LAGUNA（汽水域研究）10，113～118 頁（2003 年 3 月）
LAGUNA 10，p.113－118（2003）

短 報

京都府阿蘇海における底生有孔虫群

高田裕行[1]・村上俊介[2]・瀬戸浩二[1]・坂井三郎[3]・田中里志[4]・高安克己[1]

Foraminiferal assemblages in Aso-kai Lagoon, central Japan

Hiroyuki Takata[1], Shun-suke Murakami[2], Koji Seto[1], Saburo Sakai[3], Satoshi Tanaka[4] and Katsumi Takayasu[1]

Abstract: Benthic foraminifera are investigated in Aso-kai Lagoon, central Japan, to understand the habitat of the anoxic environment. The condition of the deep bottom is anoxic almost throughout the year. Five taxa are commonly found in this lagoon, of which *Virgulinella fragilis* dominates the inner to central area and the deeper parts of the lagoon. The occurrence of the other common taxa, such as *Trochammina* cf. *japonica*, *Ammonia* cf. *A. beccarii* forma 1, *Rosalina* spp. and *Elphidium* sp.A, is restricted to the adjacent part of the sand bar, called "Amano-hashidate". *V. fragilis* has a very high tolerance to almost year-round anoxic condition. The results suggest that the seasonal changes in the dissolved oxygen levels of the bottom waters mainly control the distribution of benthic foraminifera in this lagoon.

Key words: Aso-kai, *Virgulinella fragilis*, seasonal change of dissolved oxygen

緒　言

阿蘇海は京都府北部に位置する海跡湖である．筆者らは，2001 年～2002 年にかけて，阿蘇海の現行環境ならびに過去の環境変遷を明らかにする目的で，堆積学・地球化学・古生物学的な研究を行ってきた．

この調査で，阿蘇海の表層堆積物より，底生有孔虫 *Virgulinella fragilis* の産出が認められた．本種は，ニュージーランドの沿岸域で記載された種で（Grindell and Collen, 1976），貧酸素環境に強い耐性を持つ種と考えられている．

貧酸素状態に対して強い耐性を持つ底生有孔虫化石の産出状況は，中～深層水塊の循環や酸素極小層の発達などの古海洋環境を推定するのに貢献している．一方で，このような貧酸素耐性種には，溶存酸素レベルなどを反映して様々な種が認められ，適応様式も様々である．

貧酸素環境は汽水～内湾域では普遍的に認められるものであり，そこでの現生種の検討は貧酸素耐性種の生態を理解する上で有用である．筆者らは，日本各地の汽水～内湾域の貧酸素環境における現生底生有孔虫の生態を検討してきた（高田・高安，2001; Takata *et al*., in prep.）．阿蘇海は調査・研究が比較的容易な地域であり，そこでの *Virgulinella fragilis* の生態の検討は貧酸素環境における底生有孔虫の生

[1] 島根大学汽水域研究センター　Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Nishikawatsu 1060, Matsue, 690-8504, Japan
[2] 島根大学総合理工学部地球資源環境学科 Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, Nishikawatsu 1060, Matsue 690-8504, Japan
[3] 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
[4] 京都教育大学　Kyoto University of Education, Fujinomori 1, Fukakusa, Fushimi, Kyoto 612-8522, Japan

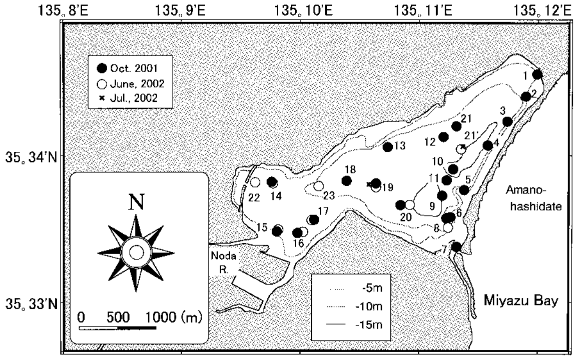

図 1．阿蘇海の位置図と調査地点．
Fig. 1. Map of Aso-kai Lagoon and with sampling localities.

態を理解する上で有用な知見をもたらすと考えられる．

本稿では，おもに 2001 年 10 月に湖内 20 地点で採取した表層堆積物に含まれる現生底生有孔虫について，その分布を検討した結果を報告する．それにもとづき，これまで研究が行われていない阿蘇海における底生有孔虫群の種組成とその分布を明らかにすることを目的とした．なお，詳細な考察については，別稿にて行う予定である。

調　査　地　域

阿蘇海は京都府北部に位置する海跡湖である（図 1）．湖内の最大水深は約 15 m である．北東から南西方向に伸長した砂州（天橋立）によって，外海である宮津湾と隔てられている．宮津湾とは，南東部の湖口の 1 カ所のみで連絡する．湖内への主要な流入河川として野田川があり，南西部より湖内に流入している．

湖内中央部（図 1 の Aso-21 および 21’）で，2001 年 11 月，2002 年 6 月，7 月に観測した水温・塩分・溶存酸素量の鉛直分布を図 2 に示す．阿蘇海の水塊構造は，これらの観測項目の特徴から，3 層に区分される；a）水温・塩分の季節変動が著しい表層付近（水深 4 m 以浅）；b）溶存酸素量の季節変動が著しい

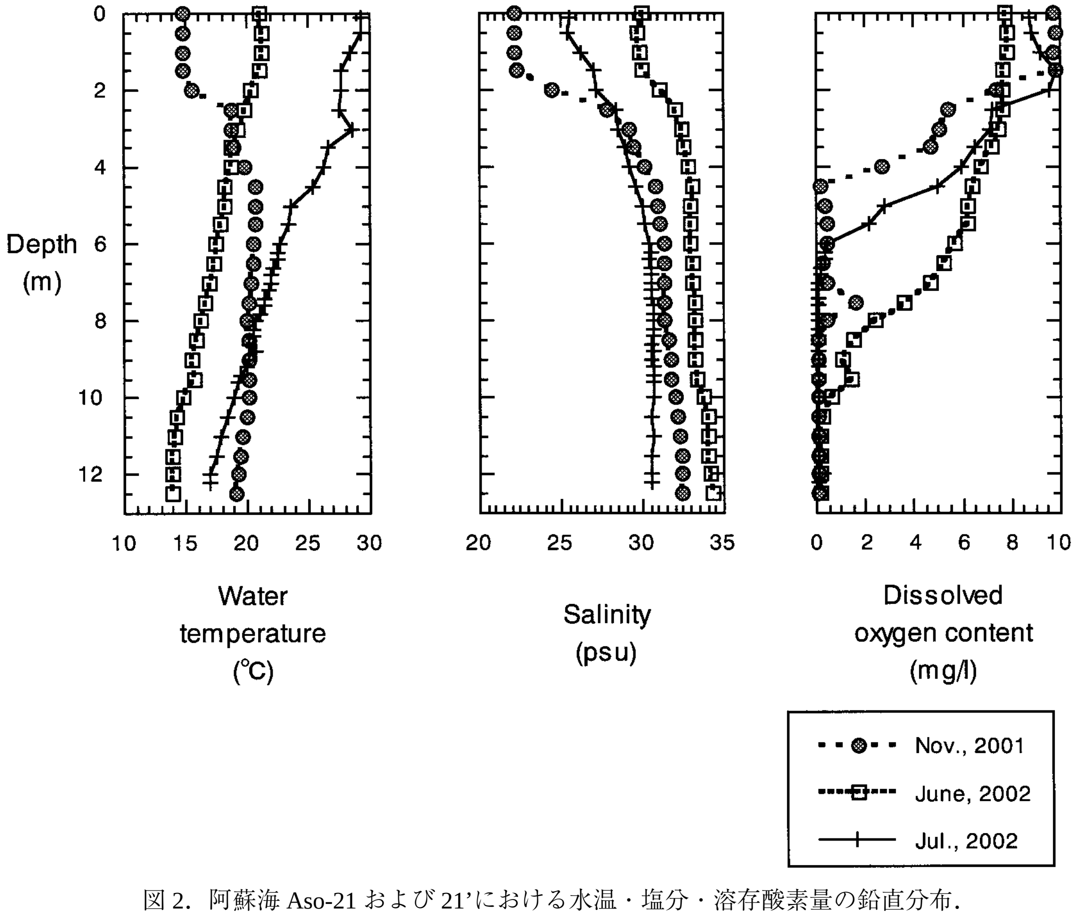

図 2．阿蘇海 Aso-21 および 21’における水温・塩分・溶存酸素量の鉛直分布．
Fig. 2. Vertical distributions of water temperature, salinity and dissolved oxygen content at Aso-21 and 21’. The data of November, 2001 was observed at Aso-21, whereas those of June and July, 2002 were carried out at Aso-21’.

中層付近（水深4–8 m）；c）水温・塩分がほぼ一定で，溶存酸素量もほぼ0 mg/lの底層付近（水深8 m以深）．11月には，湖水の溶存酸素量がもっとも低下し，底層付近の硫化水素濃度も高くなる．

阿蘇海の表層堆積物は，湖内中央〜奥部では黒色の泥からなるが，砂州近傍のみは極細粒〜粗粒砂からなる．

研 究 方 法

現生底生有孔虫の調査は，2001年10月に湖内20地点（Aso-1〜20）で行った（図1）．また、補足的な調査を，2002年6月，7月に，それぞれ9地点，2地点で行った．表層堆積物はエクマン・バージ式採泥器を用いて採取し，その表層約1 cmを分析用試料として分取した．

採取した試料を，実験室に持ち帰り，堆積物・有孔虫・その他（珪藻・花粉など）の分析用に分割した．これらの試料の湿潤重量を，分割時に秤量した．堆積物分析用試料は恒温乾燥機（70℃）で乾燥させて乾燥重量を秤量し，含水率を算出した．これにもとづき，有孔虫・その他の分析用試料の乾燥重量を算出している．有孔虫検討用試料は，開口径75 μmのふるいを用いて水洗した．その残査に0.5% ローズベンガル水溶液を添加して一昼夜おいた後，それらを適宜温水洗して余剰なローズベンガルを除去した．洗浄後，残査を恒温乾燥機にて乾燥させた．

乾燥した残査を，試料分割器を用いて，底生有孔虫が約200個体になるよう適宜分割し，それらから有孔虫を拾い出した．これらの有孔虫について種を同定し，計数した．また，ローズベンガルによる染色の有無で，生体・遺骸の識別も行った．これらの結果にもとづき，各試料ごとの，有孔虫各種の産出頻度および堆積物1 g（乾燥重量）あたりの個体数を計算した．

結 果 と 考 察

表層堆積物より抽出した有孔虫の産出結果を，表1に示す．検討の結果，32属67種を同定した（表1）。得られた有孔虫個体は大部分が，遺骸からなり，生体（染色）は極めて少なかった．そのため，本論では生体・遺骸個体を合わせた全体群にもとづいて，有孔虫の分布を議論する．

阿蘇海では，底生有孔虫 *Virgulinella fragilis*, *Trochammina* cf. *japonica*, *Ammonia* cf. *A. beccarii* forma 1, *Rosalina* spp., *Elphidium* sp.Aの5タクサが卓越する（図3）．これらのタクサの2001年10月における分布を図4に示す．*V. fragilis* は阿蘇海内で砂州付近を除く広い範囲に産出し，水深8 m以深で多産する傾向がある．一方，*T*. cf. *japonica* は，砂州付近の限られた範囲で産出し，水深約8 m以深ではほとんど産出しない．本種と同様に，*Ammonia* cf. *A. beccarii* forma 1, *Rosalina* spp., *Elphidium* sp.Aも砂州近傍でのみ産出し，湖内中〜奥部ではほとんど認められない．こうした産出傾向は，2002年6月も同様である（表1）．

Virgulinell fragilis が多産する水深8 mとりわけ10 m以深は，年間を通してほぼ貧酸素状態にあることから（図2），本種は阿蘇海内のほぼ周年的な貧酸素環境に適応していることが示唆される．一方，汽水〜内湾域奥部の貧酸素環境では，通常，*Trochammina* cf. *japonica* が多産することが知られているが（例えば，Nomura and Seto, 1992），阿蘇海における本種の分布は外洋側の砂州近傍で水深が浅い地点に限られている．Kitazato and Mtasushita（1996）によると，*Trochammina hadai*（筆者らの *T*. cf. *japonica* に相当）は，繁殖に一定の高溶存酸素（5 ml/l；約7 mg/l以上）の期間が必要であるとされている．よって，本種の生息は，個体群維持の必要上，季節的に溶存酸素が富む水域（水深約8 m以浅）に，制限されていると推定される．したがって，阿蘇海に生息する底生有孔虫群の分布は，溶存酸素量とその季節変化に強く規制されていると考えられる．

Virgulinella fragilis は，本研究と同様に溶存酸素が極めて乏しい環境で，相次いで見出されている．Altenbach（2002）は，本種が大西洋ナミビア沖などの生産性の高い海域や汚染された海域における無酸素状態で脱窒が起こるような環境で，生息するとしている．また，Bernhard（2002）は大西洋カリアコ海盆の無酸素環境で本種が優占することを報告している．一方，彼女は，本種が細胞内に“sulfide-oxydizing bacteria”を共生させ，無酸素環境に適応している可能性を指摘している．このような有孔虫細胞内での微生物の共生は，有孔虫の生態・進化を考える重要な視点として，着目されている（北里，2002）．最近，北東太平洋のSanta Barbara海盆の貧酸素環境に生息する底生有孔虫 *Nonionella stella* が，深海域であるにも関わらず，細胞内に葉緑体と思われる組織を持っているなど，興味深い事例も報告されている（Gryzymski *et al*., 2002）．こうした研究課題に取り組む上でも，調査研究が比較的容易な阿蘇海に産出す

表 1．阿蘇海の底生有孔虫の産出表．

Table 1. Faunal list of benthic foraminifera in Aso-kai Lagoon.

	Oct.,2001																				June,2002									Jul.,2002	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	8	14	15	16	17	19	20	22	23	19	21
Agglutinated Foraminifera																															
Eggerelloides advena						1			2												4										
Textularia sp.																					3										
Tiphotrocha kellettae											1																				
Trochammina cf. *japonica*	37	56	2	1	6	64		92	27	1	9	1	1			1	2			2	7			2	1	2	6	5		2	2
Trochammina inflata ?		1																													
Trochammina pacifica				1																											
Trochammina sp.A					1			4			1																				
Agg. Foram. gen. et sp. indet.						1																									
Calc. Porcelaneous Foraminifera																															
Cyclogure planorbis																														1	
Massilina ? sp.					1	1		1	2	1	3										2										
Miliolinella sp.											1																				
Quinqueloculina sp.A	6			1	3		2	5	6	5	8	2		2							5									2	
Quinqueloculina sp.B	2	21	8	2		6	2			2	14		3	1					3	2											
Quinqueloculina sp.C	3	4	1		6	3		1					1								5										
Quinqueloculina sp.D			2						4																						
Quinqueloculina sp.E		1																													
Quinqueloculina sp.F		1																													
Quinqueloculina sp.G								1																							
Quinqueloculina sp.H									1																						
Quinqueloculina sp.I								4																							
Triloculina sp.									1																						
Calc. Porc. Foram. gen. et sp. indet.	3	1	2		1	3		5	3	2	3	4									5	3		1		2	3	4	1	3	1
Calc. Hyaline Foraminifera																															
Allanhacockia ? sp.									1																						
Ammonia beccarii forma 1			1												1																
Ammonia cf. *A. beccarii* forma 1	21	23													1													2		2	3
Ammonia cf. *A. beccarii* forma 2						1			1																						
Ammonia japonica						1			1																						
Ammonia sp.A						1																									
Ammonia ? sp. indet.	1	3																													
Bolivina striata			1																												
Bolivina tokiokai ?		1																													
Bolivina sp.A				1																	1	1			1						
Bolivina sp.B										2	1																				
Brizalina seminuda			1		3					1	3	1	1																		
Buliminella elegantissim		1								1																					
Cassidulina sp.											1																				
Cibicides lobatulus								1			4																				
Cibicides cf. *lobatulus*								1	1																						
Cibicides subdepressus						2	2		1	1																					
Cibicides sp. indet.		1																													
Cibicidoides sp.								2																							
Cymbalopolletta sp.A				1	1	4	6	4	2			1									2										
Elphidium advenum ?								2																							
Elphidium crispum						1															1										
Elphidium jenseni		3			4	1		3	1	1																					
Elphidium kushiroense						3					1																				
Elphidium cf. *subarcticum*		1						3																							
Elphidium subincertum	1	1							1																						
Elphidium sp.A	1	29		1	8			2	3	2	3											1						2			1
Elphidium sp.B	1	3						1																							
Elphidium sp.C								1																							
Elphidium sp.D									1																						
Elphidium sp.E											1																				
Gavelinopsis ? sp.											1																				
Glabratella sp.A	2				1		1	2			3						1			1	4						1				
Glabratella sp.B		3											1																		
Hanzawaia nipponica							1														1										
Haynesina sp.						3				1																					
Hyalinea ? sp.											3																				
Nonionella stella																					1										
Nonionella ? sp.											1																				
Paracassidulina ? sp.											1																				
Pararotalia ? sp.											1																				
Planoglabratella suboercularis																					1										
Rosalina bradyi								3																							
Rosalina sp.A	3				10	16	30	23	11	10	23										23						6	1	1	3	1
Rosalina sp.B		4								3																					
Rosalina sp.C							6																								
Rosalina sp. indet.		1	1		1	2															9						1				
Trifarina sp.																														1	
Valvulineria hamanakoensis	5	8			1						1				4							1				1		1			
Virgulinella fragilis		31	30	10					7	18	46	195	86	74		5	65	99	126	52		211		41	83	269	102	176	173	271	173
Calc. Hyaline Foram. gen. et sp. indet.	1	5			4	3	3	7	3	2	5								2												
Total	87	203	49	18	51	117	53	168	80	53	139	204	93	77	6	6	68	99	131	57	74	217	0	44	85	274	119	191	175	285	181
Sample weight (g)	0.4	7.7	5.5	4.9	9.3	0.7	85	0.9	1.3	2.9	4.2	5.1	6.1	4.8	8.8	18	7.2	4.3	6.1	4.8	0.4	6.8	1.5	7.3	4.2	6.6	4.2	4.9	4.3	8.0	2.2
Foraminiferal number (/g)	199	26	8.9	3.7	5.5	178	0.6	195	63	18	33	40	15	16	0.7	0.3	9.4	23	22	12	165	32	0	6	20	42	28	39	41	36	82

る *Virgulinella fragilis* の知見は，有用な視点を提供するに違いないと我々は考える．

謝　　　　辞

阿蘇海における野外調査では，溝尻の漁業協同組合の廣野薫参事と内藤十三生代表理事・組合長にご協力いただいた．島根大学教育学部の野村律夫教授には，電子顕微鏡写真の撮影にご助力いただいた．本研究の一部は文部省科学研究補助金　奨励研究（A）（代表者　田中里志，課題番号 12740282）を用いて行われた．以上の皆様に心より厚くお礼申し上げます．

引　用　文　献

Altenbach, A.V., Struck, U., Graml, M. and Emeis, K.（2002）The genus *Virgulinella* in oxygen deficient,

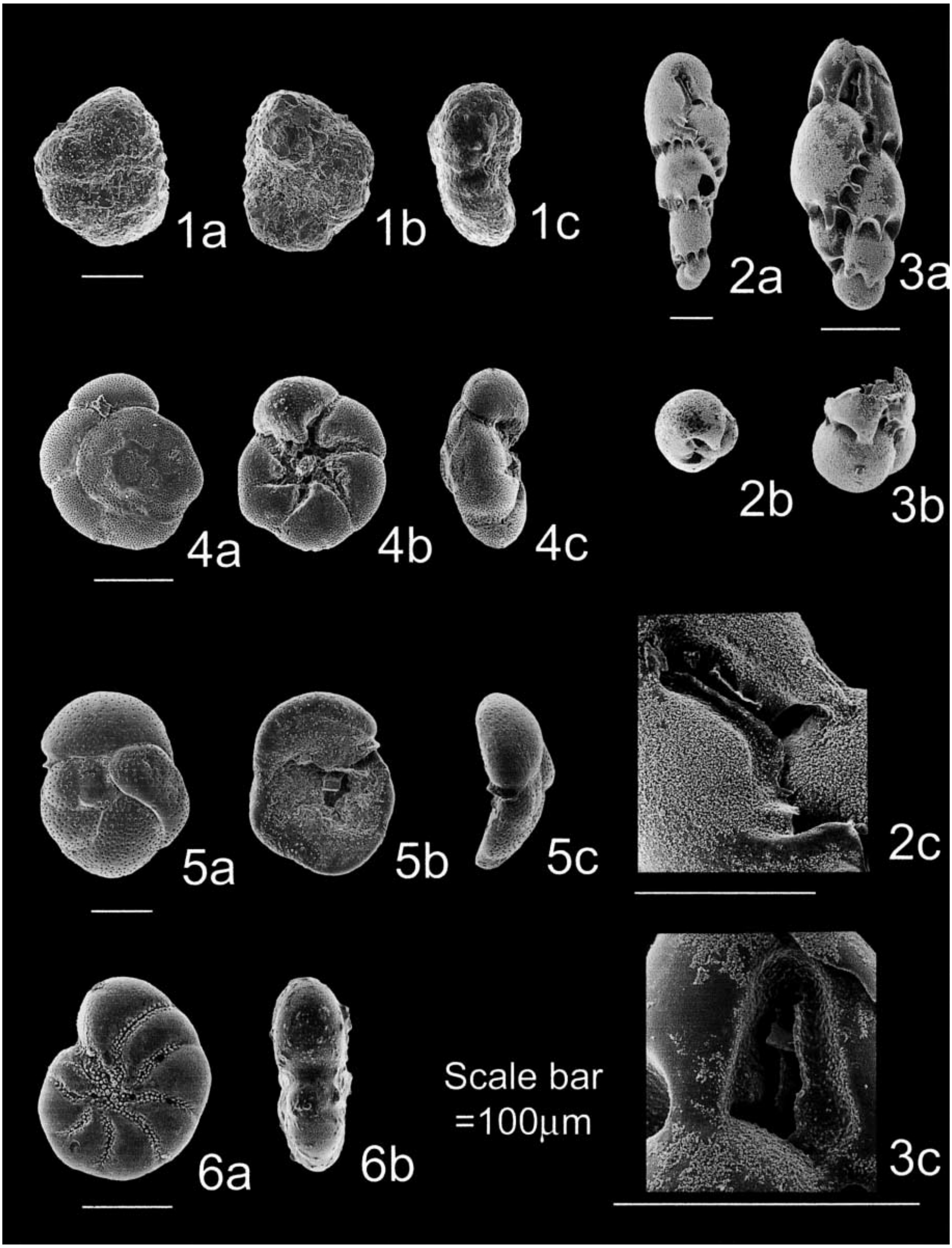

図 3．阿蘇海における底生有孔虫の走査型電子顕微鏡写真．

Fig. 3. Scanning electron micrographs of benthic foraminifera in Aso-kai Lagoon.

1 a−c. *Trochammina* cf. *japonica* Ishiwada

2 a−c, 3 a−c. *Virgulinella fragilis* Grindell and Collen

4 a−c. *Ammonia* cf. A. *beccarii* forma 1

5 a−c. *Rosalina* sp.A

6 a,b. *Elphidium* sp.A

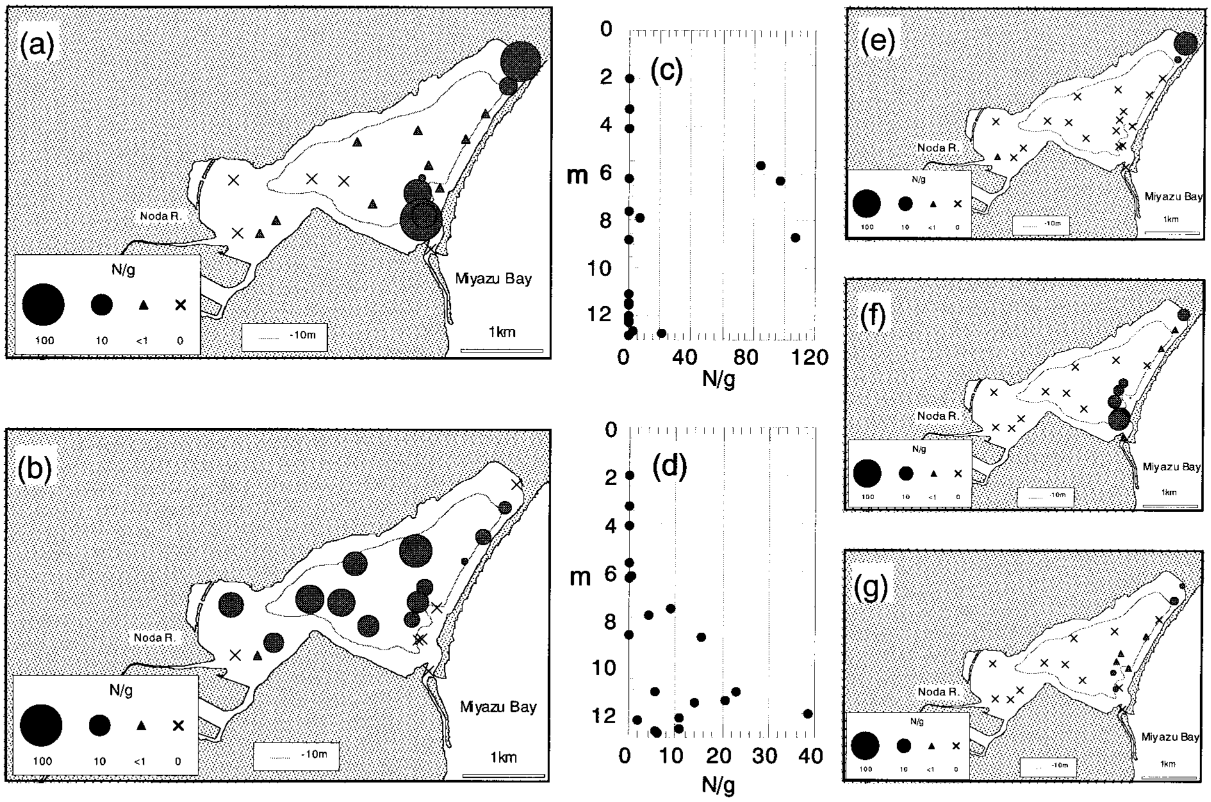

図 4. 阿蘇海における底生有孔虫の平面・深度分布.

Fig. 4. Geographic distribution of abundance of *Trochammina* cf. *japonica*（a）, *Virgulinella fragilis*（b）, *Ammonia* cf. *A. beccarii* forma 1（e）, *Rosalina* spp.（f）and *Elphidium* sp.A（g）, and vertical distribution of abundance of T. cf. *japonica*（c）and *V. fragilis*（d）in Aso-kai Lagoon.

oligotrophic, or polluted sediments. In *Forams 2002 Abstract*,（ed.）S.A. Revets, International Symposium on Foraminifera: 20.

Bernhard,J.M.（2002）, The anoxic Cariaco Basin has benthic foraminifers: Preliminary observations on the ecology and ultrastructure of *Virgulinella fragilis*. In *Forams 2002 Abstract*,（ed.）S.A. Revets, International Symposium on Foraminifera: 24-25.

Grindell, D.S. and Collen, J.D.（1976）*Virgulinella fragilis* n. sp.（Foraminiferida）from Wellington Harbour, New Zealand. *Revista Espanola de Micropaleontologia*. 8（2）: 273-278.

Grzymski, J., Schofield, O.M., Falkowski, P.G. and Bernhard, J.M.（2002）The function of plastids in the deep-sea benthic foraminifer, *Nonionella stella. Limnology and Oceanography*, 47（6）: 1569-1580.

北里洋（2002）微生物がかかわった地球と生物の進化．月刊地球，24（6），437-443.

Kitazato, H. and Matsushita, S.（1996）Laboratory observation of sexual and asexual reproduction of Trochammina hadai Uchio. *Trans. Proc. Paleont. Soc., Japan, N. S*.,（182）: 454-466.

Nomura, R. and Seto, K.（1992）Benthic foraminifera from brackish Lake Nakaumi, San-in District, southwestern Honshu, Japan. In *Centenary of Japanese Micropaleontology*,（eds.）K. Ishizaki and T. Saito, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo: 227-240.

高田裕行・高安克己（2001）汽水域奥部に優占する特異な底生有孔虫群．月刊海洋，33（6）: 425-430.