

諫早湾潮止め後の有明海における二枚貝群集の変化

Faunal Change of Bivalves in Ariake Bay after the Construction of a Dike for the Reclamation of Isahaya Bay, Western Kyushu, Japan

金澤 拓¹⁾・佐藤慎一²⁾*・東 幹夫³⁾・近藤 寛⁴⁾・西ノ首英之⁵⁾・松尾匡敏⁵⁾¹⁾ 東北大学理学部地圏環境科学科. 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3²⁾ 東北大学総合学術博物館. 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3³⁾⁴⁾ 長崎大学教育学部地学教室. 〒852-8521 長崎市文教町 1-14⁵⁾ 長崎大学大学院生産科学研究科. 〒852-8521 長崎市文教町 1-14Taku KANAZAWA¹⁾, Shin'ichi SATO²⁾*, Mikio AZUMA³⁾, Hiroshi KONDO⁴⁾, Hideyuki NISHINOKUBI⁵⁾ and Masatoshi MATSUO⁵⁾¹⁾ Department of GeoEnvironmental Sciences, Faculty of Science, Tohoku University. Aoba 6-3, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan²⁾ The Tohoku University Museum. Aoba 6-3, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan³⁾⁴⁾ Department of Geology, Faculty of Education, Nagasaki University. 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan⁵⁾ Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University. 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

Abstract: The inner part of Isahaya Bay was isolated from the rest of Ariake Bay by a reclamation dike in April, 1997. Thereafter, several changes in environmental conditions, such as a drastic increase in red tides and hypoxic water, were observed in Ariake Bay. We periodically monitored the number of species and mean densities of bivalves in two regions: (1) 20 fixed stations around the mouth of Isahaya Bay from June, 1997, to November, 2003; and (2) 24 fixed stations around the mouth of the Mizunashi River, Shimabara, located about 20 km south of the mouth of Isahaya Bay, from November, 1995, to December, 2001. In June, 1997, hypoxic water masses appeared in both the Isahaya and Shimabara regions, and most of the bivalve species distributed near the hypoxic regions decreased rapidly from 1997 to 1999. The number of species and mean density of bivalves reached a minimum in June, 2000, in the Isahaya region and in December, 1999, in the Shimabara region. Thereafter, since 2000, these values have been increasing in both regions. In the Shimabara region, most of the species dominant before 1999 recovered by December, 2001. In the Isahaya region, however, hypoxic water also recurred in June of both 1999 and 2001; there, only a few bivalve species increased rapidly at first and then subsequently decreased in abundance until November, 2003. In conclusion, if there is no amelioration of the environmental changes that have been occurring in Ariake Bay since 1997, we predict that a few opportunistic species of bivalve will continue to increase rapidly while other species disappear completely from the Isahaya region.

Key Words: Ariake Bay, bivalves, Isahaya Bay, reclamation, Shimabara

はじめに

有明海は、北緯 32°27'~33°10', 東経 130°06'~130°36' の範囲に位置し、その面積は約 1,700 km² である (Fig. 1)。国内で最も大きい潮汐差をもち、最大で 6~7 m にも及ぶ。これは、有明海内部の海水の固有振動周期 (約 7.8 時間) が他の内湾に比べて長く (例えば東京湾は約 6 時間)、外洋から入ってくる潮汐振動周期 (主に、M2 分潮の 12.42 時間周

期と S2 分潮の 12 時間周期からなる) に近いために、共鳴現象を起こすことで生じるとされる (井上 1980; 宇野木 2001)。

また、有明海は国内のほかの海域とは異なる生物相が見られる場所として有名である (菅野 1981)。これまでに知られている有明海の特産種は 23 種、準特産種は 49 種である (佐藤・田北 2000)。これら特産種や準特産種の多くは、近縁な種または同一種が朝鮮半島や中国大陸に広く分布しており、「大陸沿岸性遺存種」とも呼ばれる (宮地ら 1953)。これらの種の祖先は、最終氷期に、現在の東シナ海中央部にあった大規模内湾に生息していた種群と考えられ、それらが縄文海進以降に対馬海峡の成立に伴い、日本

Received 7 Apr. 2005 Accepted 16 June 2005

*: Corresponding author

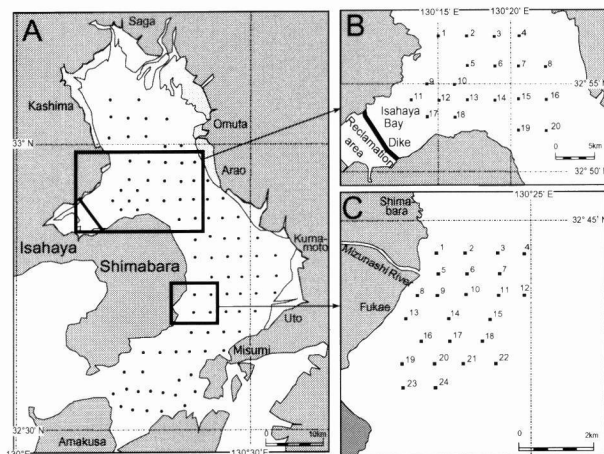


Fig. 1. Locality map showing Ariake Bay, western Kyushu, southern Japan. A: 92 fixed stations for sediment sampling conducted in June, 1997, and June, 2002. B: 20 fixed stations in and around the Isahaya region for sediment sampling conducted from June, 1997, to November, 2003. C: 24 fixed stations in and around the Shimabara region for sediment sampling conducted from November, 1995, to December, 2001. Dark gray areas, land; light gray areas, tidal flats.

の小さな個体群が大陸から分断されることで、大陸沿岸性遺存種が形成されたと考えられている (下山 2000)。

しかしながら、有明海でも近年は熊本新港の工事着工 (1979 年)、筑後大堰の運用開始 (1985 年)、諫早湾干拓事業の工事着工 (1989 年) など、様々な人為的環境変化が顕著であり、それに伴い有明海の特産種や準特産種などが見られなくなるなどの生物相の急激な変化が報告されている (福田 2000; 佐藤 2000; 佐藤・田北 2000)。そして 1997 年 4 月には、諫早湾干拓事業により、全長 7,050 m の潮受け堤防によって 3,550 ha の干潟・浅海域が失われた。

諫早湾干拓堤防の閉め切りにより、有明海の固有共振周期が約 20 分短くなったとされ (滝川・田淵 2002)、これにより外洋の潮汐振動周期との差が大きくなり、潮汐振幅の共鳴現象が弱められたと考えられる (灘岡・花田 2002)。この潮汐振幅の減少は、定性的には、潮流振幅の減少、干潟から泥粒子の巻き上がりの減少、海水の透明度の上昇などを引き起こす (柳・塚本 2004)。特に、潮受け干拓堤防の近傍では、潮流速度の減少が顕著に生じている (灘岡・花田 2002; 宇野木 2004)。そして、潮流振幅が変化することにより、海水の鉛直混合機能が低下し (武岡 2003)、それが赤潮や貧酸素水塊の発生などの様々な環境変化へとつながったと考えられている (堤ら 2003)。

これら諫早湾干拓後に見られた有明海の環境変化の影響は、底生生物の分布様式にも多大な影響を及ぼしているものと考えられる。本研究では、移動能力に乏しく環境変動に影響を受けやすい二枚貝類に着目し、諫早湾口・有明海中央部周辺海域 (諫早沖) と島原半島水無川河口周辺海域 (島原沖) の、二枚貝類に見られる種構成や平均個体密度の経年変化を明らかにし、有明海全体の底質および溶存酸素

濃度に見られる経年変化との比較から、その原因について考察する。

調査方法

採泥調査は、長崎大学水産学部の実習船「鶴水」により、諫早湾口・有明海中央部周辺海域および島原半島水無川河口周辺海域で行った (Fig. 1)。諫早沖では 1997 年 6 月 3～5 日、1998 年 11 月 5～6 日、1999 年 6 月 9～10 日、2000 年 6 月 13～14 日、2000 年 11 月 9 日・15 日、2001 年 6 月 6～7 日、2001 年 11 月 6～7 日、2002 年 6 月 5～6 日・19～20 日、2003 年 11 月 18～20 日の計 9 回、島原沖では 1995 年 11 月 8～9 日、1996 年 11 月 6～7 日、1997 年 11 月 13～14 日、1998 年 11 月 12 日、1999 年 12 月 9 日、2000 年 10 月 18 日、2001 年 12 月 13 日の計 7 回の採泥を実施した。

採泥調査を行った定点の総数は、諫早沖では 36～50、島原沖は 37～70 である。このうち本研究では、ほとんどの調査日程で共通して採泥を行った諫早沖 20 定点 (Fig. 1B; ただし 2002 年 6 月は Sts. 9, 10, 17, 18 を除く 16 定点) および島原沖 24 定点 (Fig. 1C) を対象にした。また、1997 年 6 月と 2002 年 6 月には、それぞれ有明海全域をカバーする 92 定点および 88 定点 (Fig. 1B の Sts. 9, 10, 17, 18 を除く) において同様の採泥調査を行った (Fig. 1A)。

各定点の位置は GPS (Sony 製 IPS-760: 誤差 30 m 以内) で決定し、Smith-McIntyre 採泥器 (採泥面積 0.05 m²) を用いて各定点で 1 回の採泥を行った。得られた底質試料から粒度分析用 (後述) に一部を取り除き、泥温を測定した後 1 mm の篩にかけ、篩に残ったすべての底生生物を 10% ホルマリンで固定した。その後、実験室において二枚貝類標本を選別し、光を透かす、または殻の一部を破損させる等の方法で、各個体の生死を確認するとともに、種の同定および種ごとの個体数を数えた。それぞれの定点における二枚貝各種の個体数を記録し、二枚貝群集の種数、平均個体密度、多様度指数 (Shannon-Wiener の H') を求め、それぞれの値の経年変化を追跡調査した。

粒度分析用試料は、採泥器で得られた堆積物に長さ 12 cm、内径 2.6 cm の塩化ビニールパイプを差し込んでコア試料を採取した。粒度分析は、砂礫部を 1/2 φ 間隔で篩分法、泥質部を 1 φ 間隔でピペット法によった (近藤ら 2003)。堆積物の粒径は、中央粒径値 $Md \phi$ で代表させた。

諫早沖 20 定点と有明海全域 88 定点の調査時には、各定点で多成分水質計 (アレック電子製 ADR-1000) を船上から下ろし、表層水 (海水面から水深 1.5 m までの範囲) と底層水 (海底から高さ 0.3～2.5 m の範囲) の水温・塩分・溶存酸素濃度 (DO) を測定した (Table 1)。また、バンドン型採水器を用いて、同様に表層 (海水面から水深 0.5 m までの範囲) と底層 (海底から高さ 0.5～1.5 m の範囲) において海水を採取し、それを 100 ml の酸素ビンに入れ、塩化マンガン水溶液およびヨウ化カリウム-水酸化ナトリウム

Table 1. Sampling conditions of each station and data of temperature, salinity, and DO from the surface and bottom water layers in and around the Isahaya region.

Station No.		Date, Time	Latitude, Longitude	Depth of water (m)	Depth of measurement (m)	Temperature (°C)	Salinity	DO (mg/l)
1	surface	4 June 97	N32° 57.99'		0.48	21.22	29.48	7.83
	bottom	AM 10 : 55	E130° 14.99'	27	25.06	19.23	31.31	5.93
2	surface	4 June 97	N32° 58.01'		0.40	20.89	29.86	7.69
	bottom	AM 11 : 08	E130° 17.00'	12	9.60	19.62	31.01	6.64
3	surface	4 June 97	N32° 58.02'		0.41	20.50	30.91	7.95
	bottom	AM 11 : 23	E130° 19.02'	18	16.33	19.37	31.39	6.80
4	surface	4 June 97	N32° 58.01'		0.55	20.56	30.68	7.10
	bottom	AM 11 : 36	E130° 20.99'	28	26.03	19.08	31.83	6.46
5	surface	4 June 97	N32° 55.97'		0.51	21.82	29.60	1.39
	bottom	PM 1 : 48	E130° 16.98'	21	19.42	19.33	31.18	1.43
6	surface	4 June 97	N32° 55.97'		0.47	21.85	30.05	0.36
	bottom	PM 1 : 35	E130° 18.99'	23	22.35	19.11	31.71	1.66
7	surface	4 June 97	N32° 55.99'		0.44	21.52	30.61	0.29
	bottom	PM 1 : 19	E130° 20.98'	25	23.42	19.18	31.68	10.69
8	surface	4 June 97	N32° 55.96'		0.51	21.98	30.26	8.02
	bottom	PM 1 : 03	E130° 22.94'	14	15.70	19.08	31.87	0.03
9	surface	4 June 97	N32° 54.96'		0.64	22.00	29.26	1.28
	bottom	PM 2 : 23	E130° 14.00'	9	7.62	19.99	30.40	1.43
10	surface	4 June 97	N32° 54.97'		0.45	21.85	29.45	0.63
	bottom	PM 1 : 59	E130° 16.00'	14	13.42	19.74	30.70	6.78
11	surface	4 June 97	N32° 54.01'		0.62	21.79	29.51	1.10
	bottom	PM 2 : 33	E130° 13.01'	7	5.19	20.52	30.19	6.91
12	surface	4 June 97	N32° 54.01'		0.44	22.89	29.30	0.85
	bottom	PM 2 : 54	E130° 15.02'	7	6.11	20.48	30.10	1.26
13	surface	4 June 97	N32° 54.01'		0.34	21.27	29.63	8.16
	bottom	PM 3 : 16	E130° 17.01'	17	15.02	20.20	30.43	6.52
14	surface	4 June 97	N32° 54.00'		0.69	21.80	29.94	8.18
	bottom	PM 3 : 30	E130° 19.02'	31	28.08	19.01	31.87	6.44
15	surface	4 June 97	N32° 53.97'		0.47	20.74	30.93	8.22
	bottom	PM 3 : 43	E130° 21.01'	34	31.70	18.98	32.01	6.27
16	surface	4 June 97	N32° 54.00'		0.35	22.09	30.84	8.42
	bottom	PM 4 : 21	E130° 23.01'	33	31.02	18.85	32.34	6.65
17	surface	4 June 97	N32° 53.01'		0.55	22.74	29.25	0.66
	bottom	PM 2 : 44	E130° 14.06'	8	6.14	20.54	29.87	6.87
18	surface	4 June 97	N32° 52.98'		0.44	22.09	29.98	5.87
	bottom	PM 3 : 06	E130° 16.02'	8	5.82	20.15	30.44	6.47
19	surface	4 June 97	N32° 51.98'		0.48	20.84	31.02	7.45
	bottom	PM 3 : 59	E130° 20.99'	12	10.79	19.57	31.70	6.97
20	surface	4 June 97	N32° 51.98'		0.45	20.00	30.81	7.18
	bottom	PM 4 : 37	E130° 22.98'	42	40.42	18.78	32.52	6.70
1	surface	9 June 99	N32° 57.99'		0.35	22.52	26.10	7.78
	bottom	AM 10 : 23	E130° 15.01'	25.0	23.43	19.84	32.88	4.01
2	surface	9 June 99	N32° 58.01'		0.30	22.87	27.09	8.33
	bottom	PM 1 : 27	E130° 16.99'	8.7	7.99	20.17	32.40	4.01
3	surface	9 June 99	N32° 57.99'		0.31	22.90	28.23	8.11
	bottom	PM 1 : 42	E130° 19.03'	16.5	15.55	19.95	32.79	2.10
4	surface	9 June 99	N32° 58.05'		0.34	22.04	30.01	7.11
	bottom	PM 3 : 43	E130° 21.02'	26.1	24.20	19.95	32.94	4.41
5	surface	9 June 99	N32° 56.03'		0.42	23.42	26.80	8.36
	bottom	PM 1 : 07	E130° 16.97'	21.4	20.32	19.90	32.91	4.22
6	surface	9 June 99	N32° 55.97'		0.37	22.76	27.75	4.43
	bottom	PM 2 : 00	E130° 18.97'	24.1	23.09	19.89	33.02	4.36

Table 1. Continued.

Station No.		Date, Time	Latitude, Longitude	Depth of water (m)	Depth of measurement (m)	Temperature (°C)	Salinity	DO (mg/l)
7	surface	9 June 99	N32° 56.03'	26.1	0.33	22.24	29.44	7.94
	bottom	PM 2 : 58	E130° 21.00'		24.64	19.90	33.05	4.37
8	surface	9 June 99	N32° 56.01'	15.1	0.41	21.08	31.95	7.64
	bottom	PM 3 : 37	E130° 23.01'		14.87	19.96	32.99	4.30
9	surface	9 June 99	N32° 55.01'	9.4	0.38	23.46	26.66	8.14
	bottom	AM 9 : 36	E130° 14.00'		8.08	20.29	32.37	3.60
10	surface	9 June 99	N32° 54.96'	14.9	0.35	23.23	27.10	7.84
	bottom	AM 11 : 03	E130° 16.04'		12.73	19.88	32.90	2.11
11	surface	9 June 99	N32° 53.99'	9.0	0.34	23.41	26.08	7.86
	bottom	AM 8 : 31	E130° 13.00'		7.42	20.65	32.00	3.43
12	surface	9 June 99	N32° 54.01'	9.1	0.30	23.03	27.06	7.73
	bottom	AM 9 : 18	E130° 14.99'		7.33	20.35	32.23	4.19
13	surface	9 June 99	N32° 53.96'	15.3	0.35	23.64	26.70	8.13
	bottom	AM 12 : 00	E130° 17.01'		14.44	20.10	32.62	4.22
14	surface	9 June 99	N32° 53.98'	30.7	0.40	22.66	28.02	8.16
	bottom	PM 2 : 21	E130° 19.00'		29.97	19.90	32.94	4.32
15	surface	9 June 99	N32° 54.00'	34.1	0.38	22.59	29.07	8.05
	bottom	PM 2 : 39	E130° 21.01'		33.00	19.88	33.09	4.47
16	surface	9 June 99	N32° 53.94'	36.9	0.47	22.35	30.04	6.49
	bottom	PM 3 : 57	E130° 22.97'		36.23	19.95	33.14	4.54
17	surface	9 June 99	N32° 52.97'	9.1	0.24	23.45	26.09	7.94
	bottom	AM 8 : 54	E130° 14.01'		7.82	20.72	31.84	3.68
18	surface	9 June 99	N32° 52.97'	7.7	0.30	23.19	26.92	7.19
	bottom	AM 11 : 25	E130° 16.01'		6.03	22.54	28.12	3.67
19	surface	9 June 99	N32° 51.98'	14.5	0.42	22.39	29.18	7.42
	bottom	PM 4 : 36	E130° 20.97'		13.03	20.12	32.84	4.65
20	surface	9 June 99	N32° 52.00'	43.5	0.35	22.19	30.54	6.64
	bottom	PM 4 : 18	E130° 23.00'		43.15	20.01	33.21	4.57
1	surface	13 June 00	N32° 58.01'	10.6	1.12	22.36	28.01	9.33
	bottom	PM 2 : 57	E130° 15.00'		9.39	20.05	31.66	5.58
2	surface	13 June 00	N32° 58.05'	9.6	1.02	22.95	27.73	9.64
	bottom	PM 3 : 12	E130° 17.15'		8.28	20.20	31.39	5.53
3	surface	13 June 00	N32° 58.00'	17.4	1.21	22.06	28.85	9.35
	bottom	PM 3 : 26	E130° 19.01'		16.22	19.74	32.27	5.63
4	surface	14 June 00	N32° 58.00'	24.5	1.15	20.96	29.89	8.07
	bottom	PM 1 : 26	E130° 21.04'		23.44	19.76	32.43	5.89
5	surface	13 June 00	N32° 55.98'	22.4	1.06	21.06	29.95	8.10
	bottom	PM 3 : 45	E130° 17.00'		21.13	19.60	32.60	5.81
6	surface	13 June 00	N32° 56.00'	24.7	1.04	22.36	29.26	9.96
	bottom	PM 4 : 02	E130° 18.98'		22.78	19.64	32.64	6.09
7	surface	14 June 00	N32° 56.00'	24.8	1.08	22.51	28.29	8.93
	bottom	PM 2 : 32	E130° 21.03'		23.22	19.76	32.52	5.97
8	surface	14 June 00	N32° 55.99'	13.4	1.08	22.44	29.12	9.26
	bottom	PM 2 : 14	E130° 23.00'		11.85	19.76	32.55	5.98
9	surface	13 June 00	N32° 55.00'	8.9	1.06	22.18	28.46	9.69
	bottom	PM 1 : 38	E130° 14.00'		7.44	20.08	31.63	5.20
10	surface	13 June 00	N32° 55.01'	14.1	1.08	21.92	28.62	9.09
	bottom	PM 1 : 19	E130° 15.98'		12.75	19.76	32.20	5.55
11	surface	13 June 00	N32° 53.99'	7.3	1.09	22.06	28.21	9.44
	bottom	AM 11 : 45	E130° 13.00'		5.73	21.56	28.74	9.23
12	surface	13 June 00	N32° 53.97'	7.7	1.01	21.73	28.73	8.94
	bottom	AM 12 : 09	E130° 14.99'		6.47	21.36	29.11	8.37

Table 1. Continued.

Station No.		Date, Time	Latitude, Longitude	Depth of water (m)	Depth of measurement (m)	Temperature (°C)	Salinity	DO (mg/l)
13	surface	13 June 00	N32° 54.03'		1.11	22.23	28.55	8.84
	bottom	PM 1 : 06	E130° 16.99'	16.4	15.11	19.97	31.93	5.98
14	surface	13 June 00	N32° 54.04'		1.09	21.04	29.88	8.03
	bottom	PM 4 : 19	E130° 19.00'	31.4	30.16	19.65	32.72	6.10
15	surface	14 June 00	N32° 54.00'		1.08	22.29	28.43	8.99
	bottom	PM 2 : 50	E130° 21.00'	33.5	32.08	19.69	32.69	6.09
16	surface	14 June 00	N32° 54.00'		1.19	20.97	31.20	8.14
	bottom	PM 3 : 05	E130° 23.00'	32.8	31.42	19.71	32.72	6.06
17	surface	13 June 00	N32° 53.00'		1.09	21.72	28.27	9.07
	bottom	AM 10 : 39	E130° 14.00'	8.7	7.49	21.36	29.41	7.82
18	surface	13 June 00	N32° 52.99'		1.08	21.41	29.12	8.50
	bottom	AM 10 : 19	E130° 15.98'	8.9	8.56	20.78	30.43	6.78
19	surface	14 June 00	N32° 52.01'		1.02	21.84	29.86	8.75
	bottom	PM 3 : 52	E130° 21.00'	13.0	11.97	20.04	32.19	6.61
20	surface	14 June 00	N32° 52.02'		1.04	22.44	28.83	8.86
	bottom	PM 3 : 39	E130° 23.01'	41.8	40.69	19.71	32.77	6.03
1	surface	6 June 01	N32° 58.00'		0.13	21.76	31.75	7.41
	bottom	PM 2 : 10	E130° 15.00'	25.3	24.09	20.19	32.43	6.63
2	surface	6 June 01	N32° 58.00'		0.21	20.95	32.23	7.23
	bottom	PM 1 : 55	E130° 17.00'	8.9	7.24	20.48	32.27	6.97
3	surface	6 June 01	N32° 58.00'		0.37	21.71	32.06	8.17
	bottom	PM 1 : 39	E130° 19.00'	15.5	12.18	20.27	32.38	7.26
4	surface	6 June 01	N32° 58.00'		0.45	21.28	32.31	0.05
	bottom	PM 1 : 50	E130° 21.00'	28.5	28.92	20.19	32.52	0.08
5	surface	7 June 01	N32° 56.00'		0.25	23.27	32.16	8.77
	bottom	PM 1 : 20	E130° 17.00'	22.2	21.16	20.31	32.53	6.86
6	surface	6 June 01	N32° 56.00'		0.38	21.14	32.25	8.24
	bottom	PM 1 : 20	E130° 19.00'	23.0	21.19	20.14	32.53	0.27
7	surface	6 June 01	N32° 56.00'		0.28	21.11	32.42	0.20
	bottom	PM 1 : 04	E130° 21.00'	26.2	25.28	20.14	32.54	0.21
8	surface	6 June 01	N32° 56.00'		0.31	20.82	32.58	8.24
	bottom	AM 11 : 50	E130° 23.00'	15.4	14.83	20.27	32.62	0.21
9	surface	7 June 01	N32° 55.00'		0.33	22.19	32.05	8.63
	bottom	AM 12 : 08	E130° 14.00'	11.1	9.72	20.61	32.31	6.78
10	surface	7 June 01	N32° 55.00'		0.27	21.21	32.22	7.76
	bottom	AM 11 : 50	E130° 16.00'	16.7	15.38	20.45	32.40	0.55
11	surface	7 June 01	N32° 53.99'		0.24	21.38	32.07	6.91
	bottom	AM 10 : 40	E130° 13.02'	10.8	9.49	20.66	32.26	5.77
12	surface	7 June 01	N32° 53.99'		0.25	21.35	32.31	7.68
	bottom	AM 10 : 56	E130° 15.00'	11.5	10.25	20.59	32.33	6.94
13	surface	7 June 01	N32° 53.99'		0.28	21.71	32.26	0.09
	bottom	AM 11 : 14	E130° 17.00'	19.9	19.01	20.27	32.56	0.07
14	surface	6 June 01	N32° 53.99'		0.31	20.55	32.57	7.52
	bottom	AM 9 : 37	E130° 19.00'	33.5	31.57	19.89	32.79	6.89
15	surface	6 June 01	N32° 53.99'		0.33	20.64	32.45	7.78
	bottom	AM 9 : 57	E130° 21.00'	36.7	36.12	19.69	32.93	7.51
16	surface	6 June 01	N32° 53.99'		0.34	20.87	32.46	0.23
	bottom	AM 11 : 01	E130° 23.00'	34.7	34.49	19.72	32.89	0.18
17	surface	7 June 01	N32° 53.00'		0.31	21.59	32.06	8.06
	bottom	AM 9 : 40	E130° 14.00'	11.8	10.71	20.65	32.29	6.91
18	surface	7 June 01	N32° 53.00'		0.24	20.67	32.38	7.12
	bottom	AM 9 : 18	E130° 16.00'	11.8	10.38	20.37	32.56	7.12

Table 1. Continued.

Station No.		Date, Time	Latitude, Longitude	Depth of water (m)	Depth of measurement (m)	Temperature (°C)	Salinity	DO (mg/l)
19	surface	7 June 01	N32° 52.00'		0.25	20.71	32.46	7.84
	bottom	AM 10 : 14	E130° 21.00'	15.4	15.11	19.97	32.86	7.53
20	surface	7 June 01	N32° 52.00'		0.42	20.53	32.62	7.65
	bottom	AM 10 : 42	E130° 23.00'	43.5	42.87	19.67	33.04	6.77
1	surface	5 June 02	N32° 57.97'		0.31	23.09	29.27	5.80
	bottom	AM 10 : 13	E130° 15.00'	26.4	23.37	19.93	31.94	5.59
2	surface	5 June 02	N32° 57.98'		0.33	22.77	29.95	6.04
	bottom	AM 10 : 00	E130° 16.99'	9.7	8.12	20.20	31.24	5.62
3	surface	5 June 02	N32° 58.00'		0.31	22.57	30.39	4.61
	bottom	PM 2 : 29	E130° 19.00'	17.5	16.53	20.03	31.63	5.08
4	surface	5 June 02	N32° 57.96'		0.43	24.10	29.95	5.94
	bottom	PM 2 : 42	E130° 21.02'	28.7	26.79	20.09	32.19	6.23
5	surface	5 June 02	N32° 55.97'		0.31	22.94	30.03	5.20
	bottom	AM 9 : 40	E130° 16.99'	22.4	20.66	19.96	32.09	5.96
6	surface	5 June 02	N32° 56.00'		0.37	25.11	30.38	6.17
	bottom	PM 4 : 39	E130° 18.98'	26.0	23.69	20.16	32.38	6.14
7	surface	5 June 02	N32° 55.99'		0.26	23.80	30.02	6.07
	bottom	PM 4 : 18	E130° 20.92'	27.5	26.28	20.21	32.51	6.00
8	surface	5 June 02	N32° 55.98'		0.49	24.21	29.96	6.45
	bottom	PM 4 : 01	E130° 23.01'	16.3	15.06	20.13	32.33	6.58
11	surface	5 June 02	N32° 54.0'		0.16	22.72	30.38	5.81
	bottom	AM 8 : 59	E130° 13.0'	8.7	7.02	20.89	30.68	6.80
12	surface	5 June 02	N32° 54.0'		0.33	22.67	30.20	5.39
	bottom	AM 8 : 38	E130° 15.0'	9.1	7.57	20.89	30.79	6.63
13	surface	5 June 02	N32° 54.0'		0.37	21.74	30.53	4.47
	bottom	AM 8 : 13	E130° 17.0'	18.4	17.32	20.03	32.02	5.38
14	surface	5 June 02	N32° 54.00'		0.22	23.52	30.21	6.07
	bottom	PM 4 : 57	E130° 18.97'	32.5	31.65	20.23	32.37	6.26
15	surface	6 June 02	N32° 53.97'		0.53	22.93	30.19	5.59
	bottom	AM 8 : 09	E130° 21.02'	35.8	34.19	20.30	32.58	5.19
16	surface	6 June 02	N32° 53.97'		0.41	23.23	30.14	5.58
	bottom	AM 8 : 24	E130° 23.02'	34.1	32.75	20.30	32.54	5.11
19	surface	6 June 02	N32° 51.99'		0.43	23.07	30.30	5.95
	bottom	AM 10 : 26	E130° 20.96'	12.8	10.59	20.49	32.14	5.63
20	surface	6 June 02	N32° 51.99'		0.47	23.49	30.16	5.50
	bottom	AM 10 : 10	E130° 23.00'	42.2	39.83	20.40	32.69	5.16

混液を 0.5 ml ずつ注入した後、ピンを密封して研究室に持ち帰った。採水した海水は、研究室においてウインクラ法（気象庁 1970）により海水中の溶存酸素濃度を計測し、多成分水質計による測定値を補正した。なお、本研究では Wu (2002) に従い、DO < 2.8 mg/l を貧酸素水とした。

結 果

諫早沖における底質の粒度組成および底層水の溶存酸素濃度に見られる分布変化

1997 年 6 月における諫早沖の底質は、諫早湾口周辺に中央粒径値 Md 8 φ 以上の粘土が分布し、有明海中央部付近では Md 0~2 φ の粗粒~中粒砂が広く分布、Md 2~8 φ の

細粒砂~シルトはその間の狭い範囲に分布していた (Fig. 2, 近藤ら 2001, 近藤ら 2003)。1998 年 11 月には、諫早湾口部で Md 8 φ 以上の粘土が Md 4~8 φ のシルトへと変化し、有明海中央部で Md 0~1 φ の粗粒砂が広く分布するようになった。そして、2001 年 6 月には有明海中央部の 2 定点において Md-1~0 φ の極粗粒砂が見られた。これらの海域付近では、この頃に覆砂が行われたことが確認されている (松尾ら 2003)。覆砂の具体的な内容は明らかではないが、本調査の結果から推測すると、2000 年秋から 2001 年春までの間に、熊本県荒尾沖および島原半島周辺海域 (Fig. 1B の Sts. 8, 19) において、Md 0.5~1.5 φ の中粒~粗粒砂だった底質に、Md 0 φ 以下の極粗粒砂または礫が人為的にもたらされたと考えられる。しかし、2002 年 6 月に

は、諫早湾口部で Md 8 φ 以上の粘土が Md 4~8 φ のシルトに、有明海中央部では Md 2 φ 以下の礫~中粒砂が Md 1~4 φ の中粒~極細粒砂へと変化した (Fig. 2).

一方、底層水における溶存酸素濃度の分布を見ると、1997年6月、1999年6月、2001年6月に諫早沖で貧酸素

水塊が発生している (Fig. 3). 1997年6月には、諫早湾口部付近、熊本県沖から島原沖にかけて、および有明湾口部で、溶存酸素濃度が 2 mg/l 以下にまで低下した. 1999年6月にも諫早湾口部の2定点で溶存酸素濃度が 2.8 mg/l 以下となった (Table 1). さらに2001年6月には、諫早湾口から有明海中央部付近にかけて1997年6月よりも広範囲に貧酸素水塊が発生し、対岸の熊本県荒尾付近にまで及んだ. この年は、8月初旬にも底層水の溶存酸素濃度が 4 mg/l 以下であったことが確認されている (堤ら 2003). 一方、2000年6月と2002年6月には溶存酸素濃度 4~6 mg/l の定点が広い海域で確認されているが、1998年11月、2000年11月、2001年11月、2003年11月はすべての観測定点で溶存酸素濃度 6 mg/l 以上だった (Fig. 3, 佐藤・金澤 2004).

底層水の塩分は、1999年6月と2000年6月において、諫早湾口周辺の定点では 28~29 psu だったが、それ以外の定点では常に 30 psu 以上であった (Table 1). 表層水は、底層水に比べて塩分が低い定点が多く、特に1999年6月には諫早沖の広い範囲で塩分が 26~28 psu であった. これは、干拓調整池から排水される淡水が底層から表層へと移動する (佐藤ら 2001) ほかに、諫早湾外から大量の淡水が湾内に流入していると考えられ、それが諫早湾口周辺海域で赤潮を引き起こす要因のひとつと考えられている (鯉淵ら 2003).

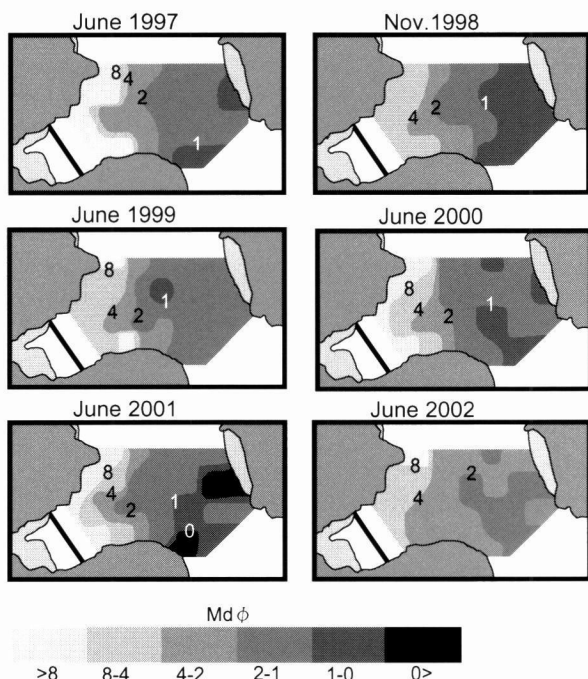


Fig. 2. Temporal change in median particle diameter (Md: φ) of bottom sediments in and around the Isahaya region from June, 1997, to June, 2002.

諫早沖における二枚貝群集の経年変化

採泥調査を行った諫早沖 20 定点において、1997年6月

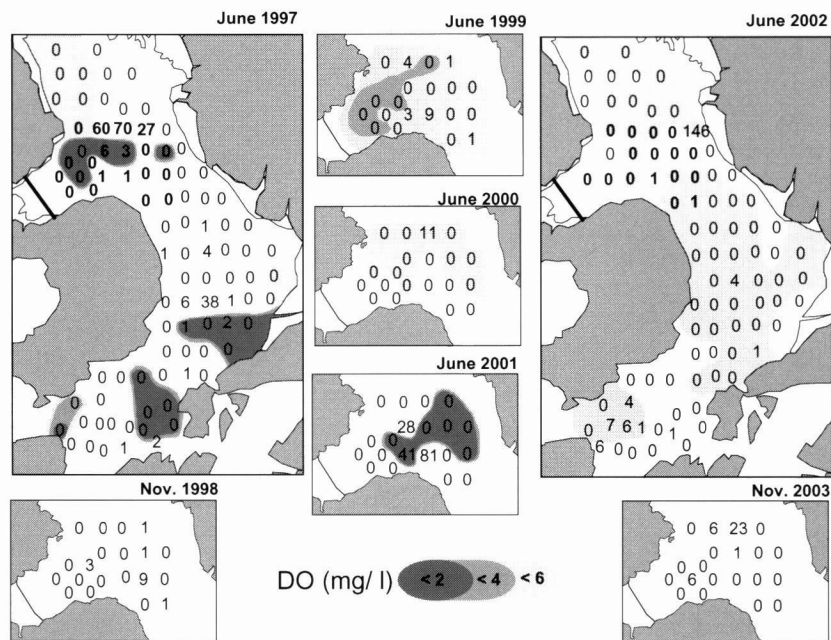


Fig. 3. Temporal changes in dissolved oxygen (DO: mg/l) of bottom water and in the density of *Musculista japonica* (ind. 0.05 m^{-2}) collected from 20 fixed stations in and around the Isahaya region and 92 fixed stations in Ariake Bay from June, 1997, to November, 2003. In June, 1997, and June, 2002, bold-faced numbers pertain to 20 fixed stations in and around the Isahaya region. (Partly after Sato and Kanazawa 2004.)

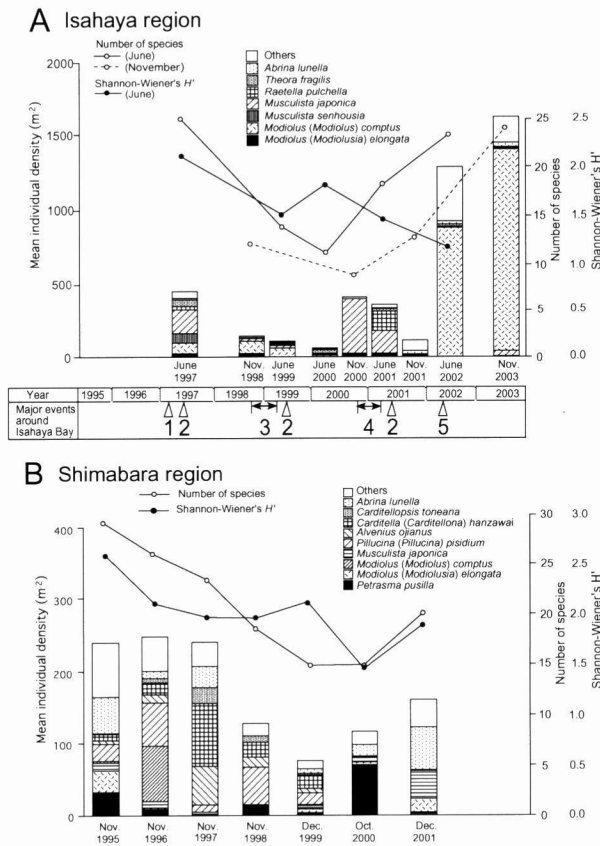


Fig. 4. Temporal changes in number of species, mean density (m^{-2}), and diversity index (Shannon–Wiener's H') of bivalves collected from 20 fixed stations in and around the Isahaya region (A) and 24 fixed stations in and around the Shimabara region (B). In the Isahaya region, the diversity index was calculated for samples collected in June. Major events around Isahaya Bay: (1) isolation by the reclamation dike on April 14, 1997; (2) hypoxic water masses appeared (see Fig. 3); (3) red tides appeared; (4) very coarse sand was dumped in and around Sts. 8 and 19 (see Fig. 2); (5) the water gates of the reclamation dike were opened temporary from April to May, 2002. (A: partly modified from Sato and Kanazawa 2004.)

には合計 25 種 452 個体/ m^2 の二枚貝類が得られた (Fig. 4A). この時に多く見られた種は、カラスノマクラ *Modiolus (Modiolus) elongata*, ビロードマクラ *Modiolus (M.) comptus*, ホトトギス *Musculista senhousia*, ヤマホトトギス *Musculista japonica*, チヨノハナ *Raetella pulchella*, シズクガイ *Theora fragilis* である。これらの種は、ビロードマクラを除き、1998 年 11 月にはほとんど得られなかった。

2000 年 6 月には、さらにビロードマクラも得られなかったことで 11 種 61 個体/ m^2 にまで種数・個体数ともに減少した。しかし、2000 年 11 月にはカラスノマクラとヤマホトトギスが、そして 2001 年 6 月にチヨノハナが大量に得られたことで、二枚貝全体で 2001 年 6 月には 18 種 357 個体/ m^2 にまで増加した。その後、2001 年 11 月には再びこれらの種が採集されなくなり、2002 年 6 月にはビロードマクラが密集した状態で得られ二枚貝全体で 23 種 1,285 個

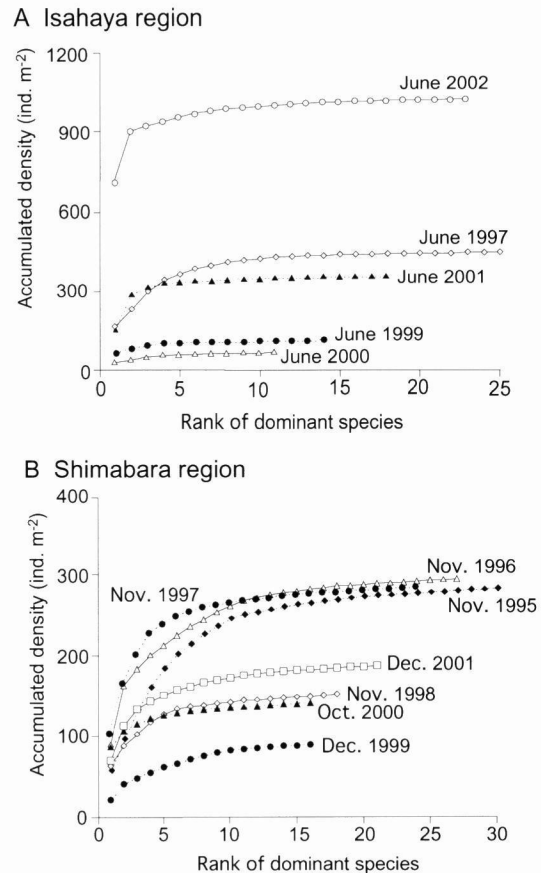


Fig. 5. Temporal change in relationship between rank of dominant species and accumulated density of bivalves collected from 20 fixed stations in and around the Isahaya region (A) and 24 fixed stations in and around the Shimabara region (B).

体/ m^2 となった。2003 年 11 月にはビロードマクラがさらに多くの定点で得られることで、二枚貝全体で 24 種 1,615 個体となった。二枚貝類の種数は、6 月と 11 月のそれぞれにおいて、1997 年から 2000 年にかけて減少し、その後は 2001 年から 2003 年にかけて増加している (Fig. 4A).

二枚貝群集の季節変動の影響を除くため、6 月に採取された標本のみを対象にして、Shannon–Wiener の多様度指数 (H') の経年変化を調べた (Fig. 4A). それによると、1997 年 6 月から 2002 年 6 月にかけて一時的な変動はあるものの、全体の傾向として多様度指数は減少し続けている。そのため、2002 年 6 月における二枚貝類の種数と平均個体密度は、それぞれ 1997 年 6 月とほぼ同じおよびそれ以上に多いにもかかわらず、多様度指数は 1997 年 6 月以降で最も低くなっている。さらに、優占種の順位に従って各種の個体密度を累積したグラフを見ても、1997 年 6 月から 2000 年 6 月にかけては二枚貝類の累積密度が減少している (Fig. 5A). 一方、2001 年 6 月と 2002 年 6 月には、二枚貝類の密度は 1997 年 6 月と同じかそれ以上になっているが、どちらも優占する 2 種だけで累積密度の大部分を占めており、1997 年 6 月に比べると累積密度曲線の曲率が大き

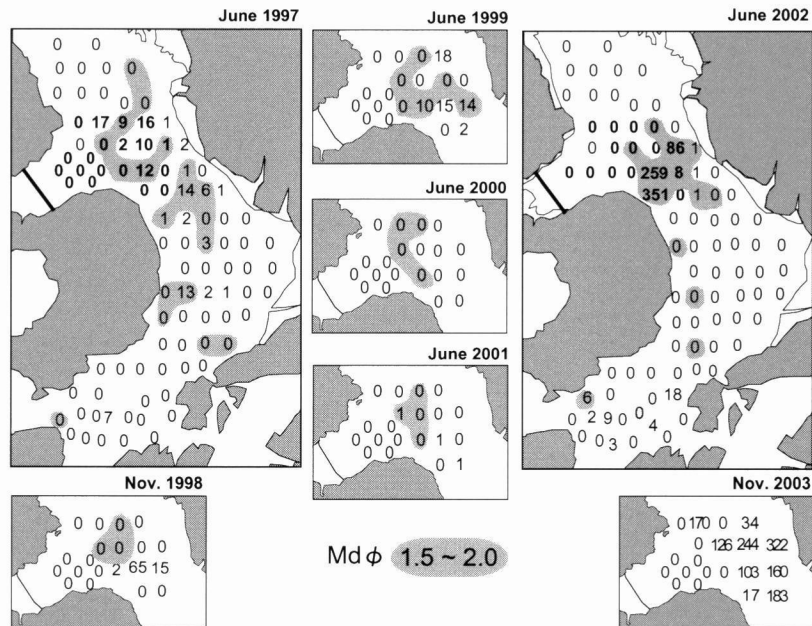


Fig. 6. Temporal changes in density of *Modiolus (M.) comptus* (ind. 0.05 m⁻²) from June, 1997, to November, 2003, and in distribution area of sediment with a median particle diameter (Md) of 1.5~2.0 ϕ from June, 1997, to June, 2002, in and around the Isahaya region and Ariake Bay. In June, 1997, and June, 2002, bold-faced numbers pertain to 20 fixed stations in and around the Isahaya region. (Partly after Sato and Kanazawa 2004.)

きくなっている (Fig. 5A).

また、1997年6月に多く見られた二枚貝2種の分布を見ると、ヤマホトトギスは諫早湾口周辺の細砂底に、そして諫早湾口よりも沖側の有明海中央部付近の中粒砂底にピロードマクラが多く見られた (Figs. 2, 3, 6)。ヤマホトトギスは1997年6月から1999年6月にかけて各定点において採集される個体数が減少し、2001年6月には再び2定点において大量に採集されたが、2002年6月には対象となる20定点ではほとんど見られなくなった (Fig. 3)。一方、ピロードマクラは、1997年6月から1999年6月までは有明海中央部の多くの地点で見られたが、2000年6月には全く採集されなかった (Fig. 6)。そして、2001年6月にわずかに見られるようになり、2002年6月には有明海中央部で本種だけが大量に得られるようになった。

島原沖における二枚貝群集の経年変化

島原沖周辺海域で採泥調査を行った24定点において、1995年11月には合計30種238個体/m²の二枚貝類が得られた (Fig. 4B)。この時に多く得られた種は、キヌタレガイ *Petrasma pusilla*、カラスノマクラ、ヤマホトトギス、ウメノハナ *Pillucina (P.) pisidium*、シロバトガイ *Abrina lunella* である。1996年11月には、ピロードマクラが特に多く得られたが、他の種が見られなかったことで二枚貝類全体では26種247個体/m²であり、1995年11月とほぼ同じ現存量であった。

ところが、1997年11月になると、これまで多く見られたキヌタレガイ、カラスノマクラ、ヤマホトトギス、ピ

ロードマクラなどが得られなくなり、それに替ってケシトリガイ *Alvenius ojanus*、ケンザルガイ *Carditella (Carditellona) hanzawai*、ケシフミガイ *Carditellopsis toneana* の3種が採集されるようになった。結果的に、二枚貝類全体では23種238個体/m²となり、1995年11月や1996年11月と比べて、量的には大きな変化は見られないが、質的には優占種が一変するほどの大きな変化があった。

さらに、1998年11月から1999年12月にかけては、ケシトリガイ、ケンザルガイ、ケシフミガイの3種も得られなくなることで、二枚貝類全体の現存量がそれぞれ18種126個体/m²および15種74個体/m²へと大きく減少した。しかし、2000年10月にはキヌタレガイが、そして、2001年12月にはカラスノマクラ、ヤマホトトギス、シロバトガイが多く採集されることで、2001年12月には、二枚貝全体で20種158個体/m²にまで増加した。

Shannon-Wienerの多様度指数 (H') は、1995年11月から1997年11月にかけて、わずかに減少傾向にあったものの、その後は大きな変化がなく、2000年10月に一時的に減少した後、2001年11月には1999年以前と同様の値を保っていた (Fig. 4B)。また、1995年11月から1997年11月にかけて、二枚貝全体の個体密度には大きな変化はないものの、累積密度曲線の曲率がしだいに大きくなっており、より少数の優占種が占める個体密度の割合が増加していることがわかる (Fig. 5B)。その後、1998年11月から1999年12月にかけて二枚貝全体の個体密度が減少したが、2000年10月から2001年12月にかけて個体密度が増加している。諫早沖の二枚貝類と比較すると、島原沖では

2000年以降に累積密度曲線の曲率が極端に小さくなることはなかった (Fig. 5).

考 察

諫早沖における二枚貝各種の分布変化と溶存酸素濃度・粒度組成変化との比較

底生生物の分布パターンは、貧酸素水塊の発生によって大きく変化することが多い (今泉 1989; Wu 2002). 諫早沖では、1997年6月と2001年6月に大規模な貧酸素水塊が発生した。また、1999年6月にも溶存酸素濃度が2.8 mg/l以下にまで低下した定点が確認された (Fig. 3, Table 1). そして、諫早沖においては、ヤマホトトギスの生息域と貧酸素水塊の発生場所が近く、貧酸素水塊が確認された後、次の調査時にはほとんど採集されなくなっている (Fig. 3). さらに、ヤマホトトギスと同様に、諫早湾口周辺海域に多く分布していたカラスノマクラ、ホトトギス、チヨノハナ、シズクガイも、貧酸素水塊が発生した後は、ほとんど得られなくなったことが確認されている (佐藤・金澤 2004).

二枚貝類の貧酸素耐性に関する実験によると、無酸素状態 (0.05 mg/l 以下) では25°Cにおいてシズクガイは2日で、ホトトギスは3日で完全に死滅することが確認されている (玉井 1993; 中村 1998). そのため、貧酸素水塊が移動しながら長期間にわたり停滞する場合には、その周辺海域の広い範囲で二枚貝群集の個体密度に大きな影響を与えることは十分に考えられる (風呂田 1991; 今林 1989; Wu 2002). 今林 (1989) によれば、溶存酸素飽和度が50%以上であれば1カ月遅れで種数・密度が高くなり、回復兆候は早い。しかし、溶存酸素飽和度が30%以下になると底生生物は著しく減少し、その群集は崩壊するとされている。

一方、ホトトギスなどの海生二枚貝類は、溶存酸素濃度の低下とは別に硫化水素の発生によっても生存率が減少することが実験により確認されている (中村 1998). 貧酸素水塊の発生した海域では、硫酸還元菌の活性により硫化水素が発生する 경우가多く (Diaz & Rosenberg 1995; Wu 2002), その影響も貝類大量死滅の一因として考えることができる。また、藤井・山本 (2003) は、赤潮発生時にはアサリの鰓に植物プランクトンと考えられる崩壊した細胞が多数見られ、このようなアサリ個体の鰓組織には鰓上皮の剥離が観察されたと報告しており、赤潮が二枚貝類の大量死滅の直接的な原因になる可能性を指摘している。以上の考察により、1997年以降にヤマホトトギスなどの多くの二枚貝類が急激に減少した原因として、諫早湾潮止め後に頻繁に見られた貧酸素水塊と赤潮の発生、および貧酸素状態で活発化する硫酸還元菌による硫化水素の発生などが考えられる。

ところが、諫早沖におけるビロードマクラの分布変化には、貧酸素水塊の発生との関連は顕著には見られない (Figs. 3, 6). ヤマホトトギスとビロードマクラの生息する

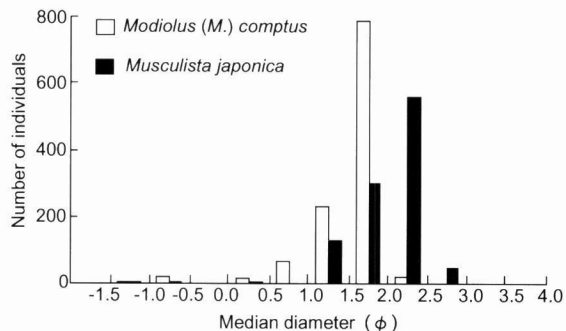


Fig. 7. Median particle diameter (Md: ϕ) of the bottom sediments where *Musculista japonica* and *Modiolus (M.) comptus* were distributed in and around the Isahaya region. Number of individuals for each Md ϕ range refers to the total number of individuals of each species collected from the all fixed stations in and around the Isahaya region from June, 1997, to June, 2002.

底質の中央粒径値を比較すると、ヤマホトトギスはMd 1.0~2.5 ϕ に多い (Md 2.0~2.5 ϕ に最も多い) のに比べて、ビロードマクラはMd 0.5~2.0 ϕ に多く、その中でも特にMd 1.5~2.0 ϕ に多い (Fig. 7). そして、1997年6月に発生した貧酸素水塊の分布範囲は、ビロードマクラが多く分布していた海域よりも、ヤマホトトギスなど他の二枚貝類が多く分布していた海域に近かった。そのため、ビロードマクラだけは1997年6月の貧酸素水塊の影響が少なく、1998年以降も個体密度が高かったと説明することができる。

ビロードマクラの分布変化は、むしろ底質の変化に大きな影響を受けていると考えられる (Fig. 6). 1997年6月、1999年6月、2002年6月は、Md 1.5~2.0 ϕ の分布範囲を中心にビロードマクラが広範囲に生息している。しかし、ビロードマクラが消滅した2000年6月には、Md 1.5~2.0 ϕ の分布範囲が諫早湾側に移動するとともにその分布範囲も狭くなっている (Fig. 6). このビロードマクラガイの生息範囲とMd 1.5~2.0 ϕ の分布範囲との対応は、諫早沖だけではなく、1997年6月と2002年6月の有明海全域においても見ることができる (Fig. 6). ビロードマクラの増殖には、幼生個体が着底できる底質の存在が欠かせないと考えられる。諫早沖では、2001年6月に覆砂により一時的に底質が変化したことで、いったんは得られなくなったビロードマクラが2002年以降に大量に得られるきっかけになった可能性がある。

なお、2002年6月と2003年11月では、いくつかの定点でビロードマクラが互いに足糸をからませてマウンドを作っている様子が観察された。これらの二枚貝類は一般にパッチ状の分布を示すため、採泥器による試料では生息密度の経年変化を正確に把握することは困難である。しかし、2000年と2001年に実施された計4回の採泥調査ではビロードマクラの密集は全く見られなかったのに対して、2002年6月と2003年11月には複数の定点においてビロードマクラが密集して得られている (Fig. 6). このこと

から、少なくとも諫早湾口周辺海域では、ピロードマクラのパッチ状分布の数が増加したことにより、採泥器でピロードマクラが得られる確率が増えたと解釈することは可能である。

以上の考察より、ヤマホトトギスやカラスノマクラなど多くの二枚貝類は、1997年6月に発生した貧酸素水塊の発生（および赤潮・硫化水素の発生）により大きく現存量が減少したと考えられるのに対して、1997年以降も個体数が多く見られたピロードマクラは、底質の変化により一時的に得られなくなった後に2002年6月に大增殖したと結論づけられる (Figs. 3, 6)。ここで示した環境変化のうち、1997年6月に見られた貧酸素水塊は、諫早湾干拓堤防建設に伴う土砂採取跡地にできた深さ3~4mの窪地から発生した可能性が指摘されている (佐藤ら 2001; 中村ら 2002, 2003; 多田ら 2004)。さらに、2001年6月の底質変化は覆砂による人為的影響と考えられ、2002年6月に生じた底質の細粒化は、諫早湾干拓堤防締め切りに伴う潮流速度の減少によるものと考えられている (松尾ら 2003; 中嶋ら 2003)。そのため、1997年以降に見られた二枚貝類の分布変化は、諫早湾干拓工事などの人為的影響による無機環境変化（貧酸素水塊の発生や底質の変化など）が原因である可能性が高いと結論づけられる。

諫早沖と島原沖における二枚貝群集の経年変化の比較

諫早沖 20 定点と島原沖 24 定点では、共通して 1997 年以降に急激な二枚貝類の現存量の減少が認められている (Figs. 4, 5)。1997 年 6 月に実施された有明海全域における水質調査では、諫早沖だけではなく、熊本県緑川河口周辺から島原沖にかけても、貧酸素水塊の発生が確認されている (Fig. 3)。島原沖では、1997 年 11 月から 1999 年 11 月にかけて、ケシトリガイ・ケシフミガイ・ケシザルガイが大量に得られるようになった。この 3 種は、共通して殻長が 0.2~0.3 cm の小型種である。そのため、島原沖では貧酸素水塊の発生によりカラスノマクラやヤマホトトギスなどの種が減少した後に、ケシザルガイなどの小型種が一時的に増殖したが、その後、2000 年以降にカラスノマクラなどが再び増加することにより、小型種 3 種の平均個体密度が減少したものと推測される。

一方、2000 年以降には、島原沖・諫早沖で共通して、二枚貝類の種数・平均個体密度が増加に転じている (Figs. 4, 5)。島原沖では、2000 年以降に二枚貝類の種数・平均個体密度・多様度指数が同時に増加しており、優占種も 1996 年以前に見られた構成種と類似していることから、二枚貝群集は回復傾向にあると判断できる (Fig. 4B)。しかし、諫早沖では、2000 年以降の二枚貝類の平均個体密度は 1997 年 6 月よりも大幅に増加しているが、特定の 1 種もしくは 2 種が急激に増殖しては減少することを繰り返しているため、多様度指数は 2000 年以降もさらに減少し続けている (Fig. 4A)。このことから、島原沖と諫早沖の両海域では、

二枚貝類の種数・平均個体密度の増減傾向の変化時期は一致するが、2000 年以降の増加期には、二枚貝群集の特徴が大きく異なっていることがわかる。

貧酸素水塊の発生に伴う底生生物の大量死滅、およびその後の底生生物群集の回復に関する研究は、北アメリカ大陸ではニュージャージー沖 (New York Bight)・チェサピーク湾・メキシコ湾など、ヨーロッパ周辺では黒海・バルト海・カテガット海峡 (Kattegat; スウェーデン-デンマーク間)・アドリア海などで精力的に行われている (例えば、Rosenberg 1976; Falkowski *et al.* 1980; Rosenberg & Loo 1988; Boesch & Rabalais 1991; Harper *et al.* 1991; Stachowitsch 1991; Pihl 1994; Diaz & Rosenberg 1995; Wu 2002 など)。それによると、溶存酸素濃度が 2.8 mg/l を下回ると底生生物の多くが急激に死滅し (Wu 2002)、それに替って例えばニュージャージー沖などでは機会的な種 (opportunistic species) が急激に増殖するが、それも 1 年程度で消滅する (Falkowski *et al.* 1980; Diaz & Rosenberg 1995)。その後の底生生物群集の回復は、メキシコ湾では 1~2 年 (Harper *et al.* 1991)、カテガット海峡では 2 年 (Rosenberg & Loo 1988)、アドリア海では 3~4 年 (Stachowitsch 1991) 後に見られたと報告されている。

本研究では、島原沖において比較的以前の二枚貝群集に回復したと判断されるが、それでも 1997 年から 2001 年まで 4 年が必要であったし、諫早沖に至っては 6 年が経過した後もピロードマクラなど特定の種のみが急激な増殖と消滅を繰り返している状態だと言える。この有明海における二枚貝群集の回復の遅さは、特に諫早沖で頻りに貧酸素水塊が発生していることで説明ができる (Fig. 3)。例えば、諫早沖では 1997 年以降に急激に二枚貝類の種数・平均個体密度が減少したが、2000 年 11 月から 2001 年 6 月にかけては一時的に増加傾向を示した (Fig. 4A)。しかし、2001 年 6 月には再び大規模な貧酸素水塊が発生することで、2001 年 11 月には多くの種が消滅している。このような複数年にわたる連続した貧酸素水塊の発生が、諫早沖の二枚貝群集の回復を遅らせていると考えられる。

さらに有明海では、諫早湾の潮止め以降、潮汐振幅や潮流速度の減少 (佐藤・田北 2000; 宇野木 2001, 2002, 2003a, 2003b, 2004; 灘岡・花田 2002; 藤原ら 2004; 西ノ首ら 2004 など)、底質の細粒化 (松尾ら 2003; 中嶋ら 2003)、塩分や溶存酸素量などの水質変化 (東 2000a; 鯉渕ら 2003; 中村ら 2003; 堤ら 2003)、漁獲量の減少と赤潮の発生 (東 2000b, 2003; 佐藤ら 2001; 堤ら 2003) などが報告されている。これらの環境変化は、現在も根本的な解決がなされていないため、今後も同様の状態が続くことが予測される。そのため、諫早沖の二枚貝群集は、今後も特定の種だけが急激な増加と消滅を繰り返しながら、全体としては現存量と多様度の低下が続くものと考えられる。

謝 辞: 長崎大学水産学部実習船「鶴水」の古川素直船長をはじめ

め乗組員の皆さん、長崎大学水産学部の山口恭弘教授ほか有明海漁場環境調査協議会委員の皆さん、および鹿児島大学理学部の市川敏弘教授と佐藤正典助教授には、諫早沖と島原沖の採泥・採水調査において多大なご協力をいただいた。東北大学総合学術博物館の島本昌憲助教授ならびに東北大学理学部地圏環境科学科の皆さんには、多くの有益なご指摘をいただいた。東北大学大学院農学研究科の大越和加博士と匿名の2名の査読者には数多くの有益な助言をいただいた。英文 abstract は、Agustine Jacob 氏らに校閲していただいた。これらの方々に厚くお礼申し上げます。本研究費の一部として、(財)自然保護助成基金の特別助成金を使用させていただいた。また、著者の1人(佐藤)は、文部省科学研究費補助金(若手研究B: No. 15740308)と(財)水・クリタ環境科学振興財団助成金(萌芽的研究)を使用させていただいた。記して感謝の意を表します。

引用文献

- 東 幹夫 2000a. 諫早湾潮止め後の水質環境の変化. 日本の科学者, 35: 37-41.
- 東 幹夫 2000b. 諫早湾干拓事業の影響. 佐藤正典(編), 有明海の生きものたち: 干潟・河口域の生物多様性. 海游舎, 東京, pp. 320-337.
- 東 幹夫 2003. 諫早湾干拓事業と「有明海異変」—再生への提言—. 陸水学雑誌, 64: 209-217.
- Boesch, D. F. and N. N. Rabalais 1991. Effects of hypoxia on continental shelf benthos: comparisons between the New York Bight and the northern Gulf of Mexico. In *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*, Tyson, R. V. and T. H. Pearson (eds.), Geological Society Special Publication, 58, London, pp. 27-34.
- Diaz, R. J. and R. Rosenberg 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 33: 245-303.
- Falkowski, P. G., T. S. Hopkins and J. J. Walsh 1980. An analysis of factors affecting oxygen depletion in the New York Bight. *Journal of Marine Research*, 38: 479-506.
- 藤井明彦・山本憲一 2003. 諫早湾におけるタイラギ・アサリの現状と問題点. 月刊海洋, 35: 235-240.
- 藤原孝道・経塚雄策・濱田孝治 2004. 有明海における潮汐・潮流減少の原因について. 海の研究, 13: 403-411.
- 福田 宏 2000. 巻貝類I—総論. 佐藤正典(編), 有明海の生きものたち: 干潟・河口域の生物多様性. 海游舎, 東京, pp. 100-137.
- 風呂田利夫 1991. 東京湾の環境回復への提言. 東京湾内湾底生動物の生き残りと繁栄. 沿岸海洋研究ノート, 28: 160-169.
- Harper, D. E. Jr., L. D. McKinney, J. M. Nance and R. R. Salzer 1991. Recovery responses of two benthic assemblages following an acute hypoxic event on the Texas continental shelf, northern Gulf of Mexico. In *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*, Tyson, R. V. and T. H. Pearson (eds.), Geological Society Special Publication, 58, London, pp. 49-64.
- 今林博道 1989. 貧酸素水塊富栄養海域における底生生物群集の貧酸素水塊の相互作用. 沿岸海洋研究ノート, 26: 119-128.
- 井上尚文 1980. 有明海の物理環境. 海洋科学, 12: 116-126.
- 気象庁 1970. 海洋観測指針. 日本海洋学会, 東京, 431 pp.
- 鯉淵幸生・佐々木 淳・有田正光・磯部雅彦 2003. 有明海における水質変動の支配要因. 海洋工学論文集, 50: 971-975.
- 近藤 寛・東 幹夫・西ノ首英之 2003. 有明海における海底堆積物の粒度分布とCN組成. 長崎大学教育学部紀要—自然科学一, 68: 1-14.
- 近藤 寛・東 幹夫・西ノ首英之・山口恭弘 2001. 水無川河口域における底質の粒度組成の変化. 山口恭弘(編), 有明海水産業復興対策基礎調査事業報告書. 有明海漁場環境調査協議会, 長崎, pp. 15-80.
- 松尾匡敏・東 幹夫・佐藤慎一・近藤 寛・西ノ首英之 2003. 諫早湾潮止め後の有明海における底質とマクロベントス密度の経年変化 II. 2003年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会講演要旨集, 124.
- 宮地傳三郎・黒田徳米・波部忠重 1953. 日本近海の生物地理区について. 生物科学, 5: 145-148.
- 灘岡和夫・花田 岳 2002. 有明海における潮汐振幅減少要因の解明と諫早堤防締め切りの影響. 海岸工学論文集, 49: 401-405.
- 中嶋健太・近藤 寛・東 幹夫・中村 剛・西ノ首英之 2003. 諫早湾潮止め後の有明海における底質とマクロベントス密度の経年変化 I. 底質の粒度組成と堆積型分布. 2003年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会講演要旨集, 123.
- 中村幹雄 1998. 宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* Prime と環境との相互作用に関する生理生態学的研究. 島根県水産試験場研究報告, 9: 1-192.
- 中村武弘・多田彰秀・矢野真一郎・武田 誠・野中寛之 2003. 諫早湾湾口における夏季の流況観測. 海岸工学論文集, 50: 371-375.
- 中村武弘・矢野真一郎・多田彰秀・野中寛之・亀井雄一 2002. 諫早湾湾口における流況の現地観測. 海岸工学論文集, 49: 396-400.
- 西ノ首英之・小松利光・矢野真一郎・斎田倫範 2004. 諫早湾干拓事業が有明海の流動構造へ及ぼす影響の評価. 海岸工学論文集, 51: 336-340.
- Pihl, L. 1994. Changes in the diet of demersal fish due to eutrophication-induced hypoxia in the Kattegat, Sweden. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51: 321-336.
- Rosenberg, R. 1976. Benthic faunal dynamics during succession following pollution abatement in a Swedish estuary. *Oikos*, 27: 414-427.
- Rosenberg, R. and L. O. Loo 1988. Marine eutrophication induced oxygen deficiency: effects on soft bottom fauna, western Sweden. *Ophelia*, 29: 213-225.
- 佐藤正典・東 幹夫・佐藤慎一・加藤夏絵・市川敏弘 2001. 諫早湾・有明海で何が起きているのか? 科学, 71: 882-894.
- 佐藤正典・田北 徹 2000. 有明海の生物相と環境. 佐藤正典(編), 有明海の生きものたち: 干潟・河口域の生物多様性. 海游舎, 東京, pp. 10-35.
- 佐藤慎一 2000. 二枚貝類一特に諫早湾について. 佐藤正典(編), 有明海の生きものたち: 干潟・河口域の生物多様性. 海游舎, 東京, pp. 150-183.
- 佐藤慎一・金澤 拓 2004. 干拓堤防締め切り後の諫早湾および有明海中央部における二枚貝類の変化. 化石, 76: 90-99.
- 下山正一 2000. 有明海の地史と特産種の成立. 佐藤正典(編), 有明海の生きものたち: 干潟・河口域の生物多様性. 海游舎, 東京, pp. 37-48.
- Stachowitsch, M. 1991. Anoxia in the northern Adriatic Sea: rapid death, slow recovery. In *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*, Tyson, R. V. and T. H. Pearson (eds.), Geological Society Special Publication, 58, London, pp. 119-129.
- 菅野 徹 1981. 有明海 自然・生物・観察ガイド. 東海大学出版会, 東京, 194 pp.
- 多田彰秀・中村武弘・矢野真一郎・武田 誠・藤本大志 2004. 諫早湾湾口における潮流流速と溶存酸素濃度の現地観測. 海岸工学論文集, 51: 901-905.
- 武岡英隆 2003. 有明海における M2 潮汐の変化に関する論議へのコメント. 沿岸海洋研究, 41: 61-64.

- 滝川 清・田淵幹修 2002. 有明海の潮汐特性と沿岸構造物の影響. 海岸工学論文集, 49: 1061-1065.
- 玉井恭一 1993. シズクガイの貧酸素耐性. 日本水産学会誌, 59: 615-620.
- 堤 裕昭・岡村絵美子・小川満代・高橋 徹・山口一岩・門谷茂・小橋乃子・安達貴浩・小松利光 2003. 有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係. 海の研究, 12: 291-305.
- 宇野木早苗 2001. 湾域の環境を決める海水の流れ. 科学, 71: 912-920.
- 宇野木早苗 2002. 有明海における潮汐と流れの変化—諫早湾干拓事業の影響を中心に—. 海と空, 78: 19-30.
- 宇野木早苗 2003a. 有明海の潮汐と潮流はなぜ減少したか. 海の研究, 12: 85-96.
- 宇野木早苗 2003b. 有明海の潮流減少の原因に関する観測データの再解析結果. 海の研究, 12: 307-313.
- 宇野木早苗 2004. 有明海の潮汐・潮流変化に関わる科学的問題と社会的問題. 沿岸海洋研究, 42: 85-94.
- Wu, R. S. S. 2002. Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses. *Marine Pollution Bulletin*, 45: 35-45.
- 柳 哲雄・塚本秀史 2004. 有明海における潮汐振幅の経年変動. 海の研究, 13: 295-300.