

## 2006年の宍道湖における底生動物の分布

倉田健悟<sup>1</sup>・山口啓子<sup>2</sup>・瀬戸浩二<sup>1</sup>・園田 武<sup>3</sup>

### Distribution of benthos in Lake Shinji in 2006

Kengo Kurata<sup>1</sup>, Keiko Yamaguchi<sup>2</sup>, Koji Seto<sup>1</sup> and Takeshi Sonoda<sup>3</sup>

**Abstract:** Distribution of benthos in Lake Shinji was investigated in 2006. Six species of mollusks were collected from 64 stations in L. Shinji. *Corbicula japonica* was the predominant species in wet weight and *Iravadia elegantula* was the predominant species in abundance. No molluscan species was found at the only one station out of 64 stations. Cluster analysis showed that benthic fauna at the two stations in the lower section of the Ohashi River differed from that at the other stations in L. Shinji and the Ohashi River. Multivariate analysis (nMDS) indicated the relationship between benthic community compositions and particle size categories of the sediment. Benthic community compositions were also corresponded with water depth and bottom dissolved oxygen according to nMDS. These results implied that benthic community compositions in the present study area were generally regulated by water depth, bottom dissolved oxygen and particle size categories of the sediment. Although *C. japonica* has persisted to be the predominant species in L. Shinji since 1920s, long-term changes in macrobenthos in the Shinji-Nakaumi system need to be surveyed at intervals of the coming several years.

**Key words:** benthos, Lake Shinji, community, *Corbicula japonica*, multivariate analysis

### はじめに

2002年に宍道湖と中海の干拓淡水化事業の中止が最終的に決定された後、大橋川の改修事業計画の公表(2004年)、両湖のラムサール条約登録(2005

年)、中海の本庄水域を隔てていた森山堤の一部開削(2009年)など、宍道湖と中海に関係する様々な社会的な状況の変化等が続いている。著者らは、特に直接的な変化である本庄水域の地形改変や大橋川改修に対応して宍道湖と中海の大型底生無脊椎動物

<sup>1</sup> 島根大学汽水域研究センター Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue 690-8504, Japan

<sup>2</sup> 島根大学生物資源科学部 Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue 690-8504, Japan

<sup>3</sup> 東京農業大学生物産業学部 Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture, 196 Yasaka, Abashiri, Hokkaido 099-2493, Japan

がどのような応答を示すかに着目し、2006年5月より穴道湖と中海において広域調査と定点における定期調査を実施してきた。

これらの広域調査のうち、2006年の中海（本庄水域を含む）における二枚貝類の分布については、山口ほか（印刷中）が結果をまとめている。2007年には本庄水域の西部承水路堤の撤去が行われたため、干拓淡水化事業中止に伴う地形改変の直前に当たるのが2006年である。したがって、同じ2006年の穴道湖における底生生物群集の記載は、本庄水域の地形改変や2011年より一部着工された大橋川改修事業の前の状況を示すことになり、穴道湖と中海を含む斐伊川水系の長期的な底生生物群集の変化を追う上で、一つの区切りとなると考えた。

本稿では、一連の調査結果のうち、2006年に穴道湖と大橋川で採集された底生動物の分布状況について示し、測定された環境要因と底生動物の群集組成との関連を解析した。

## 材 料 と 方 法

島根県斐伊川水系の下流部に位置する穴道湖は、全国一のヤマトシジミ *Corbicula japonica* の漁獲量を誇り、面積約 80 km<sup>2</sup>、周囲約 47 km、最大水深約 6 m、塩分が海水の約 1/10 の汽水湖である。穴道湖の塩分は、斐伊川や周囲の小河川からの淡水の流入量と中海から大橋川を経た塩水の流入量により変動する。

2006年9月～10月に穴道湖と大橋川の計71地点

において、Ekman-Birge型採泥器（採泥面積：0.02 m<sup>2</sup>）を用いて各地点2回分の堆積物を採取した（図1）。SJ44のみ2試料を得た（それぞれSJ44AとSJ44Bと表記）。船上で0.5 mm目合いのサーバネットに堆積物を入れて細かい泥を落とし、サーバネットに残ったものをポリエチレン袋に入れて10%中性ホルマリン溶液で固定した。固定されたサンプルから底生動物を選別し、実体顕微鏡を用いて可能な限り同定を行った後、個体数を計数し湿重量を測定した。

各地点では水質と底質の測定を行った。各地点の水深、表層水のクロロフィル a 濃度および濁度、底層水の水温、塩分、溶存酸素濃度および溶存酸素飽和度を水質計（アレック電子株式会社、AAQ1186）で測定した。各地点の堆積物を Ekman-Birge 型採泥器を用いて採取し、堆積物の粒度タイプ（JIS「地質用語集」原案の作成研究グループ、2008）を目視により判定した。

地点ごとの底生動物の個体数と環境要因のデータを対象に、多変量解析の手法であるクラスター解析と nMDS (Nonmetric Multidimensional Scaling) を PC-ORD 5.21 (MjM Software Design) を用いて行い、底生動物の群集組成の分布を視覚的に二次元平面で表現した。PC-ORD では地点ごとに入力した環境要因のデータから計算されたベクトルを、底生動物の群集組成の分布を示す 2 次元平面において重ね合わせて表現することができる。そこで、2 次元平面における堆積物の粒度タイプの分布に環境要因のデータから計算されたベクトルを重ね合わせて表現した図、および

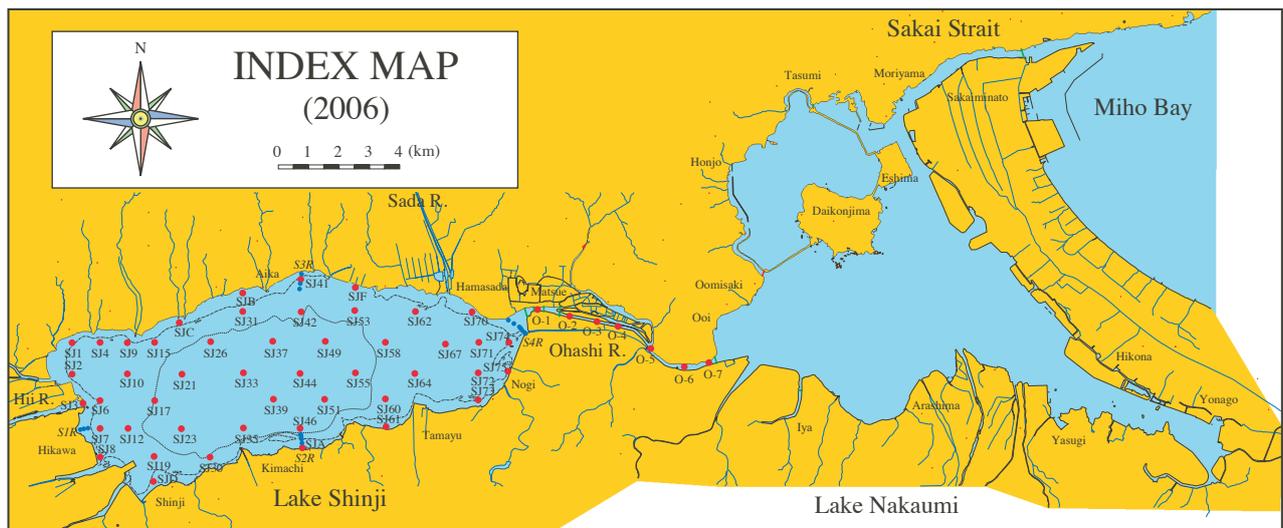


図1 調査地域と調査地点。本稿では穴道湖および大橋川の合計71地点（表1を参照）から得られたデータを解析した。

**Fig. 1** Study area and sampling stations. The data obtained from a total of 71 stations in Lake Shinji and the Ohashi River (Table 1) were analyzed in this study.



表 1 (b) 出現した主な分類群の湿重量.

Table 1 (b) Wet weight of the taxa collected.

Station	W. depth	Date	Wet wt. (g/0.04m <sup>2</sup> )		Amphipoda spp.	Cyathura spp.	Chironomidae	Sphaeromatidae	Philyra pisum	Musculista sentouisia marilina	Trapezium liratum	Corbicula japonica	Xenostrobus securis	Ivadia elegantula	Assimineae japonica	Stenothrya glabra	Annelida	Platyhelminthes	Others
			g/0.04m <sup>2</sup>	%															
0-1	7.21m	2006.10.08	0.0024																
0-2	5m	2006.09.27	0.0016	0.1248															0.0034
0-3	4.6m	2006.09.27	0.0388	0.0771						1.576	100.6722							0.0825	
0-4	4.8m	2006.09.27	0.0099	0.0443							127.61							0.0225	
0-5	4.6m	2006.09.27	0.0985	0.0341							187.665							0.0268	
0-6	4.6m	2006.09.27	0.0752						1.1395	0.0139	0.0057	33.0588		0.0752	0.0154			0.0779	
0-7	4.7m	2006.09.27	0.0076						45.27	0.0925	0.0322	21.867	0.0175	0.0376				0.0947	
SJ1	2.37m	2006.09.29	0.0012								43.5221	7.7539		0.805		0.019		0.0476	
SJ2	2.89m	2006.09.29					0.003		0.0018			0.0949		0.2511				0.0063	
SJ3	3.19m	2006.10.08										51.8968		1.1019				0.0255	
SJ4	3.85m	2006.09.29				0.0401						27.5557		0.4238				0.0901	
SJ7	3.88m	2006.09.29					0.0011					8.3088		0.4728				0.0687	
SJ8	2.06m	2006.09.29										136.11		0.3561				0.007	
SJ9	3.39m	2006.10.08									43.9679			0.6251				0.0099	
SJ10	4.95m	2006.10.08									17.2421			0.5813				0.0099	
SJ12	4.90m	2006.09.29					0.0016				8.6552			0.5268				0.0217	
SJ15	3.22m	2006.10.08									47.4445			0.0148				0.0079	
SJ17	5.17m	2006.10.08					0.0017				18.4218			1.3659				0.0079	
SJ19	4.93m	2006.09.29									8.2943			0.5068		0.0305		0.0676	
SJ21	5.39m	2006.10.08									13.9532			0.3271				0.0745	
SJ23	5.40m	2006.10.08					0.0044				9.5683			1.1564					
SJ26	5.33m	2006.10.09									18.4353			0.4634					
SJ30	5.12m	2006.09.29									15.2426			0.5502				0.0008	
SJ31	4.58m	2006.10.09												0.475					
SJ33	5.66m	2006.10.09												0.2222					
SJ35	5.48m	2006.10.09					0							0.3041					
SJ37	5.54m	2006.10.09					0.0018							0.181					
SJ39	5.68m	2006.10.09												0.4733				0.0653	
SJ41	2.17m	2006.10.12									74.2508			0.9509				0.0017	
SJ42	5.11m	2006.10.12					0.0033				0.1658			0.1263					
SJ44A	5.64m	2006.10.12					0.0014							0.1131				0.0001	
SJ44B	5.67m	2006.10.12												0.1594				0.1594	
SJ46	5.49m	2006.10.12												0.2266					
SJ49	5.44m	2006.10.18												0.1796				0.053	
SJ51	5.61m	2006.10.12					0.0017							0.7688				0.0009	
SJ53	4.89m	2006.10.11									0.2209			0.7688				0.0014	
SJ55	5.34m	2006.10.11					0.0011							0.2933					
SJ58	5.01m	2006.10.11					0.0051				0.4885			0.7529					
SJ60	4.99m	2006.10.11									1.5924			0.5165					
SJ61	4.40m	2006.10.11	0.0009	0.0016							32.963			0.0136				0.001	
SJ62	4.46m	2006.10.11									9.2336			1.3277					
SJ64	4.90m	2006.10.11									1.9512			0.4678				0.0136	
SJ67	4.69m	2006.10.11									8.1305			0.2682				0.0043	
SJ70	1.83m	2006.10.11	0	0.0051							45.5388			0.1234				0.0039	
SJ71	4.18m	2006.10.11									5.2802			0.3509					
SJ72	4.21m	2006.10.11					0.0047				17.9537			0.6867				0.0066	
SJ73	2.93m	2006.10.11									78.4406			0.9971				0.0422	
SJ74	3.19m	2006.10.11									41.2899			0.105				0.0076	
SJ75	2.21m	2006.10.11									47.8938			0.173				0.0252	
SJA	1.48m	2006.10.12									41.2911			0.0173				0.0788	
SJB	1.47m	2006.10.09					0.0005				30.1446			0.0425					
SJC	2.32m	2006.10.08									77.457			0.2529				0.0963	
SJD	2.62m	2006.09.29									120.4448			0.1489				0	
SJF	3.40m	2006.10.11					0.0006				19.7614			0.3256				0.0095	
SJR-1	0.87m	2006.09.29	0.0031	0.0387							110.01			0.0203				0.0007	
SJR-2	1.85m	2006.09.29		0.0054							13.0415			0.5622					
SJR-3	2.89m	2006.09.29	0.001								61.6314			0.5622				0.1673	
SJR-2	2.08m	2006.10.12									52.6645			0.0598				0.0046	
SJR-3	2.95m	2006.10.12									119.7521			1.0162					
SJR-3	3.84m	2006.10.12									120.1376			0.2471				0	
SJR-3	4.64m	2006.10.12									72.235			1.6647					
SJR-3	4.76m	2006.10.12									40.9066			0.9334				0.1763	
SJR-3	3.06m	2006.10.12									20.9201			0.0918				0.0011	
SJR-4	3.98m	2006.10.12									44.1752			0.7463				0.1399	
S4R-1	1.10m	2006.10.18	0.0071				0.0003				51.1021			0.0843				0.0007	
S4R-2	2.51m	2006.10.18									36.4634			0.9005				0.0087	
S4R-3	3.68m	2006.10.18							0.3397		82.1163			0.007				0.0008	
S4R-4	2.0m	2006.10.18									81.2044			0.034				0.0009	
S4R-5	1.34m	2006.10.18									64.9651			0.0087				0.0009	
S4R-6	1.35m	2006.10.18	0.0022								56.8168			0.0269					
S4R-7	1.20m	2006.10.18	0.0038	0.0056			0							0.0038				0.0014	

2006年の宍道湖における底生動物の分布

表1(c) 水質および底質。水深 (W. depth (m)), 表層のクロロフィル a 濃度 (S. Chl-a (ppb)), 表層の濁度 (S. Tur. (FTU)), 底層の水温 (B. Temp. (°C)), 底層の塩分 (B. Sal. (PSU)), 底層の溶存酸素飽和度 (B. DO (%)), 底層の溶存酸素濃度 (B. DO (mg/l)), 堆積物の硫化水素臭 (H<sub>2</sub>S); 1: 有り, 0: なし, 堆積物の粒度タイプ (Sediment); 12: 極粗粒砂, 11: 粗粒砂, 10: 中粒砂, 9: 細粒砂, 8: 極細粒砂, 7: 泥質極粗粒砂, 6: 泥質粗粒砂, 5: 泥質中粒砂, 4: 泥質細粒砂, 3: 砂質 (極粗粒) 泥, 2: 砂質泥, 1: 泥, 0: データなし。

Table 1 (c) Environmental factors. Water depth (W. depth (m)), surface chlorophyll a concentration (S. Chl-a (ppb)), surface turbidity (S. Tur. (FTU)), bottom water temperature (B. Temp. (°C)), bottom salinity (B. Sal. (PSU)), bottom dissolved oxygen saturation (B. DO (%)), bottom dissolved oxygen concentration (B. DO (mg/l)), odor of H<sub>2</sub>S; 1: yes, 0: no, particle type of sediment; 12: very coarse sand, 11: coarse sand, 10: medium sand, 9: fine sand, 8: very fine sand, 7: muddy very coarse sand, 6: muddy coarse sand, 5: muddy medium sand, 4: muddy fine sand, 3: sandy (very coarse) mud, 2: sandy mud, 1: mud, 0: no data.

Station	Date	Time	W. depth (m)	S. Chl-a (ppb)	S. Tur. (FTU)	B. Temp. (°C)	B. Sal. (PSU)	B. DO (%)	B. DO (mg/l)	H <sub>2</sub> S	Sediment
0-1	2006.10.08	14:45-15:03	7.14	1.242	1.098	21.067	2.679	87.478	7.646	0	4
0-2	2006.09.27	14:17-14:34	5.19	2.682	1.635	22.839	2.374	112.323	9.509	0	4
0-3	2006.09.27	14:40-14:56	4.57	3.080	1.692	22.745	12.556	76.146	6.106	0	3
0-4	2006.09.27	15:00-15:06	4.79	2.605	1.578	22.713	11.544	79.615	6.438	0	3
0-5	2006.09.27	16:01-16:15	4.54	3.997	1.618	23.155	7.154	94.922	7.781	0	7
0-6	2006.09.27	16:25-16:35	4.52	4.761	1.553	22.914	8.011	75.700	6.202	0	12
0-7	2006.09.27	16:41-16:50	4.59	4.437	1.578	23.294	18.962	59.507	4.542	0	6
SJ1	2006.09.29	15:56-16:09	2.20	4.871	5.661	22.216	1.526	76.063	6.557	0	1
SJ2	2006.09.29	15:34-15:49	2.75	1.754	2.465	21.942	1.582	82.194	7.112	0	1
SJ3	2006.10.08	8:52-9:07	0.61	1.007	6.730	17.235	0.042	99.336	9.523	0	11
SJ4	2006.10.08	9:21-9:36	3.08	1.175	2.667	20.634	2.201	87.198	7.728	0	1
SJ6	2006.09.29	14:53-15:08	1.88	3.909	5.074	22.393	1.485	80.023	6.869	0	8
SJ7	2006.09.29	12:39-12:57	3.79	4.742	3.849	22.457	1.767	89.999	7.703	0	1
SJ8	2006.09.29	12:16-12:33	2.00	1.741	3.442	22.605	1.690	72.785	6.212	0	10
SJ9	2006.10.08	9:44-9:58	3.31	1.236	2.046	20.781	2.356	85.406	7.525	0	2
SJ10	2006.10.08	10:08-10:29	4.46	1.390	2.091	20.499	2.275	87.287	7.738	0	2
SJ12	2006.09.29	14:06-14:23	4.80	3.779	2.489	22.447	1.931	93.220	7.972	0	1
SJ15	2006.10.08	11:58-12:13	3.18	1.082	1.201	20.584	2.273	87.977	7.784	0	5
SJ17	2006.10.08	11:14-11:31	5.00	1.264	2.302	20.557	2.252	89.821	7.955	0	1
SJ19	2006.09.29	11:36-11:53	4.85	2.270	4.277	22.467	1.945	98.826	8.449	0	1
SJ21	2006.10.08	13:10-13:30	5.29	2.378	3.791	20.626	2.359	89.062	7.886	0	1
SJ23	2006.10.08	13:53-14:09	5.25	1.425	2.248	20.657	2.287	86.561	7.651	0	1
SJ26	2006.10.09	9:59-10:18	5.21	1.290	1.708	21.073	3.961	38.759	3.370	0	1
SJ30	2006.09.29	10:03-10:28	5.01	4.324	3.585	22.424	2.943	42.447	3.613	0	1
SJ31	2006.10.09	13:33-13:50	4.51	1.630	1.630	21.203	3.237	33.340	2.899	0	1
SJ33	2006.10.09	12:40-13:03	5.56	2.096	6.158	20.967	3.964	70.859	6.190	1	1
SJ35	2006.10.09	11:44-12:03	5.40	1.519	1.660	20.930	4.429	35.118	3.046	0	1
SJ37	2006.10.09	14:55-15:16	5.33	1.764	2.518	21.075	3.741	37.389	3.229	0	1
SJ39	2006.10.09	15:42-16:00	5.52	2.624	2.944	20.555	2.721	76.863	6.777	1	1
SJ41	2006.10.12	15:55-16:10	2.12	2.664	1.849	21.047	2.414	75.528	6.617	0	9
SJ42	2006.10.12	15:27-15:49	5.04	3.726	2.683	20.983	3.393	39.724	3.465	0	1
SJ44A	2006.10.12	14:37-14:57	5.49	3.004	2.385	20.995	3.657	64.719	5.658	0	1
SJ44B	2006.10.12	14:37-14:57	5.49	3.004	2.385	20.995	3.657	64.719	5.658	0	1
SJ46	2006.10.12	10:59-11:19	5.39	4.250	2.315	20.918	3.305	59.548	5.220	0	1
SJ49	2006.10.18	8:31-8:56	5.28	2.197	2.297	21.459	6.814	18.158	1.520	1	1
SJ51	2006.10.12	10:08-10:28	5.41	2.628	2.429	20.781	2.851	84.112	7.395	0	1
SJ53	2006.10.11	17:09-17:24	4.68	3.322	2.111	20.847	2.886	67.332	5.908	0	1
SJ55	2006.10.11	16:21-16:41	5.13	3.090	1.879	20.955	4.295	47.394	4.109	0	1
SJ58	2006.10.11	14:01-14:21	4.65	2.144	1.519	20.747	3.094	62.599	5.486	0	1
SJ60	2006.10.11	14:51-15:08	4.84	3.240	2.622	20.537	2.492	76.925	6.807	0	1
SJ61	2006.10.11	15:19-15:32	1.32	2.048	1.047	22.116	2.384	105.564	9.058	0	9
SJ62	2006.10.11	13:14-13:33	4.31	2.187	1.645	20.854	3.028	67.533	5.923	0	1
SJ64	2006.10.11	12:25-12:44	4.75	2.463	1.750	20.859	3.471	77.479	6.789	0	1
SJ67	2006.10.11	10:49-11:06	4.31	3.000	1.538	20.718	2.776	73.568	6.460	0	0
SJ70	2006.10.11	10:06-10:20	1.80	2.470	0.961	20.585	2.643	92.128	8.135	0	9
SJ71	2006.10.11	9:41-9:59	4.12	3.723	2.471	21.378	8.745	88.460	7.380	0	1
SJ72	2006.10.11	9:14-9:34	4.13	3.705	1.768	20.805	2.767	60.290	5.297	0	1
SJ73	2006.10.11	8:54-9:07	2.89	2.637	1.477	21.015	2.557	77.918	6.826	0	4
SJ74	2006.10.11	8:07-8:23	3.13	2.722	1.563	21.497	9.781	90.147	7.490	0	4
SJ75	2006.10.11	8:37-8:48	2.14	3.563	1.562	21.325	2.542	100.181	8.722	0	4
SJA	2006.10.12	11:26-11:36	1.45	1.467	0.669	21.589	2.290	83.079	7.200	0	9
SJB	2006.10.09	14:01-14:13	1.43	1.625	1.400	21.443	2.278	92.522	8.045	0	9
SJC	2006.10.08	12:26-12:39	2.27	0.984	1.083	20.906	2.312	85.700	7.532	0	5
SJD	2006.09.29	10:56-11:12	2.57	3.587	5.327	22.534	1.739	81.103	6.936	0	11
SJF	2006.10.11	17:31-17:44	3.36	4.215	1.787	21.084	2.542	85.001	7.435	0	2
S1R-1	2006.09.29	13:45-13:56	0.82	1.987	1.836	24.174	1.400	97.709	8.107	0	9
S1R-2	2006.09.29	13:25-13:38	1.77	2.620	6.673	22.582	1.463	91.410	7.740	0	9
S1R-3	2006.09.29	13:04-13:19	2.80	4.650	3.221	22.435	1.620	77.750	6.663	0	2
S2R-2	2006.10.12	11:48-12:03	1.97	3.241	2.792	21.365	2.298	79.993	6.971	0	9
S2R-3	2006.10.12	12:16-12:29	2.91	3.561	2.052	20.950	2.409	80.783	7.092	0	0
S2R-4	2006.10.12	12:50-13:02	3.75	4.712	2.609	20.895	2.451	85.143	7.480	0	5
S2R-5	2006.10.12	13:08-13:26	4.69	3.959	2.863	20.892	2.456	89.025	7.821	0	2
S3R-3	2006.10.12	16:38-16:53	2.97	2.732	1.733	20.944	2.521	70.321	6.171	0	2
S3R-4	2006.10.12	17:02-17:20	3.90	2.782	1.710	21.038	2.927	49.744	4.350	0	1
S4R-1	2006.10.18	10:03-10:12	1.05	2.124	1.167	21.320	2.586	100.509	8.754	0	9
S4R-2	2006.10.18	10:27-10:41	2.44	2.079	1.250	21.209	2.946	95.932	8.357	0	2
S4R-3	2006.10.18	10:51-11:07	3.63	1.945	1.055	22.312	13.209	69.258	5.556	0	2
S4R-4	2006.10.18	11:14-11:34	1.96	2.133	1.282	21.445	2.816	103.261	8.966	0	9
S4R-5	2006.10.18	11:36-11:50	1.29	2.352	1.270	21.594	3.008	107.137	9.268	0	9
S4R-6	2006.10.18	11:54-12:03	1.26	2.289	1.368	21.968	4.035	90.377	7.652	0	9
S4R-7	2006.10.18	12:14-12:26	1.16	1.443	1.341	21.883	2.763	100.796	8.673	0	9

水柱の環境要因（水深と底層の溶存酸素飽和度）の値を投影させた図を作成して検討した。

## 結果

出現した底生動物のうち、軟体動物は選別後の一次同定作業において種まで同定することができ、個体数と湿重量を計測した（表 1）。その他の分類群については選別後の一次同定作業において同定できたレベルに留めて個体数と湿重量を計測した。

宍道湖では 6 種の軟体動物が採集された（表 1）。堆積物の採取を行った 64 地点のうち、1 地点のみ軟体動物が採集されなかった。ヤマトシジミが湿重量で最も優占し、個体数ではカワグチツボ *Iravadia elegantula* が最も多かった。その他には、ホトトギスガイ *Musculista senhousia*、ソトオリガイ *Laternula marilina*、カワザンショウガイ *Assiminea japonica*、ミズゴマツボ *Stenothyra glabra* が確認された。宍道湖全体での軟体動物の平均生物量は、845 wet g m<sup>-2</sup> と算出された。大橋川では二枚貝類 5 種（ヤマトシジミ、ホトトギスガイ、ソトオリガイ、コウロエンカワ

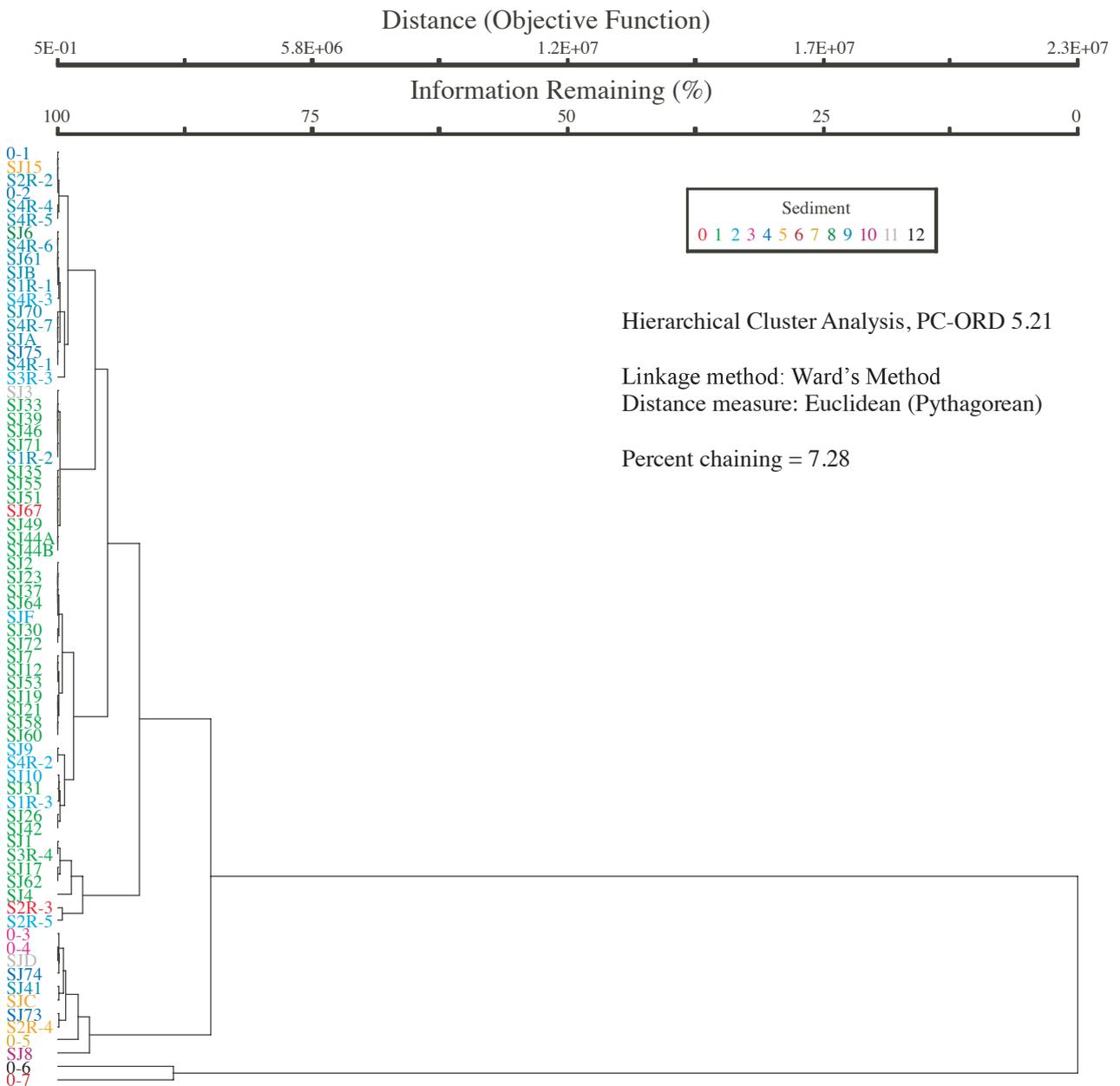


図 2 クラスター解析の結果。堆積物の粒度タイプ (sediment:0-12) の区分については表 1 を参照。

Fig. 2 Results of cluster analysis. See Table 1 for the categories (sediment:0-12) of particle type of sediment.

表2 nMDSの解析結果.

Table 2 Results of nMDS analysis.

Nonmetric Multidimensional Scaling, PC-ORD 5.21							
Lake Shinji, Ordination of Station in Species space, 71 Stations, 36 Species							
Stress in relation to Dimensionality (Number of Axes)							
Axes	Stress in real data			Stress in randomized data			p
	50 run(s)			Monte Carlo test, 50 runs			
	Minimum	Mean	Maximum	Minimum	Mean	Maximum	
1	31.895	48.893	57.116	32.113	46.633	57.371	0.0196
2	15.577	20.851	41.092	16.354	22.386	41.188	0.0196
3	10.110	15.269	41.865	11.212	14.499	32.172	0.0196
4	6.772	9.419	27.401	7.945	11.578	36.630	0.0196

p = proportion of randomized runs with stress < or = observed stress  
i.e.,  $p = (1 + \text{no. permutations} \leq \text{observed}) / (1 + \text{no. permutations})$   
Conclusion: a 3-dimensional solution is recommended.  
Now rerunning the best ordination with that dimensionality.

ヒバリガイ *Xenostrobus securis*, ウネナシトマヤガイ *Trapezium liratum*, 巻貝類 2 種 (カワグチツボ, カワザンショウガイ) が採集され, 宍道湖より平均生物量と平均個体数が多かった.

その他に出現した主な分類群としてスナウミナナフシ類 *Cyathura* spp. とユスリカ類 Chironomidae が挙げられる (表 1). スナウミナナフシ類は大橋川と宍道湖の水深の浅い地点で出現する傾向があった. ユスリカ類は宍道湖の水深の深い地点においても採集された.

底生動物が出現した地点についてクラスター解析を行った (図 2). 大橋川下流の 2 地点 (O-6 と O-7) はホトトギスガイの個体数が多く, その他の地点の群集とは大きく異なることが示された. その他には, ヤマトシジミの個体数が  $0.04 \text{ m}^2$  当たり 250 個体以上であった 12 地点のうち 10 地点 (図中下方の O-3 から SJ8 まで) が他方と区別されるように認識された.

底生動物が出現した地点について nMDS の解析を行った (表 2). その結果, ストレス値 (Minimum) が第 3 軸までで 10.11 となり Monte Carlo テストによる値より低く,  $p=0.0196$  であった. 10.11 の値は Fair の 10 を少し超えるが Poor の 20 より低いので, 第 1 軸から第 3 軸までの 3 次元空間で地点の分布を表現できることが示唆された. そこで, 各軸の組み合わせにより 3 パターンの 2 次元平面において地点の分布を確認した (図 3). nMDS の主に第 2 軸に関して大橋川下流の 2 地点 (O-6 と O-7) は他の地点と群集が異なることが示された. また, 第 2 軸は底層の塩分のベクトルと関係があることが示唆され, これは大橋川下流の 2 地点 (O-6 と O-7) と斐伊川本川河口の地点 (SJ3) が 2 次元平面において真向かいの位置にプロットされていることと整合する. しかしながら, 測定した環境要因のベクトル (水質) と分布 (底質) より, 第 2 軸

を加えた 2 次元平面では底生動物の群集組成の分布と環境要因との関連付けが困難であると考えられた. このため, 以降の検討においては, 第 1 軸と第 3 軸の 2 次元平面における結果を中心にすることにした.

nMDS の解析結果から得られた地点の分布に対して, 堆積物の粒度タイプ, 4 種類の主要な底生動物, および水柱の環境要因 (水深と底層の溶存酸素飽和度) がどのように分布しているかを表現した.

nMDS の第 1 軸と第 3 軸の 2 次元平面における堆積物の粒度タイプの分布 (図 4) を見ると, mud に区分された地点は 31 地点あり, その中の多くの地点が右下の象限に分布していることが分かる. 13 地点と次に多かった fine sand に区分された地点の多くは左上の象限に分布していた. これらのことから, 底生動物の群集組成と堆積物の粒度タイプに何らかの関係性があることが示唆される.

次に主要な底生動物の個体数を nMDS の第 1 軸と第 3 軸の 2 次元平面に投影させた (図 5). ヤマトシジミの個体数は第 1 軸に対して負の相関があり, カワグチツボの個体数は第 3 軸に対して負の相関があった. これら 2 種は湿重量と個体数でそれぞれ宍道湖の優占種であり, 底生動物の群集組成の分布を nMDS で解析した結果は, ヤマトシジミとカワグチツボの現存量に大きく影響されることが考えられる. したがって, nMDS の第 1 軸はヤマトシジミの個体数と関係が深く, 第 3 軸はカワグチツボの個体数と関係が深いことが示されたと言える. また, スナウミナナフシ類は第 1 軸が負の領域 (左側の象限) において個体数の多い地点が見られ, ユスリカ類は第 3 軸が負の領域 (下側の象限) において個体数の多い地点が見られた.

底生動物の群集組成の分布を示す第 1 軸と第 3 軸の 2 次元平面において, 堆積物の粒度タイプの分布と地点ごとに入力した環境要因のデータから計算されたベクトルを重ね合わせて表現した図 (図 3b), および水柱の環境要因 (水深と底層の溶存酸素飽和度) の値を投影させた図 (図 6) について検討する. 水深のベクトルは右下の象限に向かっており, ほぼ 180 度反対の方向に底層の溶存酸素濃度と溶存酸素飽和度のベクトルが向かった. すなわち, 水深の深い地点は溶存酸素飽和度が低いことを表している. また, 堆積物の粒度タイプの分布が示すように, 右下の象限には mud に区分された地点が多く, 水深が深く溶存酸素飽和度が低い地点と対応する傾向があった. 反対に, 左上の象限に多い fine sand に区分された地点は, 水深が浅く溶存酸素飽和度が高い地点と対応する傾向があった.

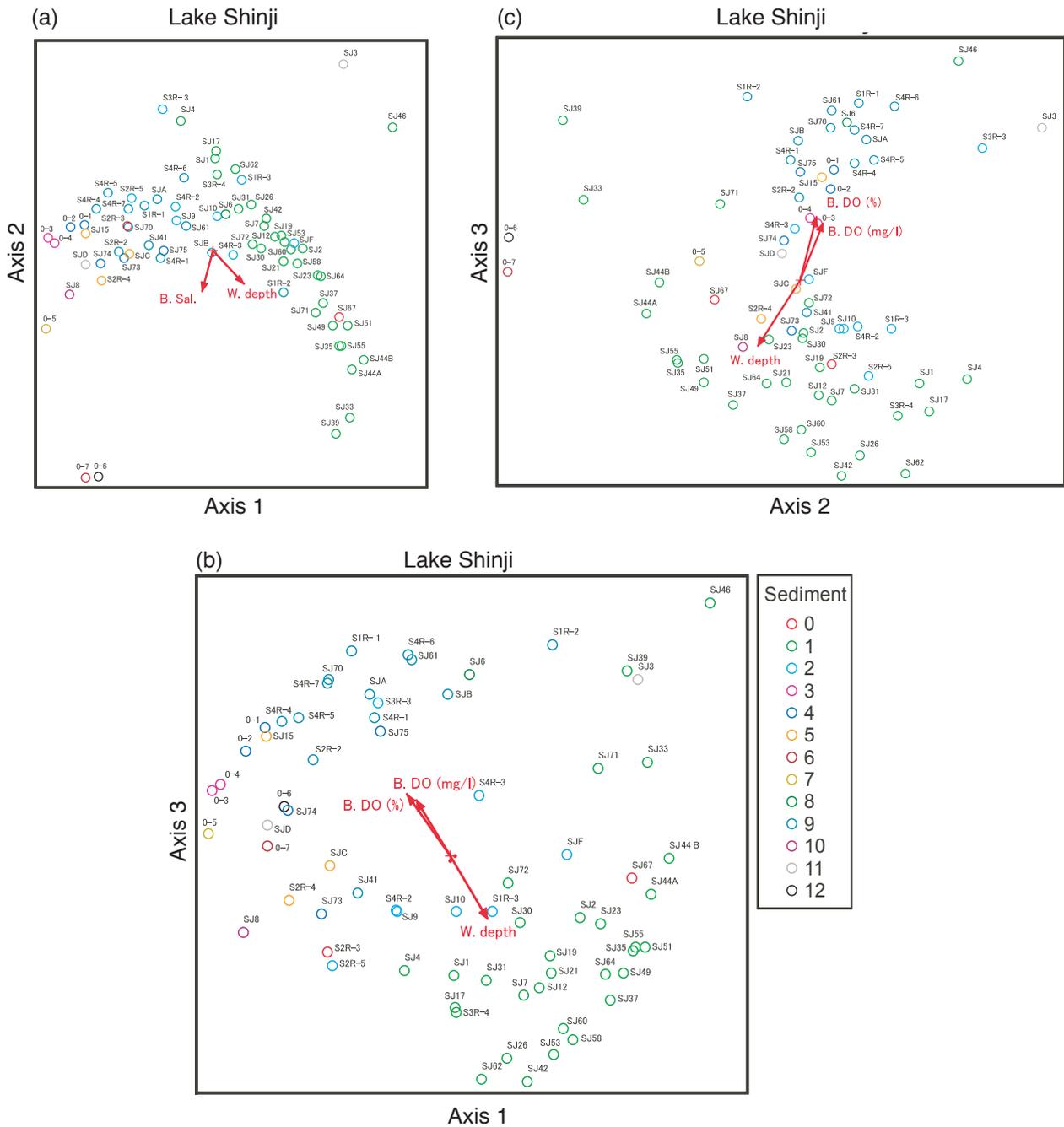


図3 nMDSによる地点の分布。(a) 第1軸と第2軸, (b) 第1軸と第3軸, (c) 第2軸と第3軸。堆積物の粒度タイプ (sediment:0-12) の区分については表1を参照。

**Fig. 3** Distribution of the stations by nMDS analysis. (a) Axis 1 vs. axis 2, (b) axis 1 vs. axis 3, (c) axis 2 vs. axis 3. See Table 1 for the categories (sediment:0-12) of particle type of sediment.

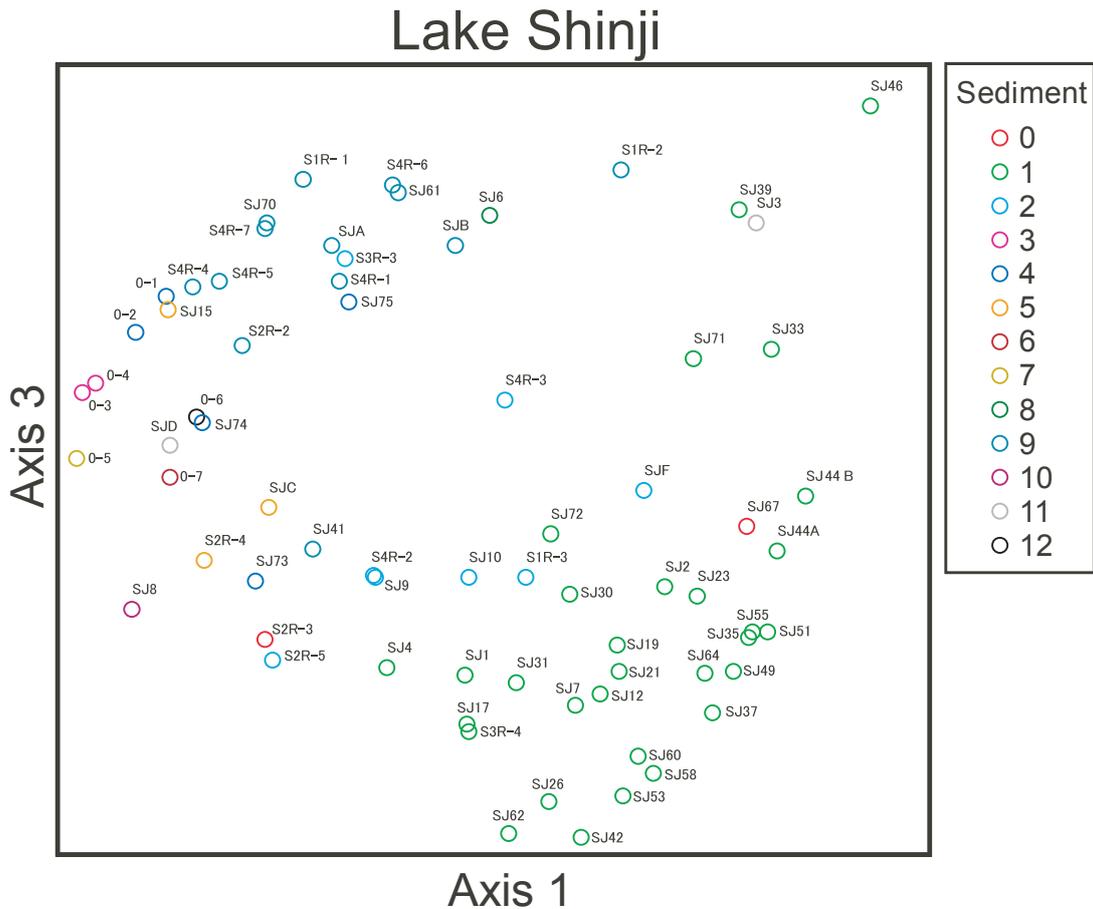


図4 nMDSによる堆積物の粒度タイプの分布の表現。堆積物の粒度タイプ (sediment:0-12) の区分については表1を参照。

Fig. 4 Representation for distribution of particle type of sediment by nMDS analysis. See Table 1 for the categories (sediment:0-12) of particle type of sediment.

### 考察

本研究の結果では、湿重量ではヤマトシジミが宍道湖の優占種であり、個体数ではカワグチツボが宍道湖の優占種であった。ヤマトシジミは水深5mより浅い地点に多く出現し、カワグチツボは水深5mより深い地点においても多く出現した。宍道湖の地形は主に水深により湖盆部と湖棚部に分けられ、堆積物の粒度組成、塩分、溶存酸素濃度、等に違いが見られることから、ヤマトシジミとカワグチツボの2種の分布の違いは、これら環境要因に対する耐性や選好性が異なることを反映していると考えられる。ヤマトシジミは1982年夏の調査結果 (Yamamuro et al., 1990) において重要な底生生物種、1991年8月の調査結果 (園田ほか, 1993) において優占種であると記載されているが、カワグチツボは1982年夏の調査結果にも1991年8月の調査結果にも言及されていない。生息して

いなかったとまでは言い切れないものの、少なくとも1982年と1991年の当時には、カワグチツボは宍道湖で顕著な底生動物ではなかったことが分かる。カワグチツボが2006年にのみ多産し、その前後の年には少ないのか、それともある頃より増え始めたのかについては不明である。なお、宍道湖で採集された軟体動物の種数は6種と限られた。採集に用いたEkman-Birge型採泥器は面積が約0.02 m<sup>2</sup>で各地点2回ずつの採集であったが、採泥器の特性上、特に砂質の地点は深く採取できない。そのため、ソトオリガイなどはあまり採集されなかった可能性がある。

nMDSによる解析の結果、第1軸と第3軸の2次元平面で表現された底生動物の群集組成の分布は、優占種であるヤマトシジミとカワグチツボの現存量に左右されることが分かった。また、底生動物の群集組成の分布は、堆積物の粒度タイプ、水柱の環境要因 (水深と底層の溶存酸素飽和度) と比較的良く対

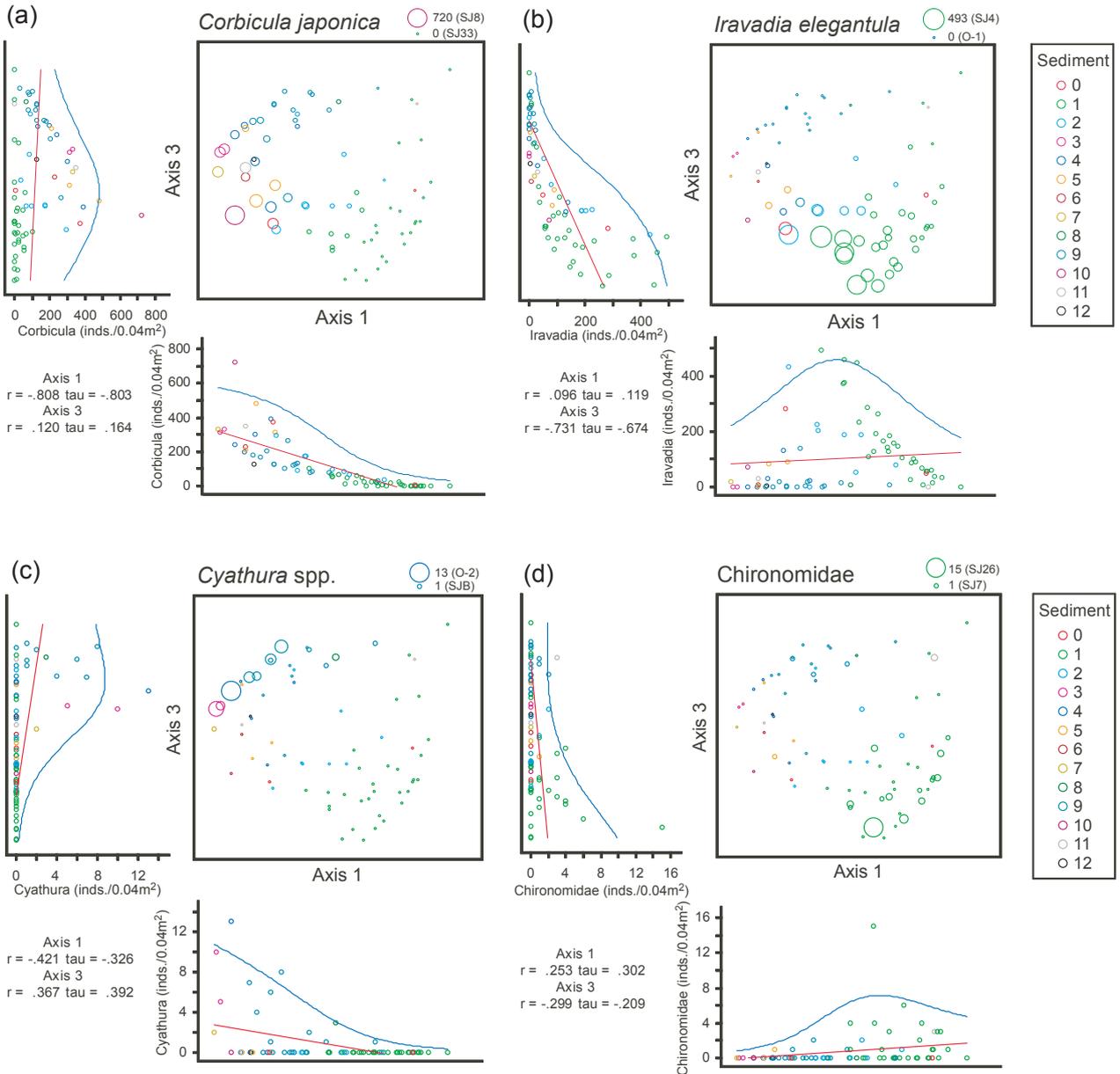


図5 nMDSによる底生動物の分布の表現。(a) ヤマトシジミ, (b) カワグチツボ, (c) スナウミナナフシ類, (d) ユスリカ類。堆積物の粒度タイプ (sediment:0-12) の区分については表1を参照。丸の大きさと散布図の軸の数値は個体数を表し、散布図中の赤線と青線は一次式と多項式(非線形)による回帰直線(曲線)を表す。

Fig. 5 Representation for distribution of benthos by nMDS analysis. (a) *Corbicula japonica*, (b) *Irvadia elegantula*, (c) *Cyathura spp.*, (d) *Chironomidae*. See Table 1 for the categories (sediment:0-12) of particle type of sediment. Size of circles and value of axes in the scatter plots indicate the number of individuals. Red lines and blue curves in the scatter plots indicate linear regression lines and polynomial (nonlinear) regression curves, respectively.

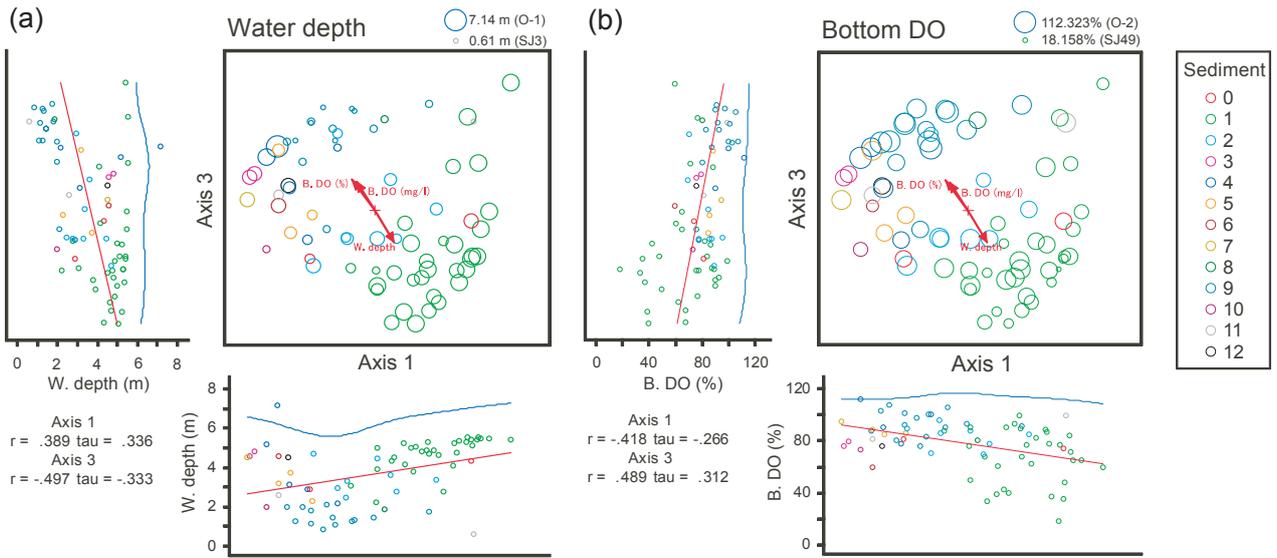


図6 nMDSによる水柱の環境要因の分布の表現。(a) 水深, (b) 底層の溶存酸素飽和度。堆積物の粒度タイプ (sediment:0-12) の区分については表1を参照。丸の大きさと散布図の軸の数値は環境要因の値の大きさを表し、散布図中の赤線と青線は一次式と多項式(非線形)による回帰直線(曲線)を表す。

Fig. 6 Representation for distribution of environmental factors in water column by nMDS analysis. (a) Water depth, (b) bottom DO (%). See Table 1 for the categories (sediment:0-12) of particle type of sediment. Size of circles and value of axes in the scatter plots indicate the value of environmental factors. Red lines and blue curves in the scatter plots indicate linear regression lines and polynomial (nonlinear) regression curves, respectively.

応していた。このことは、本調査地における底生動物の群集組成は、水深、底層の溶存酸素飽和度、および堆積物の粒度タイプによっておおよそ規定されていることを示唆している。Yamamuro et al. (1990) は1982年夏に宍道湖の248地点で採集された底生動物(ヤマトシジミ, 多毛類3種)について環境要因との関連を解析している。これによれば、ヤマトシジミの個体数は底質の強熱減量もしくは泥含有率に対して負の相関を示し、溶存酸素飽和度に対しては正の相関を示す傾向があった。水深がおおよそ3mより浅い湖棚部にヤマトシジミの個体数が多く、水深に影響される溶存酸素量と底質条件がヤマトシジミの生息場所を特徴付けている点は、本研究の結果と整合している。また、1991年8月に宍道湖の40地点において底生生物群集を調査した園田ほか(1993)は、ヤマトシジミが個体数の48.23%を占める優占種であることを指摘し、ヤマトシジミを中心とする群集は底質の有機物量やシルト・クレイ含量が低い地点に分布する傾向があることを述べた。一方、1982年夏のYamamuro et al. (1990)の調査結果では、水深が5mより深い地点では全くヤマトシジミが採集されず、4~5mの水深帯の個体数が非常に少なかった。しかし本研究の2006年

9~10月のヤマトシジミの分布を見ると、ヤマトシジミが採集されなかった地点は宍道湖の中央部の5.5m程度の水深の地点に限られ、4~5.5mの水深帯の地点には相当の個体数が記録された。したがって、水深によりヤマトシジミの生息範囲を表現することは、あまり適切でないことが指摘できる。

宍道湖の水位は天文潮、気象潮および斐伊川の流量の影響を受け(Ishitobi et al., 1993)、宍道湖と中海の水位差により、大橋川を経由した中海からの塩水が様々なパターンで宍道湖の底層に進入することが知られている(e.g., Ishitobi et al., 1999; 森脇ほか, 2003)。塩水は宍道湖の湖盆部に到達した後に成層化し、夏季には宍道湖の底層で溶存酸素濃度の低下が観測される(e.g., 神谷ほか, 1996)。宍道湖の底層塩分は年毎の変動が大きく、中海からの塩水流入量に依存するため(森脇・安木, 2007)、宍道湖底層における溶存酸素濃度の低下の程度は年によって変動すると考えられる。このような貧酸素水の動態が夏季の宍道湖に無生物域が見られるかどうかの一因となっている可能性を園田ほか(1993)が指摘している。1982年夏の調査結果では底生動物が採集されなかった地点が多くあった一方(中村ほか, 1984)、1991年8月の40地

点では無生物域は認められず(園田ほか, 1993), 本研究の2006年9~10月の調査結果においては一部の地点(SJ31, SJ49など)で低い溶存酸素濃度を示したものの底生動物が採集されなかった地点はなかった。調査地点の位置や数の違いがあるため比較が難しいが, 2006年の宍道湖の底生動物の分布状況は, 湖盆部が無生物域という報告(中村ほか, 1984)とは異なり, カワゲチツボが優占種であったという点で園田ほか(1993)の結果とも異なっていると言える。

斐伊川流域では2006年7月に34年ぶりの大規模な出水があり, 宍道湖から中海までの塩分が一時的に大きく低下した。2005年までの宍道湖の長期的な塩分の変化をまとめた森脇・安木(2007)によれば, 1980~2005年の宍道湖湖心の表層塩分の年平均値は, 2.13~5.26 psuの範囲であったが, 2006年7~10月の表層塩分の月平均値は0.5~1.9 psuの範囲であった(島根県水産技術センター 宍道湖・中海水質情報)。森脇・安木(2007)は表層塩分が産卵期のヤマトシジミに及ぼす影響を注視する必要があることを指摘しているが, 本研究において採集されたヤマトシジミは洪水以前に既に着底生活を送っていたと考えられるサイズの個体であるため, 本研究の調査結果によるヤマトシジミの分布は, 成貝が洪水後の低塩分環境に応答した結果であると考えられる。このような年毎の特異な環境条件の変化が底生生物群集に影響している可能性があるため, 長期的な傾向を議論する際には注意が必要である。

今回, 多毛類を含む環形動物については同定が進まず, 環形動物のレベルで個体数と湿重量を計測した。これまで宍道湖の底生生物群集のうち, 多毛類については詳細に解析が行われた研究例(Yamamuro, 1988; 園田ほか, 1998)があるため, それらの結果と比較するために, 今後, 2006年に宍道湖で採集された多毛類相の分析を進める必要がある。

ヤマトシジミが優占種であるという宍道湖の大型底生無脊椎動物の群集組成は, 1920年代より基本的には変わっていない。本研究の背景として述べたように, 2006年の全域調査は, 中海の本庄水域の西部承水路堤の撤去や森山堤の一部開削が行われる直前のスナップショットであり, また大橋川改修事業の着工前のデータとして位置付けられる。今後も数年ごとに調査を実施し, 宍道湖と中海の大型底生無脊椎動物の長期的な変化を継続して調べる必要がある。

## 謝 辞

本研究は, 島根大学プロジェクト研究推進機構重点研究部門「地域資源循環型社会の構築」および科学研究費補助金基盤研究(A) 課題番号19201017「ラムサール条約登録後の中海における汽水域生態系の再生と長期生態学研究(研究代表者: 國井秀伸)」の支援を受けて行われた。また, 野外調査と試料の分析には多くの方々から作業を手伝っていただいた。2名の匿名の査読者からは原稿を改善するための有益なコメントをいただいた。ここに感謝の意を表します。

## 引用文献

- Ishitobi, Y., Kamiya, H. and Itogawa, H. (1993) Tidal, meteorological and hydrological effects on the water level variation in a lagoon, Lake Shinji. *Japanese Journal of Limnology*, 266 54: 69-79.
- Ishitobi, Y., Kamiya, H., Yokoyama, K., Kumagai, M. and Okuda, S. (1999) Physical condition of saline water intrusion into a coastal lagoon, Lake Shinji, Japan. *Japanese Journal of Limnology*, 60: 439-452.
- JIS「地質用語集」原案の作成研究グループ(2008) 地質図—地質用語(TS素案:2008). 地質調査総合センター研究資料集 No. 486. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 126 pp.
- 神谷 宏・石飛 裕・井上徹教・中村由行・山室真澄(1996) 夏季の宍道湖の底層水に蓄積する栄養塩の起源. *陸水学雑誌*, 57: 313-326.
- 森脇晋平・藤井智康・福井克也(2003) 大橋川における高塩分水塊の遡上現象. *LAGUNA(汽水域研究)*, 10: 35-45.
- 森脇晋平・安木 茂(2007) 宍道湖における塩分の長期的変動. 島根県水産技術センター研究報告, 1: 49-59.
- 中村幹雄・山本孝二・小川絹代・須藤正志・後藤悦朗・大島展志(1984) 宍道湖の底生動物と底質 1982年夏期相. 島根県水産試験場事業報告 昭和57年度. pp. 186-204. 島根県水産試験場.
- 園田 武・中村幹雄・山根恭道・中尾 繁(1993) 中海・宍道湖等水産資源管理対策事業 宍道湖の環境群と生物群集. 島根県水産試験場事業報告 平成3年度. pp. 189-200. 島根県水産試験場.
- 園田 武・中尾 繁・中村幹雄・高安克己(1998) 宍道湖・中海・神西湖の多毛類相. *LAGUNA(汽水域研究)*, 5: 101-108.

山口啓子・倉田健悟・園田 武・瀬戸浩二（印刷中）  
中海における二枚貝群集の特徴と干拓堤防建設により隔てられた汽水域の変化. 日本ベントス学会誌.  
Yamamuro, M. (1988) Seasonal changes of the distributions of brackish polychaetes in Lake Shinji, Japan. *The Japanese Journal of Limnology*, 49: 287–292.

Yamamuro, M., Nakamura, M. and Nishimura, M. (1990)  
A method for detecting and identifying the lethal environmental factor on a dominant macrobenthos and its application to Lake Shinji, Japan. *Marine Biology*, 107: 479–483.