昇温が産卵開始の引き金であること (靄田 1992), 水温上昇に伴って産卵間隔が短くなることにより総産卵数が増加すること (Yoneda et al. 2014) が知られている。一方, 加入尾数と産卵数には負の相関が認められ ($p < 0.01$, LME; 図 3b), 最近年では発育初期の減耗が拡大していることが示唆された。

各発育段階における初期生残の経年変化を調べた結果, 卵~仔魚期の生残指数は SST 約 20°C で最大となることが示されたが (図 4a), 調査年の有意な影響は認められなかった。一方, 卵~加入量および仔魚~加入量の生残指数は SST と調査年の相互作用の影響を受けることが明らかになった ($p < 0.001$, GAM; 図 4b, c)。すなわち, 生残指数は 2000 年代中盤までは 17~23°C で最大であったが, その後全水温帯において顕著に減少し, 特に 2015 年以降では 18°C 以下の低水温帯で最も低かった。以上のことから, カタクチイワシの卵期の生残には経年的な変化が認められなかったが, 仔魚期以降の生残率はこの 26 年間に於いて顕著に低下していることが明らかになった。

(3) カタクチイワシ親魚の餌環境の経年変化と摂餌選択性

カイアシ類 8 種類の現存量に及ぼす SST と調査年の影響を GAM により調べた結果, 次の 4 つの傾向が認められた。1 つ目は *Acartia* spp. や *Calanus sinicus* などのように低水温帯で現存量が高い群 (6 種; 図 5a, b), 2 つ目は *Paracalanus* spp. のように高水温帯 (22°C でピーク) において現存量の高い群 (1 種; 図 5c), 3 つ目は *Calanus sinicus* や *Oithona* spp. のように現存量が最近年減少している群 (5 種), 4 つ目は *Acartia* spp. や *Microsetella norvegica* のように現存量が最近増加している群 (2 種) であった。一方, *Paracalanus* spp. は調査年の有意な影響は認められず ($p = 0.06$), 過去と現在で現存量は類似していること, *Microsetella norvegica* は SST に有意な影響を受けておらず ($p = 0.10$), SST に対して一定量出現していることが示唆された。

クラスター分析により, 第 1 主成分には摂餌選択指数が, 第 2 主成分には環境中での出現割合が選択され, 3 つのクラスターによって観察値が区別された。その結果, 次の 3 つのグループに分けられた。グループ 1 は摂餌選択性が高く, 環境中に多い *Paracalanus* spp., グループ 2 は摂餌選択性が高いが, 環境中には少ない *Corycaeus* spp. と *Microsetella norvegica*, グループ 3 は摂餌選択性が低く, 環境中に中程度出現する *Acartia* spp. と *Oithona* spp. であった。このことから, グループ 3 はカタクチイワシ親魚の餌料として重要な役割を果たしていないと考えられた。一方, グループ 1 と 2 は親魚の餌料として重要であるものの, *Paracalanus* spp. の現存量は過去と現在で類似していることから, 経年的な親魚の肥満度の変化に影響を及ぼす餌料ではないと考えられた。今回の調査で環境中に出現しなかった *Calanus sinicus*, *Centropages* spp., *Oncaea* spp. は, 当該海域のカタクチイワシ親魚の餌料として利用されていることが明らかになっており (山本・片山 2012), グループ 2 と同様に, 経年的な親魚の肥満度の変化に影響を及ぼす餌料であることが示唆された。

(4) カタクチイワシ親魚の肥満度の経年変化と餌料環境との関係

雌親魚の肥満度は経年的に減少していることが明らかになり($p<0.001$, LME; 図 6), 2019 年の肥満度は 1994 年の約 86% (2001 年の約 89%) であると推定された。飼育実験の結果から、産卵期間中の雌親魚の肥満度は産卵直前の餌料条件(給餌量)の影響を受けることが明らかになっている(Yoneda et al. 2014)。そこで、カイアシ類 8 種の現存量と(3)で示したグループ 2 の *Corycaeus* spp. と *Microsetella norvegica* および *Calanus sinicus*, *Centropages* spp., *Oncaea* spp. を併せた計 5 種の現存量について、SST と調査年の影響を GAM によりそれぞれ調べた。その結果、5 種のカイアシ類の現存量は、全 8 種の現存量と比べて、低水温帯で高いものの、経年的に減少していることがより明確に示された(図 7a, b)。そこで、5, 6 月のカイアシ類全 8 種と 5 種の現存量と雌親魚肥満度の関係を調べたところ、前者には有意な相関は認められなかったが($p=0.56$, LME; 図 8), 後者では有意な正の相関が認められた($p<0.01$)。以上から、産卵期間中における雌親魚の経年的な肥満度の減少には、低水温帯で現存量が高いカイアシ類 5 種の減少が影響していると考えられた。一方、加入尾数と肥満度には正の有意な関係が認められ($p<0.01$; LME), 肥満度の高い時期には加入が良好であることが示された。このことから、雌の餌料環境や栄養状態が卵質(初期生残)に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

(5) 燐鰯カタクチイワシの卵サイズ、肥満度、生残指数の経年変化

卵サイズと水温の関係は 2005~2006 年, 2009~2010 年, 2015~2016 年の 3 期間において有意に異なることが示されるとともに($p<0.001$, LME), 肥満度や生残指数にもそれら期間で違いが認められた(表 1)。2005~2006 年と 2009~2010 年は、卵サイズにおいて 2% の差異が認められたが、肥満度および生残指数は類似した。一方、2015~2016 年は、2009~2010 年に比べて、肥満度と卵サイズで約 7% 小さく、さらに生残指数は約 96% 低かった。飼育実験から、15 日齢までの仔魚の成長率は卵サイズと親魚の餌料条件の影響を受けることが明らかとなった(米田ほか 未発表)。すなわち、同じ水温・餌料条件下でも、大型卵由来の仔魚は小型卵由来の仔魚に比べて成長が速いこと、さらに、同じ卵サイズでも、高給餌由来の親から生まれた仔魚は低給餌由来の仔魚に比べて成長が速いことがそれぞれ示された。これらのことから、産卵直前の親魚の餌料環境は、仔魚の成長ポテンシャルを介して、初期生残(加入成功)に影響を及ぼす可能性のあることが示唆された。

(6) ボンゴネット採集に基づく初期生残の豊漁年と不漁年の比較

2016~2020 年 5, 6 月において、いずれの調査でも孵化仔魚は数多く出現した。一方、摂餌開始以降、仔魚の出現は急激に減少し、特に 2016 年と 2017 年の 5 月では、体長 7mm (約 14 日齢) 以上の仔魚はほとんど認められなかった。2001~2005 年(豊漁年)の平均日間生残率は 83% であったが、2016~2020 年(不漁年)の平均日間生残率は 32% であった。なお、2020 年 5 月の調査において仔魚が偶発的に大量採取されたため、日間生残率が高く推定されたが(68.2%), 当月の加入尾数は最近 3 年間で類似していることから、やや過大評価されていると考えられた。加入尾数と(豊漁年と不漁年を含めた)日間生残率には強い正の相関が認められ($p<0.001$, GLM; 図 9a), 孵化後約 2 週間の生残率が約 50 日齢の加入量に影響を及ぼしていることが明らかになった。一方、日間生残率と餌料環境(仔魚 1 尾当たりのカイアシ類ノープリウス密度)の間には有意な相関は認められず($p=0.33$; 図 9b), 餌料環境が同じでも、不漁年の日間生残率は豊漁年に比べて顕著に低いことが示された。餌料環境調査から、2000

年代前半に比べて、2018 年、2019 年のカイアシ類ノープリウス密度は高いものの、仔魚が利用しやすいと考えられるカラヌス目の出現割合が顕著に減少していることが示されている（田所ほか 2020）。このようなカイアシ類ノープリウス幼生の種組成変化は、カタクチイワシの初期生残と餌料密度の関係におけるミスマッチを説明する一因であると考えられた。

以上の結果に基づいて、燐灘のカタクチイワシ加入低迷と低次生産環境との因果関係について取りまとめたものが図 10 である。近年では栄養塩の低下により、春季の珪藻ブルーミングが縮小していると考えられている（田所ほか 2020）。このような影響により、カタクチイワシの餌料環境、特に低水温帯において現存量が高いカイアシ類の減少が親魚の肥満度の低下に起因していると考えられる。また、昇温の早期化により産卵期前半（4～5 月）の産卵量の増加が認められる一方で、低水温帯のカイアシ類の再生産にも負の影響を及ぼしている可能性がある。また、産卵数の増加は孵化仔魚の増加に反映していること、仔魚が利用可能なカイアシ類ノープリウス密度が減少している可能性があることから、摂餌開始時において餌料を巡る種内競争が激しくなっていることが予想される。さらに、卵サイズの小型化、親の餌料環境の悪化に伴って、仔魚の小型化や成長ポテンシャルの低下などが起こっていると考えられる。このように、貧栄養化を起点として発生したカタクチイワシの発育初期における外部・内部のネガティブな諸要因によって初期減耗が大幅に拡大していることが、最近年の加入低迷をもたらしている主因ではないかと推察された。

【参考文献】

- 河野悌昌, 銭谷 弘 1980～2005 年の瀬戸内海におけるカタクチイワシの産卵量分布. 日水誌, 74, 636-644, 2008.
- 水産庁. 令和元年度魚種別系群別資源評価（50 魚種 84 系群）.
- http:// http://abchan.fra.go.jp/digests2019/html/2019_25.html, 2019.
- 田所和明, 岡崎雄二, 吉江直樹, 郭 新宇. 2) -ア 栄養塩等の水質環境が小型浮魚の餌料行に及ぼす影響解明, 平成 31 年度漁場環境改善推進事業のうち栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査報告書, 水産庁, 東京. 62-68, 2020.
- 鶴田義成 カタクチイワシの成熟・産卵と再生産力の調節に関する研究. 水工研研報, 13, 129-168, 1992.
- Uye S. Length-weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. J. Oceanogr. Soc. Japan, 38, 149-158, 1982.
- Uye S. Temperature-dependent development and growth of the planktonic copepod *Paracalanus* sp. in the laboratory. Bull. Plankton Soc. Japan Spec., 627-636, 1991.
- Uye S., Aoto I., Onbé T. Seasonal population dynamics and production of *Microsetella norvegica*, a widely distributed but little-studied marine planktonic harpacticoid copepod. J. Plankton Res., 24, 143-153, 2002.
- 山本昌幸, 片山知史 1995 年の瀬戸内海燐灘東部海域におけるカタクチイワシとマイワシの食性の比較. 水産海洋研究, 76, 66-76, 2012.
- Yoneda M, Kitano H, Tanaka H, Kawamura K, Selvaraj S, Ohshimo S, Matsuyama M, Shimizu A. Temperature- and income resource availability- mediated variation in reproductive investment in a multiple-batch-spawning Japanese anchovy. Mar. Ecol. Prog. Ser., 516, 251–262, 2014.

Zenitani H, Kono N, Tsukamoto Y. Relationship between daily survival rates of larval Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) and concentrations of copepod nauplii in the Seto Inland Sea, Japan. Fish. Oceanogr., 16, 473-478, 2007.

表 1. 各調査期間における雌親魚の肥満度、卵サイズおよび生残指数の推定値

調査期間	肥満度	割合*	卵サイズ (mm ³)	割合*	生残指数**	割合*
2005～2006 年	0.95	0.99	0.245	0.98	5.86	1.00
2009～2010 年	0.96	1.00	0.251	1.00	5.86	1.00
2015～2016 年	0.88	0.93	0.235	0.93	0.22	0.04

*2009～2010 年を 1 とした割合を示す

**生残指数＝加入尾数／産卵数

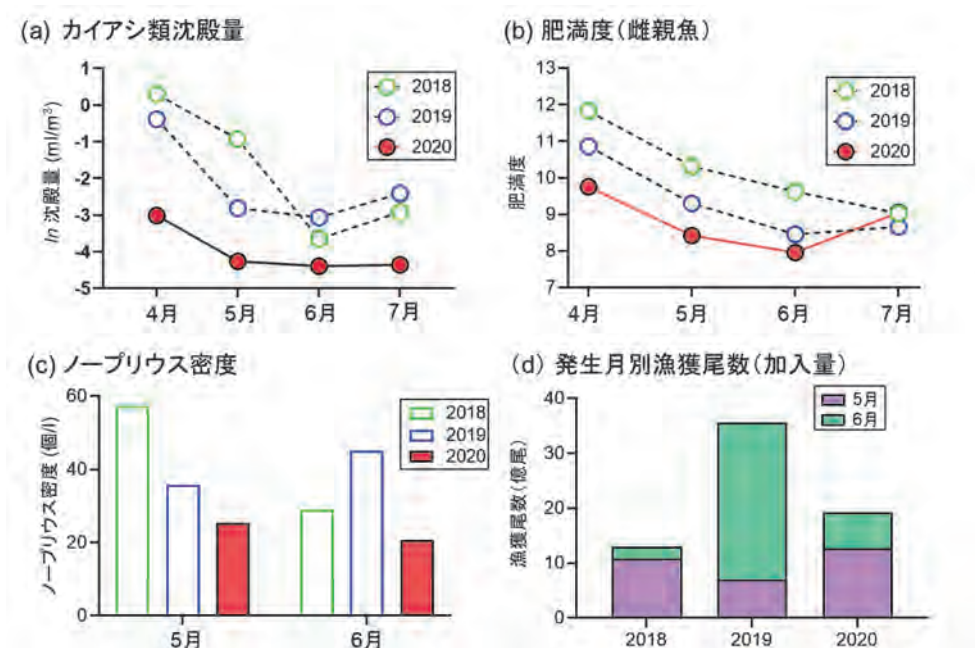


図1. 2018～2020年の燧灘のカイアシ類沈殿量(a)、カタクチイワシ雌親魚の肥満度(b)、ノープリウス密度(c)および発生月別漁獲尾数(e)

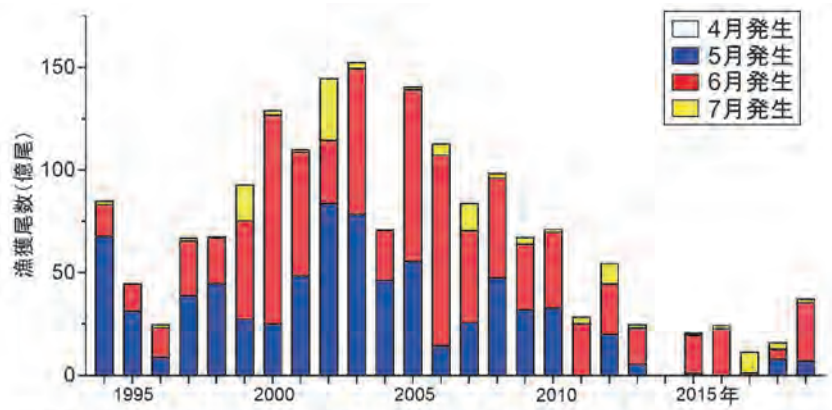


図2. 1994～2019年における発生月別漁獲尾数(加入量)の変化

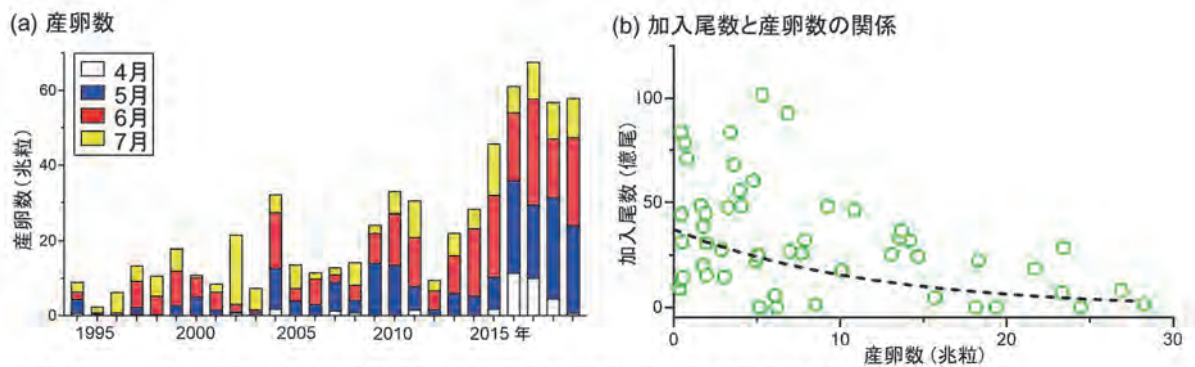


図3. 1994～2019年の産卵数の経年変化(a)および加入尾数と産卵数の関係(5,6月; b)

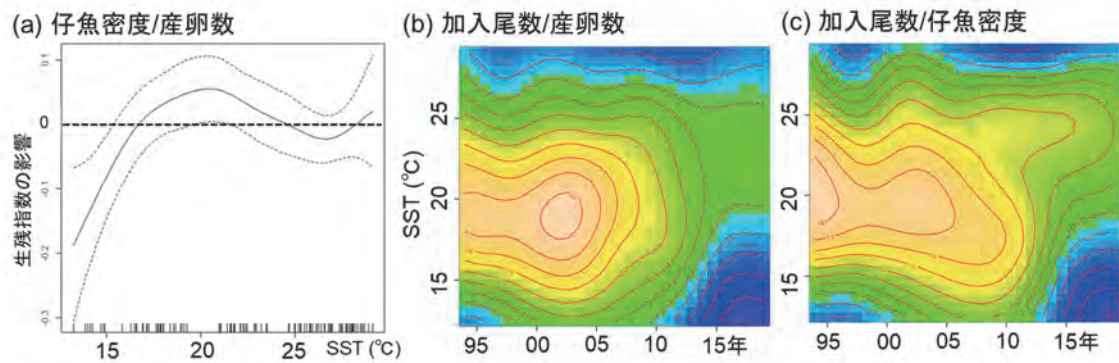


図4. 各发育段階における初期生残指数に及ぼす海面表層水温 (SST) と採集年の影響 (GAM)

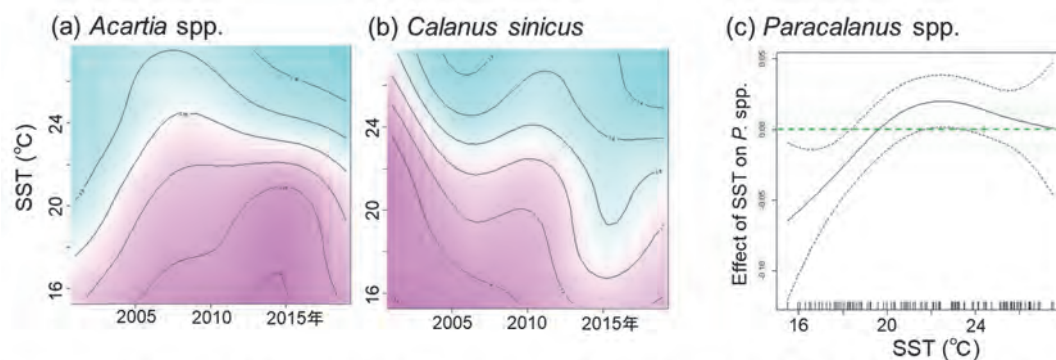


図5. 2001～2019年5～7月のカイアシ類3種現存量(mgC/m^3)に及ぼす海面表層水温(SST)と採集年の影響(GAM)

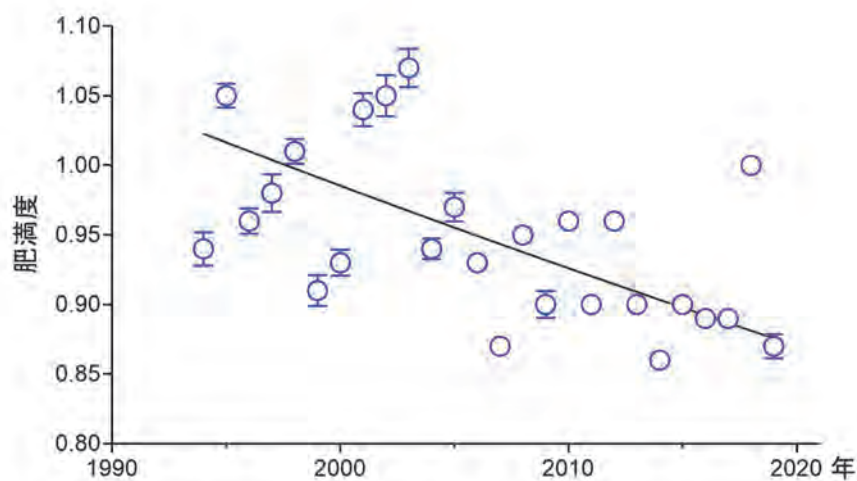


図6. 1994～2019年5、6月の雌親魚の肥満度における経年変化

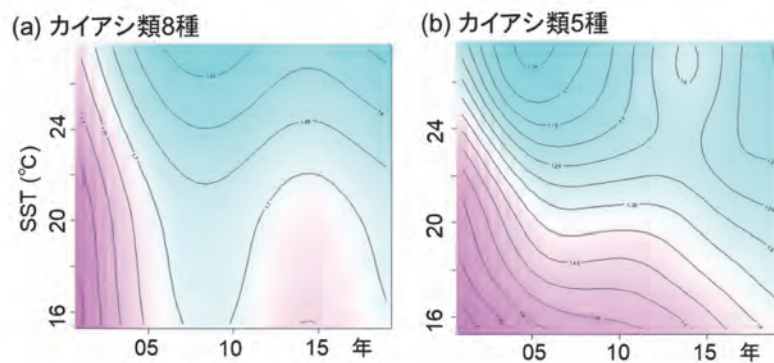


図7. 2001～2019年5～7月のカイアシ類現存量(mgC/m^3)に及ぼす海面表層水温(SST)と採集年の影響(GAM)