

論文

中海における過去約 40 年間の貝形虫 (甲殻類) の群集変化

入月 俊明*・中村 雄三**・高安 克己***・坂井 三郎****

Faunal changes in Ostracoda (Crustacea) in Lake Nakaumi, southwest Japan, over the last 40 years

Toshiaki Irizuki*, Yuzo Nakamura**, Katsumi Takayasu*** and Saburo Sakai****

Abstract

Sixty-five ostracode species were obtained from 37 surface sediment samples collected from Lake Nakaumi between August 5 to 8, 2002. The most dominant species is *Bicornucythere bisanensis*. This species is abundant in the central part of the lake, where oxygen-poor bottom waters develop in summer. *Dolerocyprina mukaishimense* and *Cytherura miui* are sporadically dominant in relatively low-salinity environments such as river mouths and the Honjo-koku area. Other species are rare except at the lake mouth, where high-diversity assemblages composed of 47 shallow brackish to marine ostracode species are recognized. To clarify the relationships between ostracode assemblages and human activities over the last 40 years, particularly reclamation and freshening projects, we compared published ostracode studies of Lake Nakaumi, based on samples collected in 1963/1967 and 1986, with our present results. Six ostracode assemblages are distinguished on the basis of Q-mode cluster analysis. Ostracode assemblages and their distribution areas changed dramatically between 1963/1967 and 1986, related to change in pattern of bottom water circulation. In contrast, they have changed little at from 1986 to 2002, although the areas dominated by *B. bisanensis* seem to be slightly enlarged.

Key words: Lake Nakaumi, human activity, Ostracoda, faunal change

はじめに

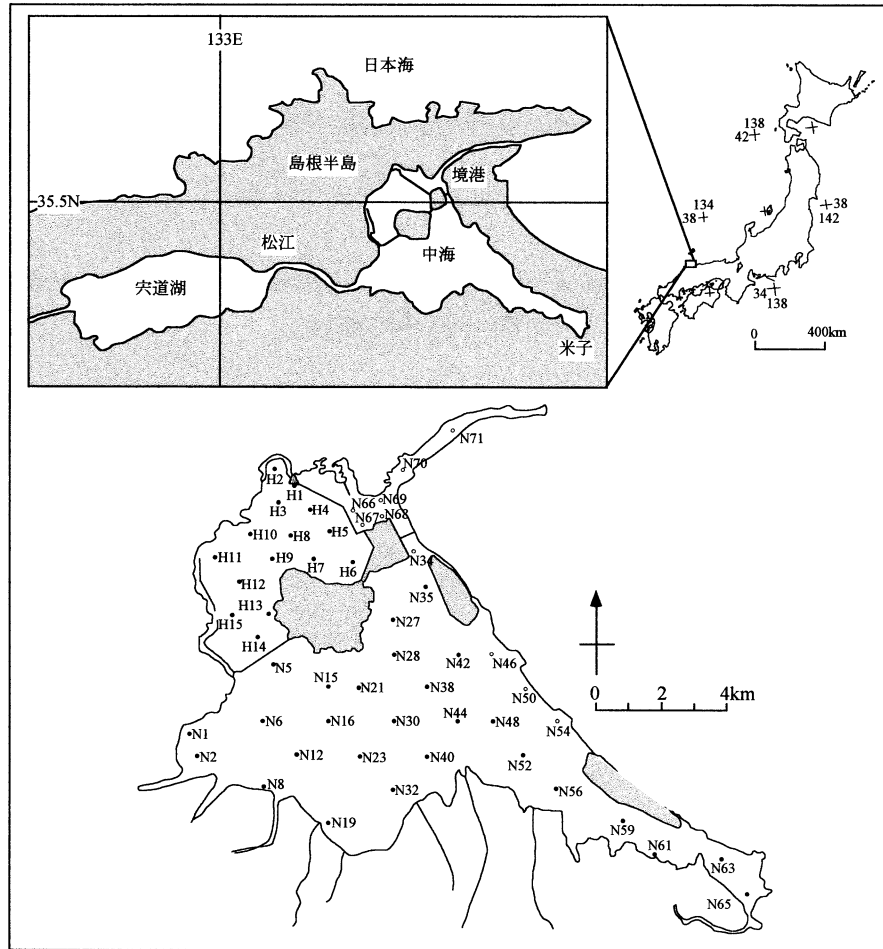
島根・鳥取両県にまたがる中海は、中国山地を水源とする斐伊川の河口に位置し、極めて閉鎖的な多塩分汽水湖である(第 1, 2 図)。中海では国による干拓・淡水化事業が 1963 年から始まり、本格的な工事が 1968 年より開始され、1972 年には境水道の浚渫、1974 年には中浦水門の建設、1981 年までには中海の北部にあたる本庄工区の堰堤閉鎖、各地の干拓工事などの大規模な環境改変が繰り返し行われてきた(野村・山根, 1996; 第 3 図)。そのため、工事以前と以後では生物相に大きな変化が見られ、例えば、高安ほか(1989)は貝類について、紺田(1988)、Nomura and Seto(1992)や野村・山根(1996)は有孔虫について、鹿島・野口(1988)は珪藻類について研究を行っている。

今回の研究対象である貝形虫類は、淡水から汽水、浅海か

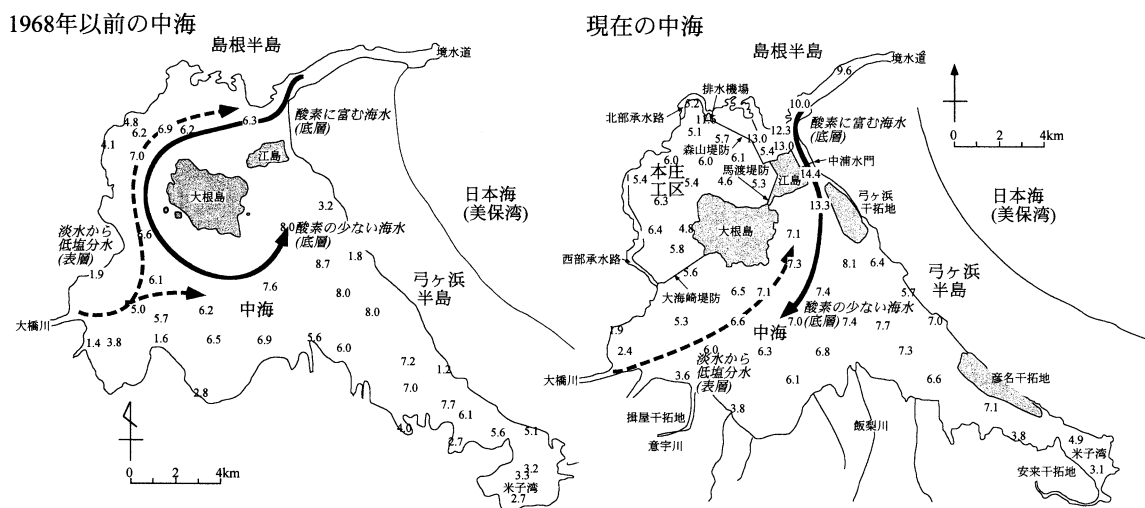
ら深海までと幅広く生息する微小な甲殻類の仲間である。中海の貝形虫類に関しては、Ishizaki(1969)の研究が端緒である。その後、高安ほか(1990)、田中ほか(1998)の研究がある。Ishizaki(1969)は様々な工事が始まる前の 1963 年 8 月と 1967 年 7-8 月に中海全域の 47 地点から採取した試料を検討し、そのうちの 19 地点から貝形虫を報告した。高安ほか(1990)はほぼ大規模な工事が終了した後の 1986 年 7 月 17 日から 20 日に本庄工区を除く中海と境水道を経て美保湾に至る 34 地点から採取された表層堆積物(中海・宍道湖自然史研究会ほか, 1987)を用い、そのうち 30 地点から貝形虫を報告し、Ishizaki(1969)の研究との比較を行っている。田中ほか(1998)は 1995 年 10 月から 1996 年 8 月にかけて、月 1 度美保湾から宍道湖に至る一連の水域環境から貝形虫を採取し、それまで報告の無かった大橋川や宍道湖から中塩分汽水水域の貝形虫群集と環境変化との関連を報告した。しかしながら、中海に関しては 5 地点からしか採取を行っていない。そこで、本研究では、淡水化計画による公共事業が行われる前の 1960 年代の貝形虫相を代表する Ishizaki(1969)、本庄工区の堰堤閉鎖工事が完了した 1980 年代後半の貝形虫相を代表する高安ほか(1990)の研究結果と今回の調査結果とを比較し、過去約 40 年間にわたる環境改変により中海の貝形虫群集がどのような変化してきたのかを検討する。

国による中海・宍道湖淡水化事業は、近年の経済状況の変化や、環境保全意識の向上により、2002 年 12 月に正式に中止になった。今後、淡水化中止で不用になった中浦水門の撤

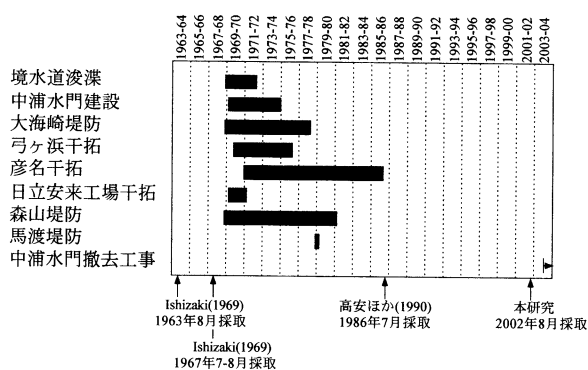
* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科
Department of Geoscience, Faculty of Science and Engineering
Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan
** アイティエス(株)
ITS Co. Ltd., 2-16-20 Mejiro, Toshima-ku, Tokyo 171-0031, Japan
*** 島根大学汽水域研究センター
Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane
University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan
**** 海洋科学技術センター 固体地球統合フロンティア研究システム
Institute for Frontier Research on Earth Evolution, Japan Marine
Science and Technology Center, 2-15 Natsushimacho, Yokosuka 237-
0061, Japan



第1図 調査位置図. 下図の黒点は本研究の対象試料の地点を示す.



第2図 1968年以前および現在の中海の地形および海洋環境. 地図中の数字は水深(m)を示す. 左図の水深はIshizaki(1969)より. 海流の経路は倉門ほか(1998)をもとに作成.



第3図 中海における人為的環境変化の歴史と試料採取時期。野村・山根(1996)をもとに作成。

去が2004年秋から予定されており(第3図), 干拓堤防の開削もあるかもしれない。今回の調査結果はこのような工事が行われる直前のものとして, 有意なものであろう。

地形・水域環境の概要

中海は島根半島の南部に位置し, 平均水深5.4 m, 面積86.2 km²である。北部中央には大根島, 江島などの島々があり, 東部は弓ヶ浜砂洲の発達によって, 日本海と隔てられている。西部の宍道湖とは大橋川を経てつながり, 一方, 日本海とは幅約200–400 m, 長さ約8 kmの境水道を経てつながっている。宍道湖・大橋川・中海・境水道は斐伊川水系の河口部にあたる(第1, 2図)。

Ishizaki (1969) や倉門ほか(1998)によると, 境水道より流入する日本海からの酸素に富んだ海水は干拓工事が開始される前の約35年前までは大根島と江島を反時計回りに巻くように流れ, 大根島南東部に貧酸素水塊を形成していた(第2図)。しかしながら, 1968年から1981年にかけて, 大根島北部の水域を囲む干拓堤防が建設され, 本庄干拓予定地はほぼ閉鎖された。その結果, 海水の流れは大きく変化し, 1981年以降は中海北東部に位置する長さ約400 mの中浦水門を通して南下するようになった。このように中海には境水道を介して, 日本海より海水が流入するために, 水深約4 mに顕著な塩分躍層が発達する。中海の湖心部における底層水の塩分は30–33 psuで, 表層水は底層水よりも約10 psu低い。斐伊川水系が上流より雪解け水を流出する3–4月頃は塩分が低下する。水温については表層, 底層とも夏季に25–30℃, 冬季に約6℃となる。溶存酸素は表層水は年間を通して過飽和状態に近いが, 底層水は8–9月頃に貧酸素となる場所が多く存在する(高安, 2001編)。

表層堆積物の採取と処理

表層堆積物は2002年8月5日~8日にかけて, 中海と境水道の52地点(うち15地点は本庄工区)より, エクマンバジ式グラブ採泥器により島根大学汽水域研究センター所有の小型船舶上から採取した(第1図, 第1表)。引き上げられ

た底質堆積物のうち, 表層1 cmを目安に樹脂成葉サジでサンプリングを行った。このうち, 再堆積が毎年繰り返されていると予想される境水道から中浦水門より北側の6地点(N 66–71)および水門より南側の4地点の砂質堆積物(N 34, N 46, N 50, N 54)を除く, 42地点の泥質堆積物を対象に研究を行った。

採取した底質堆積物は単位重量あたりの個体数を算出することを目的として, 次のような処理を行った。まず, 試料約50 gをとり, 70℃の定温乾燥器中で3日間乾燥させ, 乾燥前後の重量を測定し, 含水率を求めた(第1表)。残りの湿試料の重量を測定し, それを250メッシュ(63 μm)の篩上で水洗し, 生体と遺骸の区別を容易にするため, ローゼンベンガルで染色した。再び水洗し, 乾燥させ重量を測定した。これらから水洗した湿試料の乾燥重量と含泥率を計算で求めた(第1表)。貝形虫は200メッシュ(75 μm)以上の堆積物より標本数が200個を目安に分割試料から拾い出した。標本数の計数は高安ほか(1990)にあわせ, 片殻を1, 両殻を2とし, 遺骸殻, 生体殻の区別は行っていない。

測定環境

本研究では表層堆積物試料の採取時における水質の測定も行った。測定項目は水温, 塩分, 溶存酸素量, pHで水深1 mごとに計測した。そのうち, 表層と底層における各測定値を第1表に示す。

1. 水温

調査日程中は夏季で晴れもしくは曇りで, 表層水温は27.78℃から30.60℃の範囲内であった。底層は表層から徐々にさがり, 25–26℃前後となる。また, 大橋川河口部および米子湾奥部から中浦水門に向かうにつれて水温が低くなる。本庄工区の地点H1では13.6℃と周囲に比べ低い。これは排水機場が近くにあり, 水深も11.6 mと深いことに関連している。

2. 塩分

表層の塩分は中海南東部の米子湾周辺(N 61, N 63, N 65)で最も低く, 14.06–19.43 psuとなり, また, 本庄工区(H1–H15)でも同様に18.59–19.02 psuと全体的に低くなっていた。一方, 江島北方域(N 66–N 68)では24.21–25.07 psuと最も高く, 境水道を含めたその他の地点では19.57–24.21 psuの範囲内で, 22 psu前後の値を示した。底層に関しては, 本庄工区以外では水深4 m前後に顕著な塩分躍層が認められ, 深い地点では30–32 psuとなった。米子湾周辺や大橋川河口部(N 1, N 2)では水深が2–4 m前後のため, 21–24 psu前後であった。本庄工区では水深が5–6 mもあるにもかかわらず, 塩分は19.00–23.07 psuと低い。ただし, 地点H8だけは28.89 psuと高い値であった。

3. 溶存酸素量(DO)

表層に関しては, 米子湾の地点N 65, 本庄工区奥の地点H1やH2で5.47–5.81 mg/lとやや低い値になっていたが,

第1表 調査地点における各項目の測定値.

sample no	collected date	time	latitude 35°	longitude 133°	depth m	wc %	mc %	temp. °C		Sal. psu		DO mg/l		pH	
								surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom	surface	bottom
N1	2002.8.6	17:54	27.636	7.902	1.9	42.67	54.63	28.9	28.63	23.73	24.29	6.97	5.54	8.05	7.94
N2	2002.8.6	17:40	27.289	8.037	2.4	59.53	76.91	28.92	28.91	23.94	24.01	6.8	6.38	8.04	7.99
N5	2002.8.8	6:20	28.733	9.576	5.6	84.37	97.69	28.66	26.14	22.67	29.13	5.98	0.15	7.92	7.52
N6	2002.8.8	6:41	27.835	9.357	5.3	83.43	99.58	28.38	26.45	22.24	28.49	6.05	1.42	7.97	7.63
N8	2002.8.6	17:13	26.792	9.378	3.6	72.61	69.69	29.51	28.44	24.19	24.35	7.83	5.14	8.1	7.88
N12	2002.8.8	7:02	27.296	10.054	6	81.92	97.39	28.32	25.95	22.24	29.27	6.28	0.36	8	7.57
N15	2002.8.8	7:40	28.385	10.688	6.5	77.73	96.41	28.64	26.05	22.6	30.65	6.25	2.33	8.01	7.77
N16	2002.8.8	7:21	27.829	10.695	6.6	79.73	98.92	28.43	25.71	22.38	30.35	6.29	0.74	8	7.63
N19	2002.8.6	16:51	26.203	10.677	3.8	78.12	89.36	29.37	28.45	23.32	23.65	7.16	5.76	8.04	7.97
N21	2002.8.8	8:04	28.378	11.31	7.1	76.4	96.57	28.63	26.04	22.6	30.8	6.39	2.35	8.03	7.76
N23	2002.8.6	16:09	27.384	11.332	6.3	78.62	98.71	29.49	25.28	22.83	29.53	6.82	0.11	8.05	7.57
N27	2002.8.6	15:09	29.456	11.994	7.1	73.15	92.72	29.82	25.78	22.07	31.15	6.86	3.09	8.05	7.73
N28	2002.8.6	15:28	28.904	12.007	7.3	74.67	95.2	29.75	25.6	22.07	30.92	6.93	2.68	8.07	7.7
N30	2002.8.6	15:50	27.839	12.006	7	78.42	98.73	29.63	25.2	22.42	30.32	6.81	0.16	8	7.52
N32	2002.8.6	16:28	26.742	11.992	6.1	82.18	97.53	29.64	25.8	23.12	28.68	7.1	0.15	8.03	7.55
N34	2002.8.5	13:00	30.586	12.392	14.4	42.1	19.1	28.12	25.9	21.55	32.11	6.36	5.5	8.03	7.92
N35	2002.8.6	12:20	30.011	12.651	13.3	66.91	87.02	30.6	24.95	21.74	31.84	6.43	3.24	8.05	7.77
N38	2002.8.6	11:05	28.384	12.668	7.4	78.39	99.19	29	25.44	22.26	30.99	6.57	2.77	8.06	7.78
N40	2002.8.6	10:40	27.285	12.669	6.8	79.26	98.1	29.05	25.12	23.17	30.03	6.29	0.04	8	7.56
N42	2002.8.6	11:57	28.908	13.312	8.1	68.85	67.17	29.86	25.41	21.65	31.42	6.67	3.53	8.1	7.8
N44	2002.8.6	10:20	27.831	13.295	7.4	79.56	98.03	29.08	25.22	22.76	30.54	6.24	0.84	8.05	7.65
N46	2002.8.6	11:32	29.919	13.974	6.4	42.38	15.94	30.23	24.95	21.66	31.04	6.64	1.98	8.11	7.7
N48	2002.8.6	10:03	27.835	13.985	7.7	77.26	97.28	29.69	25.19	21.37	30.76	6.61	1.56	8.13	7.7
N50	2002.8.6	9:42	28.38	14.659	5.7	38.9	13.32	29.33	25.05	20.87	30.83	6.62	2.38	8.13	7.73
N52	2002.8.6	9:04	27.299	14.62	7.3	69.66	91.72	29.33	25.22	21.36	30.4	6.49	1.16	8.14	7.7
N54	2002.8.6	9:24	27.852	15.296	7	34.69	14.67	29.48	24.88	20.53	30.38	6.54	1.06	8.15	7.66
N56	2002.8.6	8:45	26.758	15.276	6.6	76.41	96.03	29.43	25.35	21.15	29.37	6.66	0.88	8.17	7.68
N59	2002.8.6	8:22	26.256	16.618	7.1	77.74	93.98	29.7	24.91	19.57	29.37	6.7	0.08	8.23	7.59
N61	2002.8.6	8:02	25.732	17.267	3.8	69.4	74.12	29.89	28.86	19.43	21.83	6.41	4.33	8.22	7.95
N63	2002.8.6	7:33	25.662	18.593	4.9	75.93	70.59	29.3	26.7	14.06	23.53	7.36	0.29	8.32	7.55
N65	2002.8.6	7:10	25.103	19.107	3.1	60.22	45.26	30.25	29.53	18.67	21.05	5.47	5	8.09	8.05
N66	2002.8.5	13:48	31.244	11.17	13	63.36	78.55	28.59	25.11	24.78	32.3	6.11	4.74	8.01	7.88
N67	2002.8.5	14:10	31.009	11.365	5.4	32.92	4.46	28.56	25.67	25.07	31.66	6.17	5.05	8.04	7.91
N68	2002.8.5	14:36	31.13	11.761	13	63.53	93.78	28.57	25.46	24.21	32.23	6.32	4.64	8.07	7.93
N69	2002.8.5	14:58	31.393	11.751	12.3	61.58	89.82	27.78	25.36	22.11	32.3	6.3	4.8	8.11	7.93
N70	2002.8.5	15:20	31.878	12.179	10	31.92	9.31	28.82	25.87	21.9	32.32	6.65	5.73	8.13	8
N71	2002.8.5	15:45	32.507	13.195	9.6	35.94	16.77	28.69	26	22.46	32.33	6.63	6.08	8.14	8.03
H1	2002.8.7	7:11	31.614	10.613	11.6	79.94	94.64	29.34	13.64	18.66	23.07	5.59	0.03	7.91	7.09
H2	2002.8.7	7:32	31.888	9.608	5.2	72.7	90.05	29.29	28.98	18.59	19.27	5.81	3.35	7.91	7.67
H3	2002.8.7	7:49	31.347	9.681	5.1	71.17	91.98	29.41	28.68	18.66	20.78	6.06	1.74	7.95	7.45
H4	2002.8.7	8:07	31.23	10.322	5.7	70.95	73.87	29.47	28.94	18.67	20.44	6.07	1.19	7.94	7.5
H5	2002.8.7	8:21	30.882	10.713	6.1	73.93	92.17	29.7	28.28	18.67	21.75	6.13	1.1	7.95	7.48
H6	2002.8.7	8:39	30.405	11.175	5.3	75.67	95.87	29.76	29.08	18.6	19.69	6.13	3.49	7.94	7.7
H7	2002.8.7	8:57	30.451	10.401	4.6	52.39	24.51	29.58	29.1	18.67	19	6.04	5.03	7.92	7.89
H8	2002.8.7	9:14	30.813	9.92	6	76.53	90.34	29.34	28.16	18.73	28.89	6.43	0.5	7.97	7.4
H9	2002.8.7	9:28	30.451	9.565	5.4	73	83.55	29.23	28.72	18.73	20.92	6.46	2.21	7.96	7.56
H10	2002.8.7	9:44	30.831	9.122	6	74.8	98.24	29.34	28.6	18.66	21.69	6.07	1.96	7.92	7.57
H11	2002.8.7	10:00	30.465	8.406	5.4	77.4	96.19	29.25	28.96	18.73	21.7	6.41	2.12	7.95	7.67
H12	2002.8.7	10:15	30.06	8.908	6.3	75.18	77.56	29.43	28.3	18.87	22.52	6.62	2.58	7.99	7.67
H13	2002.8.7	10:32	29.559	9.477	4.8	73.9	77.1	29.93	29.15	18.93	19.62	6.63	2.69	8.01	7.63
H14	2002.8.7	10:44	29.178	9.264	5.8	49.85	23.23	29.89	28.23	19.02	22.03	6.82	0.35	8.04	7.37
H15	2002.8.7	10:58	29.531	8.738	6.4	77.03	82.31	29.63	28.36	18.94	22.8	6.52	3.39	7.99	7.78

境界水道, 地中海全域で 6-7 mg/l の地点がほとんどである。底層に関しては、地中海中部で非常に低く、1 mg/l 以下の地点が多く認められ、地点 N 40 では 0.04 mg/l となる。江島北方域や中浦水門付近では DO の減少は少なく、3-5 mg/l で、境界水道では 5 mg/l を越える。本庄工区では北部で 1 mg/l 前後の低い値を示す場所が多く、大根島周辺部や大橋川付近では 2-6 mg/l 前後とやや酸化的な環境になっている。

4. pH

表層の pH は地中海南東部の弓ヶ浜沿岸域から米子湾にかけて若干高く、8.17-8.32 で、また、境界水道でも地点 70 と地点 71 が 8.13 および 8.14 とやや高い。一方、本庄工区ではやや低く 8.00 足らずの場所が多い。その他の地中海では 8.00-

8.10 の場所がほとんどである。底層に関しては、表層から徐々に減少し、H 1 では 7.09 と最も低くなっているが、その他では 7.5-7.9 で、中浦水門付近では 8.00 前後である。

2002 年における貝形虫群集

今回検鏡を行った 42 試料のうち、37 試料から 65 種の貝形虫が産出した(第 2 表)。大橋川河口部の N 2, 南部沿岸域の N 19, 米子湾最奥部の N 65, 本庄工区大根島西部の H 12 および大海崎堤防北の H 14 の 5 地点からは産出しなかった。

1. 産出貝形虫種

本調査において圧倒的に多産した種は *Bicornucythere*

第 3 表. 主な貝形虫種のシノニムリスト.

Ishizaki(1969)	高安ほか (1990)	本研究
<i>Aurila miii</i>	<i>Aurila cymba</i>	<i>Aurila cymba</i>
<i>Callistocythere rugosa</i>	<i>Callistocythere rugosa</i>	<i>Callistocythere tateyamensis</i>
<i>Callistocythere</i> cfr. <i>undulatifacialis</i>	<i>Callistocythere</i> cfr. <i>undulatifacialis</i>	<i>Callistocythere undulatifacialis</i>
<i>Callistocythere</i> aff. <i>reticulata</i>	<i>Callistocythere</i> aff. <i>reticulata</i>	<i>Callistocythere reticulata</i>
<i>Cushmanidea subjaponica</i>	<i>Pontocythere subjaponica</i>	<i>Pontocythere</i> sp. 1
<i>Cythere lutea omotenipponica</i>	<i>Cythere nishinipponica</i>	<i>Cythere nishinipponica</i>
<i>Cytheromorpha japonica</i>	<i>Cytheromorpha acupunctata</i>	<i>Cytheromorpha acupunctata</i>
<i>Echinocythereis bradyi</i>	<i>Pistocythereis bradyi</i>	<i>Pistocythereis bradyi</i>
<i>Hermanites tosaensis</i>	<i>Cornucoquimba tosaensis</i>	<i>Cornucoquimba tosaensis</i>
<i>Leguminocythereis hodgii</i>	<i>Bicornucythere bisanensis</i>	<i>Bicornucythere bisanensis</i>
<i>Pontocypris</i> ? sp. A		<i>Dolerocypris mukaishimense</i>
<i>Spinileberis</i> sp. A		<i>Spinileberis furuyaensis</i>
<i>Tetracytherura miii</i>	<i>Cytherura miii</i>	<i>Cytherura miii</i>
<i>Trachyleberis scabrocuneata</i>	<i>Trachyleberis scabrocuneata</i>	<i>Trachyleberis scabrocuneata</i> + <i>T. ishizakii</i>
<i>Urocythereis miii</i>	<i>Hemicythere</i> ? <i>miii</i>	<i>Hemicythere miii</i>

56 でも 1.26 という値になったが、その他の地点ではすべて 1.0 以下の極めて多様性の低い群集が分布している。本庄工区では個体数が少ない試料が多く、判然としないが、地点 H 1 および H 9 でそれぞれ、1.3, 1.23 という 1.0 を越える値を示した。

(3) 個体数 乾燥重量 10 g 試料あたりに含まれる貝形虫の個体数を算出した。結果として、湖口部の地点 N 35 では 774 個体に達する極めて密度の高い群集が存在している。そのすぐ南方にあたる地点 N 28 や N 27 でもそれぞれ 477, 437 個体と多く、ここでは *B. bisanensis* がほぼ独占した群集となっている。個体数は湖心から沿岸へ向けて徐々に減少し、南部沿岸域や南東部の米子湾周辺では少ない。大橋川河口部の地点 N 1 で個体数が多いが、これは、淡水から低塩分性の *D. mukaishimense* と *C. miii* が多数を占めているからである。本庄工区では地点 H 1, H 9 でそれぞれ 150, 169 個体と多いが、その他の地点では 25 個体未満で、おおよそ数個体程度の地点が多い。

これまでの研究との比較

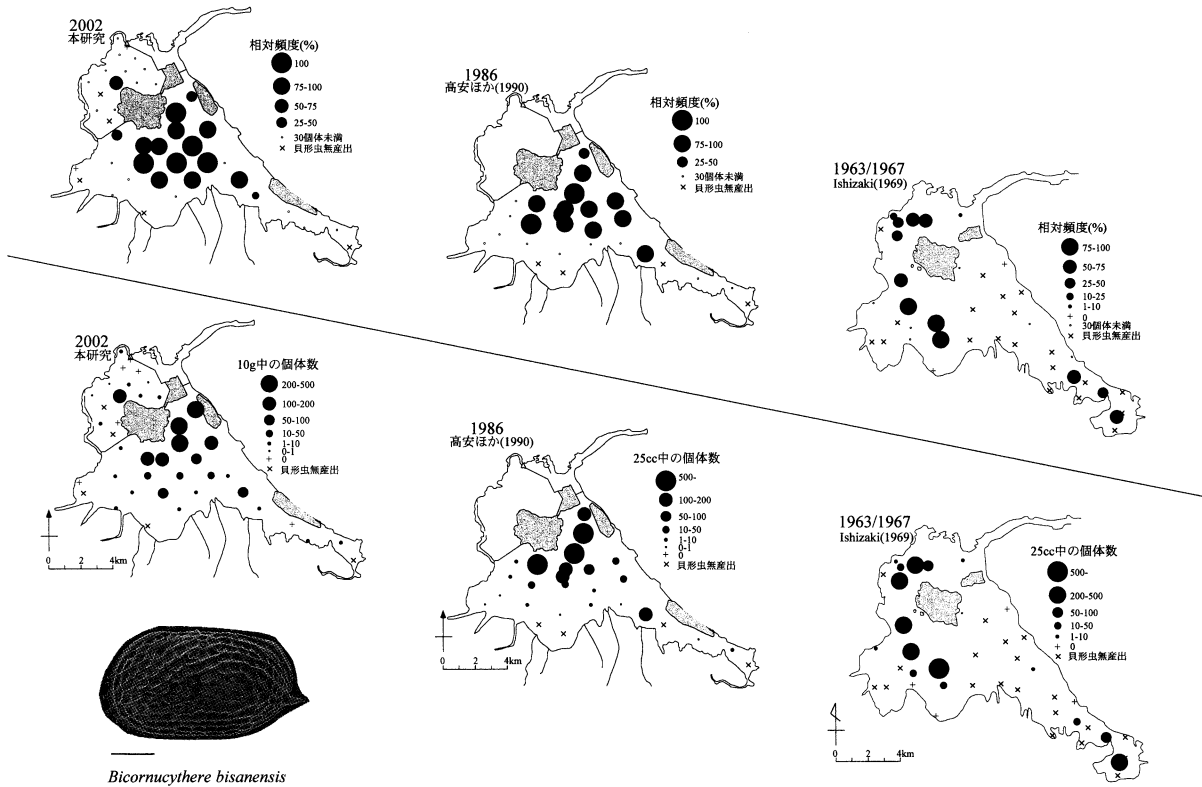
干拓事業に関する工事が開始される前の 1963 年と 1967 年の試料に基づく Ishizaki (1969) と工事がほぼ終了した 1986 年の試料に基づく高安ほか (1990) の研究 (第 3 図) と比較するために、これらの論文に示されている貝形虫産出リスト中の種名を、最近の分類学的研究成果に基づいて読みかえた。第 3 表は主な種の対照表である。なお、高安ほか (1990) については、中浦水門より内側にあたる地点 N-01 から N-27 までの試料から産出した貝形虫に限定し比較を行った。

1. 主な種の変化

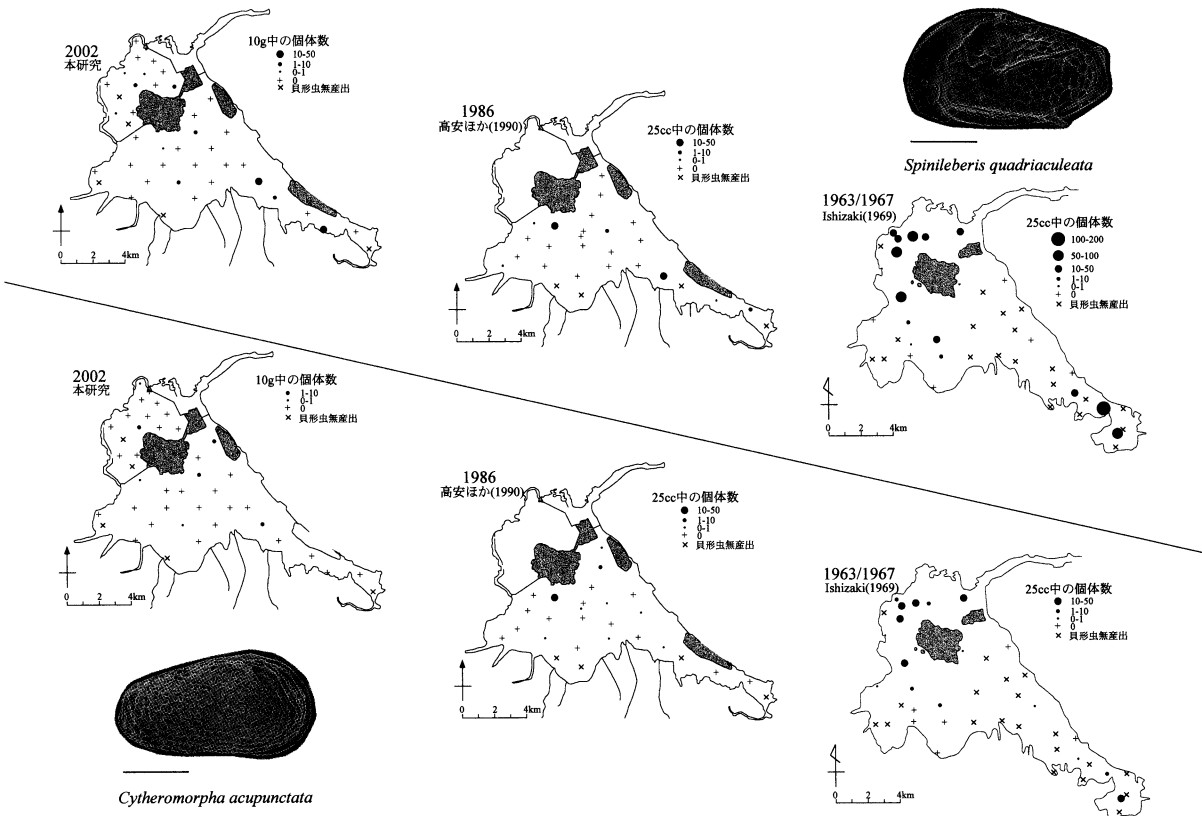
第 4~7 図は主要種の個体数の変遷を示している。個体数の算出については、本研究と Ishizaki (1969) および高安ほか (1990) では方法が異なっている。すなわち、本研究では乾燥重量 10 g 試料あたり、Ishizaki (1969) と高安ほか (1990) では採取した湿試料 25 cc あたりの個体数である。さらに

Ishizaki (1969) では各種の右殻、左殻について多い方の殻数を個体数としたが、高安ほか (1990) および本研究では前述のように片殻を 1, 両殻を 2 としている。このように厳密には各年における個体数の増減に関する議論は行えないが、相対的な違いは読みとることが可能である。

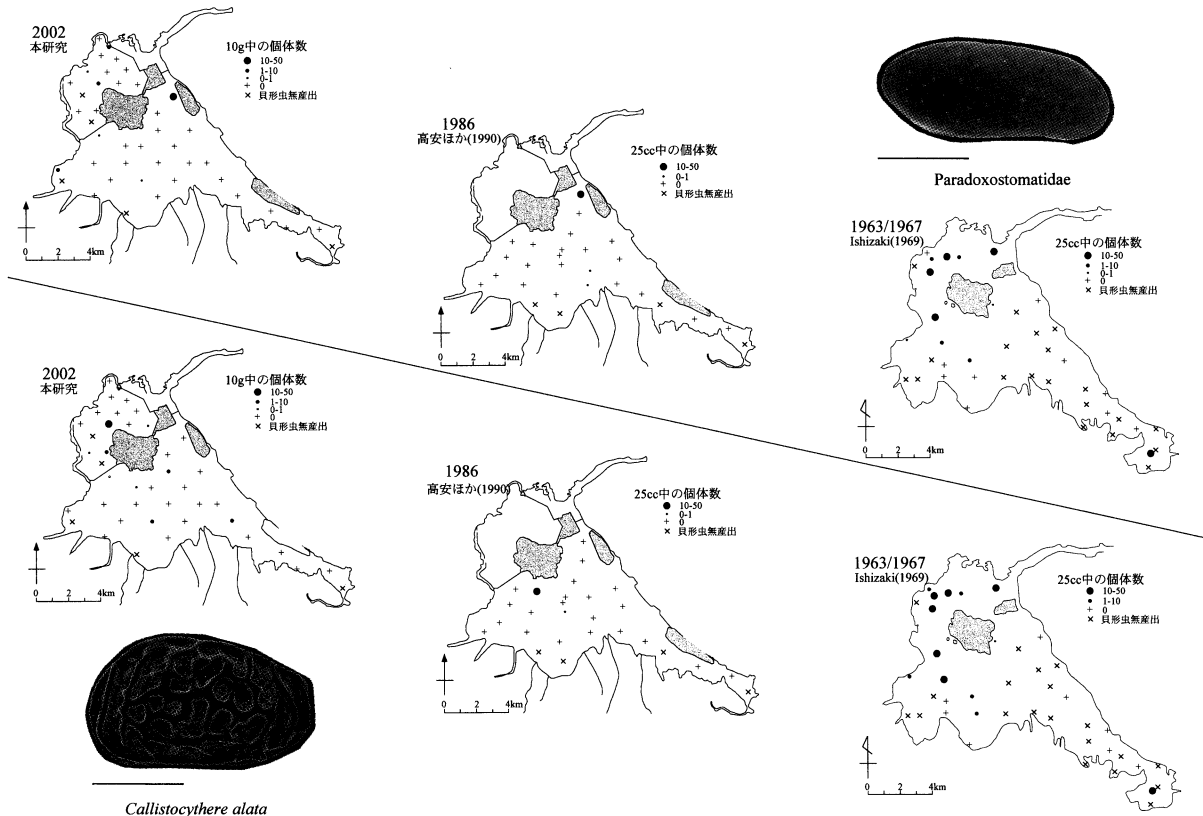
貝形虫種として *Bicornucythere bisanensis* が過去 40 年間を通じて地中海で最も多産する種でありつづけたことには変わりがない。ただ、その分布の中心が、1963/1967 年と 1986 年および 2002 年とでは大きく変化している。前者では大根島北西部より反時計回りに南西部までで、後者では大根島東部から南部である (第 4 図)。また、米子湾周辺では *B. bisanensis* はもちろん *Spinileberis quadriaculeata* などの他の種も激減している。本庄工区に関しては、1986 年に調査を行っていないので、工事終了直後の群集は明らかではない。今回の調査では、地点 H 9 だけ例外的に多くの *B. bisanensis* の遺骸が産出したが、他の地点では極めて少ないか、産出していない。*Spinileberis quadriaculeata* と *Cytheromorpha acupunctata* は 1963/1967 年では中海北西部で普通に見られたが、1986 年および 2002 年では極めて少なくなっている (第 5 図)。また、*Cytherois nakanoumiensis* Ishizaki のように種名の由来が中海にある *Cytherois* 属貝形虫も 1963/1967 年では北西部で見られたが、1986, 2002 年では湖口部の地点 N 35 以外では全く産出しないか、極めて少ない。これらの *Cytherois* 属貝形虫を含めた *Paradoxostomidae* 科貝形虫も同様である (第 6 図)。やはり閉鎖前には比較的多かった *Callistocythere alata* も閉鎖後激減したが、2002 年の調査では本庄工区の地点 H 9 で生体が確認され、少ないながらも細々と閉鎖された本庄工区内で生き延びているようである (第 6 図)。*Cytherura miii* や *Dolerocypris mukaishimense* などの低塩分性貝形虫は河口などの特定の場所に生息している種で、1986 年ではそのような場所の調査が行われていないが、2002 年の結果から判断すると、*C. miii* はそれまで確認されていた弓ヶ浜沿岸部からは海水流入経路の変更により姿を消したようであり、逆に塩分が低下した本庄工区内では産出するようになった (第 7 図)。



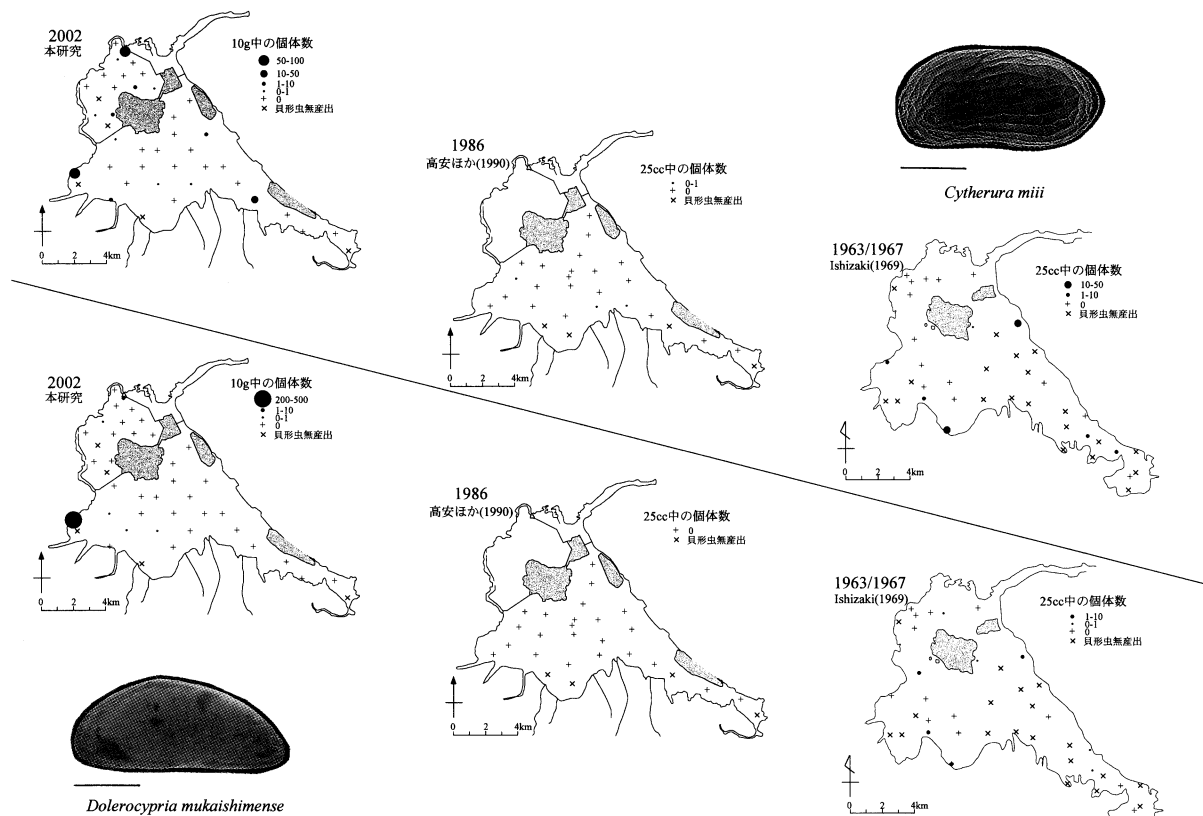
第4図 *Bicornucythere bisanensis* の相対頻度 (%) (上図) と単位試料あたりの個体数 (下図) の変遷. 貝形虫の走査型電子顕微鏡写真のスケールは 0.2 mm.



第5図 *Spinileberis quadriaculeata* と *Cytheromorpha acupunctata* の単位試料あたりにおける個体数の変遷. 貝形虫の走査型電子顕微鏡写真のスケールは 0.2 mm.



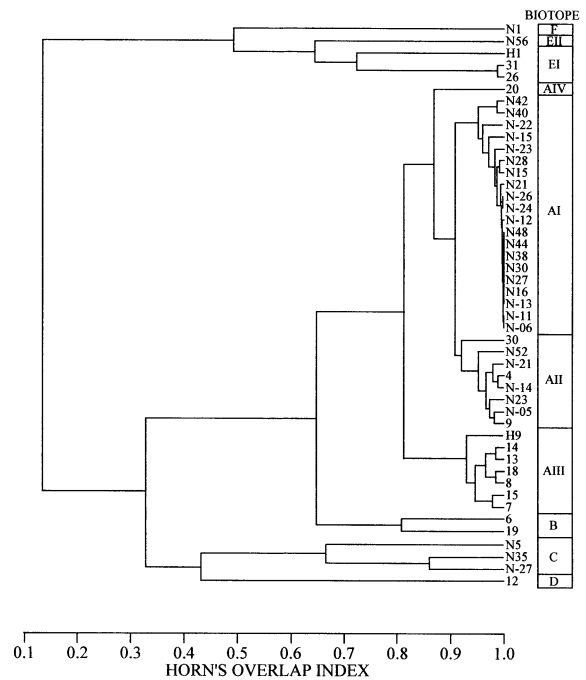
第6図 Paradoxostomatidae 科 (*Paradoxostoma*, *Cytherois*, *Paracytherois*, *Sclerochilus* 属) 貝形虫と *Callistocythere alata* の単位試料あたりにおける個体数の変遷. Paradoxostomatidae 科貝形虫の走査型電子顕微鏡写真は *Cytherois nakanoumiensis*. 写真のスケールは 0.2 mm.



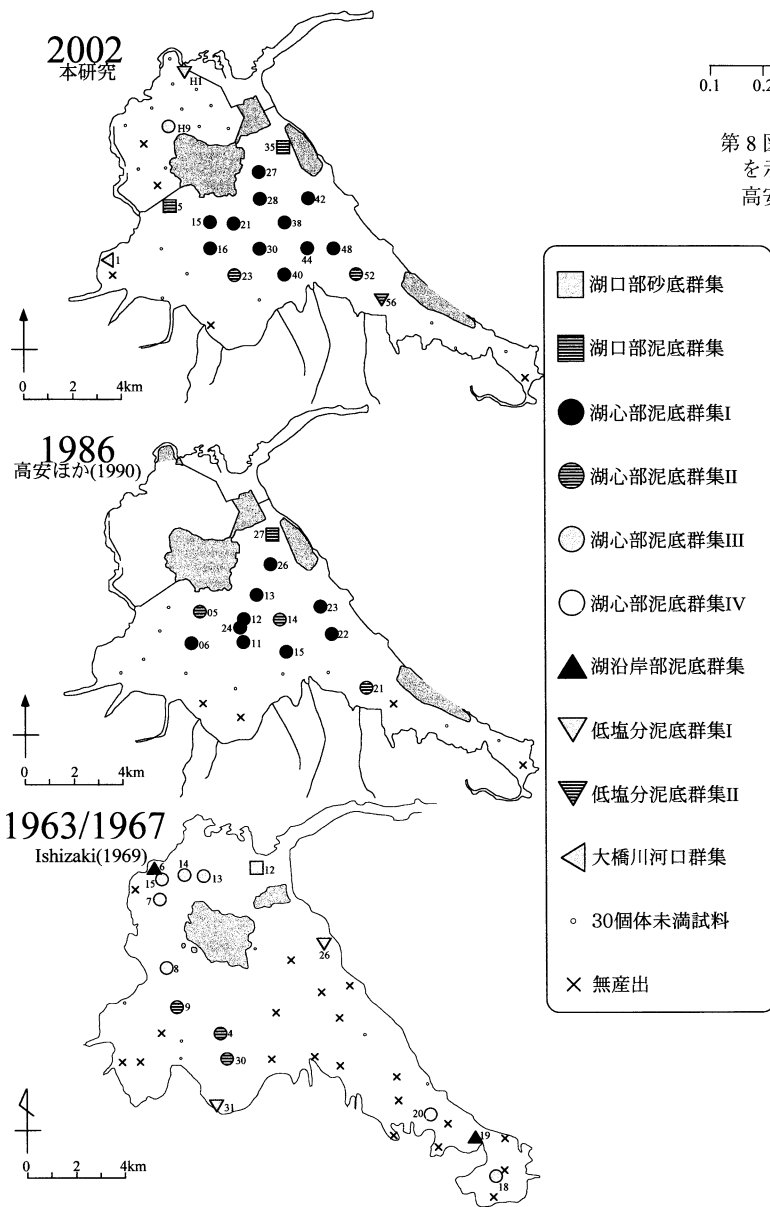
第7図 *Cytherura miii* と *Dolerocyprina mukaishimense* の単位試料あたりにおける個体数の変遷. 貝形虫の走査型電子顕微鏡写真のスケールは 0.2 mm.

2. 貝形虫群集の変化

Ishizaki (1969) は simple matching 係数に基づく Q-mode クラスタ分析により中海の貝形虫の生息場 (Biotope) を3つに分類した。高安ほか (1990) では種の組み合わせによる定性的な方法により、群集を認定した。前者では貝形虫種の頻度を考慮に入れておらず、後者では群集分けが任意になる欠点がある。そこで、本研究ではこれらのリストも含めて、30個体以上産出した Ishizaki (1969) の15試料、高安ほか (1990) の13試料、本研究の19試料、合計47試料と、いずれかの試料に3個体以上産出する45種の貝形虫を使って、Horn (1966) の重複度指数による Q-mode クラスタ分析を行い、新たに各年における6つの貝形虫の Biotope を認定した (A~F; 第8図)。これらの Biotope はそれぞれ以下のような群集を含む (第9図)。



第8図 Q-mode クラスタ解析結果。AI~Fは Biotope を示す。記号Nの無い番号は Ishizaki (1969)、N-は高安ほか (1990)、N は本研究の試料番号を示す。



第9図 中海における貝形虫群集の変遷。数字は各研究における地点番号を示す。

(1) 湖心部泥底群集 Biotope Aに含まれる *B. bisanensis* が優占する群集で、中海を最も良く特徴づける。Biotope Aは4つの sub-biotope (AI~AIV) に細分でき、それぞれ湖心部泥底群集 I~IV を含む。I はほぼ *B. bisanensis* が独占する群集 (高安ほか, 1990 の *B. bisanensis* 群集に相当) で、1963/1967 年には認められなかったが、1986年、2002 年では中海では湖心付近で最も広く分布する群集となった。II は *B. bisanensis* の他に *S. quadriaculeata* などやや多く伴う群集 (高安ほか, 1990 の *B. bisanensis*-*S. quadriaculeata* 群集にほぼ相当) で、1963/1967 年ではこの群集が大根島の南部に集中して分布していたが、1986 年や 2002 年では湖心に点在している。III は *B. bisanensis* の他に *C. alata*, *S. quadriaculeata*, *C. acupunctata* を伴う群集からなり、1963/1967 年には大根島北西部と米子湾に分布していたが、1986 年では認められず、2002 年でも本庄工区の1地点 (H9) でのみ認められるにすぎない。IV は *B. bisanensis* の他、*C. miii* を伴う群集からなり、1963/1967 年の中海南東部 (地点 20) でのみ認められる。

(2) 湖沿岸部泥底群集 Biotope Bに含まれる *S. quadriaculeata* が *B. bisanensis* よりも

多い群集で、1963/1967年には中海南東部(地点19)と大根島北西沿岸(地点6)で認められる。2002年では個体数が少ないので明確ではないが、地点N61もこの群集を含むと推定される。

(3) 湖口部泥底群集 Biotope Cに含まれる *B. bisanensis* の他、*Pontocythere* や *Loxoconcha* などを多く伴う多様性の高い群集(高安ほか、1990の *B. bisanensis*-*P. subjaponica*-*L. optima* 群集に相当)である。1963/1967年ではこのような種多様度の高い群集は認められなかったが、境水道の浚渫工事などに伴い新たに出現した群集であると考えられ、1986年と2002年の境水道から中浦水門付近に認められる。

(4) 湖口部砂底群集 Biotope Dに含まれる *Aurila* spp. や *Pontocythere* spp. などの沿岸砂底種からなる群集で、1963/1967年の湖口部(地点12)のみに分布する。今回の調査では砂質堆積物は除外したために認められなかった可能性もある。

(5) 低塩分泥底群集 Biotope Eに含まれる *C. miii* が優占する群集で、付随する種によってIとIIに区分される。Iは *C. miii* がほぼ独占する群集で、1963/1967年では弓ヶ浜の沿岸や、南部の河口部に認められたが、2002年では堤防閉鎖前には認められなかった本庄工区の北部(排水機場付近; 地点H1)でも認められるようになった。これは明らかに本庄工区の塩分が低くなったことに関連していると推定される。IIは *C. miii* の他に *B. bisanensis* を伴う群集で、2002年の中海南東部(地点N56)でだけ認められる。

(6) 大橋川河口群集 Biotope Fに含まれ、淡水~低塩分性種の *D. mukaishimense* が優占し、*C. miii* を伴う群集である。2002年の大橋川河口部に認められる。1963/1967年および1986年においてはこの群集が生息する地点からの試料採取を行っていなかったと推定される。

他にも個体数が少ないが、*Spinileberis furuyaensis* の優占からなる群集が1963/1967年に西部(Ishizaki, 1969の地点17)で認められた。この種も低塩分性種で、2002年でもわずかに大橋川河口部の地点N1から2標本得られたにすぎないが、ごく浅い潮汐低地に生息するため(Ikeya et al., 1995)、1986年も今回も生息地での試料採取を行っていなかったと推定される。

3. 群集構造の変化

第10から12図にはそれぞれ種数、種多様度、個体数の変化を示す。

(1) 種数 Ishizaki (1969) のリストを再検討した結果、1963/1967年における貝形虫は22種であった。高安ほか(1990)では41種で、本研究では66種となり、全体的な種数についてみると、明らかに1960年代よりも1986、2002年のほうが多くなっている。しかしながら、それは中浦水門付近の試料(高安ほか、1990の地点N-27と本研究の地点N35)に限ったことで、それ以外の試料では決して増加してはいない。また、米子湾では明らかに減少している。

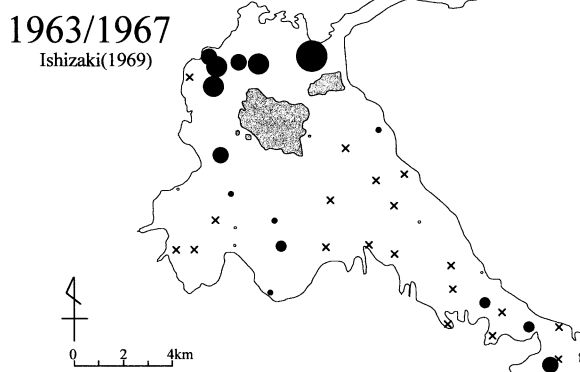
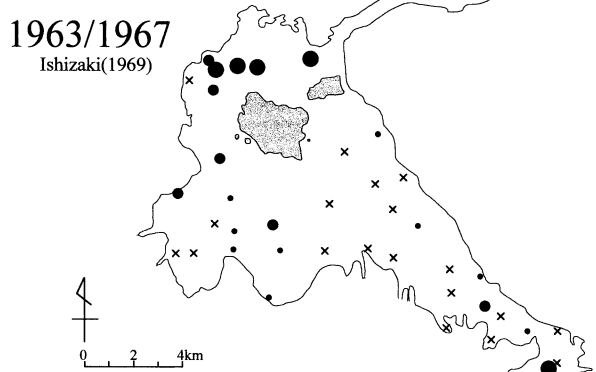
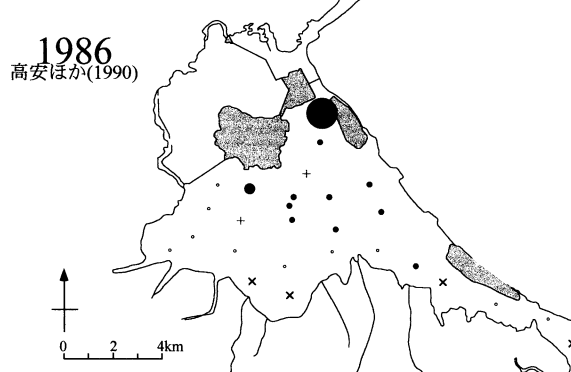
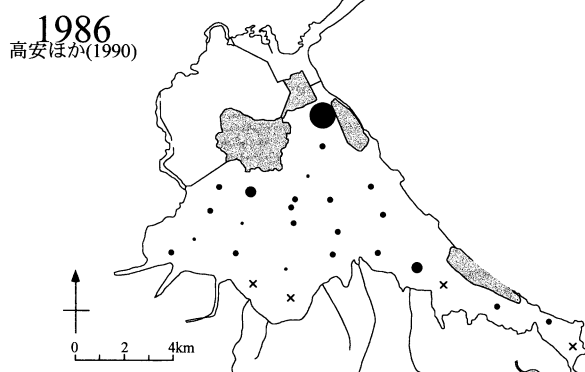
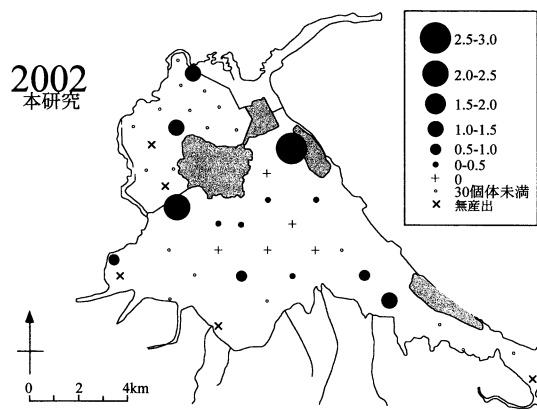
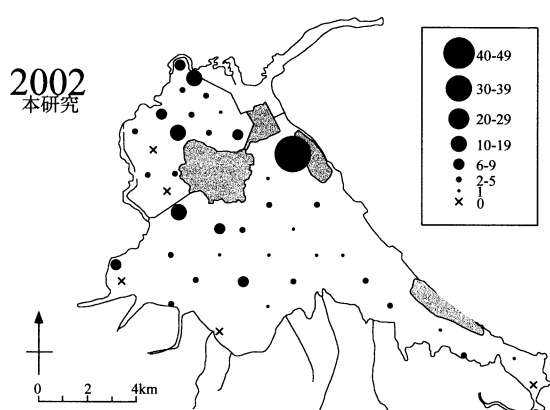
(2) 種多様度 1963/1967年では境水道からの海水の流入経路に沿って、湖口部で最も高く、徐々に減少し、米子湾でも

1.0前後の値を示すのに対し、1986、2002年では本庄工区を除くと、中浦水門付近と、大根島南から南西部で局所的にやや高くなっているだけで、海水経路に沿って徐々に減少していくようなことはなく、中海湖心で急激に多様度は低くなっている。

(3) 個体数 個体数に関しては、前述のようにIshizaki(1969)や高安ほか(1990)と算出方法が異なり、直接的な比較を行えないが、やはり、流入経路の変更により、1963/1967年と1986、2002年とは多産する場所が異なっている。また、米子湾においては貝形虫が激減している。

考 察

以上のように各種の分布、群集組成や群集構造に関して1963/1967年と1986年の間では劇的な変化が起きている。このことはすでに高安ほか(1990)や田中ほか(1998)でも指摘されているように、本庄工区の締め切り堤防と中浦水門の建設により、境水道からの海水の流入経路が変更した結果、貝形虫の分布地域もそれに伴って変化し、また、中海水域が全体的に閉鎖的になったため、単純な組成の貝形虫群集に変化した。このような変化は有孔虫類でも同様に認められている(Nomura and Seto, 1992)。さらに、境水道と中浦水門付近の浚渫により、中浦水門周辺に限っては日本海からの海水流入量の増加によって *Loxoconcha* 属や *Xestoleberis* 属をはじめとする多様性の高い海生種が生息できる環境が広がったが、一方で、それまでよりも深くなった中海内部では夏場に発生する貧酸素化した高塩分水塊が底層に停滞するようになった(高安, 2001編)。今回DOが1mg/l以下のこのような調査地点から採取された試料中にも湖心中央部泥底群集を代表する *Bicornucythere bisanensis* の軟体部がそろった保存の良い標本が抽出された。軟体部が残存している個体は採集日に生存していたのかそれとも夏場に貧酸素水塊が発達したために、それまで生息していたが、死んで間もない個体なのかは定かではない。しかしながら、いずれにせよ他の種が全くないこのような場所で多産することから、貧酸素水塊に極めて耐性を持った種であると推定される。流路の変更は1963/1967年には貝形虫がほとんどいなかった大根島南東部に貝形虫が住める海域を拡大させたが、そこはほぼ *B. bisanensis* しか住めないような環境になったことになる。この *B. bisanensis* が独占する海域が2002年では1986年よりも若干増えたことはさらに貧酸素水塊の発達により、他種が住めなくなっていくことを示唆しているが、基本的には1986年以降貝形虫にとって中海はあまり変化しない閉鎖的な環境が続いていると判断される。米子湾も工事後に減少した貝形虫類がここ15年あまりで増加することは無かったようである。本庄工区に関しては若干の種(*Callistocythere alata*, *Spinileberis quadriaculeata*)の生体が確認され、閉鎖後も細々と生存できる環境ではあったようであるが、本庄工区は中海中央部との出入り口が狭く、約4mと浅いため、境水道から湖心を経て流入した高塩分水が浸入せず、塩分の低い表層水のみが本庄水域の水塊と交換していること(高安, 2001編)



第 10 図 中海における貝形虫の種数の変遷。

第 11 図 中海における貝形虫の種多様度の変遷。

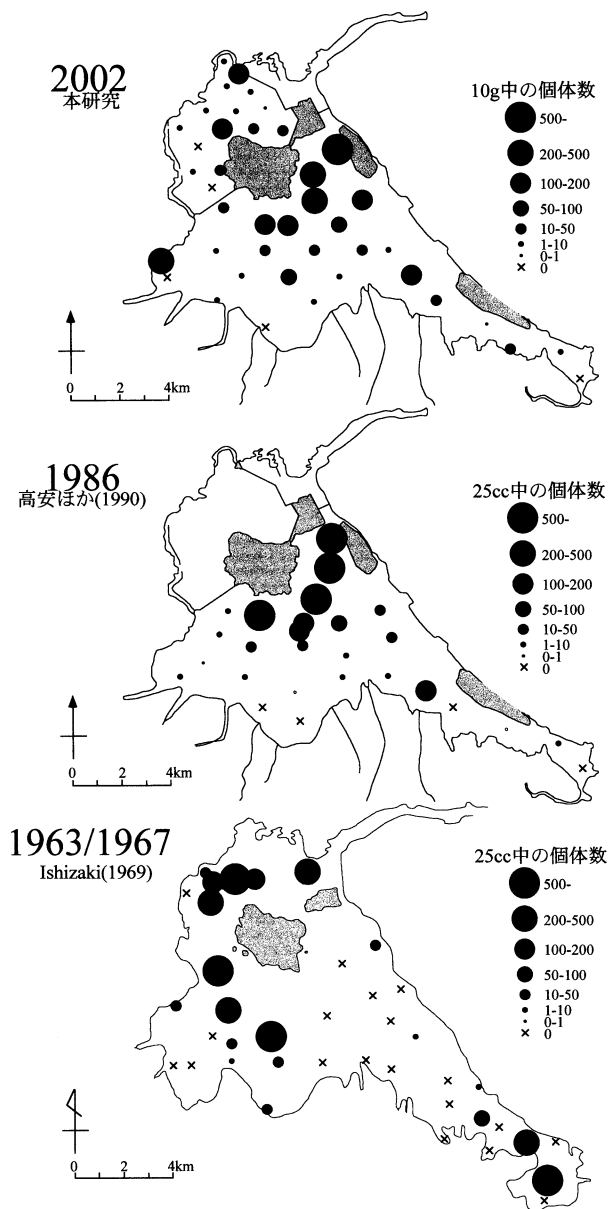
により、塩分が底層でも一部を除き 20 psu 程度である。この塩分が低いことにより、多くの内湾性貝形虫種が生息できないか、あるいは繁栄できないと推定される。逆に低塩分泥底群集を代表する *Cytherura miii* が 1963/1967 年にはいなかった本庄工区で認められるようになった。

ま と め

1. 2002 年 8 月 5 日から 8 日に本庄工区を含む中海全域から採取され、検鏡した 42 地点の試料のうち、37 地点から 66 種の貝形虫が得られた。
2. 過去の貝形虫に関する研究 (Ishizaki, 1969 および高安ほか, 1990) のデータもあわせて過去 40 年間に存在した貝形虫の Biotope は Q-mode クラスタ分析により大きく 6 つに

区分され、それぞれ特徴的な貝形虫群集を含む。

3. 本庄工区の堰堤閉鎖前後では、日本海の高塩分水の流入経路の変更に応じて貝形虫の主たる生息場所が大きく変わった。すなわち、閉鎖前は中海の北部から西部に分布の中心があり、中海南部の米子周辺でも貝形虫は多く生息していたが、閉鎖後は中浦水門周辺と中央部に分布の中心が移動し、北部の本庄工区や米子周辺では貝形虫が激減した。
4. 閉鎖前は *Bicornucythere bisanensis* の他にも、*Callistocythere alata*, *Trachyleberis* 属 *Spinileberis quadriaculeata*, *Cytherois* 属なども比較的多かったが、閉鎖後はこれらが激減し、外洋からの海水流入の直接の影響を受ける中海中央部の泥底は、ほとんど貧酸素水塊に対しても強い種である *B. bisanensis* しか適応できない環境に変化した。一方、中浦水門付近は閉鎖前よりも種多様性が高くなった。これは、



第12図 中海における単位試料あたりの貝形虫個体数の変遷。

日本海からの海水の影響が以前よりも増したことを意味する。

5. 1986年～2002年までの16年間では貝形虫の種構成，群集構造については大きな変化は認められないが，2002年のほうが*B. bisanensis*が独占する地域が増え，また生息域も南部へ広げているようである。

謝 辞

島根大学汽水域研究センターの瀬戸浩二助教授には中海の水質環境などに関して議論していただいた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- Horn, H.S., 1966, Measurement of "overlap" in comparative ecological studies. *Amer. Nat.*, **100**, 419-424.
- Ikeya, N., Shimura, K. and Iwasaki, Y., 1995, Ecology and adaptation of the genus *Spinileberis* in the North Pacific. In Riha, ed., *Ostracoda and Biostratigraphy*, A.A. Balkema, Rotterdam, 389-397.
- 池谷仙之・塩崎正道, 1993, 日本沿岸内湾性介形虫類の特性—古環境解析の指標として—. *地質論*, no. 39, 15-32.
- Ishizaki, K., 1969, Ostracodes from Shinjiko and Nakanoumi, Shimane Prefecture, western Honshu, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd Ser. (*Geol.*), **41**, 197-224.
- 鹿島 薫・野口寧世, 1988, 中海底質表層中の珪藻分布の変遷. 三梨 昂・徳岡隆夫編, 中海・宍道湖—地形・底質・自然史アトラス. 島根大山陰地域研究センター, 64.
- 紺田 功, 1988, 中海底質中表層中の有孔虫分布(1) 1960年代後半. 三梨 昂・徳岡隆夫編, 中海・宍道湖—地形・底質・自然史アトラス. 島根大山陰地域研究センター, 61.
- 倉門由紀子・三瓶良和・高安克己・徳岡隆夫・井内美郎, 1998, 中海および浜名湖表層堆積物の有機炭素・窒素・イオウ濃度分布. *LAGUNA* (汽水域研究), no. 5, 123-135.
- 中海・宍道湖自然史研究会・松本英二・井内美郎・鹿島 薫, 1987, 中海・宍道湖の自然史研究—その6. 中海における1986年度柱状採泥と湖底堆積物中の有孔虫・珪藻群集(予報)—. 島根大地質研報, no. 6, 61-84.
- Nomura, R. and Seto, K., 1992, Benthic Foraminifera from brackish Lake Nakanoumi, San-in District, southwestern Honshu, Japan. In Ishizaki, K. and Saito, T., eds., *Centenary of Japanese Micropaleontology*, Terra Sci. Pub. Co., Tokyo, 227-240.
- 野村律夫・山根幸夫, 1999, 湖水環境の人為的改造と底生有孔虫の群集変化: その3 中海東部の過去数10年の環境変化. *LAGUNA* (汽水域研究), no. 3, 13-24.
- 高安克己, 2001 編. 汽水域の科学 中海・宍道湖を例として. たたら書房, 183 p.
- 高安克己・小野俊彦・住田耕一, 1989, 中海・宍道湖の自然史研究—その10. 中海底質中の貝類遺骸群集とその変遷—. 島根大地質研報, no. 8, 33-50.
- 高安克己・植田和昭・太田久子, 1990, 中海・宍道湖の自然史研究—その12. 中海底質中の介形虫遺骸群集とその変遷—. 島根大地質研報, no. 9, 129-144.
- 田中源吾・瀬戸浩二・高安克己, 1998, 美保湾・中海・宍道湖に至る環境と介形虫群集との関係. *LAGUNA* (汽水域研究), no. 5, 81-91.

(受付: 2003年10月10日, 受理: 2003年11月25日)