

厚岸湖・厚岸湾における底生有孔虫（原生生物）の生態学的研究

北海道教育大学教育学部岩見沢校* 高田裕行

*現所属：島根大学総合理工学部地球資源環境学科

1. はじめに

底生有孔虫化石は、古環境に復元するのに有用な指標とされ、これまでに数多くの研究がおこなわれている。底生有孔虫を用いた古環境解析は、外洋域での環境変動の研究に成果をあげているが、浅海域における堆積環境の検討にも貢献している。さらに近年、底生有孔虫は沿岸環境の人為的改変を評価する指標としても、着目されている。

人為的にもたらされる沿岸環境改変のひとつに、有機物負荷がある。これは、沿岸域に生息する有孔虫の分布を左右する主要な要因のひとつとされている。このような有機物に富む環境は餌が多い反面、有機物の分解によって貧酸素的になりやすい。そうした条件では、貧酸素状態に耐性のある特定の膠着質種が卓越することが多い。しかし一方、有機物に富む環境で逆に外洋域で、普遍的な石灰質種である一部の *Elphidium* 属が、卓越するという報告例も散見される。筆者は北海道東部のサロマ湖で *Elphidium excavatum* が、主要な 2 河川の河口沖の有機物に富む環境で多産するのを見出し、本種が河口沖の泥質で有機物にとむ環境を好むものと解釈した (Takata *et al.*, in prep.). しかし、その詳細は、サロマ湖での河口周辺の調査地点が少なかったこともあり、十分に検討できたとは言いがたい。

そこで、筆者は北海道南東部の厚岸湾に着目した。厚岸湾周辺は、汽水湖（厚岸湖）、塩水湿地（別寒辺牛湿原）、外洋域（北西太平洋）といった一連の沿岸環境がある。厚岸湾の東側では、別寒辺牛川河口域と厚岸湖で生産された有機物の運搬によって、有機物に富む底質が形成されている。厚岸湾では *E. excavatum* が産出することが報告されており (Morishima and Chiji, 1954)、同種が有機物に富む環境にどのように適応しているかを、環境の側方変化に着目して、検討するのに適した研究地域であると言える。

さらに、厚岸周辺は日本列島沿岸域で、もっとも寒冷的な気象条件下にある。こうした寒冷的な海洋気候を反映して、北海道南東部の太平洋岸浅海帯では、寒冷性種からなる底生有孔虫群が分布することが知られている（たとえば、長谷川, 1993）。しかしながら、同地域の内湾水域における底生有孔虫に関する研究は、1950年代に厚岸湖・湾で Morishima and Chiji (1954) によって行われたのみである。

本研究では、厚岸湾 9 地点における底生有孔虫の産状を検討し、寒冷な内湾水域における底生有孔虫群の特徴および *E. excavatum* と有機物量との関係について、明らかにすることを目的とした。

2. 研究地域

厚岸湾は北海道南部に位置し、北西太平洋に面した内湾である。この湾は南部で太平洋と、北東部で汽水湖である厚岸湖と、それぞれつながっている。主要な河川として、別寒辺牛川と尾幌川があり、それぞれ、湾北東部に隣接する厚岸湖北西部と湾西部に注いでいる。厚岸湾の最大水深は、南部の湾口部付近で約 30m である。底層水の塩分は、本調査時でおおよそ 32psu であった (図 2)。底層水は基本的に溶存酸素量に富むが、夏季に湾南東部で停滞しやすく、その結果、底層水の溶存酸素量は 5mg/l 程度にまで、低下する (向井, 1997MS)。

湾内の底質は、概して細粒～粗粒砂からなる。しかし、湾東側の底質は有機物にとむ泥～泥質極細粒砂からなる。これは別寒辺牛川より運搬される細粒な陸源砕屑物と別寒辺牛川河口域～厚岸湖で生産された植物プランクトン、藻類、海草などに由来する有機物が堆積することによると考えられる。

3. 研究方法

野外調査は、2001 年の 10 月 1-6 日にかけて、厚岸湾と厚岸湖でおこなった。しかし、荒天のため、調査ができたのは 10 月 4, 5 日の厚岸湾 9 地点と厚岸湖 3 地点のみである。厚岸湾での試料採取は、厚岸湖湖口から太平洋へ向かう側線に沿う 7 地点 (01AK02, 04, 07, 15, 19, 22, 25) と、湾南東部と南西部 2 地点 (01AK20, 24) で、おこなった (図 1, 表 1)。表層堆積物はスミスマッキンタイア一式採泥器を用いて採取し、表層 1-2 cm を分取した。また、その際、アクリルパイプ (内径 34mm) を堆積物へ垂直にさし、柱状試料を 1-2 本採取した。なお、01AK22 では堆積物が軟質で、スミスマッキンタイア一式採泥器では表層付近が擾乱された状態で採取されたため、この地点のみ、フレーガー式柱状試料採泥器を用いて、柱状試料を採取した。これら柱状試料のうち表層より 2 cm を、現存量・殻サイズ組成検討用として分取した。なお、試料採取時に、海底直上 (海底より約 1-2m 上部) における底層水の水温・塩分も測定した。

採取した試料のうち、表層 1-2 cm より採取した試料は、室内にて粒度、有機物、有孔虫 (群集解析検討用) 分析用の 3 つに分割した。これらは試料分割後、ただちに湿潤重量を秤量した。このうち、有機物分析用の試料のみ乾燥させて乾燥重量を測定し、各地点ごとの含水率をもとめた。それらにもとづいて粒度分析・有孔虫分析用試料の乾燥重量を求めた。

粒度分析および有機物元素分析は、島根大学総合理工学部地球資源環境学科の瀬戸浩二博士にご指導いただき、同学科の島津製作所製レーザ回折式粒度分

布測定装置 SLAD-3000S および FISIONS 社製 CHNS 元素分析計 EA1108 を用いておこなった。

有孔虫分析用試料は群集解析検討用と現存量・殻サイズ組成検討用とも、尾田（1978）によるローズベンガル染色法にもとづき、以下の手順で生体染色を施した：

試料を開口径 $63\mu\text{m}$ のふるいにて水洗し、0.5%ローズベンガル染色液を添加して 24 時間染色した。次に、これらの試料を温水で洗浄して、余剰なローズベンガル染色液を除去した。これらをろ紙で回収し、 40°C に設定した恒温乾燥器で乾燥させた。

群集解析検討用試料を、底生有孔虫が 200-300 個体程度になるように試料分割器で適宜分割し、それらから底生有孔虫を実体顕微鏡下ですべて拾い出した。それらの底生有孔虫を同定し、各種の産出頻度を算出した。さらに、現存量・殻サイズ組成検討用試料より *Elphidium excavatum* のみを拾い出し、実体顕微鏡下で接眼マイクロメーターを用いて、殻径を計測した。

3. 結果と考察

(1) 粒度組成・有機物

各試料に関して、平均粒径・含泥率を図 2 に、粒径分布を図 4 に、それぞれ示す。粒径分布はおおむねユニモーダルな形状を取る。一方、01AK24 のみは広範に広がった粒径分布を示すが、この地点の堆積物に貝殻片などの陸源碎屑物以外の粗粒粒子が含まれるためと考えられる。平均粒径は、湾奥の 01AK02, 04 と湾南東部の 01AK20 でやや大きいものの、その他の地点では $63\mu\text{m}$ 以下の泥サイズの値を示す。含泥率も 01AK07, 15, 19, 22, 24, 25 で高く、平均粒径の傾向とおおむね調和的である。こうした結果は、別寒辺牛川よりもたらされた細粒堆積物が、測線沿いの湾央部～湾口部で堆積することを反映していると思われる。

表層堆積物中の有機炭素量と全硫黄量を図 3 に示す。有機炭素量は、湾央～湾口部付近で高い傾向がある。一方、全硫黄量も似通った傾向を示す。また、01AK24 で有機炭素量が高いのは、この地点で夏季に底層水が若干、貧酸素的になることを反映していると思われる。

(2) 冷水域の内湾性群集

検討した結果、底生有孔虫 26 属 41 種を認めた (表 2)。 *Buccella tenerrima*, *Elphidium excavatum* forma excavata, *E. excavatum* forma clavata, *Haynesina* sp.A, *Buliminella elegantissima* が普遍的に産出する (図 5)。 *B. tenerrima* が湾奥部で多いのに対して、 *Haynesina* sp.A が湾央～湾口部にかけて多産する傾向があるが、その他の種は、地点間で産出傾向に明瞭な違いは認められない。

B. tenerrima, *E. excavatum* は、北海道道東沿岸域の太平洋、オホーツク海の浅海帯で普遍的に産出する種である (Ishiwada, 1964 ; 桑野, 1953 ; 1954 ; 高田ほか, 準備中)。 それらに加えて、内湾域で普遍的な *Eggerelloides advena*, *Ammonia japonica* も産出するが (表 2), Matoba (1970) や小杉ほか (1991) の内湾水域における研究にもとづく、むしろ湾口部を特徴づける種が多い。このことは、厚岸湾が湾奥でも塩分も高いことに反映しているためと思われる。

一方、本地域で *Haynesina* sp.A が、普遍的に産出するのが着目される。本種の本州以南の汽水～内湾水域での報告例は少ないが、北海道東部のサロマ湖・能取湖では同種が湖心部の有機物に富む環境で卓越する (Takata *et al.*, in prep.)。これらのことから、同種の多産は寒冷な内湾水域で特徴的なものであることが示唆される。

また、 *Bolivina decussata* は、津軽海峡以南の日本海 (水深 220-720m (的場・本間, 1986)) や三陸沖 (水深 300-550m (海保・長谷川, 1986)) で、漸深海帯

に産出するとされるが、本水域では水深 30m 以浅であるにもかかわらず、産出している点も着目される (表 2)。通常、漸深海帯に生息する種が、より寒冷な海域で浅海帯でも産出する例はこれまでも指摘されている (長谷川, 1993)。今後、本地域において *B. decussata* の産出傾向を検討することで、地域間で生息水深が異なる事象についてその特徴を明らかにし、古環境解析にさらに有用な情報を得ることができると思われる。

(3) *Elphidium. excavatum* の産出傾向と有機物量との関係

E. excavatum の生体群と全体群 (生体群+遺骸群) の堆積物単位体積あたりの産出個体数を図 6 に示す。生体群、全体群ともに、湾央部~湾口部で高い傾向がある。測線沿いの地点における生体の個体数は、湾奥部で低く、湾央部から湾口部で多い。一方、測線以外の地点である 01AK20 と 24 では、測線沿いの 01AK19 や 22 とほぼ同じ水深にも関わらず、産出個体数は少ない。このように、*E. excavatum* の生体は、河口の延長沿いの泥質でより有機物に富む地点で、多産する傾向が認められる。このことは、本種が厚岸湾においても、サロマ湖と同様に、河口沖の泥質で有機物にとむ環境を好むことを示唆している。

E. excavatum の生体の殻径については、検討した個体数が現時点で十分とは言えないが、ほぼすべての地点で小型の個体 (100-300 μ m) が卓越する (図 7)。一方、遺骸群の殻サイズは、湾奥部~湾央部と 01AK20 と 01AK24 で幅広いサイズ組成を示すが、湾口部の 01AK22 と 25 では大型の個体に乏しい (図 8)。このように *E. excavatum* の生体のサイズ組成は地点によらず、おおむね一様であるにも関わらず、遺骸については、湾口部付近 (01AK22,25) で大型個体が少ないかほとんど認められないことが明らかになった。

遺骸殻は調査時に生息していた個体群だけでなく、ある程度期間 (数~数 100 年程度) を平均化した殻組成をみていると考えられ、その地点における個体群の特徴を反映していると思われる。遺骸殻のサイズが死亡あるいは生殖時の体サイズを反映すると仮定すれば、生体群と遺骸群の間で相違がみられる理由として、以下の 3 つが考えられる: 1) 死後に有孔虫殻が運搬され、大型個体が減少した, 2) 成長量が少なく、大型化しない, 3) 体サイズがより小さい段階で生殖する。

1) の可能性については、碎屑物の粒度組成で、01AK22, 25 と 01AK07, 15, 19 の顕著な違いが認められない。また、粒径分布と殻径の分布の間で、最頻値の側方変化も一致しない。よって、湾口部付近で大型個体に乏しい理由として、1) 殻の運搬のみではなく、2) 成長量の少なさ、あるいは 3) 体サイズがより小さい状態での生殖が、推定される。この点については、今後、さらなる検討が必要である。

5. 結論

厚岸湾 9 地点において、底生有孔虫群について検討した結果、以下のことが明らかになった；

(1) 本地域の底生有孔虫群は、内湾性種の産出も認められるものの、外洋性種が多く産出する。これは厚岸湾が湾奥でも塩分が高いことを反映していると思われる。一方で、*Haynesina sp.A* が多産するが、この種の普遍的な産出は、寒冷水域に特徴的なものと推定される。

(2) *Elphidium excavatum* は、河口の延長沿いの泥質で有機物に富む地域において多産する傾向がある。また、湾口部では *E. excavatum* の大型個体が、湾奥～湾央部と比べて乏しいことが明らかになった。この理由として、成長量が少ない、あるいは体サイズがより小さい状態で生殖することが、考えられる。

謝辞

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター 水圏ステーション 厚岸臨海実験所所長の向井宏教授および実験所職員の方々には、調査をおこなうにあたり、多大なご助力をいただいた。また、島根大学教育学部の野村律夫教授には、底生有孔虫の分類に関してご意見いただき、走査型電子顕微鏡写真の撮影にご助力いただいた。同大学総合理工学部の瀬戸浩二博士には、粒度分析、有機物分析について、ご指導いただいた。北海道大学大学院地球環境科学研究科の南川雅男教授、中島陽司氏には、水質測定の準備と採水器の貸与に便宜を図っていただいた。東北大学大学院理学研究科の尾田太良教授、林広樹博士と熊本大学理学部の長谷川四郎教授、同大学理学研究科の吉本直一氏には、フレーガー式柱状採泥器とその付属品を貸与いただいた。北海道教育大学教育学部岩見沢校の能條歩助教授には、調査計画について議論していただいた。厚岸水鳥観察館の職員の方々には、本助成金の手続きや宿泊に際し、お世話いただいた。以上の方々には心より、お礼申し上げます。

Faunal reference list

- Ammonia beccarii* forma 2 = *Ammonia beccarii* (Linne) forma 2 Matoba, 1970
Ammonia japonica = *Rotalia japonica* Hada, 1931
Ammotium cassis = *Lituola cassis* Parker, 1870
Bolivina decussata = *Bolivina decussata* Brady, 1881
Bolivina cf. pseudoplicata = Cf. *Bolivina pseudo-plicata* Heron-Allen and Earland, 1930
Bolivina cf. robusta = Cf. *Bolivina robusta* Brady, 1881
Bolivina cf. tokiokai = Cf. *Bolivina tokiokai* Uchio, 1962
Buccella tenerrima = *Rotalia tenerrima*, Bandy, 1950
Buccella? makiyamae = *Bucella makiyamai* Chiji, 1961
Buliminella elegantissima = *Bulimina elegantissima* d'Orbigny, 1839
Cassidulina norvangi = *Cassidulina islandica* var. *norvangi* Thalmann, 1952
Cibicides cf. lobatulus = Cf. *Nautilus lobatulus* Walker and Jacob, 1798,
Criboelphidium oregonense = *Elphidium oregonense* Cushman and Grant, 1927
Eggerelloides advena = *Verneuilina advena* Cushman, 1922
Elphidium advenum = *Polystomella advena* Cushman, 1922
Elphidium excavatum forma *clavata* = *Elphidium incertum* (Williamson) var. *clavatum* Cushman, 1930
Elphidium excavatum forma *excavata* = *Polystomella excavata* Terquem, 1876
Elphidium kushiroense = *Elphidium kushiroense* Asano, 1938
Elphidium subarcticum = *Elphidium subarcticum* Cushman, 1944
Fissurina annectense = *Lagena annectens* Burrows and Holland, 1895
Fissurina cucurbitacema = *Fissurina cucurbitasema* Loeblich and Tappan, 1953
Hanzawaia nipponica = *Hanzawaia nipponica* Asano, 1944
Haplophragmoides? canariensis = *Nonionina canariensis* d'Orbigny, 1839
Haynesina sp.A = *Haynesina* sp. Kosugi *et al.*, 1992
Nonionella stella = *Nonionella miocenica* Cushman var. *stella* Cushman and Moyer, 1930
Pseudononion japonicum = *Pseudononion japonicum* Asano, 1936
Pseudononion sp.
Pseudoparrella takayanagii = *Epistominella takayanagii* Iwasa, 1955
Pseudoparrella sp.
Quinqueloculina seminulum = *Serpula seminulum* Linne, 1758
Tiphotrocha kelletae = *Trochammina kelletae* Thalmann, 1932

Trochammina cf. pacifica = Cf. *Trochammina pacifica* Cushman, 1925

引用文献

- 長谷川四郎, 1993, 底生有孔虫からみた日本の周辺海域の水温分布 — 新生代海洋構造の解明に向けて —. *化石*, (55), 17-33.
- Ishiwada, Y., 1964, Benthic foraminifera off the Pacific coast of Japan referred to biostratigraphy of the Kazusa Group. *Geol. Survey Japan, Rep.*, (205), 1-45.
- 海保邦夫・長谷川四郎, 1986, 福島県小名浜沖底質堆積物中の底生有孔虫の深度分布. 的場保望・加藤道雄 (編) *新生代底生有孔虫の研究*, 秋田大学鉱山学部, 43-52.
- 小杉正人・片岡久子・長谷川四郎, 1991, 内湾域における有孔虫の環境指標種群の設定とその古環境復元への適用. *化石*, (50), 37-55.
- 桑野幸夫, 1953. 日本近海の現世有孔虫類の研究 I. オホーツク海南部の有孔虫遺骸群集 (1). *資源科学研究所彙報*, (32), 71-83
- 尾田太良, 1978, 試料処理と標本の作製. 高柳洋吉 (編) *微化石研究マニュアル*, 朝倉書店, 33-47.
- Matoba, 1970, Distribution of recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, Northeastern Japan. *Tohoku Univ., Sci. Rep., 2nd ser. (Geol)*, 42, 4-85.
- 的場保望・本間登, 1986, 福島県小名浜沖底質堆積物中の底生有孔虫の深度分布. 的場保望・加藤道雄 (編) *新生代底生有孔虫の研究*, 秋田大学鉱山学部, 53-77.
- Morishima, M. and Chiji, M., 1952, Foraminifera; thanatocoenoses of Akkeshi Bay and its vicinity. *Univ. Kyoto, Coll. Sci., Mem., ser. B*, 22 (2), 213-222.

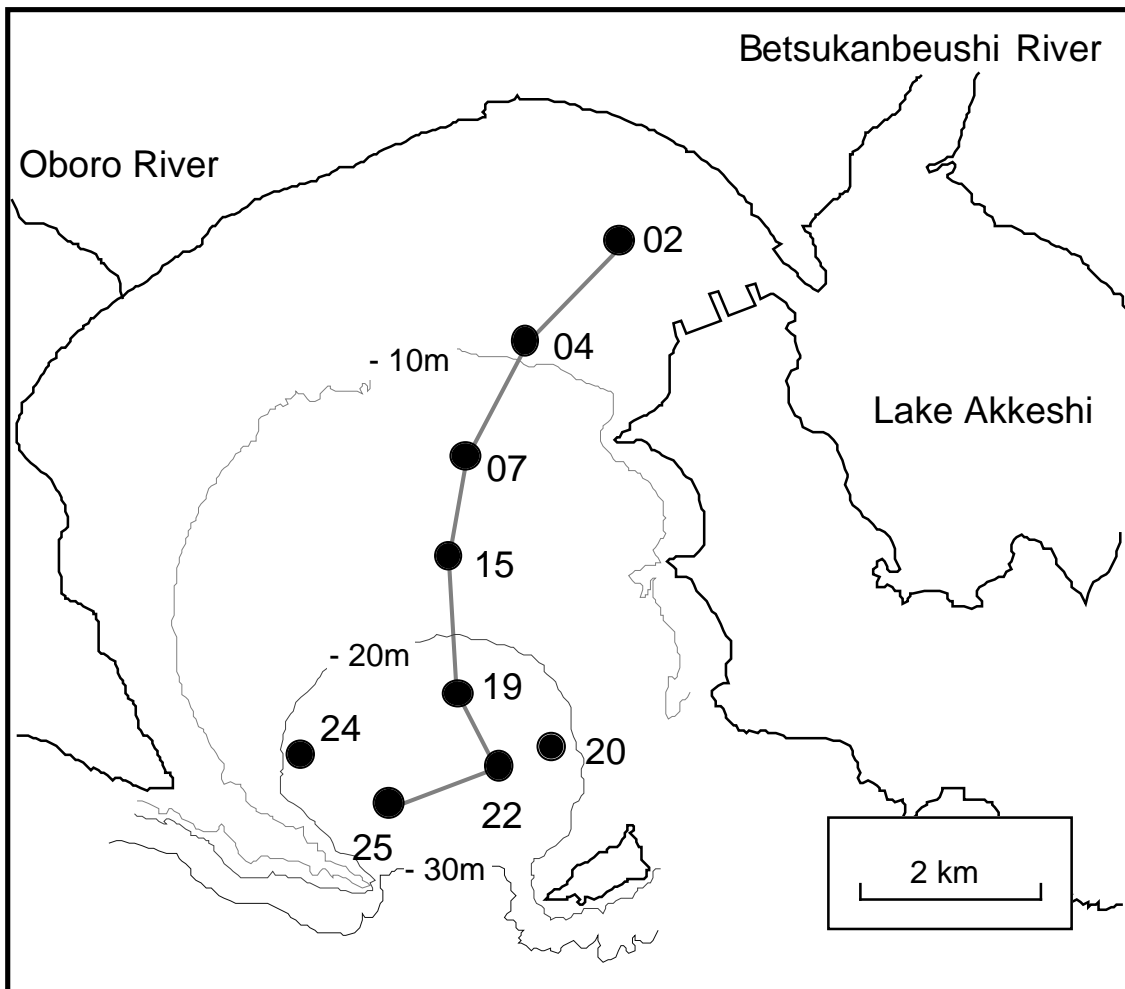
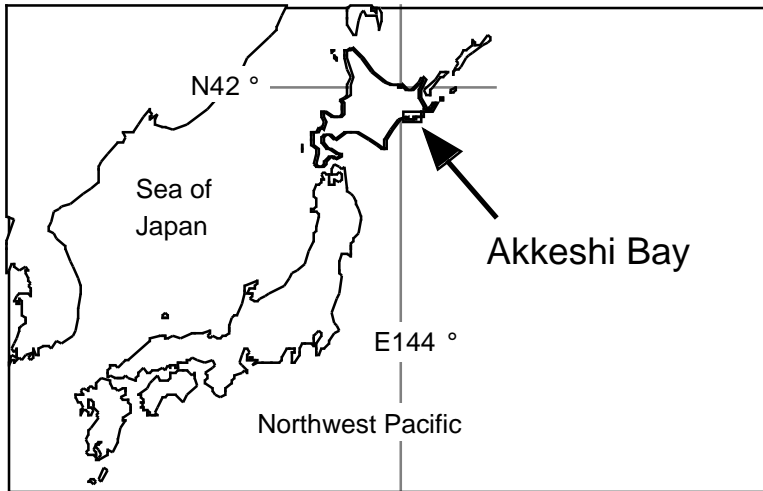


図1 試料採取地点 .

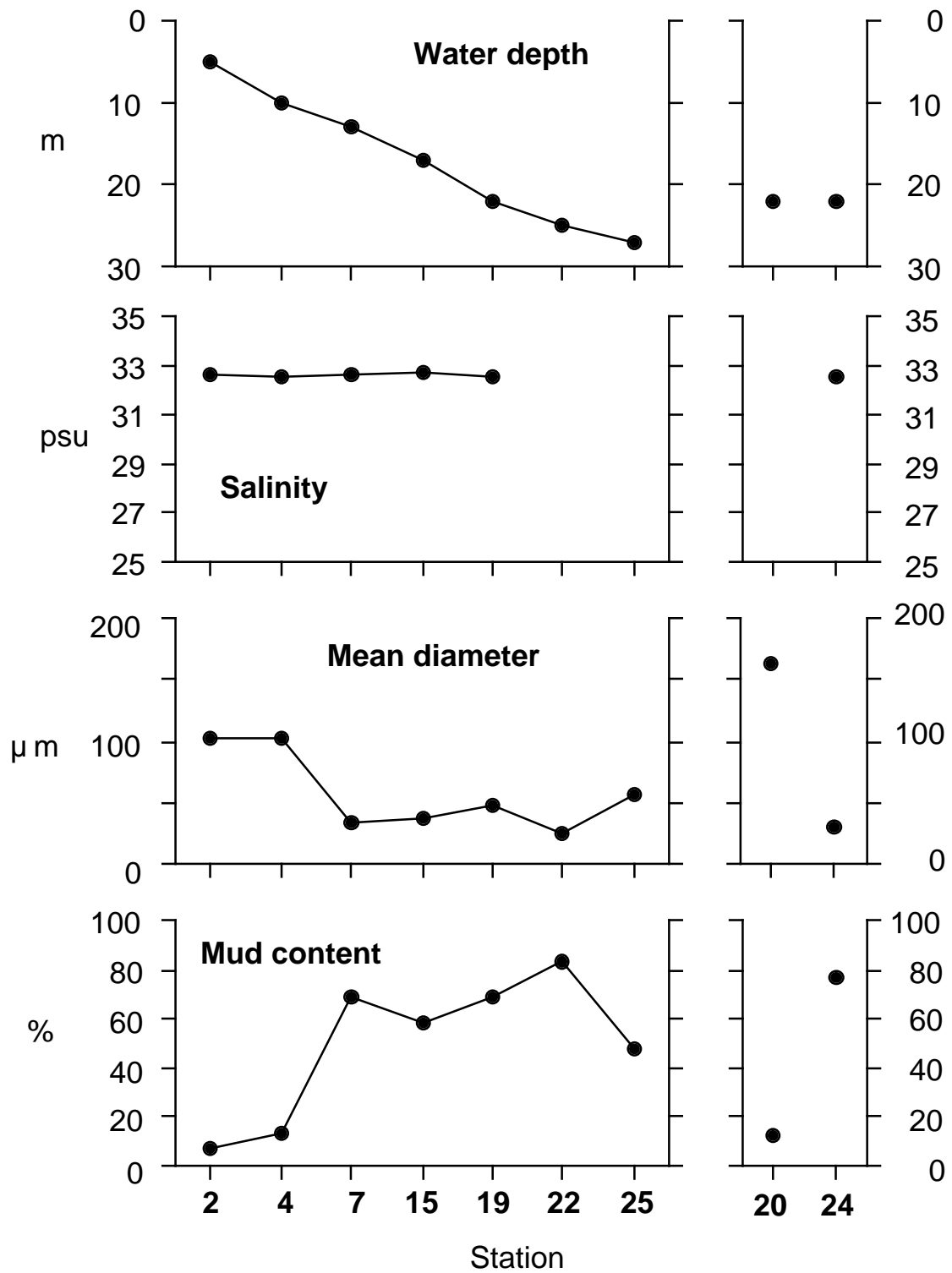


図2 試料採取地点における水深，塩分，平均粒径，含泥率．

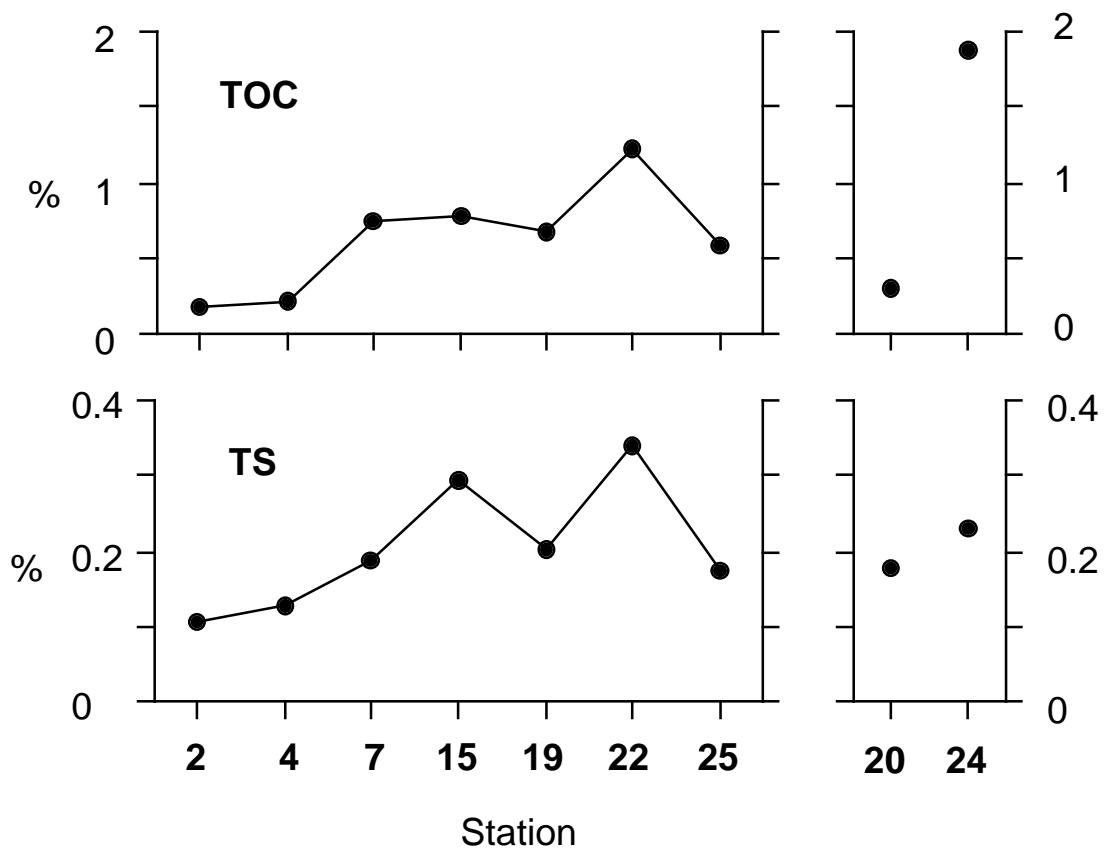


図3 試料採取地点における表層堆積物の有機炭素量，全硫黄量．

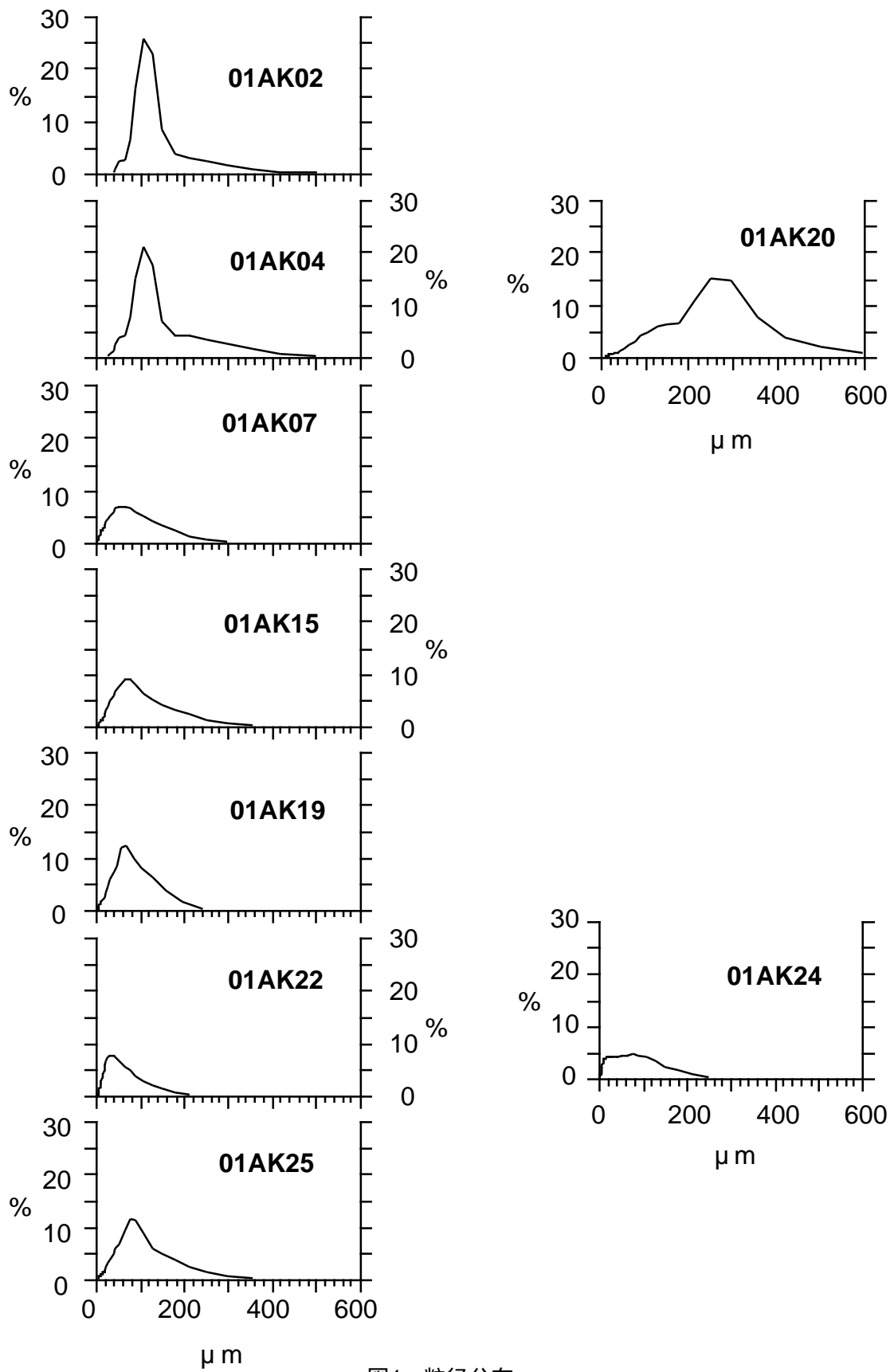


图4 粒径分布 .

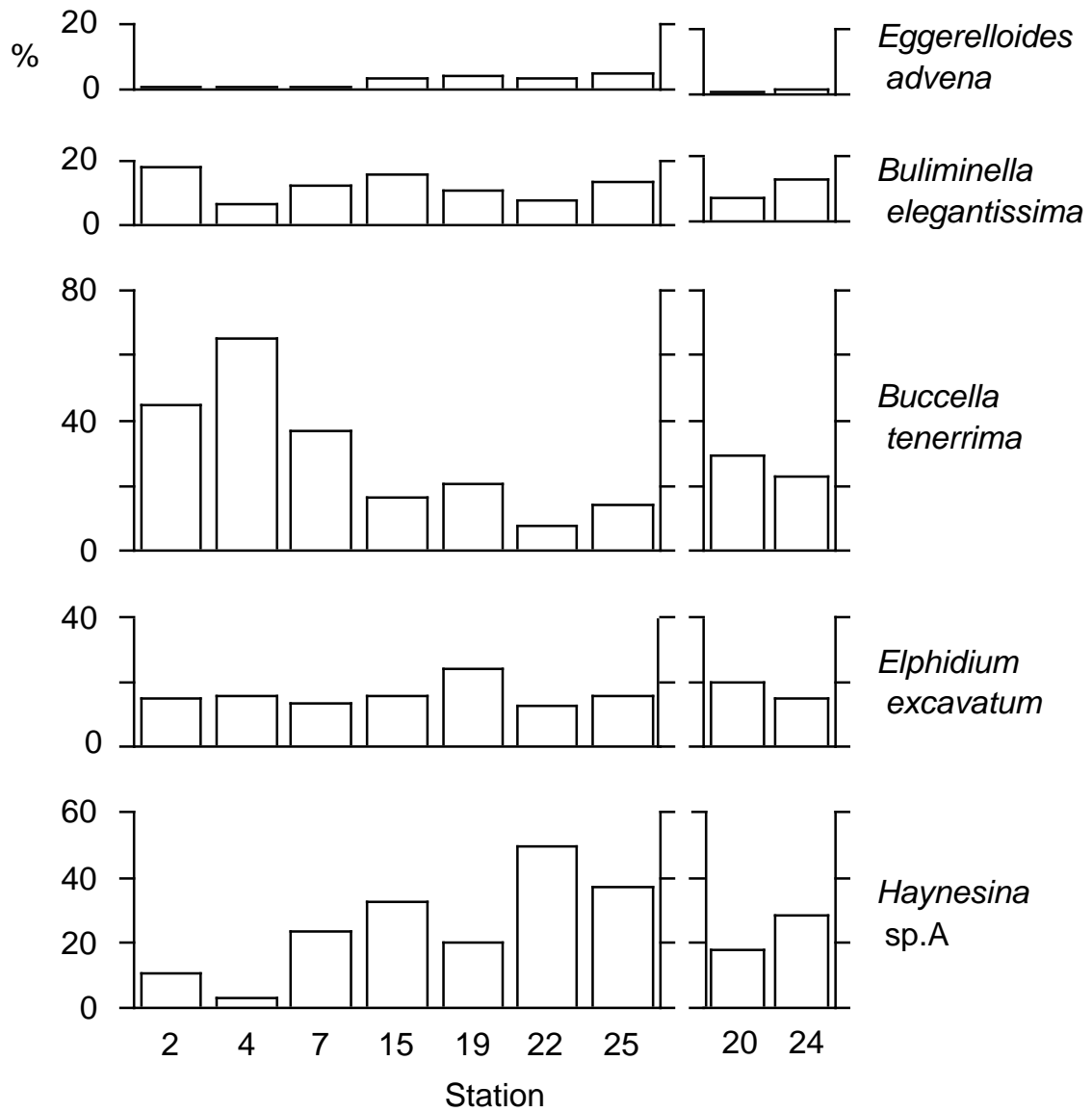


図5 底生有孔虫全体（生体+遺骸）群の産出頻

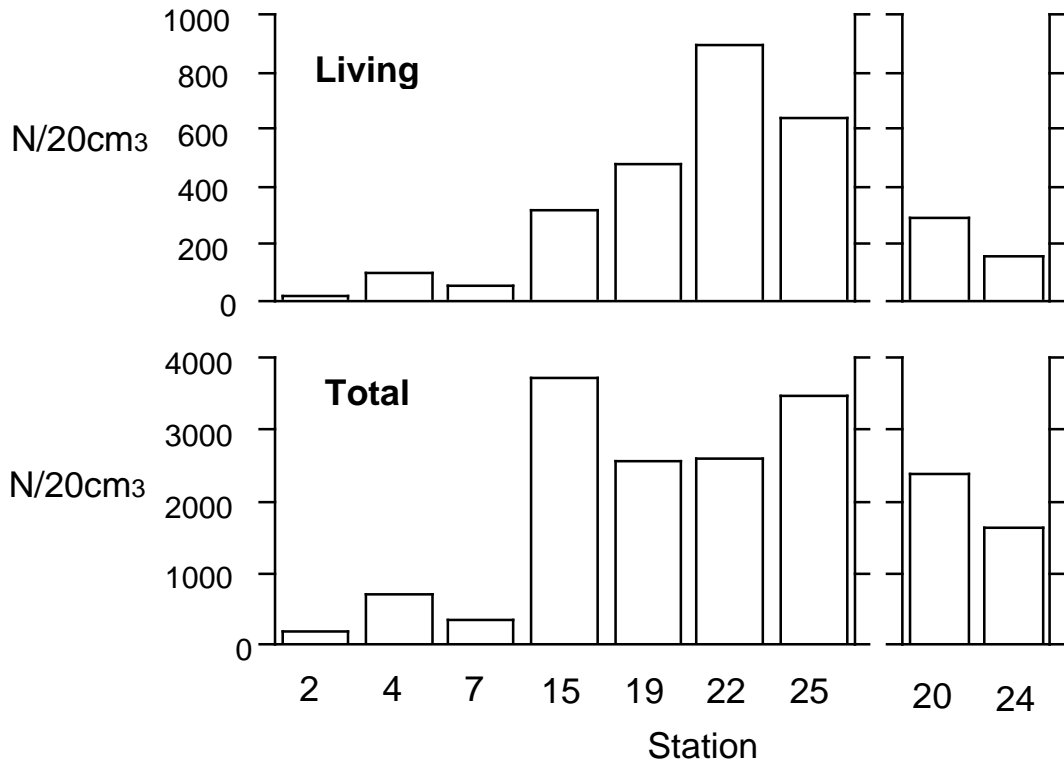


図6 底生有孔虫*Elphidium excavatum*の 生体群と全体群の産出個体数 .

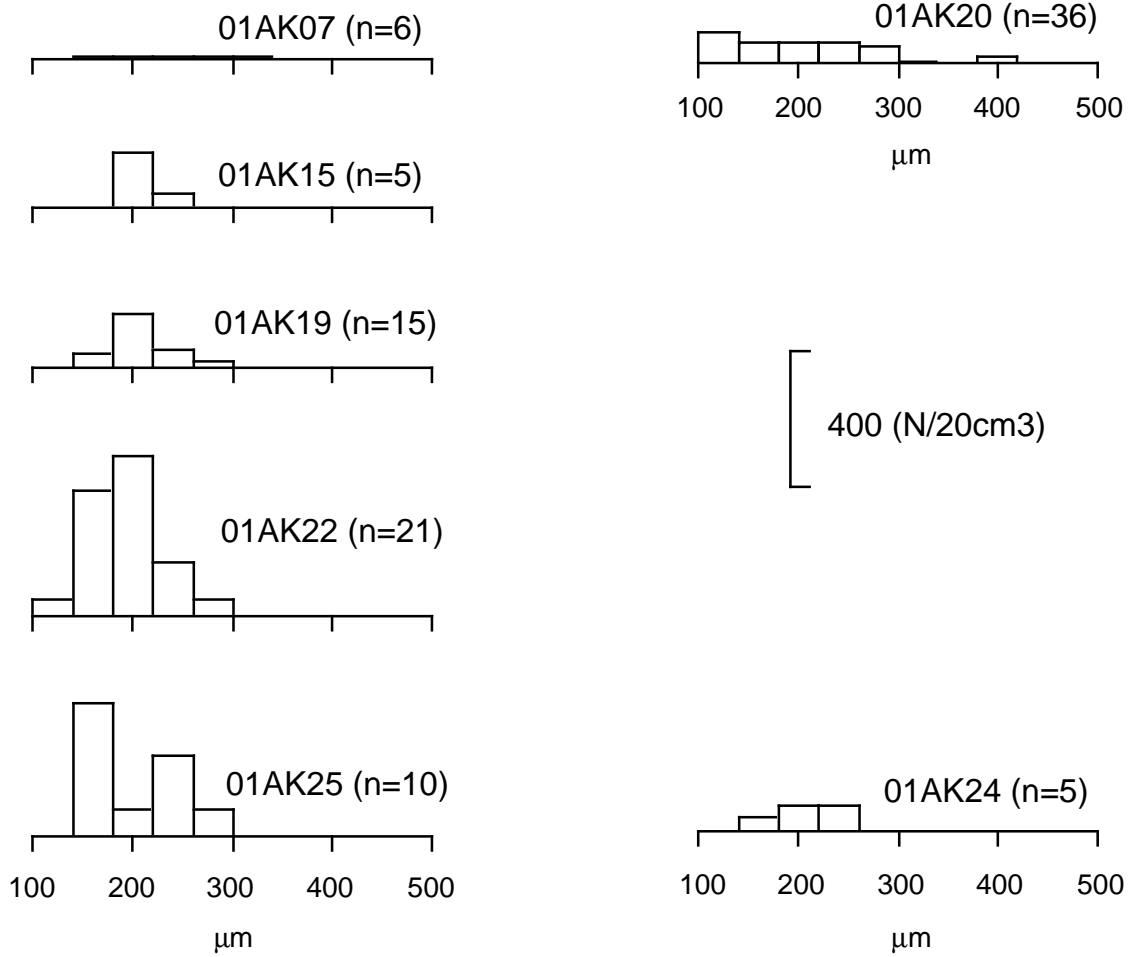


図7 底生有孔虫*Elphidium excavatum* 生体群の殻径分布 .

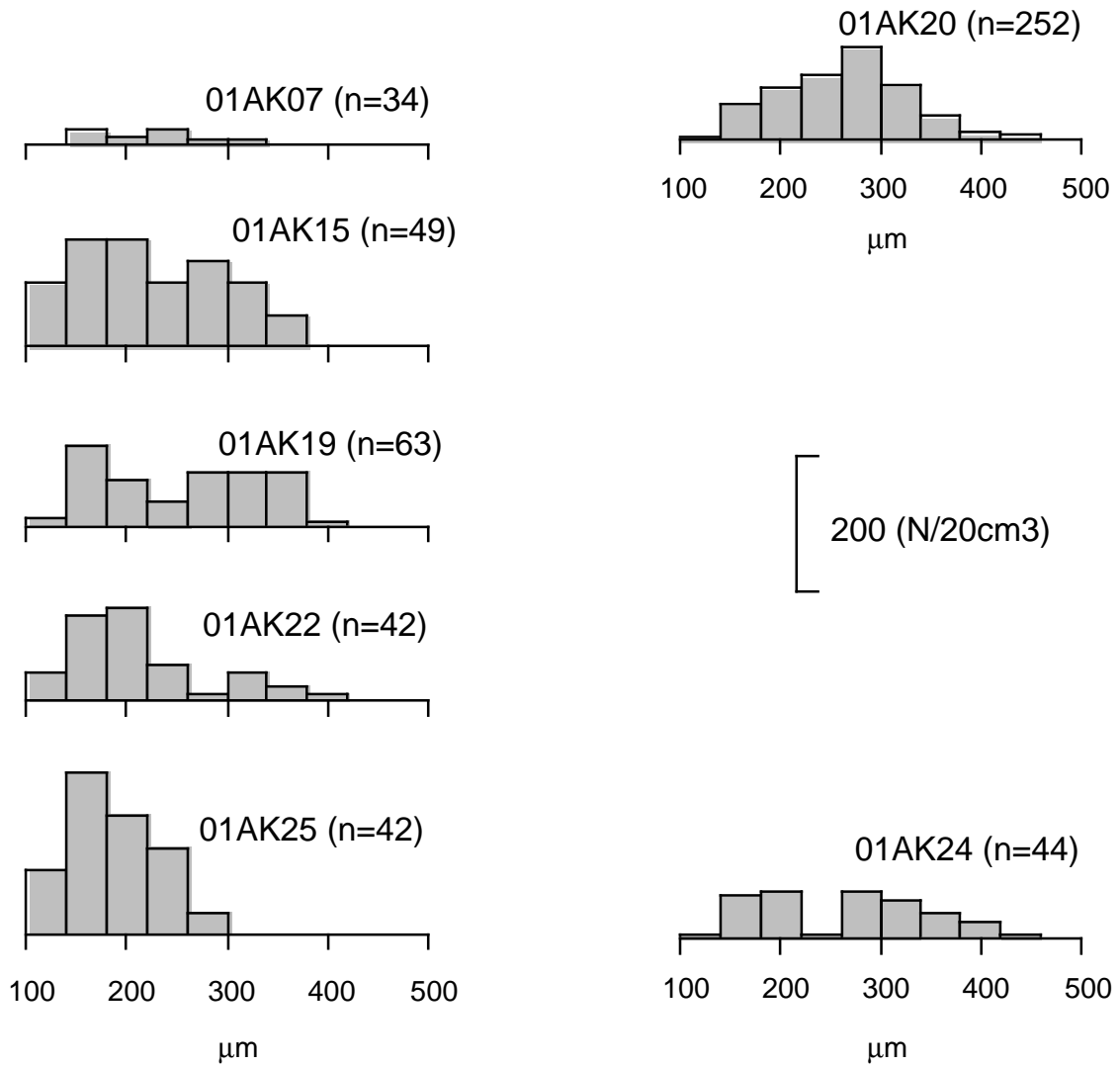


図8 底生有孔虫*Elphidium excavatum* 遺骸群の殻径分布 .

表1 資料採取地点における推進，水温，塩分，底質，平均粒径，含泥率，有機炭素量，全窒素量，全硫黄量

	2	4	7	15	19	22	25	25	20	24
Water depth (m)	5	10	13	17	22	25	27		22	22
Water temperature ()	12.5	12.7	13.8	12.7	12.4	-	-		-	12.7
Salinity (psu)	32.6	32.5	32.6	32.7	32.5	-	-		-	32.5
Substrate	very fine-grained sand	very fine-grained sand	mud	mud	mud	soupy mud	very fine-grained sand		fine-grained sand	shelly mud
Mean diameter (μ m)	102.77	102.39	33.16	38.13	47.13	25.64	56.98		162.93	30.80
Mud content (%)	6.80	13.12	68.79	58.51	69.44	83.42	48.02		12.42	76.80
TOC (%)	0.175	0.218	0.744	0.786	0.671	1.229	0.592		0.296	1.882
TN (%)	0.05	0.061	0.121	0.123	0.11	0.193	0.096		0.064	0.155
TS (%)	0.105	0.128	0.187	0.294	0.202	0.341	0.172		0.176	0.232

表2 底生有孔虫の産出結果

	2	4	7	15	19	22	25	20	24
<i>Ammonia beccarii</i> forma 2				1					
<i>Ammonia japonica</i>	4	2	3		7		2	10	7
<i>Ammotium cassis</i>	2	1							1
<i>Bolivina decussata</i>	4	2	1	9	6	3	9	4	7
<i>Bolivina cf. pseudoplicata</i>								1	
<i>Bolivina cf. robusta</i>					1				
<i>Bolivina cf. tokiokai</i>			2		1	4	2		4
<i>Bolivina</i> sp. indet.				1			1		1
<i>Buccella tenerima</i>	84	136	57	72	57	16	38	54	67
<i>Buccella ? makiyamai</i>									5
<i>Buccella</i> sp. indet.	7	3	6	8	12	4	5	11	8
<i>Buliminella elegantissima</i>	33	13	20	70	30	16	35	13	37
<i>Cassidulina norvangi</i>							2		2
<i>Cibicides cf. lobatulus</i>		1			3		2		2
<i>Criboelphidium oregonense</i>					1				
<i>Cuneata ? sp.</i>					1				
<i>Eggerelloides advena</i>	1	1	1	15	11	8	13	2	4
<i>Elphidium advenum</i>									3
<i>Elphidium excavatum</i> forma clavata	14	19	11	31	31	18	28	24	24
<i>Elphidium excavatum</i> forma excavata	14	12	11	39	37	9	13	20	19
<i>Elphidium kushiroense</i>	2			2	2		2	1	2
<i>Elphidium subarcticum</i>									1
<i>Elphidium</i> sp. indet.							1		1
<i>Fissurina annectense</i>								1	1
<i>Fissurina cucurbitacema</i>			1	2				2	
<i>Fissurina</i> sp.A				1					
<i>Fissurina ? sp.</i>									1
<i>Glabratella</i> spp.						1			1
<i>Hanzawaia nipponica</i>		1							
<i>Hanzawaia</i> sp. indet.					1				
<i>Haplophragmoides ? canariensis</i>					1				
<i>Haynesina</i> sp.A	20	6	37	144	55	104	97	34	83
<i>Haynesina ? sp.</i>	2								
<i>Islandiella</i> sp.			1			1	1		
<i>Nonionella stella</i>		1		2	2	1	1		
<i>Patellina</i> sp.						1			
<i>Pseudononion japonicum</i>								1	
<i>Pseudononion</i> sp.							1		
<i>Pseudoparrella takayanagii</i>		2			1		1		3
<i>Pseudoparrella</i> sp.					1				
<i>Quinqueloculina seminulum</i>									1
<i>Rosalina</i> spp.				3		6	1	8	7
<i>Textularia</i> sp.						1			
<i>Tiphotrocha kelleetae</i>				2		6	3		1
<i>Trochammina cf. pacifica</i>		1							
Calc. Hyaline Foram. gen. et sp. indet.	2	6	6	38	17	9	4	9	3
Total	187	200	151	402	261	199	258	186	293
Planktonic foraminifera	1			6		3	4	4	11
Sample weight (g)	3.51	1.04	0.93	0.16	0.19	0.10	0.29	0.49	0.52

図版 厚岸湾より産出した主要な底生有孔虫の走査型電子顕微鏡写真. 図版
中のスケールはいずれも 100 μ m.

1a,b. *Eggerelloides advena* (Cushman)

2a,b. *Bolivina decussata* Brady

3a,b. *Buliminella elegantissima* (d'Orbigny)

4a-c. *Ammonia japonica* (Hada)

5a-c. *Buccella tenerrima* (Bandy)

6a,b. *Elphidium excavatum* forma *excavata* (Terquem)

7a,b. *Elphidium excavatum* forma *clavata* Cushman

8a,b. *Haynesina* sp.A

9a-c. *Nonionella stella* Cushman and Moyer

