

## 伊勢・三河湾におけるシャコの資源動態と肥満度の変化及び加入・生残過程

曾根亮太・日比野学・下村友季・鶴崎直文・澤山周平

(2021年10月29日受付, 2022年1月6日受理)

### Population dynamics, condition factor, and recruitment and survival processes of the Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Ise-Mikawa Bay, Japan.

SONE Ryota <sup>\*1</sup>, HIBINO Manabu <sup>\*1</sup>, SHIMOMURA Yuuki <sup>\*2</sup>, UZAKI Naofumi <sup>\*1</sup> and SAWAYAMA Shuhei <sup>\*3</sup>

**Abstract :** To understand the decline factors of the Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* stock in semi-closed bays, we investigated population dynamics, condition factor, and recruitment and survival processes of *O. oratoria* in Ise-Mikawa Bay. Spatial distribution of the fishing grounds of *O. oratoria* caught by small trawl fishery was widespread in the Bay in 2002-2004 and 2010-2012. Especially, in 2010-2012, catch per unit effort (CPUE) was high and the fishing ground was formed mostly in the southern area of Ise Bay. On the other hand, the fishing ground was located in the northern area of Ise Bay in spring and eccentrically located in the specific area of Ise Bay in summer in 2018-2020. Recently, size frequency of *O. oratoria* in spring often showed a single-peak distribution and the ratio of individuals over 10cm, target size in trawl fishery, was lower than that in the past. These results suggest that the population structure of *O. oratoria* in Ise Bay was altered. Moreover, condition factor (CF) was on a declining trend. Although recruitment index in each area of Ise Bay did not demonstrate a constant trend, survival index from 1+ individuals in spring to 1+ individuals in summer in the southern area of Ise Bay was on a declining trend. These results suggest that the low survival rate of 1+ individuals from spring to summer mostly in the southern area of Ise Bay caused the reduction of the distributional area and the decrease of large size individuals, which disturbed the formation of fishing ground of *O. oratoria* in recent years. Moreover, it was considered that the decline of primary production from spring to summer in the southern area of Ise Bay might lead to the low survival rate associated with low CF through bottom-up effect.

キーワード; シャコ, 資源構造, 肥満度, 加入・生残過程, 餌料環境, ボトムアップ効果

伊勢・三河湾におけるシャコ *Oratosquilla oratoria* は主に小型底びき網漁業によって漁獲される愛知県的重要水産資源である。愛知県において1990年には1,800 tに近い漁獲量があったが、それ以降は減少傾向を示し、2013年では前年から漁獲量が半減し、さらに2019年以降は200tを下回り、ピーク時の1/10程度と漁獲水準が

低下している。また、本海域の資源量指標値である豊浜漁港小型底びき網 CPUE も2013年以降は安定せず、特に2019年以降は極めて低水準となっている。(Fig. 1) <sup>1)</sup>

これまでに本海域におけるシャコ資源の変動要因については貧酸素水塊による影響が大きいことが示されており、<sup>2)</sup> 貧酸素水塊縁辺部での混獲死亡の増大による成長

<sup>\*1</sup> 愛知県水産試験場漁業生産研究所 (Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyohama, Minamichita, Aichi 470-3412, Japan)

<sup>\*2</sup> 愛知県農業水産局水産課 (Fisheries Administration Division, Bureau of Agriculture and Fisheries, Aichi Prefectural Governmental Office, Sannomaru, Nakaku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan)

<sup>\*3</sup> 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所 (Fisheries Resources Institutes, Japan Fisheries Research and Education Agency, Fukuura, Kanazawaku, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan)

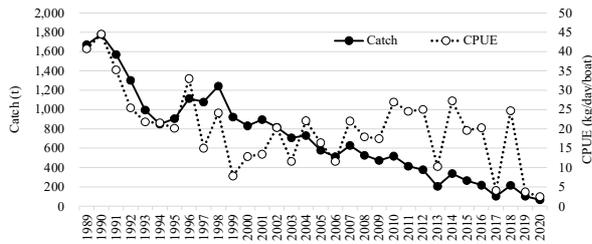


Fig. 1 Catch of *Oratosquilla oratoria* in Aichi Prefecture (Ise-Mikawa Bay) and CPUE in Toyohama fishing port in Ise Bay.

乱獲<sup>3)</sup>あるいは貧酸素化が直接的に減耗を引き起こすこと<sup>4)</sup>が指摘されてきた。混獲死亡を回避するために、シャワー設備の導入による再放流時の生残率の向上<sup>5)</sup>や目合い拡大等の漁具改良の検討がなされてきた。<sup>6)</sup>また、近年の気候変動に関連して、冬季の漁獲比率が増大し、春の大型産卵群の減少が懸念されていることから、資源状況に応じた冬季水揚げ制限を実施し、資源管理と経済合理性を両立させる取り組みが進められてきた。<sup>7, 8)</sup>1990年代後半-2000年代前半では漁獲量が低下し、資源水準が低位となったが、これらの取り組みにより、資源に増加の傾向が見られ、2010-2012年では資源水準が中位まで回復した。<sup>1)</sup>しかしながら、2013年に極度の不漁となり、その後、2017年、2019年、2020年と不漁年が頻発するようになった。近年では操業隻数の減少や魚類狙いの目合いの大きい網（通称：大目網）の使用頻度の増加が報告されており、<sup>1)</sup>シャコに対する漁獲圧は大幅に低減していると考えられる。このような状況にもかかわらず、シャコ不漁年が頻発するのはこれまでの問題に加えて、漁獲以外の別の環境要因が影響している可能性が高い。<sup>9)</sup>

樽谷・中嶋<sup>10)</sup>は大阪湾のシャコ類漁獲量がリン発生負荷量に伴って増加していることを示し、瀬戸内海において基礎生産の低下が漁業生産に及ぼす可能性を指摘している。伊勢・三河湾においても栄養塩やクロロフィルaが長期的に低下しており、<sup>11, 12)</sup>低次生産の変化がシャコの資源動態と関連している可能性があるものの、その影響は明らかでない。現在、漁業者により行われている自主的資源管理をより適切かつ合理的に実施するためにも、シャコ資源に対する低次生産の影響を視野に入れた上で、現在の資源低迷要因を明らかにすることが必要である。

そこで、本研究では伊勢・三河湾におけるシャコの資源動態や肥満度の推移を把握するとともに、加入・生残過程について検討し、資源低迷要因の把握を行った。

## 材料及び方法

### 標本船調査

伊勢・三河湾における漁獲状況を把握するため、2002年から2020年にかけて小型底びき網漁船（5-6隻）を標本漁家として、操業日誌の記録を依頼した。緯度・経度とも2.5分間隔に区切った漁場区画の単位努力量あたり漁獲量（CPUE：kg/h/boat）を集計し、澤山ら<sup>1)</sup>を参考に2002-2004年、2010-2012年及び2018-2020年をそれぞれ資源量低水準期、中水準期及び最近年の低水準期の代表とし、伊勢湾で漁獲量の多い4-9月<sup>1)</sup>における月別漁場別CPUEの3年間平均値を算出した。なお、漁業者はシャコやアマナゴ狙いの網（通称シャコ網）や大型魚類狙いの網（通称大目網）等を使い分けるが<sup>1)</sup>、ここではその区別は行っていない。

### 漁場一斉調査

伊勢湾におけるシャコの資源状況及び資源構造の変化を把握するため、伊勢湾を緯度・経度とも5分間隔に区切った15の調査区画（Fig. 2）において小型底びき網漁船または漁業調査船「海幸丸」を用いた板びき網（袋網目合14節）による試験操業を2003年から2020年にかけて季節別に年4回（春：4-6月、夏：7-9月、秋：10-12月、冬：1-3月）行った。1地点あたりの曳網は約20-30分とし、曳網速度は約3.5ktとした。記録された曳網時間及び曳網速度から曳網距離を算出した。得られた採集物からシャコを原則全量持ち帰り、個体数を計数し、1地点最大100個体を上限に千田体長（額板を含まない頭胸甲前縁から尾節の中央湾入部後端）<sup>13)</sup>を測定した。個体数は単位曳網距離あたり個体数に換算した。

伊勢湾における主要な漁獲時期は春季で、このとき満

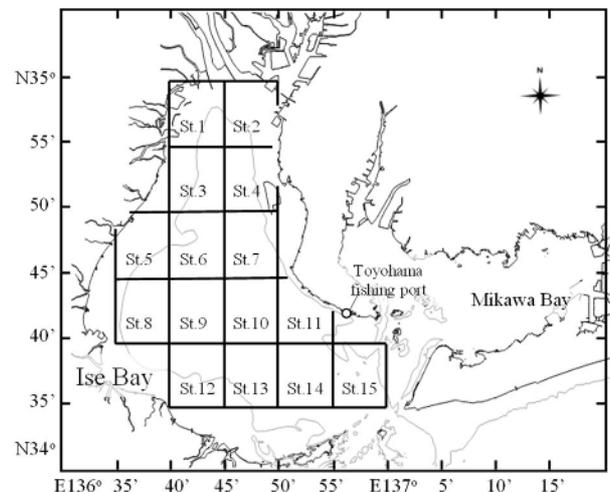


Fig. 2 Sampling stations of research trawl in Ise Bay.

2歳（春生まれと仮定）となる個体が漁獲主体である。春季を含む1-5月の漁獲量は1歳が主体である前年夏季の漁場一斉調査における採集個体数と極めて高い相関関係があることが示されており、<sup>2)</sup> 夏季の1歳個体資源水準が翌春の漁獲水準を左右している。そこで、着底から1歳の夏季に至るまでの生残過程を明らかにするため、体長組成から次のとおり任意の体長で年級群を分離して、 $t$ 年級の個体数の推移を把握した。伊勢・三河湾における産卵期は5~9月頃とされているため、<sup>14)</sup> 着底後稚シャコとして入網するのは秋季以降となる。便宜的に5月を誕生月とすると、秋季調査の7cm未満及び冬季調査の8cm未満を当歳個体、また、春季調査における10cm未満を1歳とした。夏季までに2歳の年級群はほぼ消滅するため、夏季調査では全採集個体を1歳とした。 $t$ 年級群の各季節間の個体数の比を生残指数、 $t$ 年級1歳時春季の個体数を加入量指数と定義した。また、 $t$ 年級が漁獲主体となる $t+2$ 年における春漁の好不漁を判断する基準として豊浜漁港における4-6月の合計漁獲量が30 t以下を不漁年、それ以外を好漁年とした。なお、海域別の生残指数及び加入量指数の傾向を把握するため、St. 1, 2, 3, 4, 7を北部、St. 5, 6, 8, 9, 10を中部及びSt. 11, 12, 13, 14, 15を南部としてそれぞれ区分した（Fig. 2）。

### 漁獲物肥満度調査

伊勢湾におけるシャコの肥満度を把握するため、2002年から2020年にかけて小型底びき網漁獲物から原則毎月サンプルを入手し、雌雄を分けず原則100個体の千田体長及び体重を測定し、次式により肥満度（Condition factor: CF）を算出した。

$$CF = \frac{BW}{BL^3} \times 10^3$$

ここでBLは千田体長（cm）、BWは体重（g）をそれぞれ示す。なお、脱皮直後の個体のごくわずかに採集されたが、それらは測定対象から除外した。

## 結 果

### 標本船調査

小型底びき網の標本船調査から、2002-2004年、2010-2012年及び2018-2020年における月別漁場別CPUEの3年間平均値をFig. 3にそれぞれ示した。2002-2004年では期間を通して伊勢湾東部から中央部にかけて南北に広く漁場が形成され、三河湾にも漁場がみられた。CPUEは4-5月に最も高く、以降徐々に減少した。2010-2012年においても伊勢湾で広く漁場が形成され、2002-2004年と

比べると4-8月においてCPUEはやや高く、また、伊勢湾南部でCPUEが高くなる傾向があった。2018-2020年は期間を通して、漁場が偏在しており、4月の漁場は伊勢湾南部の一部、5月以降は伊勢湾北部に限られていた。特に8-9月は伊勢湾東部沿岸の限られた海域でのみ漁獲が見られた。

### 漁場一斉調査

Fig. 4には2010-2012年及び2018-2020年を代表年として、主漁期となる春季の体長組成を資源水準の高かった1988-1990年の体長組成<sup>9)</sup>とともに示した。1988年及び1990年は顕著な二峰型を示しており、この時期に2歳になると思われる10cm以上の大型個体の割合はそれぞれ42.4%及び46.8%であった。2011年、2012年及び2018年においても二峰型であったが、10cm以上の割合はそれぞれ16.8%、18.1%及び12.6%であり、1988年及び1990年と比較すると低かった。1989年、2010年、2019年及び2020年は単峰型を示したが、1989年には10cm以上の割合が15.5%と比較的高く、2010年、2019年及び2020年においては10cm以上の割合はそれぞれ6.9%、7.6%及び9.3%と低かった。

Table 1には漁場一斉調査の結果から年級群を分離して、 $t$ 年級の個体数の推移を $t+1$ 年夏季まで示し、 $t$ 年級が漁獲主体となる $t+2$ 年春季（4-6月）の豊浜漁港漁獲量を併せて示した。また、 $t+2$ 年春季の好不漁別に $t$ 年級群の各季節間の生残指数をそれぞれ比較したところ、 $t$ 年級当歳時秋季から冬季の生残指数及び当歳時冬季から1歳時春季の生残指数にはそれぞれ有意な差は見られなかったが（Wilcoxon rank sum exact test;  $p=0.69$ ,  $p=0.81$ ）、 $t$ 年級1歳時春季から夏季の生残指数には有意な差が見られ（Wilcoxon rank sum exact test;  $p<0.05$ ）、1歳時春季から夏季の生残指数が高いと、翌春に好漁となる傾向が見られた（Fig. 5）。また、加入量指数とした $t$ 年級1歳時春季の個体数の推移とともに $t$ 年級1歳時春季から夏季の生残指数を海域別に比較した（Fig. 6）。加入量指数は各海域とも増減を繰り返すが、長期的には横ばいであった。生残指数は北部では長期的には横ばいであったが、直近年の2020年は低水準であった。中部は2017年頃までは横ばいであったが、2018年以降減少し、水準が低くなった。南部では減少傾向が見られ、2019年以降は特に低水準であった。

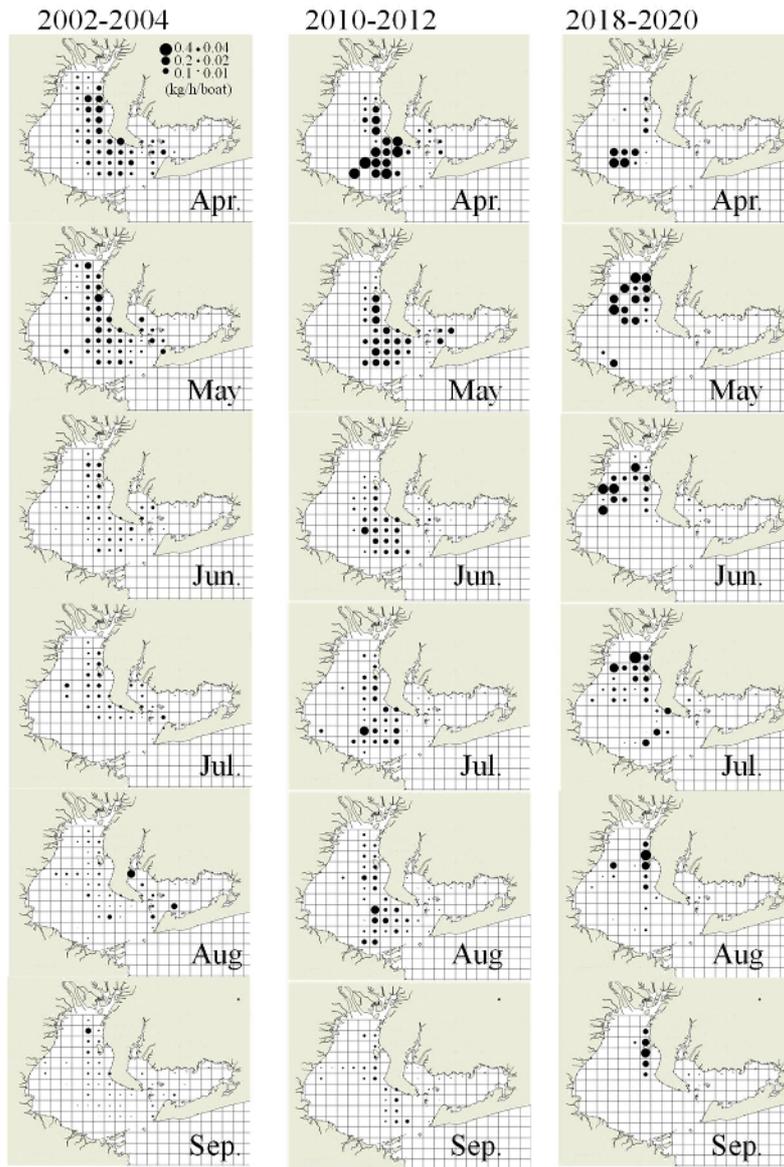


Fig. 3 Temporal and spatial distribution of average CPUE of *Oratosquilla oratoria* by the small trawl fishery.

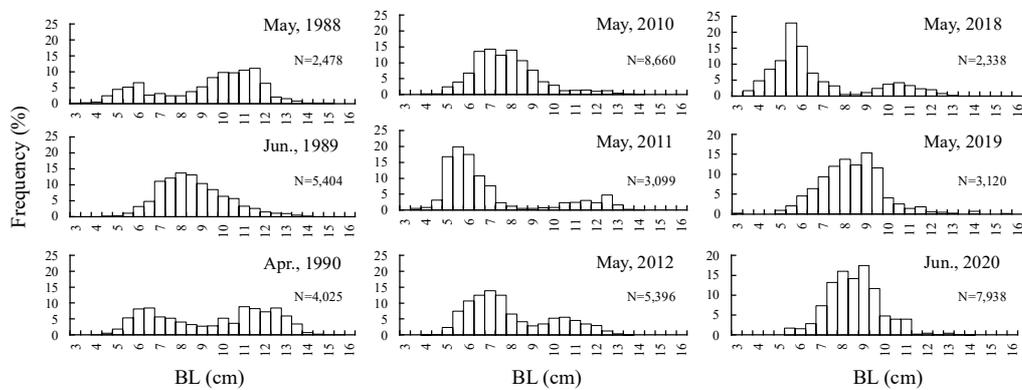
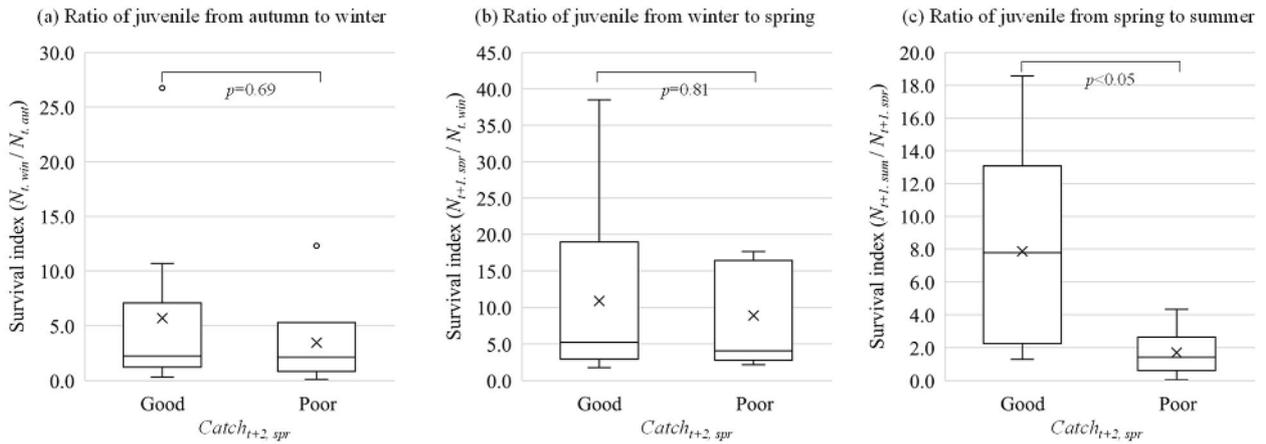


Fig. 4 Size-frequency distribution compositions of *Oratosquilla oratoria* caught by research trawl in spring in 2010-2012 and 2018-2020 with results in 1988-1990 <sup>9)</sup>.

**Table 1** Results of research trawl in Ise Bay and catch in Toyohama fishing port in spring. The hatched row shows the poor catch year (30 tons or lower).

Cohort ( <i>t</i> )	Results of research trawl in Ise Bay								Catch in Toyohama in spring (kg)				
	Number of individuals (ind./km)				Survival index				year ( <i>t</i> +2)	April	May	June	total
	Autumn (0+) (a)	Winter (0+) (b)	Spring (1+) (c)	Summer (1+) (d)	Winter/Autumn (b/a)	Spring/Winter (c/b)	Summer/Spring (d/c)						
2003	2.3	5.2	40.7	755.0		2.2	7.7	18.6	2005	31,541	20,114	10,272	61,927
2004	5.2	5.7	23.1	33.3		1.1	4.1	1.4	2006	11,936	9,012	7,445	28,393
2005	0.5	4.8	9.6	137.4		10.7	2.0	14.3	2007	31,098	17,981	17,495	66,574
2006	3.8	12.9	42.1	270.7		3.4	3.3	6.4	2008	25,259	15,827	7,640	48,726
2007	0.02	0.3	4.5	19.3		12.3	17.7	4.3	2009	13,274	8,289	8,113	29,676
2008	0.0	26.0	124.8	1,135.7	-		4.8	9.1	2010	37,873	25,166	20,856	83,895
2009	48.3	34.3	193.9	251.1		0.7	5.7	1.3	2011	26,270	32,489	20,096	78,855
2010	4.2	14.8	56.1	525.0		3.5	3.8	9.4	2012	31,256	29,513	21,414	82,183
2011	48.2	5.8	95.5	135.9		0.1	16.4	1.4	2013	4,794	5,557	5,239	15,590
2012	0.3	8.8	338.9	768.7		26.7	38.5	2.3	2014	28,763	30,159	18,034	76,956
2013	12.9	22.6	40.2	94.6		1.8	1.8	2.4	2015	24,433	16,446	6,177	47,056
2014	2.7	5.2	126.0	282.6		1.9	24.3	2.2	2016	15,721	22,197	18,464	56,382
2015	5.1	9.6	20.8	54.8		1.9	2.2	2.6	2017	329	882	245	1,456
2016	9.0	2.8	48.1	608.5		0.3	17.2	12.7	2018	14,373	15,498	12,183	42,054
2017	1.1	2.6	42.1	59.4		2.4	16.2	1.4	2019	246	717	1,418	2,381
2018	ND	33.1	92.7	56.6	-		2.8	0.6	2020	260	1,045	735	2,040
2019	16.1	47.8	140.0	6.7		3.0	2.9	0.0	2021	390	432	1,611	2,433



**Fig. 5** Box-and-whisker plot showing survival index of juvenile *Oratosquilla oratoria* of *t* year-class caught by research trawl in Ise Bay in good catch and poor catch in spring in *t*+2 year in Toyohama fishing port ( $Catch_{t+2, spr}$ ). The horizontal line in the box shows the median value. The lower and upper lines of the box show the first and the third quartile value, respectively. Each end of the whisker shows the maximum and minimum in 1.5 times of the inter-quarter range. Open circle and cross mark show an outlier and the mean value, respectively. (a) The ratio of the number of 0+ individuals in winter ( $N_{t, win}$ ) to the number of 0+ individuals in autumn ( $N_{t, aut}$ ). (b) The ratio of the number of 1+ individuals in spring ( $N_{t+1, spr}$ ) to the number of 0+ individuals in winter ( $N_{t, win}$ ). (c) The ratio of the number of 1+ individuals in summer ( $N_{t+1, sum}$ ) to the number of 1+ individuals in spring ( $N_{t+1, spr}$ ). *p* shows results of Wilcoxon rank sum exact test.

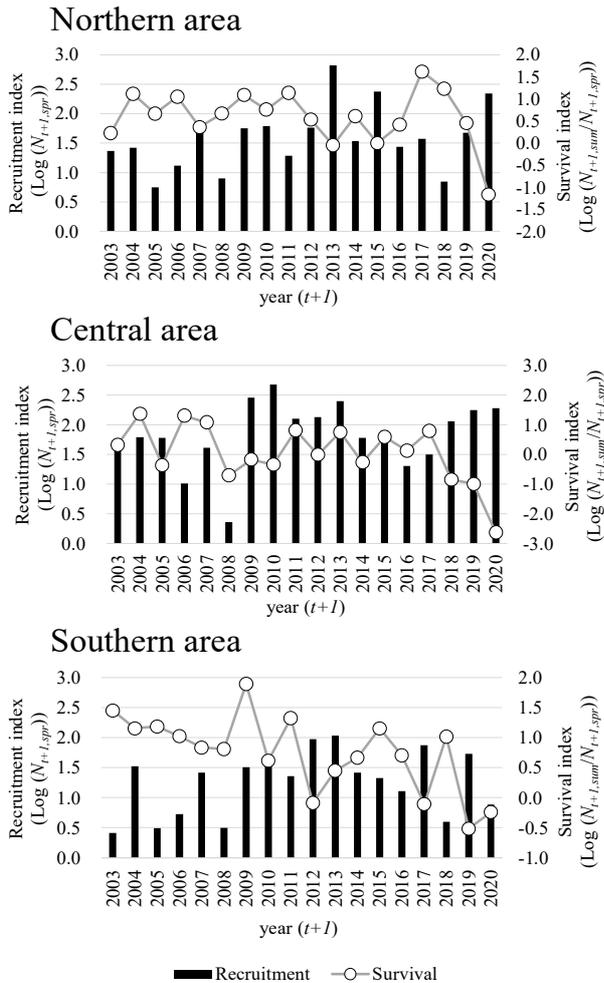


Fig. 6 Annual changes of the number of 1+ individuals in spring (Recruitment:  $N_{t+1, spr}$ ) and the ratio of the number of 1+ individuals in summer to the number of 1+ individuals in spring (Survival:  $N_{t+1, sum}/N_{t+1, spr}$ ) caught by research trawl in the northern, central, and southern area of Ise Bay (northern: St. 1, 2, 3, 4, 7; central: St. 5, 6, 8, 9, 10; southern: St. 11, 12, 13, 14, 15 (fig. 2)).

### 漁獲物肥満度調査

Fig. 7 には小型底びき網で得られた個体の肥満度 (CF) 年平均値の推移を本海域の資源量指標値である豊浜漁港小型底びき網 CPUE とともに示した。資源水準の低かった 2000 年代前半では CF は 15 以上と高かったが、反対に資源水準が回復した 2010-2012 年頃は CF が 14 を下回るなど、CF と CPUE の変動は逆位相の関係が見られた。しかし、2013 年以降は過去の同水準期と比べて、CF は比較的低い状態にあり、長期的にみると CF は低下傾向を示していた。なお、得られたサンプルの BL と CF の間に明瞭な

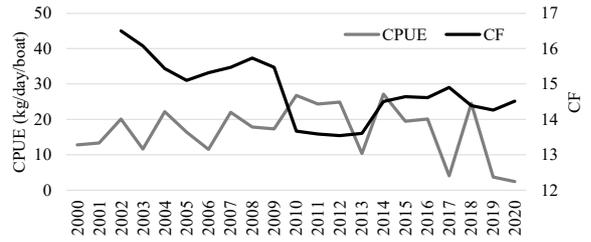


Fig. 7 Annual changes of condition factor (CF) and CPUE of *Oratosquilla oratoria* caught by the small trawl fishery in Ise Bay.

相関関係は見られず、回帰式ではゼロに近い負の傾きを示した ( $CF = -0.12BL + 15.7, R^2 = 0.02$ )。

### 考 察

伊勢・三河湾におけるシャコの産卵期は 5-9 月とされ、<sup>1, 4)</sup> 幼生は 7-11 月頃出現する。<sup>1)</sup> 幼生は 1 ヶ月以上の期間を経て着底し、秋季に小型底びき網により入網するが、漁獲主体となるのは伊勢湾ではその約 1 年後の翌秋以降から約 2 歳となる翌々春までである。<sup>1)</sup> 日比野・中村<sup>2)</sup> はシャコの資源変動要因を解析し、浮遊期幼生採集数の増減は大きい、近年の水準は比較的高く、長期的には減少傾向は見られないこと、また 2 歳時漁獲量は 1 歳時夏季の漁場一斉調査による採集量指数に強く依存することなどを明らかにしている。このことから近年の資源減少過程において幼生供給が大きな障害ではなく、主に着底後から 1 歳時夏季に至るまでの生残過程に問題があることが指摘されている。また、同報告<sup>2)</sup> では環境要因による再生産への影響を示す再生産環境指数は長期的に減少傾向であることを示し、主に夏季の環境変数に着目して再生産環境指数が当歳時 9 月の伊勢湾南部の底層水温及び 1 歳時の貧酸素水塊面積と負の相関があることを明らかにした。一方で、この解析対象年 (~2013) 以降、資源水準は低下する傾向にあり、この資源低迷要因を改めて検討するため、本研究では漁場分布や資源構造の変化を明らかにした上で、着底後から 1 歳時夏季に至るまでの生残過程を伊勢湾北部・中部・南部のそれぞれの海域において把握するとともに、肥満度の変動に着目した。

標本船調査の結果から、2002-2004 年及び 2010-2012 年においては伊勢湾で漁場が広く形成され、特に 2010-2012 年では CPUE も高く、南部での漁場形成が目立った (Fig. 3)。2002-2004 年は資源水準が低位であったのに対し、2010-2012 年は資源水準が中位に回復しており (Fig. 1)、<sup>1)</sup> 2000 年以降では最も資源状況が良好であった年代であったと考えられた。一方、2018-2020 年においては漁場が

偏在する傾向にあり、5月以降は伊勢湾北部に漁場が限られ、南部ではほとんど漁場が見られず、過去と比べて生息域が縮小している可能性が考えられた。さらに8月以降は下村・中村<sup>15)</sup>が指摘するように、拡大する貧酸素水塊の影響を受け、その縁辺部となる伊勢湾東部沿岸でのみ漁場が形成されたと考えられた。また春季の体長組成を過去と比較すると、2018-2020年では単峰型を示す年が多く、漁獲対象となる体長10cm以上の個体の割合が低くなっていた (Fig. 4)。他海域においても漁獲量の低下とともに体サイズの小型化が報告されており、<sup>16-18)</sup>伊勢・三河湾においても資源構造が変化し、春季に約2歳となる個体の減少が春漁の不漁を招き、漁獲水準の低下につながっていると考えられた。一方、肥満度の推移を見ると、資源水準と肥満度には逆位相の関係があり、資源水準が高いと肥満度が低くなり、資源水準が下がると肥満度が高くなる傾向が見られ (Fig. 7)、餌料環境を巡って密度効果が高い生物種であることが推測された。このように資源水準と肥満度がトレードオフの関係であるため、肥満度のみでは資源状況の絶対的な判断基準とはならないものの、長期的には肥満度が低下傾向であり、資源水準が低くなる2013年以降においても肥満度が高くなることから (Fig. 7)、栄養状態の悪化がシャコ資源へ影響を及ぼしている可能性が考えられた。なお、シャコの体長との間には明瞭な相関関係が見られないことから、近年の肥満度が低いことは体サイズの小型化に起因するものではないと考えられた。

漁場一斉調査の結果から、着底後の当歳時秋季から1歳時夏季までの生残指数の推移を見ると、1歳時春季から1歳時夏季の生残指数が高いとその年級群が2歳となる翌春に好漁となることが明らかとなった (Table 1, Fig. 5)。そのため、着底後の加入量指数と1歳時春季から1歳時夏季の生残指数の推移を伊勢湾の北部・中部・南部と海域別に比較した (Fig. 6)。その結果、各海域とも加入量指数の変動に一定の傾向は見られず、極度に資源が低迷している直近の2019年でも浮遊幼生の出現状況の水準が低いことを踏まえると、<sup>1)</sup>幼生供給から着底に至る過程に問題が生じている可能性は低いと考えられた。一方で、伊勢湾南部における生残指数は経年的に減少する傾向が見られ、近年では北部や中部の生残指数も低下していた。資源水準が比較的高かった2010-2012年では伊勢湾南部における漁場形成が目立っていたが (Fig. 3)、これは2009年や2011年の伊勢湾南部での生残指数が高かったためであると考えられた (Fig. 6)。これらのことから、伊勢湾南部を中心に1歳時春季から夏季にかけての生残率が長期的に低下しており、これにより2歳

個体が減少するとともに伊勢湾における生息分布域が縮小していることが示唆された。

曾根ら<sup>19)</sup>はマアナゴの餌料生物となるフタホシシシガニ等の小型甲殻類の個体数が主に伊勢湾南部で減少していることを示し、伊勢・三河湾におけるマアナゴの資源減少要因の一つとして餌料環境の悪化を指摘している。また、伊勢・三河湾に先行してシャコ資源が低迷している東京湾においても小型甲殻類の減少が報告されており、<sup>20, 21)</sup>シャコやマアナゴ資源減少の一因とされている。<sup>22)</sup>内湾において生態的地位に近いと考えられる小型甲殻類とシャコの資源減少が同期していることは共通の環境要因が強く働いていることを示唆している。曾根ら<sup>19)</sup>は減少傾向にある小型甲殻類の餌料となる伊勢・三河湾のマクロベントスの個体数の減少を示すとともに、小型甲殻類やマクロベントスの長期的な資源減少要因として、底層溶存酸素濃度 (DO) や基礎生産について検討した。その結果、小型甲殻類の減少している伊勢湾南部では底層DOの長期的な低下傾向が見られない一方で、湾全体の全窒素 (TN) や溶存態無機窒素 (DIN) が長期的に減少していることや2010年以降の湾南部における春季から秋季のクロロフィル *a* の水準が低いことから、基礎生産の低下が小型甲殻類やマクロベントス資源へ影響を与えた可能性があるとして指摘している。シャコの主要な資源変動要因として、貧酸素水塊の影響が挙げられており (例えば日比野・中村<sup>21)</sup>)、現在においても夏季の貧酸素水塊の存在は分布を制限するとともに、資源量の大幅な減耗を伴うため、その影響は大きいと、2013年以降に見られた資源水準の低下を説明するには十分でないと考えられる。一方、本研究の結果から資源水準と肥満度にトレードオフの関係があるものの、長期的には肥満度は低下傾向であることが明らかとなり (Fig. 7)、湾全体の基礎生産の低下に伴う低次生産過程の変化が関連している可能性が考えられる。また、とりわけ湾南部における夏季を中心とした基礎生産の低下が大きいと、<sup>19)</sup>これは伊勢湾南部を中心に1歳時春季から夏季の生残率が低下すること (Fig. 6) とも符合する。

本研究では伊勢・三河湾におけるシャコの資源減少に伴い、分布域が縮小するとともに、約2歳となる大型個体の減少、肥満度の長期的な減少傾向が明らかとなった。また、着底後の加入・生残過程から伊勢湾南部を中心とした1歳時春季から夏季の生残率の低下が資源形成のボトルネックとなっており、資源低迷につながっていると考えられた。この要因としては基礎生産を含む低次生産過程の変化が関連していることが示唆されたが、表層水の基礎生産がシャコの資源動態を左右する底生生態系に

どのように作用しているのかは不明であり、詳細な検討が必要である。例えば、水質に応じて、底質環境が変化していると考えられるが、底質のデータは不足しており、まずは詳細な実態調査とともに、過去からの変化について情報の整理が必要になると考えられる。また、シャコは高次捕食者の重要な餌料生物でもあり、伊勢湾においてはマアナゴ *Conger myriaster*,<sup>19, 23)</sup> トラフグ *Taki fugu rubripes*<sup>24)</sup>, スズキ *Lateolabrax japonicus* (曾根, 未発表), マダイ (曾根, 未発表), ハモ *Muraneosox cinereus* (<http://abchan.fra.go.jp/digests2020/trends/202016.pdf>, 2021年9月1日), アカエイ *Dasyatis akajei*,<sup>24, 25)</sup> シロザメ *Mustels griseus*<sup>26)</sup> 等による被食が確認されている。このことは重要な餌料生物であるシャコ資源の減少が高次捕食者の資源動態に影響を及ぼす可能性がある一方で、高次捕食者による捕食圧がシャコの資源減少に影響を与えている可能性もあることを示している。前者についてはマアナゴが挙げられ、<sup>19)</sup> 資源が同様に低迷しているトラフグ等についてもその可能性が考えられる。一方、後者については、重要水産資源となるマダイ (<http://abchan.fra.go.jp/digests2020/trends/202020.pdf>, 2021年9月1日) やハモ (<http://abchan.fra.go.jp/digests2020/trends/202016.pdf>, 2021年9月1日) は本海域において資源が高位・増加傾向にあり、また伊勢湾ではアカエイやシロザメ等の小型板鰓類も増加していることが示唆されており、<sup>27)</sup> これらの捕食圧の影響が懸念される。また、伊勢・三河湾では10年で約0.4℃の水温上昇が認められており<sup>28)</sup>, シャコ資源への影響も懸念される。伊勢湾における水温上昇率は湾南部よりも湾北部で大きく<sup>28)</sup>, 仮に水温上昇が分布域を制限するのであれば、湾南部よりも湾北部での影響が大きくなると考えられるが、本研究ではそのような結果となっていない。ただし、このことはシャコ資源に対する水温の影響を排除できるものではなく、水温上昇は代謝速度の変化を通じて、肥満度に影響を及ぼすことなども考えられるため、今後は低次生産の変化と併せた検討が必要と考えられる。今後、シャコの資源動態における低次生産過程の変化に伴うボトムアップ効果や高次捕食者によるトップダウン効果を定量的に評価するために、生態系モデルなどによる解析が必要と考えられる。

## 要 約

伊勢・三河湾におけるシャコ資源の低迷要因を明らかにするため、資源動向や肥満度の推移を把握するとともに、加入・生残過程を調査した。標本船調査の結果から、2002-2004年及び2010-2012年においては伊勢湾で漁場

が広く形成され、特に2010-2012年では単位努力量あたりの漁獲量(CPUE)も高く、南部での漁場形成が目立った。一方、2018-2020年においては漁場が偏在する傾向にあり、春季以降は伊勢湾北部に漁場が限られ、特に夏季以降は特定の海域に集中していた。春季の体長組成を過去と比較すると、近年では単峰型を示す年が多く、漁獲対象となる体長10cm以上の個体の割合が低くなっており、資源構造の変化が考えられた。また、肥満度は長期的には低下傾向であった。伊勢湾北部・中部・南部の各海域とも加入量指数に一定の傾向は見られなかったが、南部における1歳時春季から1歳時夏季の生残指数に顕著な減少傾向が見られた。以上のことから、伊勢湾南部を中心とした1歳時春季から夏季にかけての生残率の低下により、分布域の縮小と大型個体の減少が見られ、資源形成を阻害していると考えられた。また、生残率の低下は肥満度の低下とも関連していると考えられ、夏季を中心とした基礎生産力の低下によるボトムアップ効果の影響を受けている可能性が考えられた。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、愛知県水産試験場漁業生産研究所の職員にはこれまでの資源調査にご協力いただいた。また、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所の横内一樹博士には本稿全般においてご助言を賜った。ここに期して深く感謝いたします。なお、本研究の調査は水産庁委託事業「水産資源調査・評価推進委託事業」により実施された。

## 文 献

- 1) 澤山周平・横内一樹・山本敏博(2021) 令和2(2020)年度シャコ伊勢・三河湾系群の資源評価。
- 2) 日比野学・中村元彦(2014) 伊勢湾におけるシャコの資源変動要因と2012年秋以降の不漁。黒潮の資源海洋研究, 15, 87-93.
- 3) 日比野学・青山高士・松澤忠詩・谷光太郎(2015) 伊勢湾における底層溶存酸素量の変化に伴う大型底生生物の小型底びき網への入網状況。水産海洋研究, 79(4), 266-276.
- 4) 曾根亮太・和久光靖・山田智・鈴木輝明・高倍昭洋(2017) 三河湾における底生性魚介類の貧酸素化に対する時空間的応答と減耗過程。水産海洋研究, 81(3), 230-244.
- 5) 富山実・岩崎員郎(2005) シャコの生残率向上をめざした伊勢・三河湾の小型底びき網漁船へのシャワー散布装置の導入。愛知水試研報, 11, 59-65.

- 6) 下村友季・澤田知希・貞安一廣・山下秀幸 (2018) 板びき網における曳網速度, 袖網の目合及びハンドロープの材質と分径による漁獲特性の違い. 愛知水試研報, 23, 10-29.
- 7) 日比野学・中村元彦 (2012) 伊勢湾の小型底びき網漁業対象資源の長期変動とシャコの冬季水揚げ制限. 黒潮の資源海洋研究, 13, 49-55.
- 8) 農林水産省 (2013) 平成 24 年度水産の動向 平成 25 年度水産施策. 農林水産省, 東京, 140 pp.
- 9) 日比野学・下村友季 (2020) 水産系モニタリングデータの収集と利活用. 海洋と生物, 42 (1), 49-55.
- 10) 樽谷賢治・中嶋昌紀 (2011) 閉鎖性内湾域における貧栄養化と水産資源. 水環境学会誌, 34 (2), 47-50.
- 11) 蒲原聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也 (2018) 三河湾における栄養塩の低下. 愛知水試研報, 23, 30-32.
- 12) 国分秀樹 (2019) 伊勢湾における栄養塩類と水産資源の長期変動. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 75 (2), I\_1123-I\_1128.
- 13) 千田哲資・清水昭・原田徳三 (1969) 瀬戸内海のシャコ卵巣の季節変化. 昭和 43 年度岡山県水産試験場事業報告, 20-29.
- 14) 成田光好・M. Ganmanee・関口秀夫 (2007) 伊勢湾におけるシャコ *Oratosquilla oratoria* の個体群動態. 日本水産学会誌, 73 (1), 18-31.
- 15) 下村友季・中村元彦 (2019) 伊勢湾における貧酸素水塊の分布と小型底びき網漁業の漁場との関係. 黒潮の資源海洋研究, 20, 89-98.
- 16) 安部昌明 (2017) 2013~2014 年の香川県東部海域におけるシャコの資源実態. 香水分試研報, 16, 1-15.
- 17) 児玉圭太・清水詢道・青木一郎 (2003) 東京湾におけるシャコ加入量の変動要因. 神水研研報, 8, 71-76.
- 18) 清水詢道 (2004) 東京湾のシャコ資源について-II シャコ資源の回復への私案. 神水研研報, 9, 1-11.
- 19) 曾根亮太・日比野学・下村友季・鶴寄直文 (2021 予定) 伊勢・三河湾におけるマアナゴの資源動態と肥満度, 胃内容物組成及び餌料環境の変化. 愛知水試研報, 27, 10-21.
- 20) 田島良博 (2010) 東京湾生物相モニタリング調査-1 底生生物相の経年変動. 神水セ研報, 4, 21-30.
- 21) 田島良博・久保島康子 (2013) 東京湾生物相モニタリング調査-2 マアナゴ (*Conger myriaster*) の餌生物の動向について. 神水セ研報, 6, 25-35.
- 22) 岡部久 (2019) 第 42 回「相模湾の環境保全と水産振興」シンポジウム-新しい水産資源の管理施策と神奈川の沿岸漁業管理- 3. 近年起こっている東京湾の生態系の変化とシャコ・マアナゴ等の資源管理の課題. 水産海洋研究, 83 (3), 211-214.
- 23) 日比野学 (2016) 伊勢・三河湾におけるマアナゴの食性. マアナゴ資源と漁業の現状, 国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所, 3, 101-102.
- 24) 船越茂雄 (1993) 伊勢湾, 三河湾周辺海域の主要魚類の食性-とくに夏秋季の食性-. 愛知水試研報, 1, 1-18.
- 25) 日比野学・松澤忠詩・古橋徹・谷光太郎 (2013) 内湾小型底びき網調査 (三河湾漁場調査). 平成 24 年度愛知県水産試験場業務報告, 92-93.
- 26) 日比野学・松澤忠詩・古橋徹・谷光太郎 (2014) 内湾小型底びき網調査 (三河湾漁場調査). 平成 25 年度愛知県水産試験場業務報告, 92-93.
- 27) 日比野学・水野知巳・田島良博・中村元彦 (2013) 日本中部の太平洋側沿岸の 2 つの閉鎖性内湾域における底生水産資源の変動にみられる類似性. 水産海洋研究, 77 (4), 259-265.
- 28) 神戸浩仲 (2020) 愛知県内の海域, 河川及び湖沼の水温変動傾向と水質データの解析~地球温暖化の影響に関する考察~. 愛知県環境調査センター初報, 48, 37-44.