

伊勢湾4地区におけるアサリ資源量の推定と資源変動要因の抽出

羽生和弘^{1†}, 国分秀樹¹, 畑 直重², 水野知巳³, 長谷川夏樹⁴, 石樋由香⁴,
渡部諭史⁴, 藤岡義三⁴, 日向野純也⁵, 井上隆彦⁶, 田中良男⁷,
工藤倫彰⁸, 山田充哉⁹, 南部亮元⁹, 桑原久実¹⁰

Estimation of standing stock and factors affecting the stock fluctuation of asari clam *Ruditapes philippinarum* in four regions of Ise Bay, Japan

Kazuhiro HANYU^{1†}, Hideki KOKUBU¹, Naotsugu HATA², Tomomi MIZUNO³, Natsuki HASEGAWA⁴,
Yuka ISHIMI⁴, Satoshi WATANABE⁴, Yoshimi FUJIOKA⁴, Junya HIGANO⁵, Takahiko INOUE⁶,
Yoshio TANAKA⁷, Tomoaki KUDO⁸, Mitsuya YAMADA⁹, Ryogen NAMBU⁹ and Hisami KUWAHARA¹⁰

伊勢湾においてアサリの資源変動要因を抽出するため、2012–2014年に主漁場4地区（鈴鹿地区（若松、白子）、香良洲地区、松阪地区（松名瀬、三渡川）、伊勢地区）の3つの水深帯（水深帯I: 1 m以浅, II: 1–5 m, III: 5–10 m）において、アサリの分布中心（平均密度の高い水深帯）と資源量を調査した。その結果、香良洲地区、松阪地区、伊勢地区における分布中心は水深帯Iと推定された。一方、鈴鹿地区のそれは不明瞭であったが、2013年11月と2014年5月の鈴鹿地区白子では水深帯IIと推定された。2012–2014年の4地区の中で最大の資源量は2014年5月の鈴鹿地区での4,246トンと推定され、その70%は面積の大きい水深帯IIIのものであった。このような大規模資源の出現と消失は、貧酸素水塊の消長と関連があることが示唆された。

2016年11月7日受付, 2017年4月20日

¹ 三重県水産研究所鈴鹿水産研究室

Suzuka Branch, Mie Prefecture Fisheries Research Institute, 1–6277–4 Shiroko, Suzuka, Mie 510–0243, Japan

² 三重県農林水産部

Mie Prefecture Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, 13 Komei, Tsu, Mie 514–8570, Japan

³ 三重県水産研究所

Mie Prefecture Fisheries Research Institute, 3564–3 Hamajima, Shima, Mie 517–0404, Japan

⁴ 国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所

National Research Institute of Aquaculture, Japan Fisheries Research and Education Agency, 422–1 Nakatsuhamura, Minami-ise, Mie 516–0193, Japan

⁵ 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Japan Fisheries Research and Education Agency, Maruishi 2–17–5 Hatsukaichi, Hiroshima 739–0452, Japan

⁶ 株式会社東京久栄福岡支店

Fukuoka Branch, Tokyo Kyuei Co., Ltd., Kita Ayasugi Building, 1–3–4 Nagahama, Chuo-ku, Fukuoka, Fukuoka 810–0072, Japan

⁷ 株式会社東京久栄技術センター

Engineering Center, Tokyo Kyuei Co., Ltd., 6906–10 Shiba, Kawaguchi, Saitama 333–0866, Japan

⁸ 海洋エンジニアリング株式会社

Kaiyo Engineering Co., Ltd., 4–28–11 Taito, Taito-ku, Tokyo 110–0016, Japan

⁹ 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産工学研究所

National Research Institute of Fisheries Engineering, Japan Fisheries Research and Education Agency, 7620–7 Hasaki, Kamisu, Ibaraki 314–0408, Japan

¹⁰ 国立研究開発法人水産研究・教育機構本部

Headquarters, Japan Fisheries Research and Education Agency, 15F Queen's Tower B 15F, 2–3–3 Minato Mirai, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa 220–6115, Japan

† hanyuk00@pref.mie.jp

In order to determine the factors affecting the stock fluctuation of asari clam *Ruditapes philippinarum* in Ise Bay, Japan, we examined the high-density depth zones (i.e., centers of distribution) of *R. philippinarum* and standing stocks at three depth zones (depth zone I: shallower than water depth 1 m; depth zone II: water depth 1–5 m; depth zone III: water depth 5–10 m) in the four regions (the Suzuka region including the Wakamatsu and Shiroko subregions, the Karasu region, the Matsusaka region including the Miwatarigawa and Matsunase subregions, and the Ise region) of Ise Bay, Japan, from 2012 to 2014. Based on the comparison of clam densities among depth zones in each region, the depth zones I were the centers of distribution in the Karasu, Matsusaka, and Ise regions from 2012 to 2014, while the depth zone II was considered as the center of distribution in the Shiroko subregion of the Suzuka region in November 2013 and May 2014. In May 2014, the standing stock of asari clam in the Suzuka region was 4,246 metric tons, which was the largest among the four regions from 2012 to 2014. The standing stock at depth zone III with a large area accounted for 70% of the stock in the Suzuka region in May 2014. A relationship between the standing stock and dissolved oxygen concentration (DO) suggested that the appearance/disappearance of hypoxia water masses ($\text{DO} \leq 3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) affected large fluctuation in standing stocks.

Key words: distribution, hypoxia water masses, Ise Bay, *Ruditapes philippinarum*, standing stock

はじめに

伊勢湾の潮間帯と潮下帯に生息するアサリ *Ruditapes philippinarum* は沿岸漁業の重要な漁獲対象種となっている(水野・丸山, 2009; 水野ほか, 2009)。その年間漁獲量は1980年代まで1万トン前後で推移していたが, 1990年代に激減し, 2014年には1千トン未満となった(東海農政局, 1965–2009; 農林水産省漁業・養殖業生産統計 http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html, 2016年9月26日)。減少要因としては, 貧酸素水塊・河川出水による大量へい死, 漁業・密漁による乱獲, 浅場・干潟の埋め立てによる生息域の減少, そして, これらによる再生産関係の崩壊が指摘されている(水野・丸山, 2009; 水野ほか, 2009; 羽生, 2015, 2016)。ただし, このような指摘があるものの, 伊勢湾では漁獲量(漁獲統計)の経年変化が資源量のそれを反映していない可能性や(水野・丸山, 2009; 水野ほか, 2009; 羽生, 2015), 種々の要因と漁獲量との単純な相関解析が意味をなさないことも指摘されている(関口・石井, 2003; 関口, 2009)。一方, 野外調査により直接推定した資源量はこういった問題の影響を受けにくい(岸田, 2002)。しかし, 伊勢湾においてこれまでに実施されてきた野外調査(例えば, 網尾・吉田, 1968; Tsutsumi and Sekiguchi, 1996; 坂口ほか, 1999; Miyawaki and Sekiguchi, 1999; 羽生, 2015)は, その調査範囲が潮間帯とごく浅い潮下帯あるいは潮下帯のみとなっているものが多い。また, そのほとんどが狭い範囲での平均密度の推定に留まっており, 広域での資源量推定には至っていない。このように, 伊勢湾ではアサリ資源がどこにどの程度の規模で存在するのかという基礎的知見が乏しく, その結果, 種々の要因が資源変動に及ぼす影響の評価は難しいものとなっている。そこで本研究では, 伊勢湾の複数の地区において, 広域での多点調査を2–3年間にわたり複数回実施し, アサリの分布中心(平均密度の高い水深帯)と資源量の季節・年変動を明らかにした。また, これらのデータに基づいて, 資源変動に影響する要因の抽出を試みた。

材料と方法

調査地区と調査時期

伊勢湾ではアサリの年間漁獲量の大部分(約70%)を三重県側のもが占めていることから(2005–2014年の農林水産省漁業・養殖業生産統計 http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html, 2016年9月26日), 三重県側の主漁場である鈴鹿地区, 香良洲地区, 松阪地区, 伊勢地区を調査対象とした(Fig. 1)。各地区の主たる漁法は, 鈴鹿地区が噴射式貝桁網, 香良洲地区が貝桁網とジョレン, 松阪地区と伊勢地区がジョレン, 長柄, 貝桁網である(水野・丸山, 2009; 水野ほか, 2009)。松阪地区については, 漁獲量の大部分を占めるジョレンと長柄の操業区域である三渡川と松名瀬を調査対象とした。伊勢地区については, 漁獲量の大部分を占めるジョレンと長柄の操業区域である宮川河口域を調査対象とした。調査は2012年から2014年までの5月と10–11月に実施し, 鈴鹿地区と伊勢地区では2012年10月以降に実施した(Table 1)。また, 鈴鹿地区では北側区域が2012年10月に悪天候により欠測となった。そのため, 本研究では, 鈴鹿地区北側区域(以下, 若松と呼ぶ)と同地区南側区域(以下, 白子と呼ぶ)に区別した。なお, 2012年, 2013年, 2014年の伊勢湾全体のアサリの年間漁獲量(一部, 三河湾のものを含む)はそれぞれ4,786トン, 2,725トン, 980トンであり(農林水産省海面漁業生産統計調査 http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html, 2016年9月29日), 本研究の4地区のもが占める割合は, それぞれ42%, 36%, 39%であった(関係漁協から聞き取った漁獲量より算出)。

調査水深

本研究では操業区域での資源量推定を目的とし, ジョレンと長柄の操業区域である河口, 干潟, 水深0–1 mを水深帯I, 貝桁網の操業区域である水深1–5 mを水深帯IIとして, 調査対象とした(Fig. 1)。ただし, 鈴鹿地区の河口と干潟, 三渡川地区の上流(ほかの地区での河口に相当する水深)は操業区域となっていなかったため, 調査対象から除外した。鈴鹿地区の水深5–10 m(水深帯III)は操業区域とは

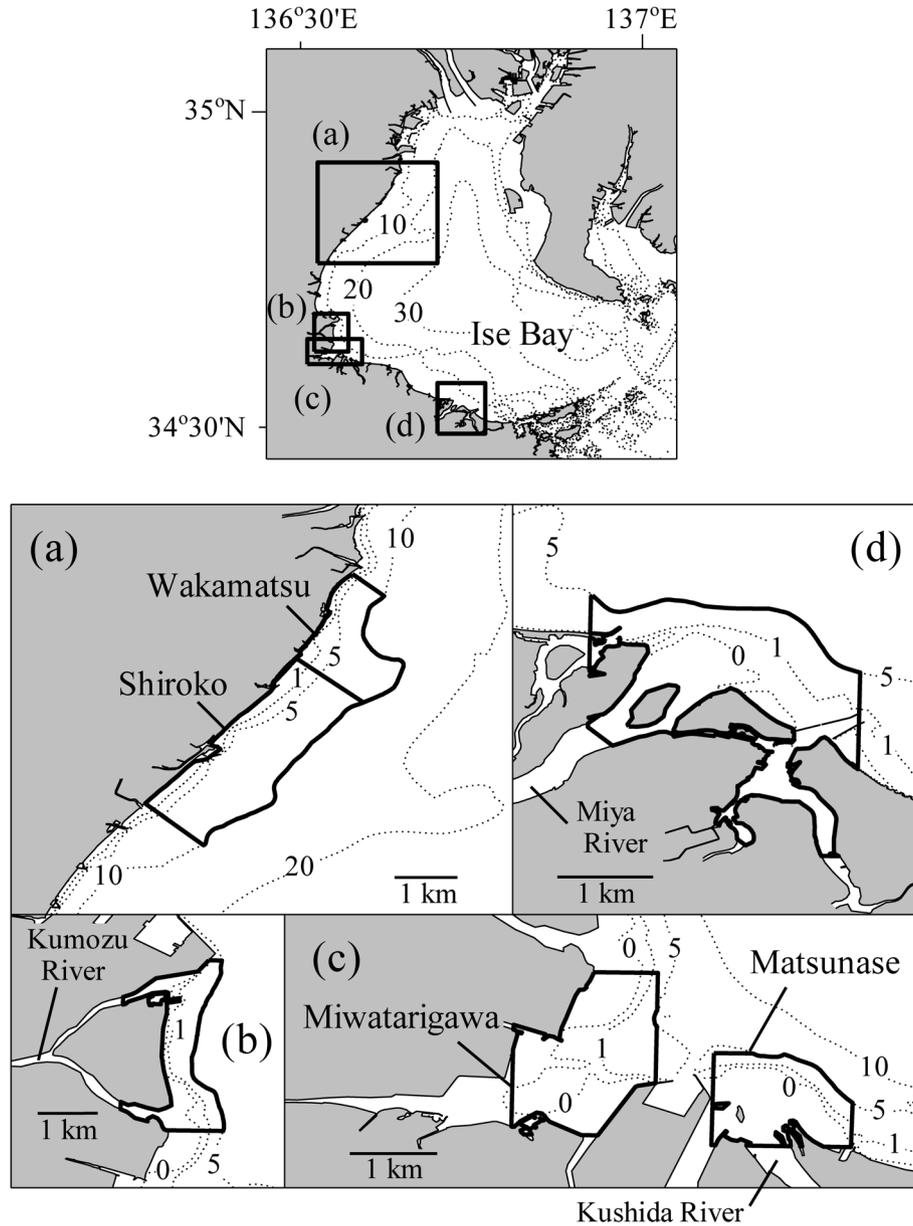


Figure 1. Location of sampling area in Ise Bay, Japan. (a) Suzuka region; (b) Karasu region; (c) Matsusaka region; (d) Ise region. Bold solid lines: sampling area; dotted lines and numbers: water depth (m).

なっていなかったため、当初は調査対象としていなかったが、2013年11月の調査により大規模な資源が存在する可能性が高まったため、2014年は調査対象とした (Fig. 1)。なお、水深帯Iはアサリの既存調査において調査対象とされてきた水深帯であり、水深帯IIとIIIは、これまでほとんど調査対象とされてこなかった水深帯である。

調査点配置

海底地形デジタルデータ M7002 Ver. 2.0 (財団法人日本水路協会) の水深に基づいて、河口、干潟、水深0-1 m, 1-2 m, 2-3 m, 3-5 m, 5-10 mの区画に分割し、各区画内に調査点を

無作為配置した (Table 1)。

採泥方法

各地区の全調査点を徒歩または小型船舶により1-2日間 (1日約3時間) で周回・調査した (Table 2)。ただし、2014年の鈴鹿地区では調査点数が多かったため、まず全域から無作為抽出した半数の調査点を1日間で周回・調査し、その1週間後に、残りの調査点を1日間で周回・調査した (Table 2)。各調査点での採泥回数は、2012年5月の調査では4回、それ以外の調査では2回とした。採泥には簡易軽量グラブ型採泥器 (採泥面積0.05 m²) (特開2015-099059)

Table 1. Sampling area and sample size.

Region	Subregion	Depth zone	Sub division	Sampling area (10 ⁴ m ²)	2012		2013		2014	
					May	October	May	November	May	November
Suzuka	Wakamatsu	I	River							
			Tidal flat							
		0-1 m	107.1		10	11	11	11		
		II	1-2 m	27.6		4	2	2	2	
		2-3 m	45.8		5	8	8	8		
	3-5 m	101.7		12	12	10	12			
	III	5-10 m	769.5				30	28		
	Shiroko	I	River							
			Tidal flat							
		0-1 m	298.3	61	15	17	17	17		
II		1-2 m	70.0	11	7	9	9	9		
2-3 m		71.5	13	18	20	20	20			
3-5 m	143.8	19	12	13	13	13				
III	5-10 m	1749.6					68	68		
Karasu	I	River	57.7	7	6	9	9	9	9	
		Tidal flat	64.7	12	11	16	15	15	15	
	0-1 m	109.4	8	9	7	7	7	7		
	II	1-2 m	42.3	9	9	2	3	3	3	
	2-3 m	43.6	8	8	4	4	4	4		
3-5 m	67.2	15	16	2	2	1	2			
Matsusaka	Miwatarigawa	I	River							
			Tidal flat	191.0	23	22	29	30	30	30
		0-1 m	167.4	19	20	22	22	22	22	
		II	1-2 m	26.7	8	8	8	7	6	7
		2-3 m	26.6	6	6	6	6	6	6	
	3-5 m	39.4	4	4	5	5	5	5		
	Matsunase	I	River	117.8	14	<u>7</u>	8	14	14	14
			Tidal flat	73.8	21	<u>15</u>	14	5	5	5
		0-1 m	67.0	8	<u>5</u>	5	2	2	2	
		II	1-2 m	22.8	5	<u>2</u>	2	2	2	2
2-3 m		9.2	6	<u>2</u>	4	4	4	4		
3-5 m	18.6	6	<u>4</u>	8	8	8	4			
Ise	I	River	276.1		24	29	17	19	20	
		Tidal flat	238.9		29	27	23	27	29	
	0-1 m	504.7		44	14	24	25	25		
	II	1-2 m	154.9		22	8	10	9	10	
	2-3 m	46.5		8	7	6	6	6		
3-5 m	109.2		10	10	10	10	10			

Depth zone I, II, and III: shallower than water depth 1 m, 1-5 m, and 5-10 m, respectively. Underlined numbers indicate that the sampling date was November 3, 2012.

を使用し、採泥試料を目合い2 mmのふるいにかけて、ふるいに残った試料を実験室に持ち帰った。ほとんどの試料についてはすべてのアサリを選別・計数したが、試料中に目視で大量のアサリが確認された一部の試料については、バット上で試料を分割してその一部についてアサリを選別・計数した。また、1回の採泥試料につき最大100個体の殻長をデジタルノギスで測定した。

データ解析

地区別・水深帯別の平均個体数密度 \bar{x} (individuals \cdot m⁻²)を式1に基づく層別2段抽出(鈴木・高橋, 1998)により推定した。

Table 2. Sampling date.

Region	Subregion	2012		2013		2014	
		May	October	May	November	May	November
Suzuka	Wakamatsu			25	2	24 and 31	1 and 8
	Shiroko		27	25	2	24 and 31	1 and 8
Karasu		9	23	16	4 and 5	21	7
Matsusaka	Miwatarigawa	8	30	14	5	20	6
	Matsunase	8	3 November	14 and 15	5	20	6
Ise			25 and 26	14 and 15	6	22 and 26	12

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{o_{ij}} w_i \cdot n_i^{-1} \cdot o_{ij}^{-1} \cdot x_{ijk} \cdot 0.05^{-1}$$

$$w_i = a_i \cdot \left(\sum_{i=1}^m a_i \right)^{-1} \quad (1)$$

ここで、 m が区画数、 n_i が各区画の調査点数、 o_{ij} が各区画各調査点の採泥回数、 x_{ijk} が各試料の個体数を表し、 w_i が各区画の相対面積、 a_i が各区画の面積を表す。なお、1調査点の平均個体数密度の検出限界は5–10 individuals \cdot m⁻²であり、検出限界未滿は0 individuals \cdot m⁻²として取り扱った。また、採泥器の採集効率率は100%と仮定した。

地区別・水深帯別の平均重量密度 \bar{y} (g \cdot m⁻²) を式2により推定した。

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{o_{ij}} w_i \cdot n_i^{-1} \cdot o_{ij}^{-1} \cdot y_{ijk} \cdot 0.05^{-1} \quad (2)$$

ここで、 y_{ijk} は各試料の重量を表す。ただし、本研究では個体重量を測定しなかったため、伊勢湾のアサリの殻長重量換算式(長谷川・日向野, 2010)により殻長1 mmの単位で重量換算した殻付き湿重量を試料ごとに集計して平均重量密度を算出した。

各水深帯の面積を平均個体数密度と平均重量密度に乗じて、総個体数 X と総重量 Y を推定した。また、総個体数については殻長組成とそのモード(以下、このモードを殻長最頻値 M (mm)と呼ぶ)も明らかにした。

鈴鹿地区では2013年11月に大規模なコホートが出現し、その1年後の調査において、ほぼ消失したことが確認された。このコホートの殻長組成は明瞭な単峰型であったため、2013年11月から2014年5月までの期間と2014年5月から同年11月までの期間について生残率 S (%)と殻長成長速度 G (mm \cdot month⁻¹)を算出した。生残率は総個体数の期間初期値に対する期間終期値の比、殻長成長速度は殻長最頻値の期間終期値と期間初期値の差を調査日数で除して30を乗じたものとした。

鈴鹿地区の水深帯IIIでは2013年11月に調査を実施しな

かったため、殻長組成と生残率が水深帯IIのものと同じと仮定して、水深帯IIIにおける11月の総重量 $Y_{III,Nov}$ を式3により推定した。

$$Y_{III,Nov} = Y_{II,Nov} \cdot X_{III,Nov}^{-1} \cdot X_{III,Nov} = Y_{II,Nov} \cdot X_{II,Nov}^{-1} \cdot (X_{III,May} \cdot S_{II}^{-1}) \quad (3)$$

ここで、 $Y_{II,Nov}$ は水深帯IIにおける11月の総重量、 $X_{II,Nov}$ は水深帯IIにおける11月の総個体数、 $X_{III,Nov}$ は水深帯IIIにおける11月の総個体数、 $X_{III,May}$ は水深帯IIIにおける5月の総個体数、 S_{II} は水深帯IIにおける2013年11月から2014年5月までの生残率を表す。

以上の推定値には、ノンパラメトリックブートストラップ・パーセントイル法(汪・桜井, 2011)により算出した50%分位点を使用し、リサンプリングの標本サイズは5,000回とした。推定値の95%信頼区間も同様に算出した。ただし、殻長最頻値の推定において、総個体数が検出限界未滿となるリサンプリング標本が出現した場合は、50%分位点と95%信頼区間は算出不可とした。生残率の推定において、リサンプリング標本の総個体数期間初期値が検出限界未滿となった場合とリサンプリング標本の推定値が100%を超えた場合は、理論上の上限である100%をリサンプリング標本の推定値として50%分位点と95%信頼区間を算出した。殻長成長速度の推定において、リサンプリング標本の終期総個体数が検出限界未滿であった場合は、全く成長しなかったものとして0 mm \cdot month⁻¹をリサンプリング標本の推定値とし、50%分位点と95%信頼区間を算出した。平均個体数密度と平均重量密度に関する分布中心の水深帯は50%分位点の大小により判定し、調査期間中におけるその一貫性は二項検定によっても評価した。検定の有意水準は5%としたが、調査回数が少なくどのような統計量が得られても有意とならない場合($n \leq 5$)は、検定不可として p 値を算出しなかった。その場合でも水深帯間で推定値の大小関係に例外がない場合は一定の傾向があるものと判断した。

結果

分布中心が認められた水深帯

鈴鹿地区若松では平均個体数密度と平均重量密度の水深帯間（水深帯IとII）の大小関係について一定の傾向は認められず（ $n=4$ ），鈴鹿地区白子においても同様に認められなかった（ $n=5$ ）（Fig. 2）。ただし，鈴鹿地区白子では，平均個体数密度が最大となった2013年11月と平均重量密度が

最大となった2014年5月の分布中心は水深帯IIに認められた（Fig. 2）。香良洲地区の平均個体数密度と平均重量密度は2014年5月に最大値が確認され，調査期間中，常に水深帯IIよりIの方が大きい傾向があった（いずれも $n=6$, $p=0.031$; Fig. 2）。松阪地区三渡川では2012年10月に平均個体数密度と平均重量密度の最大値が確認され，調査期間中，常に水深帯IIよりIの方が大きい傾向があった（いずれも

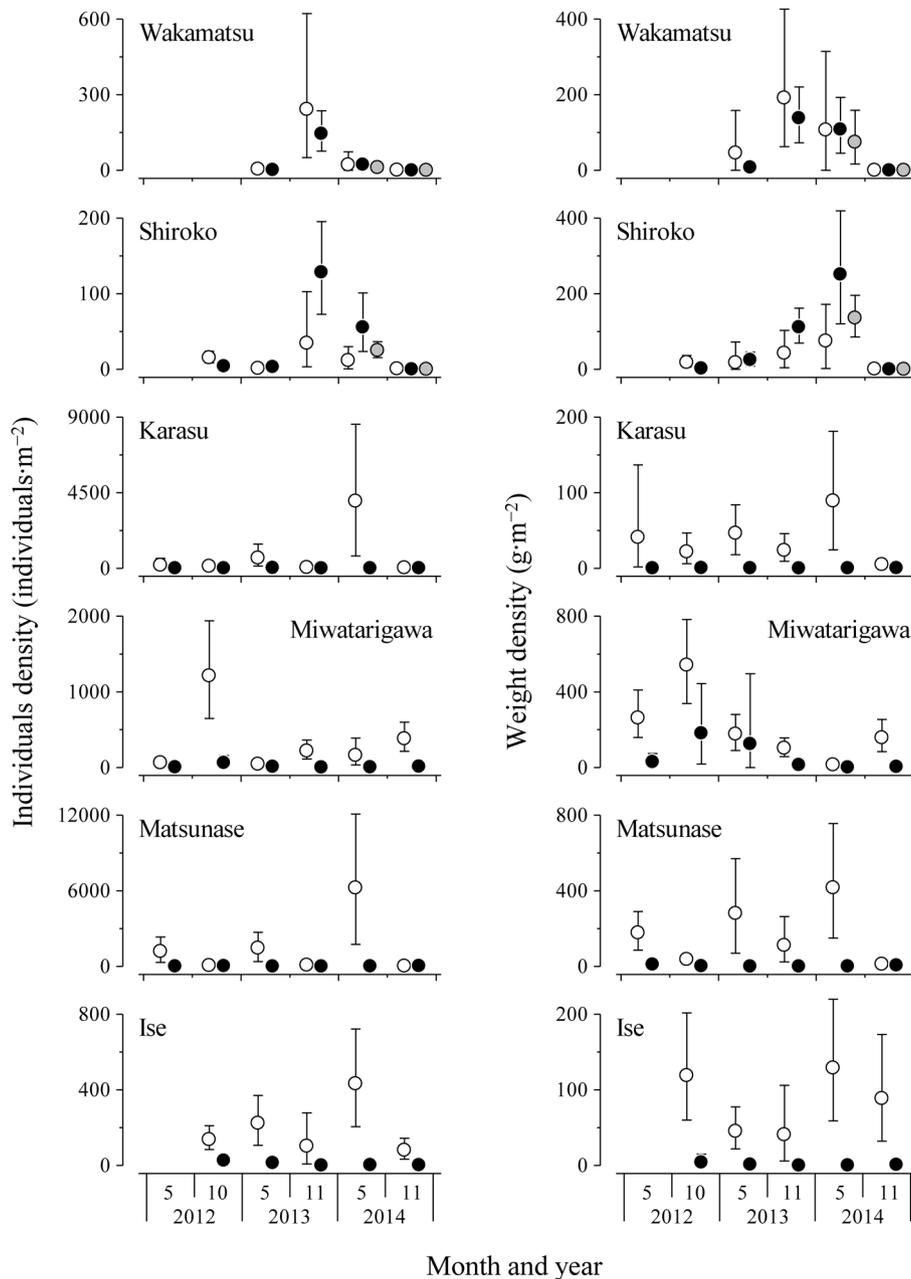


Figure 2. Density of *Ruditapes philippinarum* individuals and weights at each depth zone. Open, solid, and gray circles: 50% bootstrap-percentile of mean individuals \bar{x} and mean weights \bar{y} at depth zone I, II, and III, respectively. Depth zone I, II, and III: shallower than water depth 1 m, 1–5 m, and 5–10 m, respectively. Vertical bar: 95% confidence interval. Data at depth zone III were collected in the Suzuka region in May and November 2014. Sampling months in 2012 in the Matsunase subregion were May and November.

$n=6, p=0.031$; Fig. 2). 松阪地区松名瀬では2014年5月に平均個体数密度と平均重量密度の最大値が確認され、調査期間中、平均重量密度は水深帯IIよりIの方が大きい傾向があったが ($n=6, p=0.031$; Fig. 2), 平均個体数密度についてはそのような一定の傾向は認められなかった ($n=6, p=0.219$; Fig. 2). ただし、平均個体数密度の大小関係が反対となったのは2014年11月のみであり、そのときの水深帯間の差は小さかった (水深帯Iが $25.4 \text{ individuals} \cdot \text{m}^{-2}$, 水深帯IIが $32.5 \text{ individuals} \cdot \text{m}^{-2}$; Fig. 2). 伊勢地区では2014年5月に平均個体数密度と平均重量密度の最大値が確認され、調査期間中、常に水深帯IIよりIの方が大きい傾向があったが、調査回数が少なく有意ではなかった ($n=5$; Fig. 2).

総個体数の殻長組成

鈴鹿地区において漁獲可能サイズ (三重県では三重県漁業調整規則により殻長20 mm以下の採捕が禁止されている) より小さい個体は2013年5月に確認されなかったが、2013

年11月に単峰型の殻長組成が確認された (Fig. 3). その殻長最頻値は、若松が15 mm, 白子が14–15 mmであった (Table 3). 2014年5月の殻長組成も単峰型であり (Fig. 3), その殻長最頻値は、若松では水深帯Iが推定不可であったが、水深帯II–IIIが30–33 mm, 白子では27–28 mmであった (Table 3). 2014年11月は総個体数が検出限界未満となり、殻長最頻値は不明であった (Table 3). 香良洲地区では毎年5月に単峰型の殻長組成が確認され (Fig. 3), その殻長最頻値は4–12 mmであった (Table 3). これらのコホートは毎年、同年の10–11月にはほぼ消失していた (Fig. 3). 松阪地区三渡川では2012年5月に多峰型の殻長組成が確認され (Fig. 3), その殻長最頻値は27–39 mmであった (Table 3). 2012年10月にも20 mmを超えるものが確認されたが、それより後の調査ではほとんど確認されず、2013年11月以降は殻長20 mm未満が大部分を占める単峰型の殻長組成となった (Fig. 3; Table 3). 松阪地区松名瀬では毎年5月に

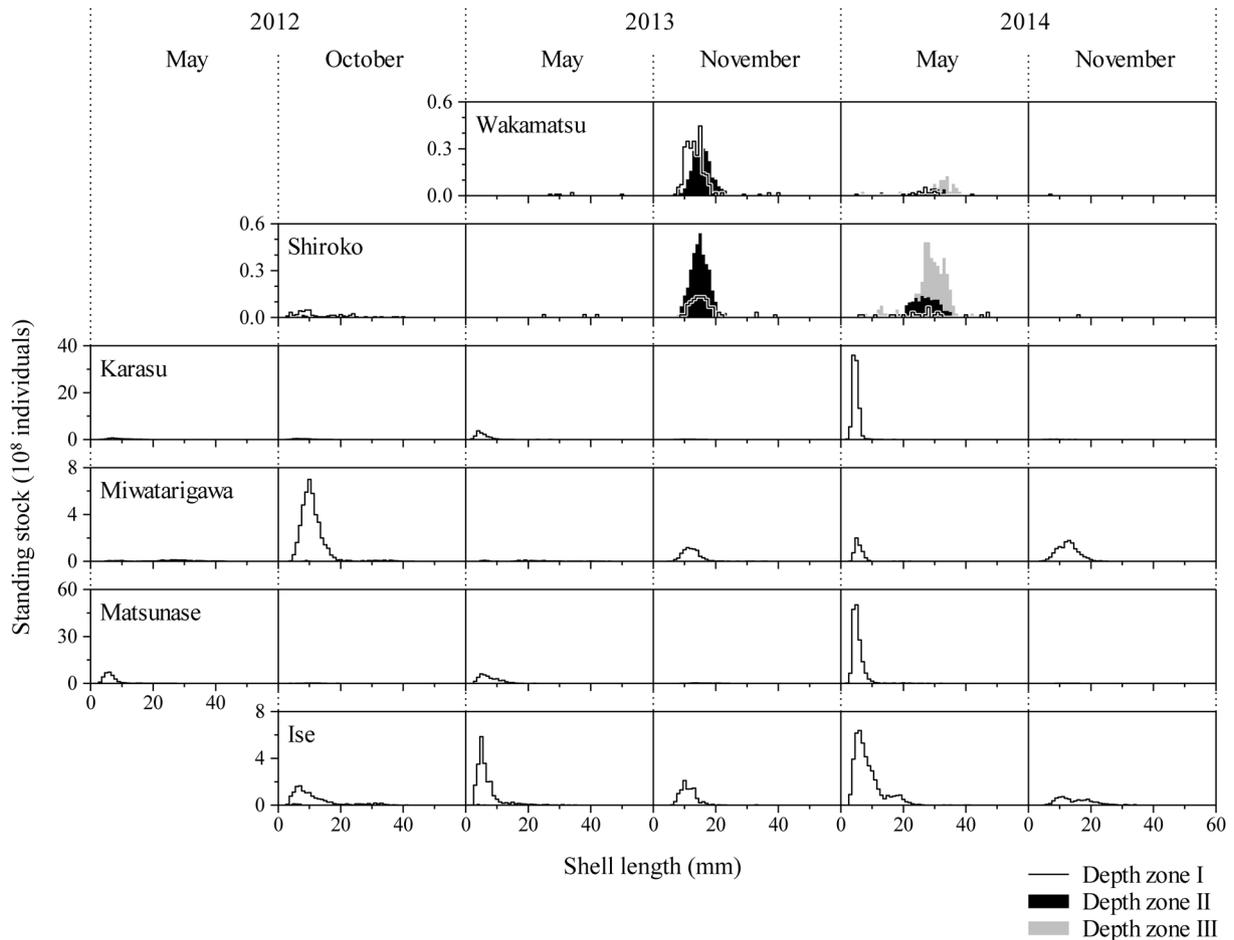


Figure 3. Shell length histograms of the stocks of *Ruditapes philippinarum* individuals at each depth zone. Solid line, solid bars, and gray bars: 50% bootstrap-percentile of stock of individuals X at depth zone I, II, and III, respectively. Depth zone I, II, and III: shallower than water depth 1 m, 1–5 m, and 5–10 m, respectively. Data at depth zone III were collected in the Suzuka region in May and November 2014. Sampling months in 2012 in the Matsunase subregion were May and November.

Table 3. Shell length modes (mm) of *Ruditapes philippinarum*.

Region	Subregion	Depth zone	2012		2013		2014	
			May	October	May	November	May	November
Suzuka	Wakamatsu	I	—	—	—	15 (10–15)	—	—
		II	—	—	—	15 (13–18)	30 (23–33)	—
		III	—	—	—	—	33 (30–35)	—
	Shiroko	I	—	9 (4–24)	—	14 (12–18)	28 (16–47)	—
		II	—	12 (6–19)	33 (24–42)	15 (13–18)	27 (23–32)	—
		III	—	—	—	—	28 (27–33)	—
Karasu		I	7 (4–8)	7 (5–10)	4 (4–5)	12 (10–14)	4 (4–5)	7 (6–10)
		II	—	—	—	—	—	—
Matsusaka	Miwatarigawa	I	27 (8–34)	10 (9–11)	19 (6–25)	11 (10–14)	5 (5–6)	13 (9–14)
		II	39 (5–50)	9 (9–43)	—	—	—	11 (8–14)
	Matsunase	I	6 (4–6)	<u>10 (6–13)</u>	5 (4–7)	14 (13–21)	5 (4–5)	13 (9–16)
		II	5 (3–36)	<u>4 (4–9)</u>	—	—	—	6 (6–17)
Ise		I	—	7 (6–7)	5 (4–5)	10 (8–13)	6 (4–7)	11 (9–19)
		II	—	5 (4–7)	4 (3–8)	—	—	—

Depth zone I, II, and III: shallower than water depth 1 m, 1–5 m, and 5–10 m, respectively. Shell length modes indicate 50% bootstrap-percentile of the modes M . Numbers in parentheses indicate 95% confidence interval. Em dash indicates no estimation. Underlined numbers indicate that the sampling date was November 3, 2012.

単峰型の殻長組成が確認され (Fig. 3), その殻長最頻値は 4–14 mm であった (Table 3). これらのコホートは毎年, 同年の 10–11 月にはほぼ消失していた (Fig. 3). 伊勢地区ではいずれの調査においても 20 mm 未満の個体が確認され (Fig. 3), 殻長最頻値は 4–11 mm であった (Table 3). 同地区では 2012 年 11 月に多峰型の殻長組成が確認されたが, 2013 年 5 月には 20 mm を超える個体はほぼ消失した (Fig. 3).

2013年11月に出現した鈴鹿地区のコホート

2013 年 11 月から 2014 年 5 月までの生残率は 9.1–43.6% と推定され, 若松より白子で高い傾向があった (Table 4). 2014 年 5 月から 2014 年 11 月までの生残率は, 若松の水深帯 I については 2014 年 5 月の総個体数が検出限界未満となり推定できなかったが, それ以外では 0.0–3.0% と推定された (Table 4). 2013 年 11 月から 2014 年 5 月までの殻長成長速度は 1.7–2.2 mm·month⁻¹, 2014 年 5 月から 2014 年 11 月までのそれは推定できなかった (Table 5). 以上の生残率と殻長組成から推定した 2013 年 11 月の水深帯 III における総重量は, 若松が 510 トン (95% 信頼区間 102–1,883 トン), 白子が 863 トン (350–2,391 トン) であった (図表なし).

各地区の資源量

2014 年 5 月の鈴鹿地区白子における総個体数と総重量は各水深帯の面積を反映して水深帯 III で大きかった (Fig. 4). 鈴鹿地区若松においても, 2014 年 5 月の総個体数と総重量は面積の大きい水深帯 III で大きかった (Fig. 4). 一方, これら以外の地区における総個体数と総重量は常に水深帯 I で大きかった (Fig. 4). 総重量の最大値は 2014 年 5 月の鈴鹿地区で確認された 4,246 トンであり (Table 6), その 70.0%

(95% 信頼区間 57.0–80.9%) を水深帯 III のものが占めた. 2 番目に大きい総重量は 2013 年 11 月の鈴鹿地区で推定された 2,419 トンであり (Table 6), その 62.2% (95% 信頼区間 42.0–78.6%) を水深帯 III のものが占めた.

考察

分布中心と資源量

本研究により, 香良洲地区と松阪地区三渡川における平均個体数密度と平均重量密度の分布中心は水深帯 I であることが確認され (Fig. 2), 松阪地区松名瀬と伊勢地区においても分布中心は水深帯 I である可能性が高いことが確認された (Fig. 2). 一方, 鈴鹿地区では分布中心に一定の傾向が認められなかったが (Fig. 2), 同地区において大規模な資源が確認された 2014 年 5 月の分布中心は白子では水深帯 II に確認され (Fig. 2), 同地区の総重量は面積の大きい水深帯 III のものが大部分を占めていたことが確認された. このような深い水深帯に大規模な資源が形成されることは伊勢湾ではこれまでに知られておらず, その理由としては, この大規模資源は広大な面積を反映したものであり, 局所的な平均密度の調査や操業だけではその資源量の把握が困難であったこと, また, 同水深帯での大規模資源は毎年形成されるとは限らないため, 資源量調査や操業を実施しても必ずしもその存在が検出されないことが考えられる. すなわち, 本研究の結果は, 伊勢湾におけるアサリ資源量の推定には資源量調査を広域で複数回実施する必要があることを示唆しており, また, そのような調査がほとんど行われていない現状では, 本研究が調査対象としなかつ

Table 4. Survival rates (%) of *Ruditapes philippinarum* in the Suzuka region.

Subregion	Depth zone	From November 2013 to May 2014	From May 2014 to November 2014
Wakamatsu	I	9.1 (0.0–72.7)	—
	II	15.0 (5.5–38.2)	0.0 (0.0–0.0)
	III		0.0 (0.0–0.0)
Shiroko	I	34.4 (0.2–100.0)	3.0 (0.0–100.0)
	II	43.6 (16.6–97.3)	0.0 (0.0–0.0)
	III		0.0 (0.0–0.0)

Depth zone I, II, and III: shallower than water depth 1 m, 1–5 m, and 5–10 m, respectively. Survival rates indicate 50% bootstrap-percentile of the survival rates *S*. Numbers in parentheses indicate 95% confidence interval. Em dash indicates no estimation.

Table 5. Shell length growth rates ($\text{mm} \cdot \text{month}^{-1}$) of *Ruditapes philippinarum* in the Suzuka region.

Subregion	Depth zone	From November 2013 to May 2014	From May 2014 to November 2014
Wakamatsu	I	1.7 (0.0–2.5)	—
	II	2.2 (0.9–2.9)	—
	III		—
Shiroko	I	1.9 (0.0–5.1)	—
	II	1.9 (1.2–2.6)	—
	III		—

Depth zone I, II, and III: shallower than water depth 1 m, 1–5 m, and 5–10 m, respectively. Shell length growth rates indicate 50% bootstrap-percentile of the growth rates *G*. Numbers in parentheses indicate 95% confidence interval. Em dash indicates no estimation.

たほかの地区においても大規模な資源が未発見のままとなっている可能性があることを示唆している。

分布中心・資源量を規定する要因

本研究において各地区でのアサリの分布中心を調査した結果、鈴鹿地区のそれは不明瞭であったが、2013年11月の鈴鹿地区白子でのそれは水深帯IIに確認され、その平均個体数密度・平均重量密度は10–11月のものとしては調査対象の3年間で最も大きかった (Fig. 2)。また、鈴鹿地区では2014年5月に水深帯I–IIIで確認された4,246トンもの資源が同年11月までにほぼ消失していたことが確認された (Tables 4, 6)。伊勢湾では貧酸素水塊が水深5 m以浅に到達してアサリの大量へい死を引き起こすことがあり (糸川ほか, 1984; 中尾・石川, 1989; 坂口ほか, 1998; 日向野・品川, 2009)、2012年と2014年の鈴鹿地区では、水深20 m以浅に設定された溶存酸素濃度の複数の観測地点 (定点A5, A6, 4) において、貧酸素水塊 (溶存酸素濃度 $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下の水塊 (天川・関口, 2015)) が夏季 (7–8月) だけでなく秋季 (9–10月) にも観測されていた (三重県水産研究所による伊勢湾浅海定線観測 <http://www.pref.mie.lg.jp/suigi/hp/index.shtm>, 2016年9月18日; 海上保安庁による伊勢湾環境保全調査 http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN4/kaisyo/isewan/isewan_kankyo.html, 2016年9月18日; 環境省による広域総合水質測定 <https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/index.asp>, 2017年1月12日; Figs. 5, 6)。一方、2013年は鈴鹿地区

のいずれの観測地点 (定点A5, A6, 4, Mie11, Mie15) においても秋季 (9–10月) に貧酸素水塊が観測されていなかったことから (Figs. 5, 6)、同地区における資源量は貧酸素水塊の影響の小さい年に大規模なものとなる可能性が高いと考えられる。水深帯Iに分布中心が確認された香良洲地区、松阪地区、伊勢地区においても各地区に隣接した複数の観測地点において貧酸素水塊が観測されていたことから (Figs. 5, 6; 香良洲地区と松阪地区: 定点9, B7; 伊勢地区: 定点13, 16, B)、これらの地区の水深帯II以深のアサリ資源も貧酸素水塊の影響を受けている可能性がある。ただし、これらの地区では鈴鹿地区と比べて溶存酸素濃度の観測地点が少なく、調査対象区域から離れた観測地点が多いことから、現時点では推測の域を出ない。これらの地区についても溶存酸素濃度を定期観測し、まずはどの程度の水深まで貧酸素水塊が到達しているのかを確認する必要があるであろう。

三河湾や東京湾では、アサリの浮遊幼生は、通常、水柱の表層から底層まで広く分布するが (黒田, 2005; 鳥羽ほか, 2013)、貧酸素水塊 (主に底層付近) の中には分布しないことが確認されている (Toba et al., 2008; 蒲原ほか, 2012; 山田ほか, 2015)。伊勢湾におけるアサリの浮遊幼生の鉛直分布は調べられていないが、伊勢湾においても貧酸素水塊が毎年夏季から秋季にかけて湾口部を除いたほぼ全域の底層や中層に出現することが知られている (久野, 1996;

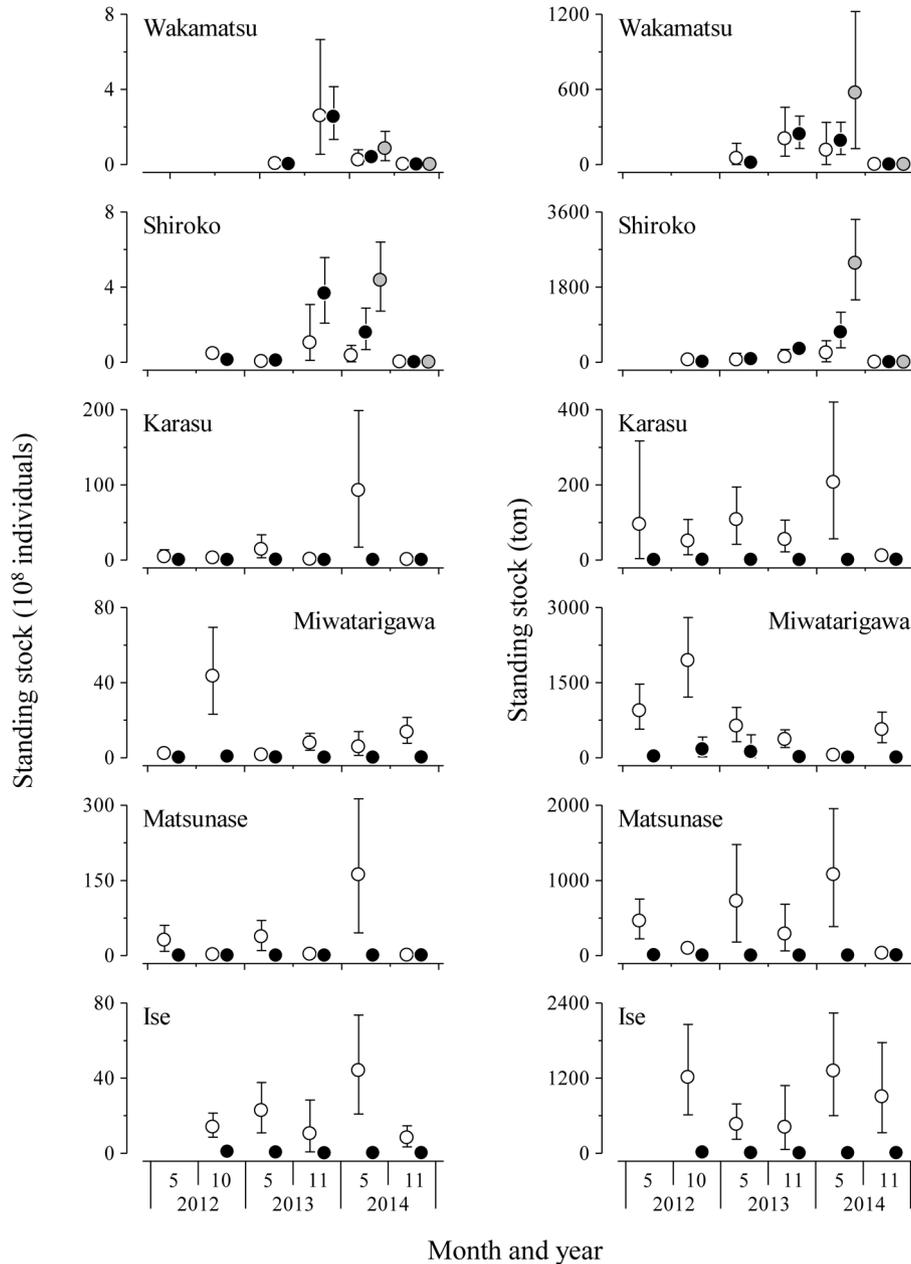


Figure 4. Standing stocks of *Ruditapes philippinarum* at each depth zone. Open, solid, and gray circles: 50% bootstrap-percentile of stock of individuals X and weights Y at depth zone I, II, and III, respectively. Depth zone I, II, and III: shallower than water depth 1 m, 1–5 m, and 5–10 m, respectively. Vertical bar: 95% confidence interval. Data at depth zone III were collected in the Suzuka region in May and November 2014. Sampling months in 2012 in the Matsunase subregion were May and November.

笠井ほか, 2000; 黒田・藤田, 2006). また, アサリは周年産卵しており, その盛期は春季と秋季の年2回と考えられている(萩田・石川, 1985; Miyawaki and Sekiguchi, 1999; 松本ほか, 2014). つまり, 伊勢湾においても浮遊幼生と貧酸素水塊の出現時期が重複しており, 浮遊幼生の鉛直分布が貧酸素水塊の影響を受け, その結果として, 底生期のアサリの各水深帯での生息密度・資源量に差が生じている

可能性がある. ただし, 鈴鹿地区では2013年11月に大規模な資源(殻長最頻値14–15 mm)の存在が推定されたが(Tables 3, 6), これが貧酸素水塊解消後の9月に着底したものであったと想定すると, 11月上旬までの1–2ヶ月間の殻長成長速度は $7.0\text{--}15.0\text{ mm}\cdot\text{month}^{-1}$ と推定される. これは伊勢地区のアサリで報告されている $1.5\text{ mm}\cdot\text{month}^{-1}$ (羽生(2016)より, 11月上旬に着底して翌年8月下旬に殻長

Table 6. Standing stocks (ton) of *Ruditapes philippinarum*.

Region	Subregion	2012		2013		2014	
		May	October	May	November	May	November
Suzuka* ¹					2,419 (1,428–4,408)	4,246 (3,080–5,576)	2 (0–7)
	Wakamatsu				980 (446–2,406)	897 (400–1,577)	0 (0–0)
	Shiroko				1,325 (719–2,905)	3,314 (2,322–4,509)	2 (0–7)
Suzuka* ²				193 (76–395)	912 (633–1249)	1,270 (774–1854)	2 (0–7)
	Wakamatsu			64 (8–184)	453 (259–734)	312 (130–572)	0 (0–0)
	Shiroko		61 (24–117)	117 (35–295)	447 (278–668)	943 (505–1492)	2 (0–7)
Karasu* ²		95 (4–317)	51 (15–109)	108 (42–195)	55 (22–106)	207 (56–420)	12 (5–21)
Matsusaka* ²		1,446 (988–2,029)	2,221 (1,474–3,080)	1,475 (794–2,328)	673 (376–1,104)	1,128 (432–2,014)	598 (337–949)
	Miwatarigawa	964 (596–1,499)	2,122 (1,372–2,987)	738 (368–1,231)	381 (220–574)	50 (15–111)	565 (302–913)
	Matsunase	464 (229–754)	<u>96</u> (<u>50–152</u>)	724 (181–1475)	287 (63–683)	1,076 (387–1,953)	33 (17–58)
Ise* ²		1,228 (624–2,078)	464 (226–794)	413 (60–1,080)	1,314 (602–2,241)	906 (330–1,769)	

*¹: standing stocks from depth zone I to III. *²: standing stocks from depth zone I to II. Depth zone I, II, and III: shallower than water depth 1 m, 1–5 m, and 5–10 m, respectively. Standing stocks indicate 50% bootstrap-percentile of stock of weights Y . Numbers in parentheses indicate 95% confidence interval. Underlined numbers indicate that the sampling date was November 3, 2012.

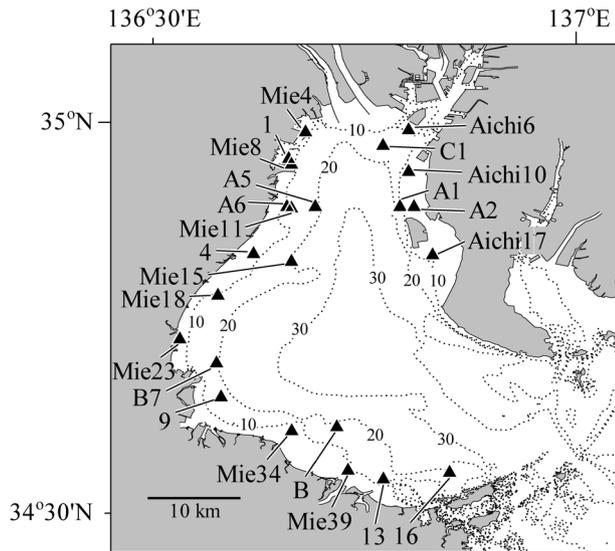


Figure 5. Locations of the observation stations for dissolved oxygen concentration in Ise Bay from 2012 to 2014. Triangles: observation stations. Letters: station names. Dotted lines and numbers: water depth (m).

15 mmまで成長したと仮定)と比べて不自然なほど高い。一方、底生期のアサリは貧酸素耐性が高く、数日間の暴露ではへい死しないとの報告があることに加え(萩田, 1985), 鈴鹿地区に隣接した前述の観測定点A6では、2013年の溶存酸素濃度が夏季から秋季にかけて $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上となっていた(Figs. 5, 6)。すなわち、鈴鹿地区では溶存酸素濃度が局所的あるいは短期的に大きく変動しており、底生期のアサリに対する貧酸素水塊の影響が実際には軽微であったとすれば、2013年11月に確認された資源は、2013年春産まれのもの、あるいは同年夏産まれのものに着底・生残・成長したことにより形成されたものであったと考えることができる。

香良洲地区、松阪地区松名瀬、伊勢地区では、本研究において毎年5月に主に小型個体(殻長最頻値4–7 mm)の出現による分布中心が水深帯Iに確認された(Table 3; Fig. 3)。伊勢湾西部に位置する安濃川・志登茂川の河口域とその周辺(香良洲地区から北へ約9 kmの位置)におけるアサリの分布中心は水深帯I(河口干潟)に形成され、これは幼生の輸送や選択的着底の影響によるものと推察されている

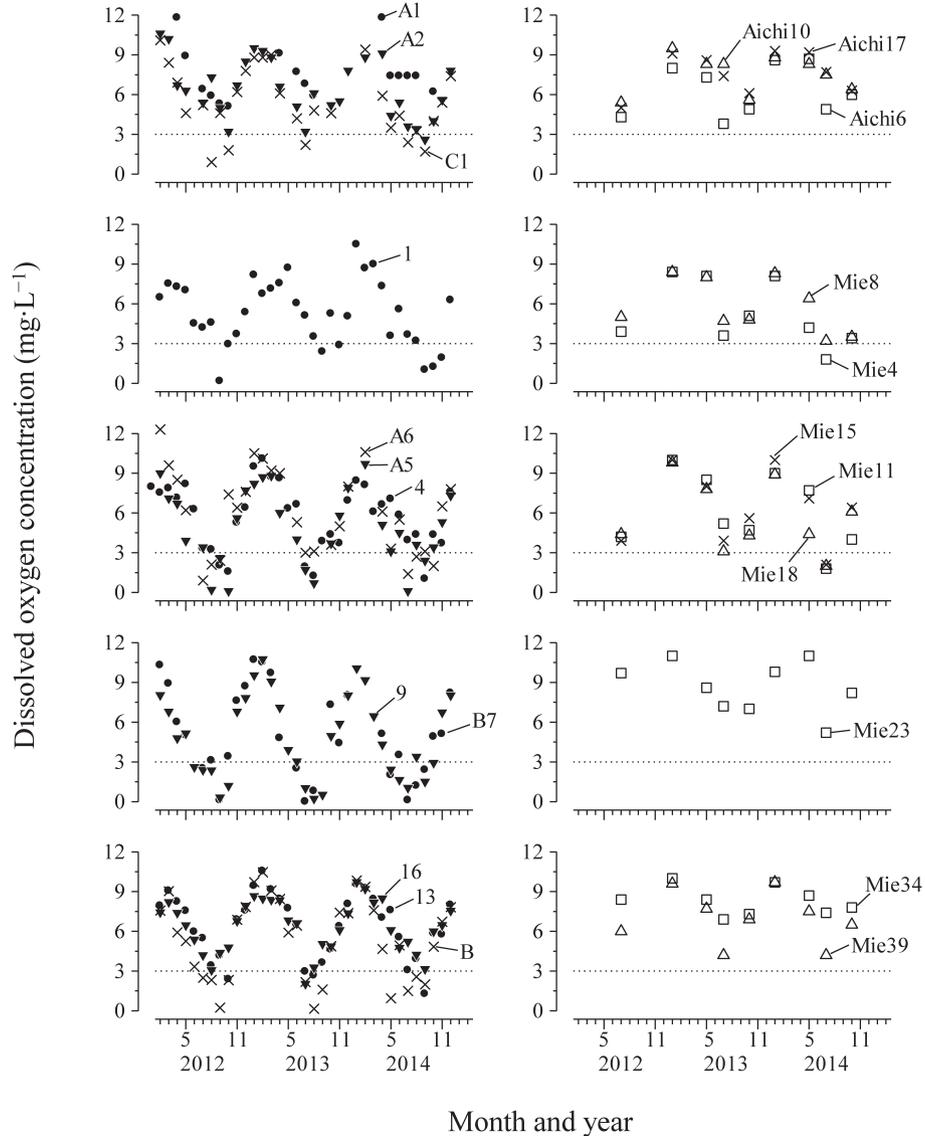


Figure 6. Dissolved oxygen concentration at 1 m above the seabed in Ise Bay from 2012 to 2014. Letters: station names in Figure 5. Dotted lines: $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The dissolved oxygen concentrations were based on the data obtained from the Mie Prefecture Fisheries Research Institute, the Japan Coast Guard, and the Ministry of Environment.

(Tsutsumi and Sekiguchi, 1996). 三河湾や東京湾においても、河口域とその周辺では水深帯I（河口干潟）に稚貝場が形成され、同様の形成要因が推察されている（黒田, 2005; 鳥羽ほか, 2013）。本研究により水深帯Iに分布中心が認められた香良洲地区、松阪地区松名瀬、伊勢地区には、流域面積の大きい一級河川（それぞれ雲出川、櫛田川、宮川）の河口干潟が存在しており（Fig. 1）、水深帯Iに明瞭な分布中心が認められなかった鈴鹿地区では、流入河川が流域面積の小さい中小河川に限られ、調査対象区域に河口干潟は存在していない（Fig. 1）。したがって、本研究で確認された分布中心の形成も河口干潟の存在とそれに伴う幼

生の供給や選択的着底の影響によるものであった可能性がある。

本研究では松阪地区三渡川においても毎年5月に水深帯Iに分布中心が確認されたが（Fig. 2）、その殻長最頻値は、2012年5月が27 mm、2013年5月が19 mm、2014年5月が5 mmと推定され（Table 3; Fig. 3）、年々小さくなる傾向があった。また、筆者が関係漁協から聞き取った松阪地区の調査対象区域での年間漁獲量は2012年が1,077トン、2013年が392トン、2014年が34トンであり、これは本研究で推定した松阪地区での総重量（Table 6）の経年変化とよく一致している。これらの値から同地区での年間平均総重量に

対する漁獲量の割合を試算すると、2012年が59%、2013年が36%、2014年が4%となり、同地区では、漁獲が漁獲対象サイズの資源量に大きな影響を及ぼしていたことがうかがえる。ただし、同地区では毎年、小型個体（殻長20 mm未満の個体）が高密度に出現していたが（Fig. 3）、約半年後にはほぼ消失していたことが確認され（Fig. 3）、伊勢湾の潮間帯（水深帯I）で報告されているアサリの成長速度（前述した $1.5 \text{ mm} \cdot \text{month}^{-1}$ ）に基づけば、この消失が漁獲によるものであったとは考えにくい。同様の小型個体の消失は本研究において香良洲地区と伊勢地区でも確認されたことから（Fig. 3）、これらの地区に共通した減少要因（例えば、夏季や秋季は豪雨・河川出水によるへい死（羽生, 2015）、冬季は低水温と波浪による消失（柿野ほか, 1995））が存在する可能性が高いと考えられる。

本研究では、香良洲地区、松阪地区松名瀬、伊勢地区において、2014年5月に小型個体（殻長最頻値4–6 mm）の大量発生が確認された（Table 3; Fig. 3）。このような広域での同期は1990年代の湾西部（津地区）と湾南部（伊勢地区）との間でも確認されており、この事例では幼生の大量供給によるものと推察されている（羽生, 2015）。また、津地区の潮間帯で行われた幼生の加入過程に関する調査により、秋季に着底したものは翌年春季には平均殻長3–5 mmまで成長することが確認されている（Miyawaki and Sekiguchi, 1999）。本研究で確認された2014年5月の小型個体も同様に成長したものであったと想定すると、その大量発生は、2013年秋季に産み出された卵・浮遊幼生が各地区へ大量に供給され、それらが着底・生残・成長したことによるものであったと考えることができる。

これまでに伊勢湾西部・南部のアサリにとっての母貝場は特定されていないが、幼生の輸送経路として、湾北部・西部から湾南部に向かう経路（湾奥部から湾口部に向かう経路）が数値シミュレーションにより示唆されている（水野・丸山, 2009; 水野ら, 2009）。本研究により推定された2013年11月の総重量は、香良洲地区が55トン、松阪地区三渡川が377トン、松阪地区松名瀬が287トン、伊勢地区が413トン、鈴鹿地区が912トン（水深帯IIIの推定値も含めると2,419トン）であり、鈴鹿地区のものが最大であった（Table 6）。また、本邦で報告されている成熟の最小サイズは殻長7 mmであり（高, 1957; 辻ほか, 1994）、本研究により鈴鹿地区における2013年11月の殻長最頻値は14–15 mmと推定されたことから（Table 3）、2013年秋季の湾北西部には大規模な母貝場が出現していた可能性が高いと考えられる。つまり、ここからの卵・浮遊幼生が湾西部・南部へ大量に供給され、小型個体の大量発生につながった可能性が一つの仮説として浮かび上がる。また、鈴鹿地区では本研究により2014年5月にも4,246トンという大規模な資源が確認され（Table 6）、その殻長最頻値は27–33 mmと推定された（Table 3）。このサイズでの産卵状況は鈴鹿

地区のものについては明らかにされていないが、前述の成熟の最小サイズを超えていることに加え、他の地区では産卵可能であることが報告されており（萩田・石川, 1985; 松本ほか, 2014）、伊勢湾のアサリの産卵盛期は前述したように春季と秋季の年2回と考えられている。したがって、本研究において松阪地区三渡川や伊勢地区で2014年11月に確認された小型個体（Fig. 3）についても、湾北西部の母貝場から供給されたものであった可能性があると言えるだろう。

以上のように、本研究により、伊勢湾では貧酸素水塊がアサリの分布中心と資源量に大きな影響を及ぼしている可能性が示唆された。また、湾北西部では貧酸素水塊の影響が小さい年に大規模な資源が形成されることがあり、これは湾西部・南部にとっての母貝場である可能性が示唆された。本研究では三重県側の主漁場4地区を調査対象としたが、前述した溶存酸素濃度の定期観測によれば、四日市港の定点1と名古屋港前の定点C1においても、鈴鹿地区と同様、溶存酸素濃度が2013年に高く、2012年と2014年に低い傾向にあった（Figs. 5, 6）。これは鈴鹿地区以外にも大規模な資源が形成され、湾西部・南部にとっての母貝場となる可能性があることを示唆しており、その探索は、鈴鹿地区にとっての母貝場がどこであるかの問題を明らかにする上でも重要と考えられる。

謝 辞

資源量調査と漁獲量データの収集にご協力いただいた鈴鹿市漁業協同組合、香良洲漁業協同組合、松阪漁業協同組合、および伊勢湾漁業協同組合に感謝申し上げます。また、適切で丁寧なご指摘をくださった2名の査読者に感謝申し上げます。本研究の一部は水産庁水産基盤整備調査委託事業「アサリ資源回復モデルの開発と実証」および「アサリ資源回復のための母貝・稚貝・成育場の造成と実証」により実施した。

引用文献

- 天川哲也・関口秀夫 (2015) 伊勢湾のメガベントス群集の分布と底層環境との関係. 沿岸海洋研究, **53**(1), 97–110.
- 網尾 勝・吉田 裕 (1968) 木曾三川河口域におけるハマグリ・アサリの生態学的研究—特に資源について. 木曾三川河口資源調査報告, **5**, 905–924.
- 萩田健二 (1985) 貧酸素水と硫化水素水のアサリのへい死に与える影響. 水産増殖, **33**(2), 673–71.
- 萩田健二・石川貴朗 (1985) 伊勢湾におけるアサリの産卵期について. 水産増殖, **32**(4), 213–215.
- 羽生和弘 (2015) 伊勢湾南部の保護水面におけるアサリ資源量の長期変動. 三重県水産研究所研究報告, **24**, 19–36.
- 羽生和弘 (2016) 伊勢湾南部の保護水面におけるアサリの生残と成長. 三重県水産研究所研究報告, **25**, 69–85.
- 長谷川夏樹・日向野純也 (2010) 伊勢湾におけるアサリの殻長-重量換算式. 水産増殖, **58**(1), 155–158.
- 日向野純也・品川 明 (2009) アサリの代謝生理からみた貧酸素の

- 影響とその対策。「アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として」日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 87-100.
- 糸川貞之・松本兼一・池田 正・中西捨吉(1984) アサリ斃死調査. 昭和57年度三重県伊勢湾水産試験場年報, 105-124.
- 柿野 純・古畑和哉・長谷川健一(1995) 東京湾盤洲干潟における冬季のアサリのへい死要因について. 水産工学, **32**(1), 22-32.
- 蒲原 聡・和久光靖・山田 智(2012) アサリ浮遊幼生の貧酸素耐性. 愛知県水産試験場研究報告, **17**, 27-30.
- 笠井亮秀・川西里佳・藤原建紀(2000) 伊勢湾の流動構造と貧酸素水塊. 水産海洋研究, **64**(4), 235-243.
- 岸田 達(2002) 漁業から独立した資源量推定法. 「平成12年度資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—」日本水産資源保護協会, 東京, 167-175.
- 高 良夫(1957) アサリ生殖巣についての二・三の組織学的観察. 日本水産学会誌, **23**(7-8), 394-398.
- 久野正博(1996) 伊勢湾における海況の季節変化. 三重県水産技術センター研究報告, **6**, 27-46.
- 黒田伸郎(2005) アサリ幼生の干潟への侵入機構. 水産総合研究センター研究報告, 別冊3, 67-77.
- 黒田伸郎・藤田弘一(2006) 伊勢湾と三河湾の貧酸素水塊の短期変動及び長期変動の比較. 愛知県水産試験場研究報告, **12**, 5-12.
- 松本才絵・淡路雅彦・日向野純也・長谷川夏樹・山本敏博・柴田玲奈・秦 安史・櫻井 泉・宮脇 大・平井 玲・程川和宏・羽生和弘・生嶋 登・内川純一・張 成年(2014) 日本国内6地点におけるアサリの生殖周期. 日本水産学会誌, **80**(4), 548-560.
- 水野知巳・丸山拓也(2009) 伊勢湾のアサリ資源と漁場環境. 「アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として」日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 9-25.
- 水野知巳・丸山拓也・日向野純也(2009) 三重県における伊勢湾のアサリ漁業の変遷と展望(総説). 三重県水産研究所研究報告, **17**, 1-21.
- Miyawaki, D. and H. Sekiguchi (1999) Interannual variation of bivalve populations on temperate tidal flats. *Fish. Sci.*, **65**(6), 819-829.
- 中尾尚之・石川貴朗(1989) アサリへい死等の発生について. 昭和63年度三重県水産技術センター事業報告, 141-142.
- 汪 金芳・桜井裕仁(2011) プートストラップ入門. 「Rで学ぶデータサイエンス」金 明哲編, 共立出版, 236 pp.
- 坂口研一・南 勝人・藤原正嗣・伊藤 徹・辻ヶ堂 諱・落合 昇・石川貴朗(1999) 沿岸漁場整備開発調査. 平成10年度三重県科学技術振興センター水産技術センター事業報告, 128-134.
- 坂口研一・南 勝人・瀬古準之助・伊藤 徹(1998) 貧酸素によるアサリ漁場影響調査. 平成9年度三重県水産技術センター事業報告, 187-188.
- 関口秀夫(2009) 幼生加入過程: アサリ資源研究の新しい視点. 「アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として」日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 36-60.
- 関口秀夫・石井 亮(2003) 有明海の環境異変—有明海のアサリ漁獲量激減の原因について—. 海の研究, **12**(1), 21-36.
- 鈴木達三・高橋宏一(1998) 「標本調査法」. 朝倉書店, 東京, 262 pp.
- 鳥羽光晴・山川 紘・庄司紀彦・小林 豊(2013) 東京湾盤洲沿岸での夏季1潮汐間におけるアサリ幼生の鉛直分布の特徴. 日本水産学会誌, **79**(3), 355-371.
- Toba, M., T. Kosemura, H. Yamakawa, Y. Sugiura and Y. Kobayashi (2008) Field and laboratory observations on the hypoxic impact on survival and distribution of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* larvae in Tokyo Bay, central Japan. *Plankton Benthos Res.*, **3**(3), 165-173.
- 東海農政局(1965-2009) 海面漁業生産統計調査. 三重県漁業地区別統計表, 昭和39-平成20年度.
- 辻 秀二・宗清正廣・井谷匡志・道家章生(1994) 舞鶴湾のアサリ稚貝の沈着, 成長, 減耗. 水産増殖, **44**(1), 25-30.
- Tsutsumi, Y. and H. Sekiguchi (1996) Spatial distributions of larval, newly-settled, and benthic stages of bivalves in subtidal areas adjacent to tidal flats. *Benthos Res.*, **50**, 29-37.
- 山田 智・岩田靖宏・堀口敏宏・鈴木輝明(2015) 三河湾におけるアサリ浮遊幼生の鉛直分布に与える貧酸素水塊の影響. 水産海洋研究, **79**(1), 1-11.