

富山湾の底質環境とマクロベントスの分布

辻本 良・小善圭一・林 清志・渡辺孝夫・今尾和正
(2006年3月1日受理)

Distribution of macrobenthos and bottom environment parameters in Toyama Bay

Ryo TSUJIMOTO^{*1}, Keiichi SHOZEN^{*1*2}, Seishi HAYASHI^{*1},
Takao WATANABE^{*3}, and Kazumasa IMAO^{*4}

Distribution of macrobenthos and bottom environment parameters were investigated in Toyama Bay, Sea of Japan, in May 2001. A total of 253 species and 2,238 individuals were collected from 60 stations, using a Smith-McIntyre grab sampler (1/10 m²). Numerical density, biomass, number of species and diversity (H') ranged from 0 to 124 individuals/0.1 m², 0 to 7.60 g wet/0.1 m², 0 to 49 species/0.1 m² and 1.06 to 5.06 bit, respectively. Bottom environment and biotic parameters of five areas, i.e., western, innermost, eastern, Kokutou and central were compared with each other. Silt-clay content, ignition loss, acid volatile sulfide and COD were relatively high in the innermost and central areas, especially in front of the Oyabe River and the Jinzu River. In contrast, these parameters showed low values in the eastern and Kokutou areas. Macrobenthos density was high in the eastern and Kokutou areas, whereas it was low in the western area. Polychaetes accounted for 59% of the total abundance. Comparison with a previous survey conducted by Kitamori (1971) showed that the densities of several polychaete species decreased drastically during the interval of thirty years.

Key words: bottom environment, distribution, macrobenthos, Toyama Bay

富山県沿岸域では、1960年代の高度成長期における工業化によって、都市部や工業地域を流れる小矢部川や神通川から汚濁負荷量が増加し、富山湾の汚濁が進行した。沿岸地域の開発が進められるなか、1969年に富山湾全域の底質環境とマクロベントスについて当時の状況が詳しく調べられた(北森 1971)。また、この調査とその後の調査結果を合わせ、底質の分布状況が図化された(富山県水産試験場 1978, 川崎 1985)。富山湾の漁場環境を保全していくためには、その変遷を把握することが重要であるが、北森(1971)の調査以降、富山湾全域にわたる底質環境やマクロベントスに関する調査は行われていない。ベントスは、底生魚類の餌生物として水産上重要であること(西川・園田 2005)や、底質の環境浄化機能を有すること(鈴木ら 1996, 青山・鈴木 1997)などから、水産資源の維持や環境保全を図るためにも、底質環境とマクロベ

*1 富山県水産試験場 (Toyama Prefectural Fisheries Research Institute, Namerikawa, Toyama, 936-8536, Japan)

*2 現所属: 富山県食品研究所 (Toyama foods Research Institute, Yoshioka, Toyama, 939-8153, Japan)

*3 株式会社日本海洋生物研究所 (Marine Biological Research Institute of Japan Co., Ltd, Shinagawa, Tokyo, 142-0042, Japan)

*4 株式会社日本海洋生物研究所大阪支店 (Marine Biological Research Institute of Japan Co., Ltd, Osaka Branch, Suita, Osaka, 564-0051, Japan)

トスの知見を得ることは重要である。本研究では、近年における富山湾の底質環境とマクロベントスの分布の現状把握を目的として、富山湾内60地点において調査を実施し、その結果について既往知見と比較、検討を行ったので報告する。

材料と方法

調査海域 富山湾は日本海中央部の能登半島の東側に位置し、便宜的に石川県長手崎と富山・新潟県境を結んだ線を湾内外の境界とすると、全表面積約2,120 km²、最大水深1,250 m、全容積約1,280 km³の外洋性内湾である（富山県水産試験場 1975）。富山湾は、相模湾、駿河湾とならぶ深海性の湾であり、海底地形は大陸棚が狭小で急激に深くなり、湾奥部には海底谷と海脚が多数発達している（藤井 1985）。富山湾は、水深約300 mを境にして、それより浅海側は対馬暖流系水、深海側は日本海固有水で占められる（内山 1997）。沿岸域には、小矢部川、庄川、神通川、常願寺川、黒部川の5本の一級河川と、多くの中小河川が流れ込むため、河川水の影響を受ける海域である。

調査地点と海域区分 2001年5月14日から18日の間に、富山湾内の60地点で調査を実施した（Fig. 1）。調査地点の緯度・経度及び水深は、Table 1に示した。本研究では、調査した海域を便宜上5つに区分して解析した。すなわち、石川・富山県境から小矢部川河口までの沿岸海域を西部海域（Stns.1~11）、小矢部川から常願寺川までを湾奥部海域（Stns.12~28）、常願寺川河口から黒部川河口までの海域を東部海域（Stns.29~41）、黒部川河口から新潟・富山県境までを黒部川以東海域（Stns.42~56）、それ以外の水深の深いところを湾中央部海域（Stns.57~60）とした（Table 1, Fig. 1）。

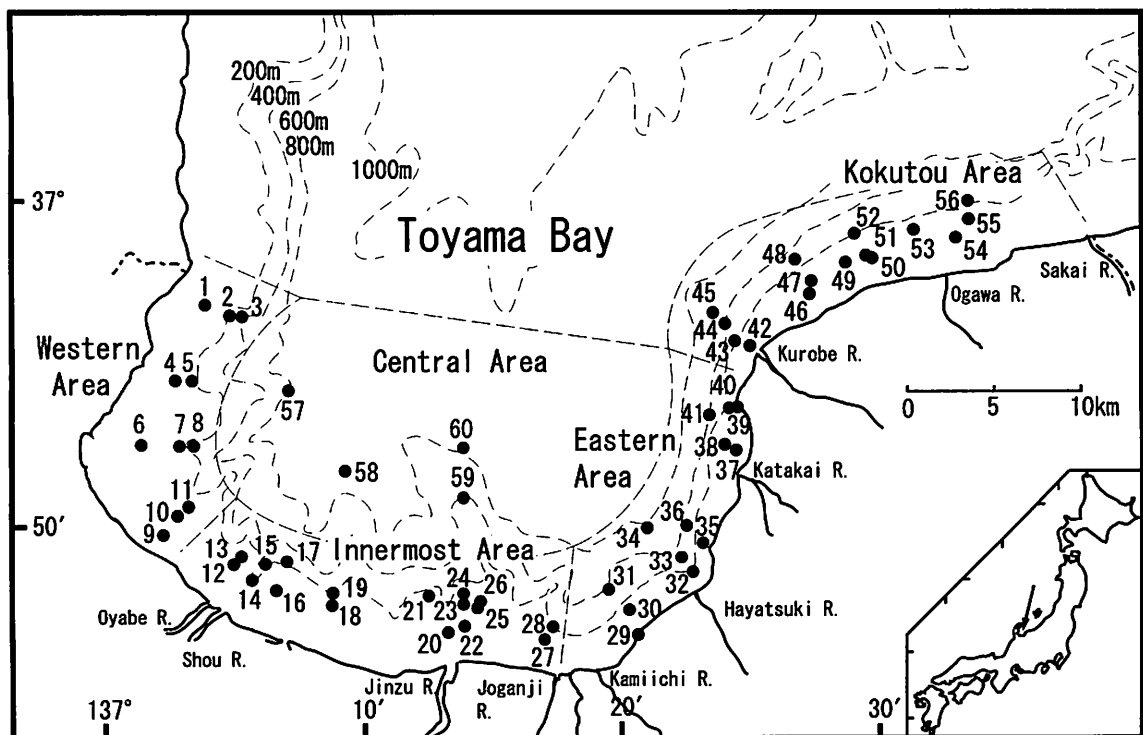


Fig. 1 Map of Toyama Bay showing the sampling stations.
富山湾における調査地点

Table 1 Location of stations and water depth at Toyama Bay in May 14-18, 2001.
富山湾における採泥地点の緯度・経度と水深

Station No.	Location		Depth (m)	Station No.	Location		Depth (m)
	Latitude	Longitude			Latitude	Longitude	
1	N36° 56.7'	E137° 3.6'	50	31	N36° 48.1'	E137° 19.4'	404
2	N36° 56.4'	E137° 4.5'	215	32	N36° 48.6'	E137° 22.7'	200
3	N36° 56.4'	E137° 5.0'	400	33	N36° 49.1'	E137° 22.3'	300
4	N36° 54.4'	E137° 2.4'	64	34	N36° 50.0'	E137° 20.9'	594
5	N36° 54.4'	E137° 3.1'	163	35	N36° 49.5'	E137° 23.1'	185
6	N36° 52.5'	E137° 1.1'	42	36	N36° 50.1'	E137° 22.5'	404
7	N36° 52.4'	E137° 2.6'	89	37	N36° 52.3'	E137° 24.4'	50
8	N36° 52.4'	E137° 3.1'	215	38	N36° 52.5'	E137° 24.0'	100
9	N36° 49.8'	E137° 1.9'	20	39	N36° 53.6'	E137° 24.5'	94
10	N36° 50.4'	E137° 2.5'	51	40	N36° 53.6'	E137° 24.1'	220
11	N36° 50.6'	E137° 2.9'	73	41	N36° 53.4'	E137° 23.4'	421
12	N36° 48.9'	E137° 4.7'	40	42	N36° 55.5'	E137° 25.0'	122
13	N36° 49.1'	E137° 4.0'	190	43	N36° 55.6'	E137° 24.4'	230
14	N36° 48.4'	E137° 5.4'	245	44	N36° 56.2'	E137° 24.0'	397
15	N36° 48.9'	E137° 5.9'	350	45	N36° 56.5'	E137° 23.5'	486
16	N36° 48.1'	E137° 6.3'	21	46	N36° 57.0'	E137° 27.3'	50
17	N36° 49.0'	E137° 6.7'	192	47	N36° 57.4'	E137° 27.3'	67
18	N36° 47.6'	E137° 8.5'	56	48	N36° 58.1'	E137° 26.7'	322
19	N36° 48.0'	E137° 8.5'	200	49	N36° 58.0'	E137° 28.7'	50
20	N36° 46.8'	E137° 13.0'	60	50	N36° 58.1'	E137° 29.7'	50
21	N36° 47.9'	E137° 12.3'	183	51	N36° 58.2'	E137° 29.5'	100
22	N36° 47.0'	E137° 13.7'	52	52	N36° 58.9'	E137° 29.0'	194
23	N36° 47.6'	E137° 13.7'	130	53	N36° 59.0'	E137° 31.3'	100
24	N36° 48.0'	E137° 13.7'	156	54	N36° 58.7'	E137° 32.9'	43
25	N36° 47.5'	E137° 14.2'	52	55	N36° 59.3'	E137° 33.4'	100
26	N36° 47.7'	E137° 14.3'	107	56	N36° 59.9'	E137° 33.4'	232
27	N36° 46.6'	E137° 16.9'	100	57	N36° 54.1'	E137° 6.8'	578
28	N36° 46.9'	E137° 17.2'	190	58	N36° 51.7'	E137° 9.0'	611
29	N36° 46.7'	E137° 20.5'	45	59	N36° 50.9'	E137° 13.7'	393
30	N36° 47.5'	E137° 20.2'	185	60	N36° 52.4'	E137° 13.7'	631

分析方法 採泥は、富山県水産試験場漁業調査船「立山丸」と栽培漁業調査船「はやつき」によりスミス・マッキンタイヤー型採泥器 (1/10 m²) を用いて行った。富山湾は、大陸棚が狭小で急激に深くなる海底地形であることから、採取地点の水深は20~631 mの範囲に及んだ。採取した堆積物は、底質分析用に底泥の表面より約5 cmの層から約100 gを分取した後、残りの全量を1 mmメッシュの篩でふるい、篩上に残った底生生物を10%中性ホルマリンで固定した。採取した底生生物のうち個体湿重量1 g以下のマクロベントスを対象とし、種ごとの個体数、湿重量を計測した。なお、多毛類の棲管は除き、軟体動物の殻は含めて湿重量を測定した。マクロベントスの多様度指数 (H'), 種の豊富さ (H'_{max}) 及び均等性指数 (J') は、Pielou (1969) によって求

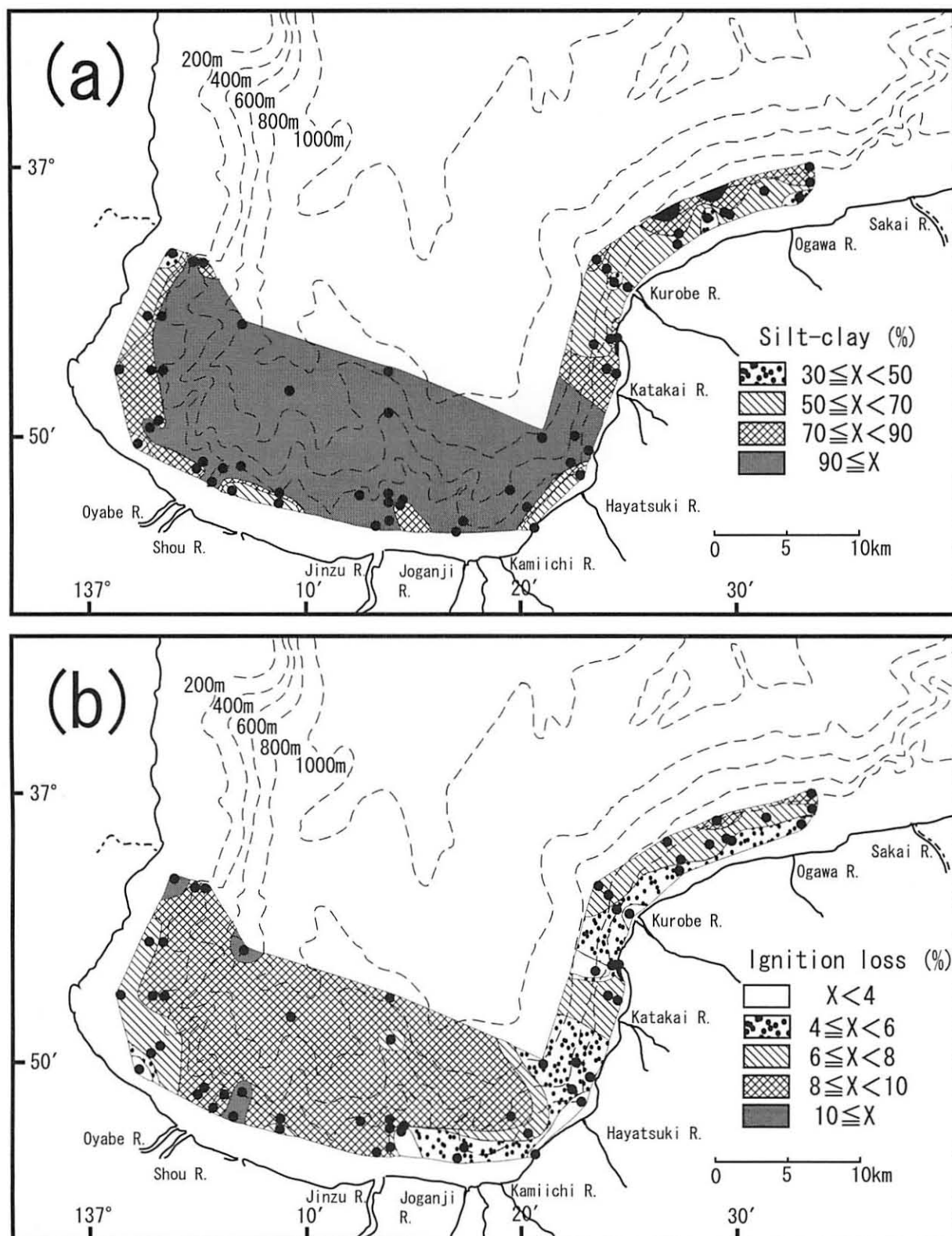


Fig. 2 Spatial distribution of (a) silt-clay content, (b) ignition loss, (c) acid volatile sulfide (AVS-S) and (d) COD in Toyama Bay.

富山湾の底質環境 (a)シルト・粘土率, (b)強熱減量, (c)硫化物量, (d)COD

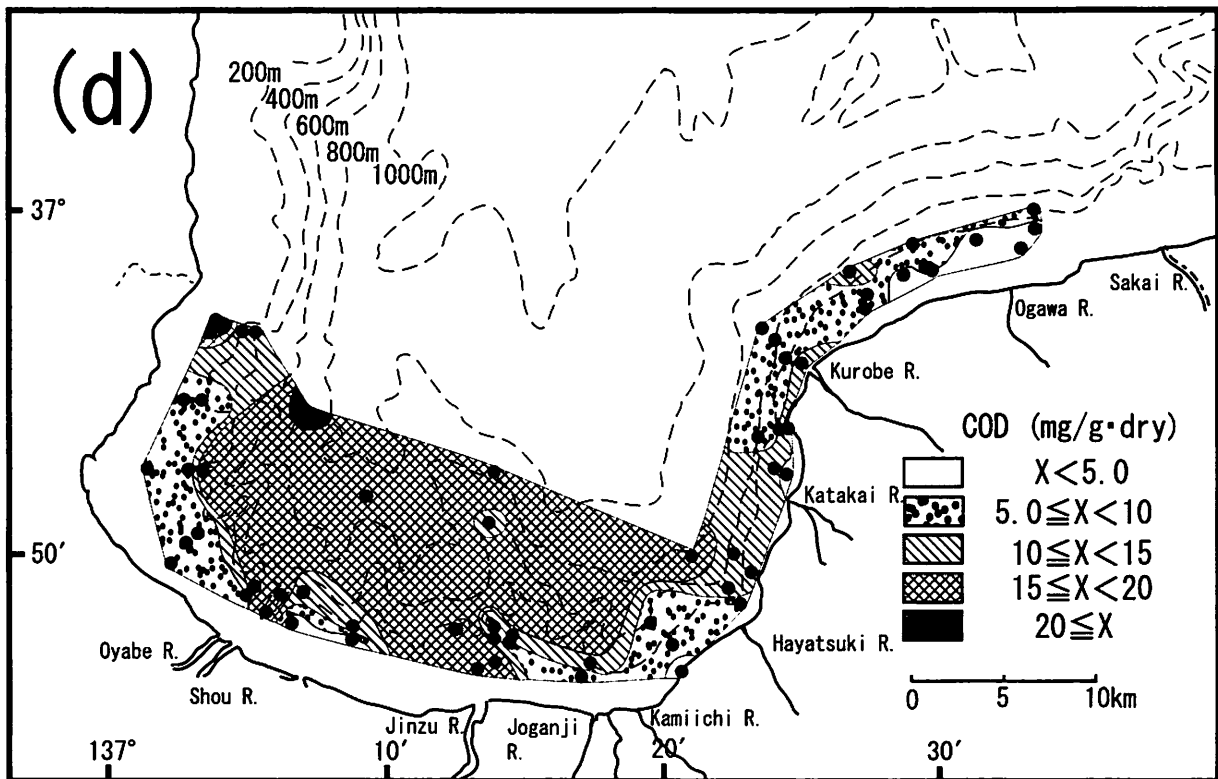
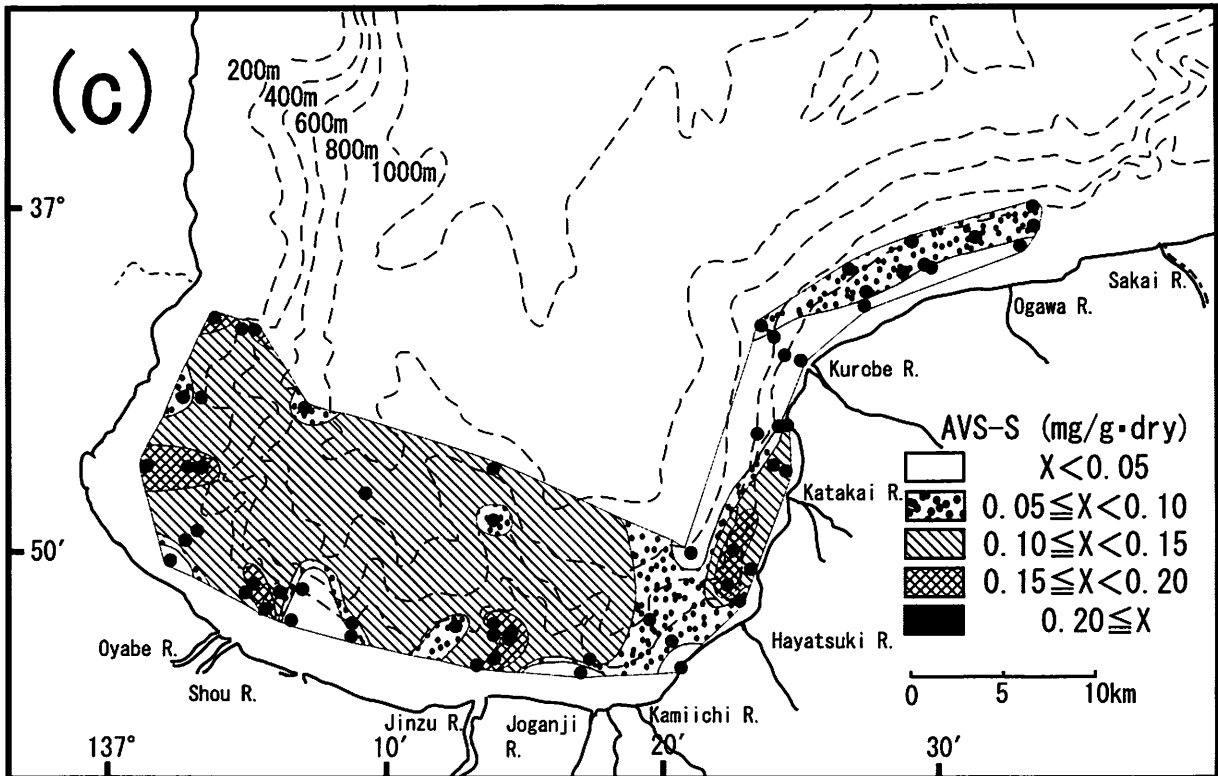


Fig. 2 (continued)

めた。マクロベントス群集構造は、種組成をもとに定点ごとのユークリッド距離を求め、群平均法によるクラスター分析を行った。

底質環境を把握するため、粒度組成、強熱減量、硫化物量 (AVS-S) 及び化学的酸素要求量 (COD) を測定した。粒度組成は、ふるい分け法 (松本 1986) によって粒径 $63\ \mu\text{m}$ 以下をシルト・粘土とし、その割合を重量百分率で表した。強熱減量は 550°C 、6時間燃焼による方法 (佐藤ら 1987)、硫化物量 (AVS-S) は検知管法 (日本水産資源保護協会 1980)、化学的酸素要求量 (COD) は堀江・吉村 (1986) の方法を用いた。

結 果

底質環境 底質分析項目であるシルト・粘土率、強熱減量、硫化物量及び COD の分布を、それぞれ Fig. 2(a), (b), (c) 及び (d) に示した。

シルト・粘土率は、32.6~99.2%の範囲であった。水深の深い湾中央部 (Stns.57~60) と湾奥部の小矢部川、庄川、神通川、常願寺川が流れ込む海域 (Stns. 13~15, 17, 20~24, 26~28) において、シルト・粘土率が90%を超えた。それ以外の西部、湾奥部、東部、黒部川以東海域の水深200 m以浅の海域においては32.6~96.9%であった。

強熱減量は1.3~13.4%の範囲にあり、Stns.1, 16, 17, 39, 57の5地点では10%以上の値を示した。東部及び黒部川以東海域では概ね8%以下であった。

硫化物量は、0.01 mg/g 未満~0.18 mg/g 乾泥の範囲であった。水産用水基準 (日本水産資源保護協会 2000) において、有機汚濁が始まる指標として定められた0.2 mg/g 乾泥を超える地点はなかった。小矢部川・庄川河口海域の Stns.13, 14, 神通川河口海域の Stns.22, 24~26, 早月川河口海域の Stns.33, 36及び西部海域の Stns.6~8においては、0.16~0.18 mg/g 乾泥の範囲にあった。

COD は、1.6~21.7 mg/g 乾泥の範囲にあり、西部海域の Stn.1と湾中央部海域の Stn.57の2地点で20 mg/g 乾泥を超えた。湾中央部、小矢部川・庄川河口海域及び神通川河口海域 (Stns.13~15, 20~22, 58, 60) では、10~15 mg/g 乾泥の範囲であり、それ以外の海域においては、概ね15 mg/g 乾泥以下であった。

底質の分析項目間並びに水深との相関関係を Table 2 に示した。水深とシルト・粘土率及び水深と COD の間にそれぞれ有意な正の相関 (それぞれ、 $r=0.344$, 0.346 , $p<0.01$) がみられ、また、すべての底質分析項目間で有意な正の相関 ($r=0.364\sim0.617$, $p<0.01$) が認められた。

Table 2 Correlation matrix of analytical factors of sediment and depth in Toyama Bay.
富山湾における底質分析項目間ならびに水深と底質分析項目との相関関係

	Depth	Silt-clay content	Ignition loss	AVS-S
Silt-clay content	0.344 **	-	-	-
Ignition loss	0.105	0.434 **	-	-
AVS-S	0.004	0.414 **	0.364 **	-
COD	0.346 **	0.617 **	0.506 **	0.555 **

** significant ($p<0.01$)

Table 3 Comparison of density, biomass, number of species and diversity of macrobenthos between the investigated areas in Toyama Bay.

富山湾におけるマクロベントスの生息密度、生物量、種数及び多様度指数の海域別の比較

	Density (ind./0.1 m ²)		Biomass (g wet/0.1 m ²)		No. of species (species/0.1 m ²)		Diversity (H') (bit)	
	Range	Average ± SD	Range	Average ± SD	Range	average ± SD	Range	Average ± SD
Western area (Stns.1-11)	0-113	27.0±34.6	0.00-4.73	1.10±1.49	0-44	10.6±12.5	1.87-5.06	2.08±1.58
Innermost area (Stns.12-28)	8-91	30.4±26.2	0.11-7.08	1.96±1.83	3-31	10.9±6.5	1.06-4.67	2.62±1.08
Eastern area (Stns.29-41)	6-100	32.5±24.6	0.09-6.03	1.93±1.63	6-27	12.3±5.5	2.22-3.93	2.90±0.46
Kokutou area (Stns.42-56)	11-124	57.8±32.6	0.05-7.60	2.44±2.40	5-49	21.7±12.6	1.67-4.94	3.46±0.98
Central area (Stns.57-60)	18-64	33.8±20.8	0.41-1.86	1.05±0.71	5-17	11.5±5.2	1.80-3.81	2.94±0.85
Average (Stns.1-60)	0-124	37.3±30.5	0.00-7.60	1.85±1.86	0-49	13.9±10.2	1.06-5.06	2.96±0.94

マクロベントスの生息密度、生物量、種数及び多様度指数 富山湾を5海域に区分し、海域ごとの生息密度、生物量、種数及び多様度指数を比較した結果を Table 3に、これらの分布を、それぞれ Fig. 3(a), (b), (c)及び(d)に示した。

海域ごとの生息密度を平均値で比較すると、数値が高い順に、黒部川以東、湾中部、東部、湾奥部、西部海域となり、富山湾全域では「東高西低」の傾向がみられた (Table 3, Fig. 3(a))。富山湾全域の生息密度は、0~124個体/0.1 m²の範囲であり、平均±標準偏差は37.3±30.5個体/0.1 m²であった。生息密度が100個体/0.1 m²以上であった地点は、Stn.9 (113個体/0.1 m²)、Stn.40 (100個体/0.1 m²)、Stn.47 (124個体/0.1 m²) 及び Stn.49 (103個体/0.1 m²) であり、Stn.9以外は東部と黒部川以東海域であった。一方、生息密度が10個体/0.1 m²以下であった地点は、Stns.7, 8, 10 (0個体/0.1 m²)、Stns.6, 38 (6個体/0.1 m²) 及び Stns.1, 22 (8個体/0.1 m²) であり、西部海域と湾奥部の神通川河口海域において生息密度が低かった。

生物量は、0~7.60 g wet/0.1 m²の範囲であり、平均±標準偏差は1.85±1.86 g wet/0.1 m²であった。生物量の分布は、概ね生息密度のそれと一致した (Fig. 3(a), (b))。

種数では、0~49種/0.1 m²の範囲であり、平均±標準偏差は13.9±10.2種/0.1 m²であった。湾奥部の小矢部川・庄川河口海域と片貝川以東の海域において、種数が多い傾向がみられた (Fig. 3(c))。

多様度指数 (H') では、西部海域の Stns.7, 8, 10の3地点においては、マクロベントスが採取されなかったことから計算できなかった。この3地点を除いた多様度指数の範囲は、1.06~5.06 bitであった。富山湾全域の多様度指数の平均±標準偏差は、2.96±0.94 bitであった。多様度指数の小さかった下位5地点は、Stn.22 (1.06 bit)、Stn.19 (1.10 bit)、Stn.13 (1.39 bit)、Stn.17 (1.40 bit)、Stn.14 (1.56 bit) であり、いずれも湾奥部海域であった。多様度指数が低くなった要因として、Stn.22においてはホシムシ科の一種 *Apionsoma* sp. が、Stns. 19, 13, 17, 14においては、ホ

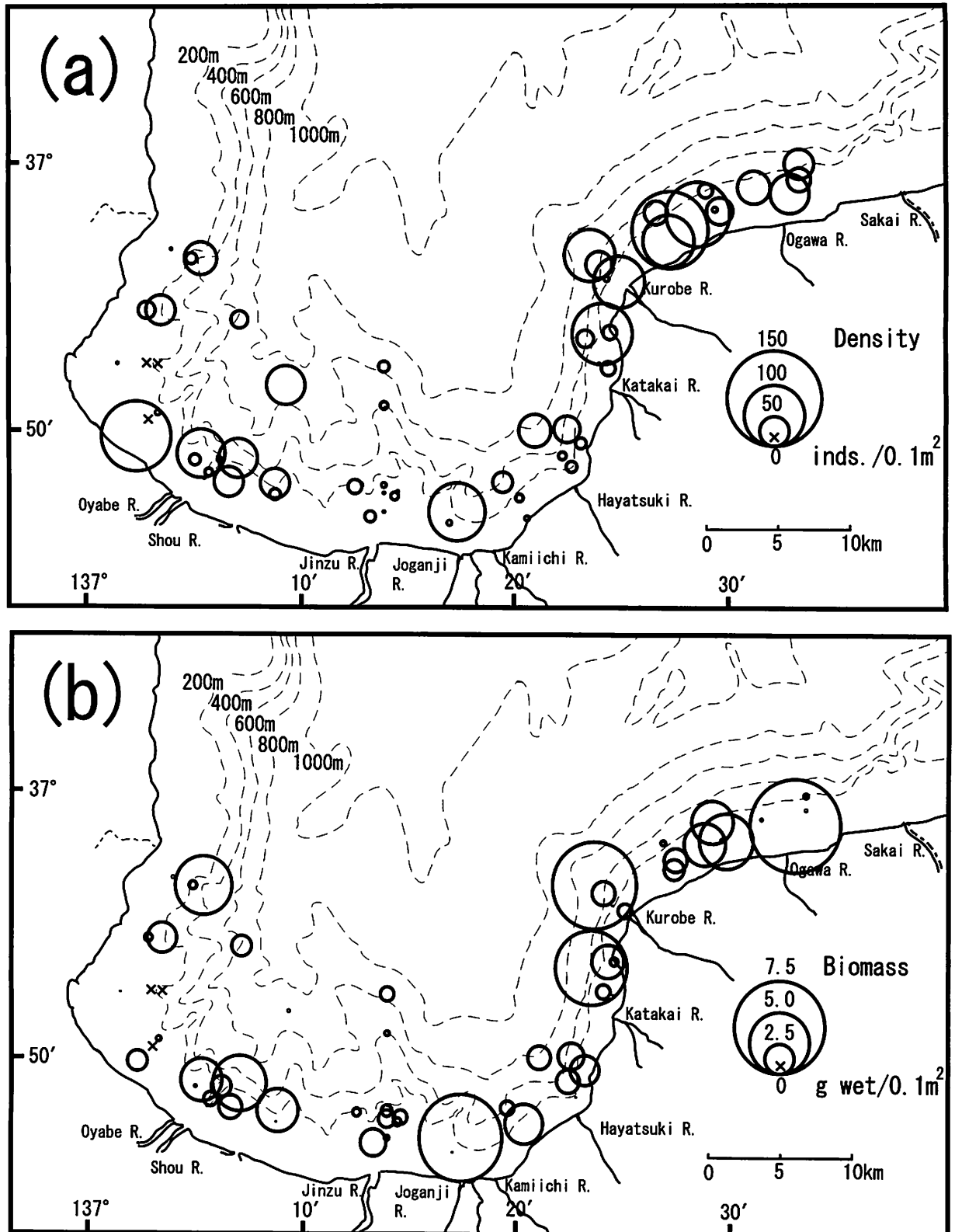


Fig. 3 Spatial distribution of macrobenthos community parameters: (a) density, (b) biomass, (c) number of species and (d) diversity (H') in Toyama Bay.
 富山湾で採取されたマクロベントスの生物学的群集指標の分布 (a)生息密度, (b)生物量, (c)種数, (d)多様度指数(H')

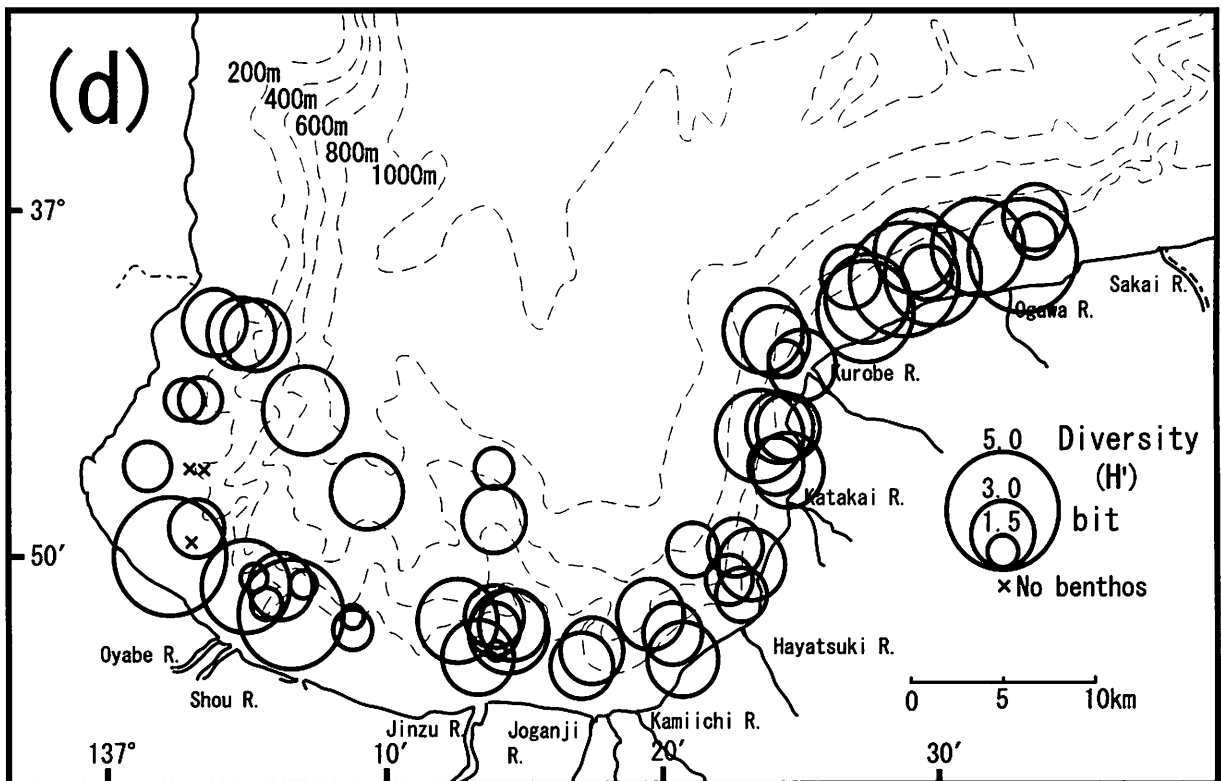
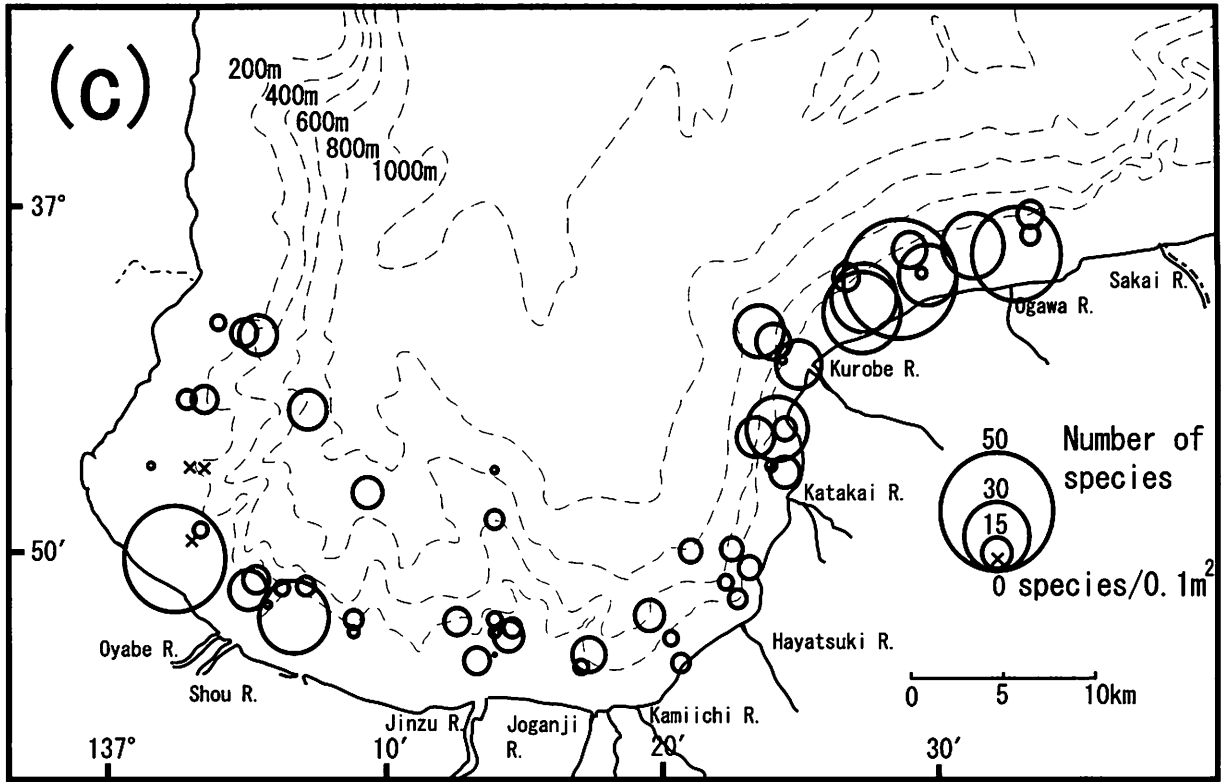


Fig. 3 (continued)

ソタケフシゴカイ *Maldane cristata* が極めて優占し、均等度が低くなったことに起因した。

マクロベントス群集と底質環境及び水深との間に関係があるかを明らかにするために、マクロベントス群集の生物学的指数5要素（生息密度、種数、多様度指数、均等度指数、種の豊富さ）と底質分析項目間の相関関係を調べ、その結果を Table 4に示した。生息密度と硫化物量、種数とシルト・粘土率、種数と硫化物量、種数と COD、多様度指数とシルト・粘土率、多様度指数と COD、種の豊富さとシルト・粘土率、種の豊富さと硫化物量及び種の豊富さと COD の間に負の相関がみられた ($r = -0.489 \sim -0.358$, $p < 0.01$)。生息密度と強熱減量、種数と強熱減量、多様度指数と硫化物量及び種の豊富さと強熱減量の間にも負の相関がみられた ($r = -0.317 \sim -0.258$, $p < 0.05$)。硫化物量が高くなると均等度指数を除く生物学的指数4要素が低くなる傾向がみられ、その他の底質分析項目においても、分析値が大きくなると種数、多様度指数及び種の豊富さが減少する傾向があった。

Table 4 Correlation matrix between analytical factors of sediment and community parameters of macrobenthos.
底質分析項目とマクロベントス群集の生物学的指数との相関関係

	Depth	Silt-clay content	Ignition loss	AVS-S	COD
Density	0.071	-0.250	-0.260 *	-0.386**	-0.186
No. of species	-0.137	-0.489 **	-0.276 *	-0.443**	-0.370 **
H'	-0.162	-0.366 **	-0.214	-0.317*	-0.360 **
J'	-0.174	-0.088	-0.055	0.081	-0.092
H'max	-0.089	-0.436 **	-0.258 *	-0.422**	-0.358 **

* significant($p < 0.05$), ** significant($p < 0.01$)

H': index of species diversity, 多様度指数

J': index of evenness component diversity, 均等性指数

H'max: index of richness component diversity, 種の豊富さ

主要種の分布 本調査によって得られたマクロベントスは、13動物門、253種、2,238個体であり、その内訳は環形動物門117種、軟体動物門57種、節足動物門49種、棘皮動物門16種及びその他の動物（刺胞動物門、扁形動物門、紐形動物門、袋形動物門、ゆむし動物門、星口動物門、触手動物門、原索動物門、脊椎動物門）14種であった。地点ごとの採取個体数を動物分類群別組成でみると、環形動物門（すべて多毛類）が全体の59%、軟体動物は22%、節足動物門、棘皮動物門はそれぞれ6%、その他の動物は7%を占め、多毛類の占める割合が高かった (Fig. 4)。

採取されたマクロベントスのうち、種もしくは属まで分類が可能であった動物について、出現個体数が多い上位10種を Table 5に示した。出現個体数の上位10種のうち多毛類7種、軟体動物2種、星口動物1種で占められた。最も出現個体数が多かった種は、ホソタケフシゴカイであり、小矢部川・庄川河口海域 (Sts.13, 17, 19) に多く出現した (Fig. 5(a))。キビソデガイ *Yoldiella philippina* は、Stn.40 (51個体/0.1m²) と Stn.28 (36個体/0.1m²) に多かった (Fig. 5(b))。ミズヒキゴカイ科の一種 *Tharyx* sp. は、富山湾全域に分布し、中でも早月川河口海域に多かった (Fig. 5(c))。ユキヤナギガイ *Axinopsida subquadrata* は、早月川河口沖の Stn.34 (20個体/0.1m²) 及び黒部川河口海域の Stn.42 (27個体/0.1m²) に多かった (Fig. 5(d))。ダルマゴカイ *Sternaspis*

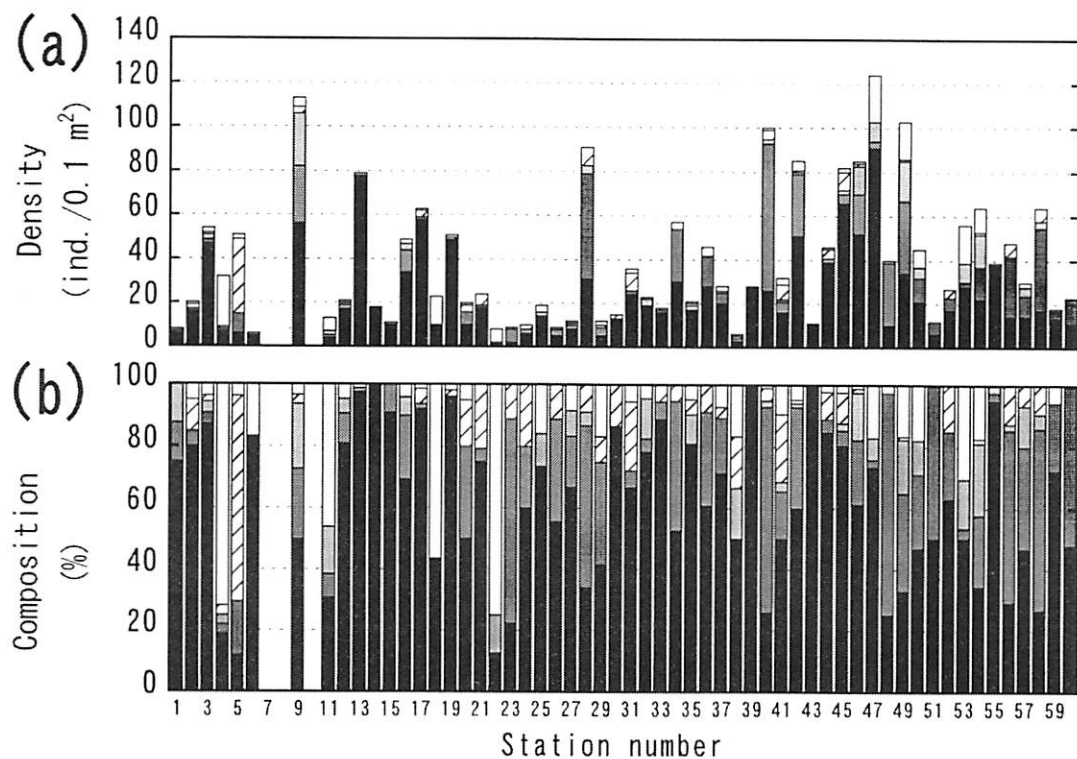


Fig. 4 Numerical density (a) and numerical composition (b) of taxonomic groups at each station in Toyama Bay. No macrobenthos were collected at Stns. 7,8 and 10.

富山湾において採取されたマクロベントスの動物分類群別の生息密度(a)と組成割合(b) Stns.7,8,10においてマクロベントスは採取されなかった。



Table 5 Ten dominant species ranked by individuals collected at 60 stations in Toyama Bay. 富山湾60地点から出現した種の個体数優占上位10種

Rank	Species	Individuals
1	<i>Maldane cristata</i>	187
2	<i>Yoldiella philippiana</i>	159
3	<i>Tharyx</i> sp.	150
4	<i>Axinopsida subsquadrata</i>	78
5	<i>Sternaspis scutata</i>	70
6	<i>Apionsoma</i> sp.	63
7	<i>Onuphis holobranchiata</i>	62
8	<i>Laphania</i> sp.	48
9	<i>Neoheteromastus</i> sp.	47
10	<i>Nephtys oligobranchia</i>	44

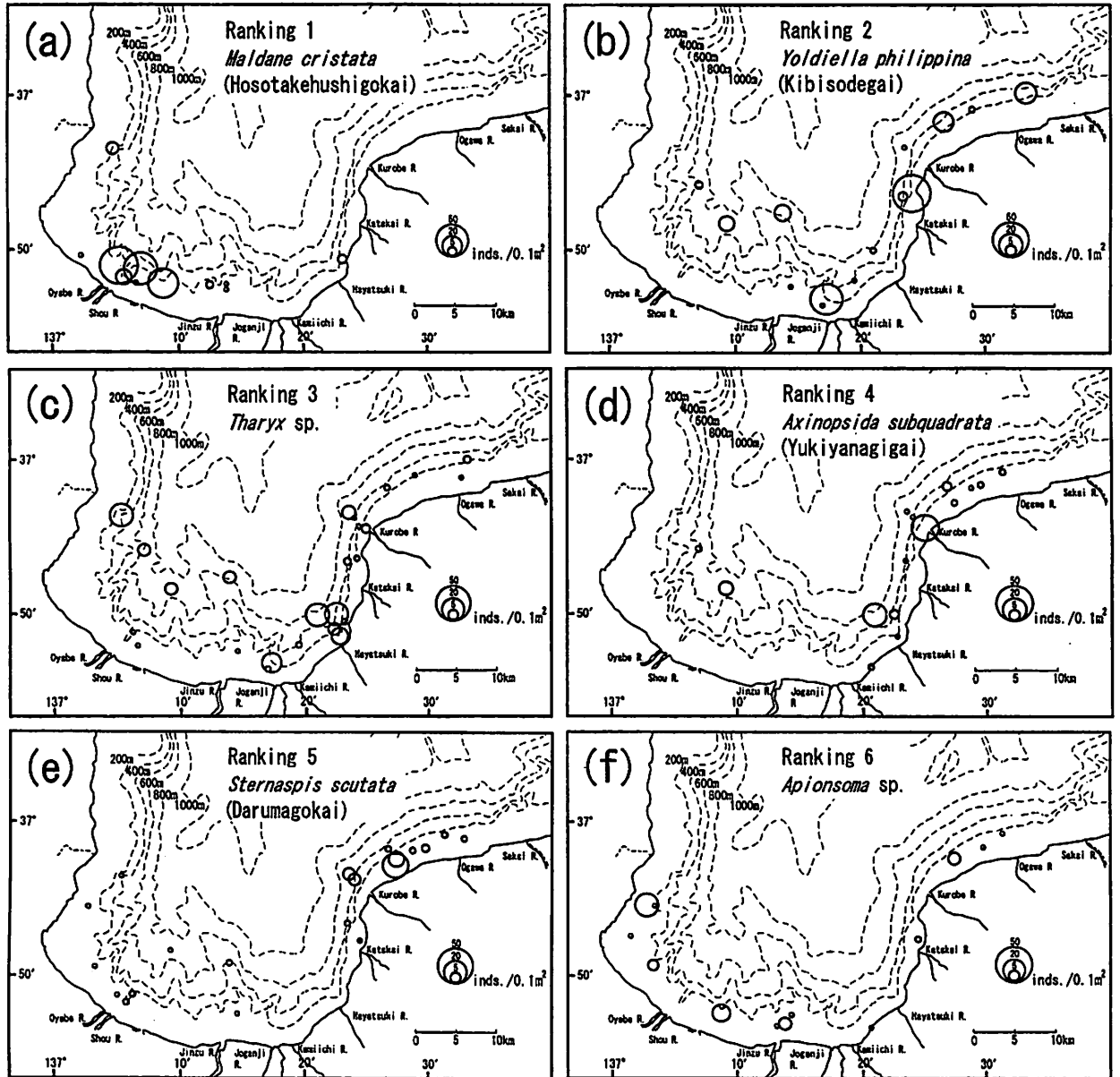


Fig. 5 Spatial distribution of the numerical densities of 10 dominant macrobenthic species in Toyama Bay. (a)*Maldane cristata*, (b)*Yoldiella philippina*, (c)*Tharyx* sp., (d)*Axinopsida subquadrata*, (e)*Sternaspis scutata*, (f)*Apionsoma* sp., (g)*Onuphis holobranchiata*, (h) *Laphania* sp., (i) *Neoheteromastus* sp., (j)*Nephtys oligobranchia*
 富山湾におけるマクロベントスの個体数優占種上位10種の分布 (a)ホソタケフシゴカイ, (b)キビスデガイ, (c)ミズヒキゴカイ科の一種, (d)ユキヤナギガイ, (e)ダルマゴカイ, (f)ホシムシ科の一種, (g)カナブツイソメ, (h)フサゴカイ科の一種, (i)イトゴカイ科の一種, (j)コノハシログネゴカイ

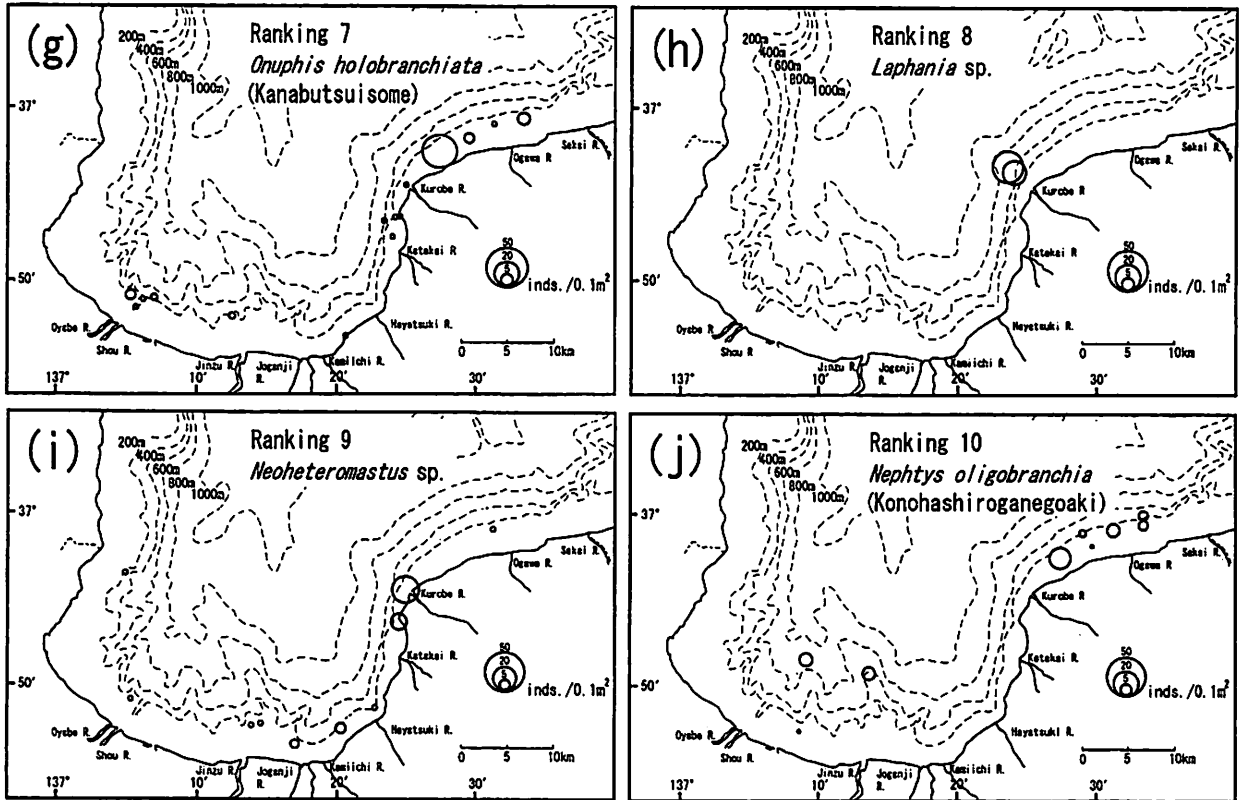


Fig. 5 (continued)

scutata は、富山湾に広く分布し、黒部川以東海域の Stn.46 (23個体/0.1m²) に多かった (Fig. 5(e))。ホシムシ科の一種 *Apionsoma* sp. は、水深200 m以浅の海域に広く分布した (Fig. 5(f))。カナブツイソメ *Onuphis holobranchiata* は、黒部川以東海域の Stn.47 (35個体/0.1m²) に多かった (Fig. 5(g))。フサゴカイ科の一種 *Laphania* sp. は、黒部川河口海域の Stn.44 (19個体/0.1m²)、Stn.45 (29個体/0.1m²) の2地点のみから採取された (Fig. 5(h))。イトゴカイ科の一種 *Neoheteromastus* sp. は、水深215 m以浅の海域に分布し、黒部川河口海域の Stn.42 (25個体/0.1m²) に多く出現した (Fig. 5(i))。コノハシロガネゴカイ *Nephtys oligobranchia* は、黒部川以東海域に多く出現した他、湾中央部の Stns. 58, 59及び湾奥部の Stn.18に出現した (Fig.5(j))。

マクロベントス群集構造 富山湾に出現したマクロベントスの群集構造をクラスター分析し、ユークリッド距離150で区分した結果、Stns.19, 17, 13, Stns.40, 28, Stn.47, Stn.42, Stn.5の各地点群とこれら8地点を除く49地点群の6グループに分かれた (Fig. 6)。Stns.19, 17, 13の3地点は、湾奥部海域の水深190~200 mに位置し、タケフシゴカイの生息密度が高いことが共通した (Fig. 5(a))。Stn.40, 28では、キビソデガイの生息密度が高いことが共通した (Fig. 5(b))。Stn.47は黒部川以東海域に位置し、カナブツイソメ35個体/0.1m² (Fig. 5(g)) 及びコノハシロガネゴカイ14個体/0.1m² (Fig. 5(j)) が多く出現した。Stn.42は黒部川河口直前の海域に位置し、ユキヤナギガイが27個体/0.1m² (Fig. 5(d)) 及びイトゴカイ科の一種が25個体/0.1m² (Fig. 5(i)) の生息密度で出現した。Stn.5は西部海域に位置し、スナクモヒトデ科の一種 *Amphiuridae* sp. が34個体/0.1m² 出現した。これら以外の49地点は大きな1グループに属した (Fig. 6)。

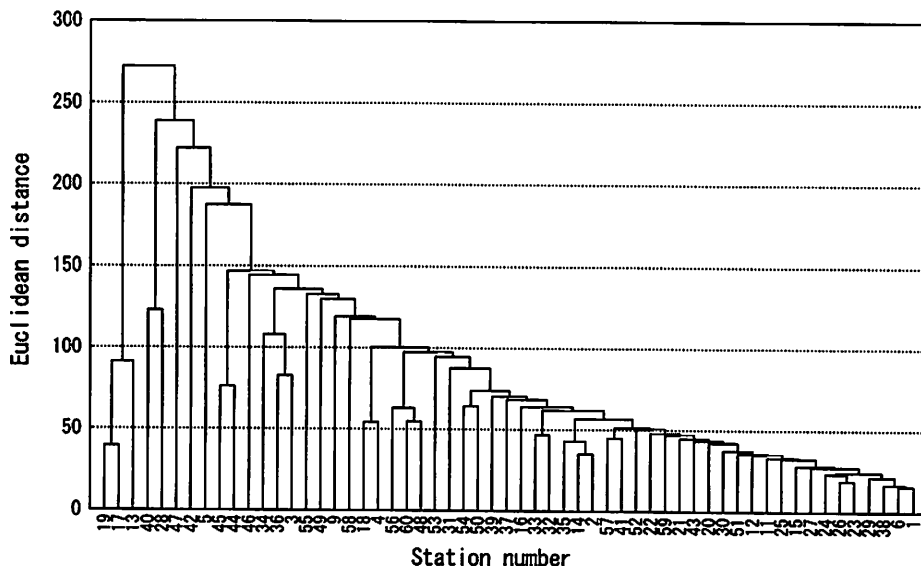


Fig. 6 Dendrogram of the Euclidean distances (UPGMA method) of macrobenthic species compositions collected in Toyama Bay.

富山湾におけるマクロベントス群集によって分類した定点間のデンドログラム

各地点において採取されたマクロベントスの種別個体数によってユークリッド距離を計算し、群平均法によって求めた。

考 察

富山湾の底質環境の特徴は、シルト・粘土率、強熱減量、硫化物量、CODともに神通川と小矢部川・庄川河口海域及び湾央部で数値が高く、東部と黒部川以東海域で低いことであった (Fig. 2)。富山湾に流入する全河川のうち、神通川と小矢部川から負荷されるCOD量は全体の5割を超えること (富山湾水質保全研究会 2001) や、富山県東部に流入する常願寺川と黒部川は急流河川のため土砂の供給量が多い (高橋 1986) ことが、富山湾の底質環境を特徴付ける大きな要因と考えられる。

底質環境と生物学的指数の関係については、シルト・粘土率や硫化物量が高い場所で種数が減少する傾向がみられた (Table 4)。マクロベントスの多様度指数では、西部海域 (Stns.7, 8, 10) と湾奥海域 (Stns.13, 14, 17, 19, 22) で多様度指数が低かった (Fig. 3(d))。特に、西部海域の3地点 (Stns.7, 8, 10) における硫化物量は、0.18 mg/g 乾泥以下で、富山湾の中では高い傾向にあり、同所においてマクロベントスは採取されなかった。横山ら (2002) は、海面養殖漁場において無生物状態を引き起こす硫化物量を1.7 mg/g 乾泥としたが、これらの地点ではその約1/10の濃度に過ぎない。また、西部海域には、大河川の流入や魚類養殖もなく汚濁負荷量が少ない海域である。西部海域の3地点では、今回行った底質分析項目からは環境の極端な悪化はみられず、マクロベントスの生息密度が低かった原因を特定できなかった。マクロベントスは、底質の浄化機能を有することから、この海域における環境浄化能力の衰えが危惧され、今後、この海域における底質とマクロベントスについて継続的に調査する必要がある。

富山湾に出現したマクロベントスのうち、動物分類群別の個体数組成では多毛類が全体の59%を占めた。若狭湾 (林・北野 1988)、相模湾 (Horikoshi 1970) 及び駿河湾 (Shirayama and Horikoshi 1982) においても、多毛類が占める割合が比較的高く、富山湾における多毛類の占める割合は、他の外洋性湾と同じ水準であった。富山湾で個体数が多く出現した多毛類のうち、ホソタケフシゴカイやカナブツイソメは、北海道及び東北、新潟においてカレイ類の重要な餌生物であることが報告されている (西川ら 2000, 西川・園田 2005) ことから、富山湾においても底生魚類や甲殻類の餌料となっていると考えられる。

富山湾を便宜的に5海域に区分したところ、底質環境項目は「西高東低」の分布 (Fig. 2) であったのに対し、マクロベントスの生息密度、生物量、種数は、「東高西低」の分布を示し (Fig. 3)、両者には逆の関係がみられた。一方、マクロベントスの種組成からみた群集構造では、60地点中49地点が1グループに属したことから、富山湾全域におけるマクロベントス群集は概ね均質に分布していると考えられ、海域には差はみられなかった (Fig. 6)。マクロベントス群集構造から、海域を区分することはできなかったが、一部の地点では特徴的な群集が存在した。すなわち、庄川・小矢部川河口海域 (Stn.13, 17, 19) ではホソタケフシゴカイが優占する群集がみられ、後述するように、この海域では1969年と比べ底質環境の改善がみられたものの、依然として小矢部川からの有機物負荷が多いこと (富山湾水質保全研究会 2001) が要因であろう。また、黒部川以東海域に位置する Stn.42及び Stn.47のマクロベントス群集は、それぞれ富山湾全域の群集と類似性が低く、黒部川河口海域の特性もしくは1991年以降黒部川で実施されているダム排砂 (日本水産資源保護協会 1993) との関連性も考えられる。

1969年6月10日～7月17日に水深9～700 mの97地点において実施された調査結果(北森 1971)と本研究の調査結果を比較した。なお、本研究は個体湿重量1 g以上のベントスを除外して集計したが、北森(1971)は、個体湿重量1 g以上のベントスを含んだ生息密度、生物量、種数を集計しており、Table 6には個体湿重量1 g以上のベントスを含めた集計結果を示した。生物量と種数の平均値について1969年と2001年を比較した結果、有意な差は認められなかった(いずれも t -test, $p > 0.05$)。一方、生息密度の平均値では有意な差が認められ(t -test, $p < 0.01$)、2001年調査時の生息密度は1969年の約1/3に大きく減少していた。1969年には、多毛類のイトゴカイ科の一種 *Notomastus* sp., ミズヒキゴカイ科の一種 *Cirratulus* sp., *Cheatozone* sp.及び軟体動物のハナシガイ *Thyasira tokunagai* が、200個体/0.1 m²を超える比較的高い生息密度で確認されていた。しかし、2001年調査時においては、これら4種の生物群は3個体/0.1 m²以下の生息密度でしか確認されず、生息密度が低下した主な要因であった。堤(2003)は、有機物負荷量の少ない健全な海底では、多様な底生生物が生息するが、有機物負荷量の増大に伴い生息密度は増大し、多毛類を主体とする群集に変化し、さらに負荷量が増大すると小型多毛類だけが卓越する単純な群集構造となるとしている。また、Pearson and Rosenberg(1976)は、底生生物と底質の変化を正常域、移行域、汚染域、重汚染域の4段階に分類し、移行域に出現する典型的な底生生物として *Cheatozone* 属と *Thyasira* 属を挙げている。1969年調査時においては、*Cheatozone* 属と *Thyasira* 属が確認されており、移行域に該当する海域が存在していたが、2001年調査時にはこれらの生息密度が大きく減少したことから、移行域に該当する海域が減少したと考えられる。1969年調査時では、富山湾内の数地点において硫化物量が0.2 mg/g 乾泥を超えており、特に湾奥部の小矢部川・庄川河口海域において顕著であった(富山県水産試験場 1978, 川崎 1985)。しかし、2001年調査時には富山湾全域で0.2 mg/g 乾泥を超える地点がなくなった。マクロベントスの種組成の変化や生息密度が減少したこと及び硫化物量が減少したことから判断すると、2001年の底質環境は1969年と比較して改善したと考えられた。

Table 6 Comparison of macrobenthos quantities with a previous survey in Toyama Bay.
富山湾において過去に行われた調査とのマクロベントスの量的比較

Source	Density (ind./0.1 m ²)		Biomass (g wet/0.1 m ²)		No. of species (species/0.1 m ²)	
	Range	Average ± SD	Range	Average ± SD	Range	Average ± SD
Present study ¹⁾	0- 125	38.8 ± 30.5	0-171.3	13.8 ± 24.8	0-49	14.7 ± 10.2
Kitamori (1971) ²⁾	0-1,048	109 ± 159	0-156.4	15.4 ± 25.2	0-44	15.9 ± 9.8

¹⁾ Present study was conducted from 14 to 18 May, 2001 at 60 stations.

²⁾ Kitamori (1971) was conducted from 10 June to 17 July, 1969 at 97 stations.

These values include specimens with more than 1 g wet weight.

¹⁾ この調査は、2001年5月14～18日にかけて60地点において実施された。

²⁾ 北森(1971)の調査は、1969年6月10～7月17日にかけて97地点において実施された。

これらの数値は、個体湿重量1 gを超える標本を含んだ値である。

本研究によって、2001年における富山湾の底質環境は、1969年と比較して改善が認められ、特に湾奥部の小矢部川・庄川河口海域の改善が顕著であった。一方、西部海域の3地点においてマクロベントスの生息密度が極端に少ない地点が確認されたことや黒部川河口海域の2地点で富山湾全域の群集構造とは類似性の低いマクロベントス群集が確認された。今後、これらの原因を究明し、富山湾の底質環境を総合的に把握することが必要であろう。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、富山県水産試験場の栽培・深層水課の方々、漁業調査船「立山丸」、栽培漁業調査船「はやつき」の乗組員、芙蓉海洋開発株式会社の方々にご協力いただきました。日本海洋生物研究所 Suzanne Zielinski 博士には英文を、独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所横山寿博士には本論文の御校閲を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 青山裕晃・鈴木輝明 1997. 干潟上におけるマクロベントス群集による有機汚濁物除去速度の現場測定. 水産海洋研究, **61**: 265-274.
- 藤井昭二 1985. 富山湾 I 地質 pp.981-989, 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編). 東海大学出版会, 東京.
- 林 勇夫・北野 裕 1988. 若狭湾主湾部のマクロベントス群集 - I. 春季相. 日本海区水産研究所報告, **38**: 133-158.
- 堀江 毅・吉村廣三 1986. COD pp.61-63, 沿岸環境調査マニュアル [底質・生物篇] (日本海洋学会編). 恒星社厚生閣, 東京.
- Horikoshi, M. 1970. Quantitative studies on the smaller macrobenthos inhabiting various topographical environments around the Sagami Bank in the deep-sea system of Sagami Bay. Journal of Oceanographical Society of Japan, **26**:159-182.
- 川崎賢一 1985. 富山湾 III 化学 pp.1001-1008, 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編). 東海大学出版会, 東京.
- 北森良之介 1971. 底生動物からみた浚渫泥の分布と港内環境について pp.140-171, 昭和44年度富山湾海底谷調査, 富山県水産試験場.
- 松本英二 1986. 粒度分析 pp.31-34, 沿岸環境調査マニュアル [底質・生物篇] (日本海洋学会編). 恒星社厚生閣, 東京.
- 日本水産資源保護協会 1980. 新編水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 543pp.
- 日本水産資源保護協会 1993. 黒部川出し平ダム排砂に伴う漁業環境影響調査委託業務報告書, 568pp.
- 日本水産資源保護協会 2000. 水産用水基準 (2000年版), 96pp.
- 西川 潤・園田 武・櫻井 泉・瀬戸雅文・中尾 繁 2000. 苫小牧沿岸における底生魚類群集の食性とマクロベントス. 日本水産学会誌, **66**: 33-43.

- 西川 潤・園田 武 2005. 底生魚類の餌生物としてのベントス pp.32-48, ベントスと漁業 (林勇夫・中尾繁編). 恒星社厚生閣, 東京.
- Pearson, T. H. and R. Rosenberg 1976. A comparative study of the effects on the marine environment of wastes from cellulose industries in Scotland and Sweden. *Ambio*, 5:77-79.
- Pielou, E. C. 1969. An introduction to mathematical ecology. Wiley Interscience, New York, 286pp.
- 佐藤善徳・捧 一夫・木全裕昭 1987. 浅海の底質の強熱減量測定法の改善. 東海区水産研究所報告, 123:1-13.
- Shirayama, Y. and M. Horikoshi 1982. Vertical distribution of smaller macrobenthos and larger meiobenthos in the sediment profile in the deep-sea system of Suruga Bay (Central Japan). *Journal of Oceanographical Society of Japan*, 38: 273-280.
- 鈴木輝明・青山裕晃・畑 恭子 1996. 干潟における生物機能の効率化 pp.109-134, 生物機能による環境修復 (石田祐三郎・日野明德編). 恒星社厚生閣, 東京.
- 高橋 裕 1986. 中部・近畿の川 pp.107-157, 日本の川. 岩波書店, 東京.
- 堤 裕昭 2003. 富栄養化による環境攪乱 pp.407-444, 海洋ベントスの生態学 (日本ベントス学会編). 東海大学出版会, 神奈川.
- 富山県水産試験場 1975. 伏木外港建設に伴う漁業関係調査報告書. 173pp.
- 富山県水産試験場 1978. 富山市日方江・浜黒崎地先中小河川水拡散調査報告書. 87pp.
- 富山湾水質保全研究会 2001. 平成12年度富山湾水質保全研究会報告書－富山湾の水質汚濁について－. pp.3-37-3-43.
- 内山 勇 1997. 湾を満たす水の性質 pp.88-91, 富山湾 神秘性とロマンの宝庫 (藤井昭二編). 振興出版社, 東京.
- 横山 寿・西村昭史・井上美佐 2002. 熊野灘沿岸の魚類養殖におけるマクロベントス群集と堆積物に及ぼす養殖活動と地形の影響. *水産海洋研究*, 66: 133-141.