

[原著]

青森県下北半島南部，尾駱沼における現世有孔虫の分布

根本直樹*・佐々木瞳**・相澤武宏***

Distribution of recent foraminifers in the Lake Obuchi-numa,
Shimokita Peninsula, Northeast Japan

NEMOTO, Naoki*, SASAKI, Hitomi** and AIZAWA, Takehiro***

要旨

下北半島南東部の尾駱沼から得た表層堆積物中の有孔虫群集を、この沼での有孔虫の分布と2011年の東北地方太平洋沖地震によって引き起こされた津波のこの沼の有孔虫群集に対する影響を明らかにするために調査した。その群集では、*Ammonia beccarii* が卓越していた。*A. beccarii* の卓越は、堆積物中のC/N比が低い有機炭素のタイプ、低い塩分濃度、および底層水中の低い溶存酸素のような尾駱沼の環境に起因する。

東北地方太平洋沖地震以前に尾駱沼産の有孔虫群集を報告した Nomura *et al.* (2006) と比較すると、この沼の有孔虫の種構成および密度は2011年の津波によっては変化しなかった。これは、この津波が太平洋から尾駱沼へ物質を殆ど運搬しなかったことを示唆する。

Abstract

Foraminiferal assemblages in the surface sediments from the Lake Obuchi-numa, southeastern Shimokita Peninsula, northeast Japan, were investigated to clarify the distribution of foraminifers in this lake and the influence of the tsunami caused by 2011 Tohoku Earthquake to foraminiferal fauna in this lake. Those assemblages were dominated by *Ammonia beccarii*. That dominance of *A. beccarii* is due to the environment of the Lake Obuchi-numa, such as type of organic carbon with low C/N ratio in sediments, low salinity and low dissolved oxygen in bottom water.

Compering with the result of Nomura *et al.* (2006) who reported foraminiferal assemblage from Lake Obuchi-numa before Tohoku Earthquake, the species component and density of foraminifers from this lake did not changed by the tsunami in 2011. This suggests that the tsunami transported little materials from the Pacific coast to Lake Obuchi-numa.

Key words: foraminifer, Lake Obuchi-numa, 2011 Tohoku Earthquake, *Ammonia beccarii*

2015年4月13日受付，2015年12月2日受理

*〒036-8561 青森県弘前市文京町3 弘前大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University, Bunkyocho, Hirosaki, Aomori 036-8561, Japan

**〒030-0862 青森県青森市古川2-15-7 株式会社ジョブメイト

Job Mate Co. Ltd., Furukawa, Aomori, Aomori 030-0862, Japan

***〒160-0004 東京都新宿区四谷2-10 ハツ橋ビル 株式会社ジオ・コミュニケーションズ

Japan Geocommunications Co. Ltd., Yatsunashi Building, Yotsuya, Shinjuku, Tokyo 160-0004, Japan

1. はじめに

尾駁沼は、青森県下北半島南東部に分布する海跡汽水湖群である小川原湖沼群のうちの北端の沼である。Nomura *et al.* (2006) は尾駁沼の湖心部より長さ20cmのコアを採取して有孔虫を分析し、有孔虫の個体数が海水面の変動に応じて変化したことを報告した。その中でNomura *et al.* (2006) は、1930年代の有孔虫の増加と1933年の昭和三陸津波の関連を検討し、有孔虫群集の種組成に変化がないことから、この増加は津波によるものではないと結論した。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波は、東北から関東地方の太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。尾駁沼にも津波が流入し（原口・岩松, 2011）、尾駁川河口付近での浸水高は2mを超えたとされる（<http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kendo/kasensabo/files/2012-0328-0930.pdf>）。この津波の流入による尾駁沼での有孔虫群集の変化の有無を記載することは、今後汽水湖の堆積物コアから津波の痕跡を検出する上で重要な基礎資料になると期待される。そこで本研究では、津波から約1年後の尾駁沼において有孔虫群集への津波の影響を検討する。また、尾駁沼ではこれまで数次にわたる生物調査が行われてきたが（例えば、山本, 1954; 植田ほか, 2005）、有孔虫に関しては上述のNomura *et al.* (2006) による1地点のコアからの報告のみであった。よって、本論では尾駁沼における有孔虫の面的分布も調査し、その分布を規制する要因を検討する。

2. 尾駁沼

尾駁沼は、小川原湖沼群の最北端（北緯40°57′，東経141°22′）に位置し（図1）、平均水深は約2.5m、周囲が14.3km、面積は3.71km²である。西の二又川からは淡水が、満潮時には東の尾駁川を経由して太平洋から海水が、それぞれ流入する。東西に細長い三日月形の尾駁沼の水深は、二又川河口から東へ向かって緩やかに増加し、湖心部で最大（4.5m）を示し、尾駁川にかけて急減する。ゆえに、尾駁川より流入した海水は尾駁沼深層に比較的滞留しやすい。尾駁沼の塩分濃度は、表層で1～20psu、底層（水深3～4m）で20psu以上であり、年間を通して水深1～3mの間に塩分躍層が形成される（植田ほか, 1998）。

植田ほか（2002）によると、水温は水深0～2mでは、7～8月に最高値である30℃を、1～2月に最低値である-0.5℃をそれぞれ示し、1～2月には湖面の一部あるいは全面が結氷する。また、12～3月における水深4mでの水温は3～7℃、表層のそれは0～2℃と底層の方が高温であるが、6～9月には表層水温は20～30℃、底層のそれは18～25℃と表層の方が高温である。尾駁沼の湖水は一般に酸化的であるが、水深2.5m以深では8～10月には還元的となり、一部では無酸素となる（Ueda *et al.*, 2000）。

3. 研究方法

1) 試料採取

本研究で用いた試料は、離合社製エクマン・バージ

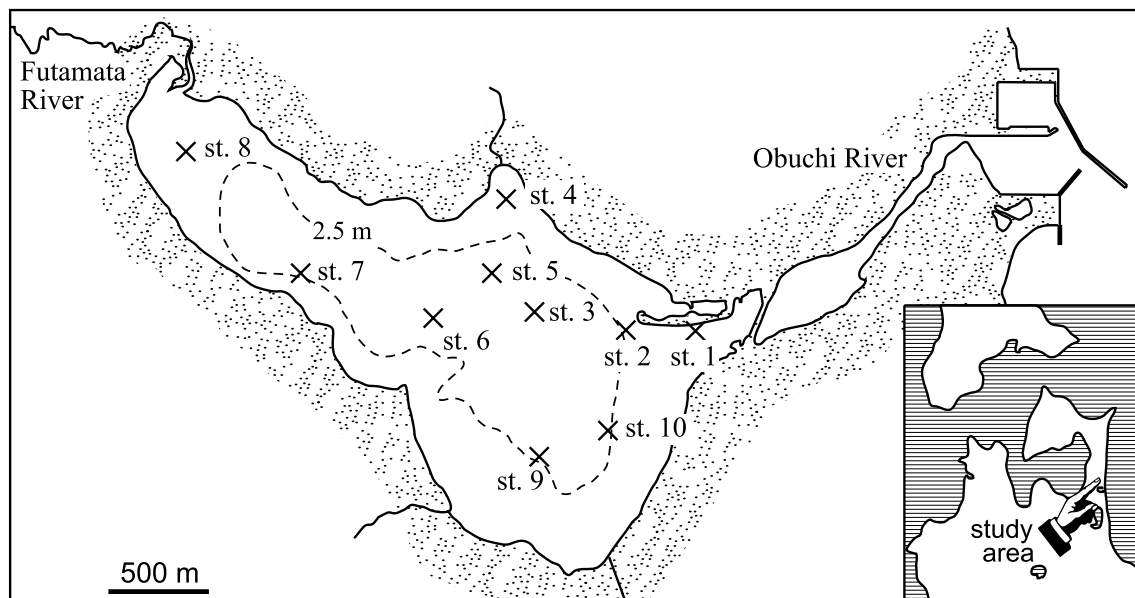


図1. 尾駁沼の位置および試料採取位置。

Figure 1. Index map of Lake Obuchi-numa and localities of sample sites.

表 1. 試料の採取時刻, 採取地点の緯度・経度, 水深, 堆積物および水質.
Table 1. Times of sampling, and latitude and longitude, water depth, sediment and water quality of each sampling site.

st.	time	location		depth (m)	sediment	sal.	temp.	m.c.	TOC	C/N
		latitude (N)	longitude (E)			(‰)	(°C)	(%)	(%)	ratio
1	13:05	40°57.526'	141°22.267'	0.4	coarse-medium sand with shell	23	17.0	1.4	0.10	6.48
2	13:25	40°57.474'	141°21.818'	0.4	medium sand with shell	22	17.8	1.6	0.11	4.38
3	13:37	40°57.518'	141°21.445'	3.2	silt	27	17.0	99.1	3.52	7.82
4	13:55	40°57.845'	141°21.366'	0.7	fine sand with shell	17	16.8	7.6	0.34	6.80
5	14:07	40°57.625'	141°21.290'	3.1	silt	25	16.8	62.0	2.45	7.90
6	14:44	40°57.517'	141°21.102'	3.5	silt	25	16.8	69.9	3.95	7.74
7	14:56	40°57.649'	141°20.632'	3.3	silt with shell	25	17.2	59.5	4.13	8.09
8	15:13	40°57.985'	141°20.243'	2.1	silt with shell	14	17.0	81.3	4.49	9.16
9	15:37	40°57.138'	141°21.449'	2.7	silt	26	17.5	67.4	3.91	7.82
10	15:57	40°57.181'	141°21.725'	0.5	medium-fine sand with shell	15	17.8	0.4	0.12	7.50

st. = station, sal. = salinity, temp. = temperature, m.c. = mud content, TOC = total organic carbon content

採泥器を用いて, 2012年6月12日に尾駁沼の10地点にて採取した. 各地点における試料採取時刻, 緯度・経度, 水深を表1に示す.

エクマン・バージ採泥器により採取した堆積物は, 表層約1cmをすくい取り, その一部は有孔虫分析用試料として直ちにローズベンガルにより染色した. 一方, 非染色試料は, 堆積物および有機物の分析に用いた. さらに, エクマン・バージ採泥器により堆積物試料と一緒に回収された湖水については, EMPEX社製棒状温度計TG-2001により水温を, 株式会社アタゴ製海水濃度屈折計IS/Mill-Eにより塩分濃度を, それぞれ測定した.

2) 有孔虫の処理・同定

染色した堆積物試料を63μmのふるい上で水洗した. ふるい上に残った試料は, 300ml程度の温水とともにピーカーに入れて約60℃になるようにホットプレート上で保持し, 余分な染色液を除去した. 上澄みが無色透明になるまで約2時間毎に温水を交換してこの作業を繰り返し行った. 完全に染色液を除去した後, 試料は50℃のオーブンで一昼夜乾燥させた.

乾燥させた残渣は, 1分割中に有孔虫殻が200~300個程度含まれるように簡易分割器を用いて分割した. 分割試料に含まれる全ての有孔虫殻を生体・遺骸の区別なく拾い出し, 実体顕微鏡下で同定した. なお, st. 1, 2, 9, および10の4試料については全試料から有孔虫殻を拾い出しても総数が200を大きく下回ると予測されたため, 1/4分割のみから拾い出した. さらに, 各試料の乾燥重量1gあたりに含まれる底生有孔虫の個体数(以下“有孔虫密度”)を算出した.

3) 有機物分析

堆積物試料を50℃のオーブンに1日間入れて乾燥した後, めのう乳鉢で粉末にした. その際, 貝殻片はで

きる限り取り除いた. 粉末試料はプラチナボートに10mgを量りとり, 蒸留水を1滴加え, さらに12Nの塩酸をそれぞれ100ml入れた5つのビーカーとともにデシケータに1日間入れて無機炭素を除去した. 次に50℃のオーブンで塩酸を除去し, 柳本製作所製CHNコーダーMT-5を用いて分析した. 測定値から各試料におけるCとNの含有率を算出し, C/N比を求めた. CおよびNの含有量が少なかった試料については, シグナルカウントを標準より下げて検出を行った.

4. 結果

1) 塩分濃度および水温

試料採取時に測定した塩分濃度および水温を表1に示す. 底層水の塩分濃度は, 14.0~26.0‰であり, 二又川の河口に近いst. 8で最も低い値を示した(図2). 水深が1mに満たないst. 4, 8, および10では20‰未満と比較的低かったが, 同様の水深でも尾駁川に近いst. 1および2ではやや高く, 海水の強い影響を示唆する. 水深2.5m以深では塩分濃度は25~26‰と比較的高く, かつ地点間に大きな差はなかった. 水温は16.8~17.8℃であり, 地点による大きな差はなかった.

2) 底質

含泥率および有機物分析の結果を表1に示す. なお, st. 3は砂が非常に少なく, 含泥率の誤差が大きいと考えられる. 含泥率は, 岸に近いst. 1, 2, 4, および10では10%未満であったが, その他の地点では59.52~81.30%を示した.

全有機炭素量(TOC)は水深の浅いst. 1, 2, 4および10では1%未満であったが, それ以外の地点では2%以上であった. 特に西部のst. 7および8では

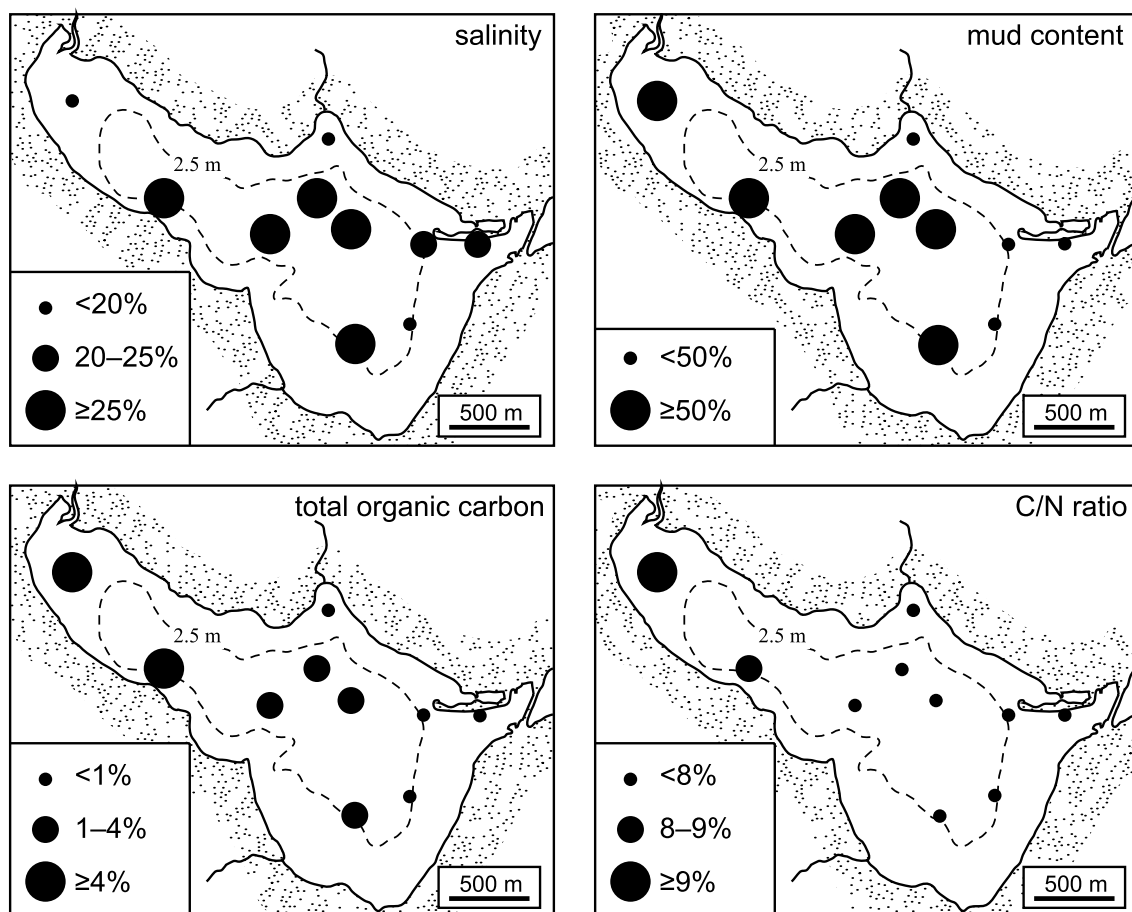


図2. 尾駁沼における底層水の塩分濃度、底質の含泥率、全有機炭素含有量、および C/N 比の分布。

Figure 2. Distribution of salinity of bottom water, mud content, total organic carbon content, and C/N ratio of substrata in Lake Obuchi-numa, southeastern Shimokita Peninsula, Northeast Japan.

4%を超えた。C/N 比は、4.38~9.16と全体的に低い値を示し、二又川河口に向かって値が大きくなる傾向が認められた。

3) 有孔虫

尾駁沼で採取した10試料より底生有孔虫6属5種が同定された(表2)。このうち生体(染色された個体)が確認されたのは、3属3種である。

全試料で *Ammonia beccarii* (Linnaeus) forma 1 が卓越していた。尾駁川近くのst. 1では *Quinqueloculina* sp.が、st. 2では *Cibicides refulgens* Montfort および *Rosalina bradyi* (Cushman) が随伴した。一方、水深2.7m以深では *Trochammina hadai* (Uchio) および *Elphidium subincertum* (Asano) が随伴した。

有孔虫密度は、水深とともに値が増加する傾向が見られた(図3a)。すなわち、水深3m以深のst. 5, 6, および7では165.45~194.87個体/gと相対的に高く、水深が1m未満のst. 1, 2, 4, および

10では0.15個体/g未満と非常に低く、水深2m台のst. 8および9では18.05~44.18個体/gと中間的な値を示した。

なお、尾駁沼の表層堆積物より産出した有孔虫の走査型電子顕微鏡写真は図4に示した。

5. 考察

1) 尾駁沼における有孔虫群集

全地点で *Ammonia beccarii* forma 1 を主とする *A. beccarii* が卓越し、2.1m以深のいくつかの試料では相対頻度はかなり低いものの *Elphidium subincertum* も産出した。水深3mを超える地点からの *E. subincertum* の一部は生体であった。Nomura *et al.* (2006) は尾駁沼から得られたコアを分析し、*A. beccarii* のみからなる群集を報告した。今回の結果は、*A. beccarii* が卓越する点では Nomura *et al.* (2006) の報告と調和的であるが、尾駁沼には *A. beccarii* 以外のタクサも生息し

表 2. 尾駿沼の表層堆積物より産出した有孔虫.

Table 2. List of foraminifers from surface sediments in the Lake Obuchi-numa, southeastern Shimokita Peninsula, Northeast Japan.

station	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	L.	T.	L.	T.	L.	T.	L.	T.	L.	T.	L.	T.	L.	T.	L.	T.	L.	T.	L.	T.
agglutinated foraminifer																				
<i>Trochammina hadai</i> (Uchio)						1					1	1								
Gen. et sp. indet.															1					
calcareous foraminifer																				
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus) forma 1	2	3	3	6	195	230	2	2	18	222	60	216	40	233	37	209	95	241	5	5
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus)					10	12				5	9	21	4	43	4	27	2	9		1
<i>Ammonia</i> sp.										55	1	9				4		6		
<i>Cibicides refulgens</i> Montfort				2																
<i>Elphidium subincertum</i> (Asano)					3	5					3	11				7		3		
<i>Elphidium</i> sp.				2		4				2										
<i>Rosalina bradyi</i> (Cushman)				1																
<i>Quinqueloculina</i> sp.		1																		
Gen. et sp. indet.	1	1				1						7		4		4				
total	3	5	3	11	208	253	2	2	18	284	74	265	44	280	41	252	97	259	5	6
density (indiv./g)	0.2	0.3	0.1	0.5	60	73	0.2	0.2	12	195	46	166	26	165	2.9	18	19	51	0.4	0.4

T.=total; L.=living

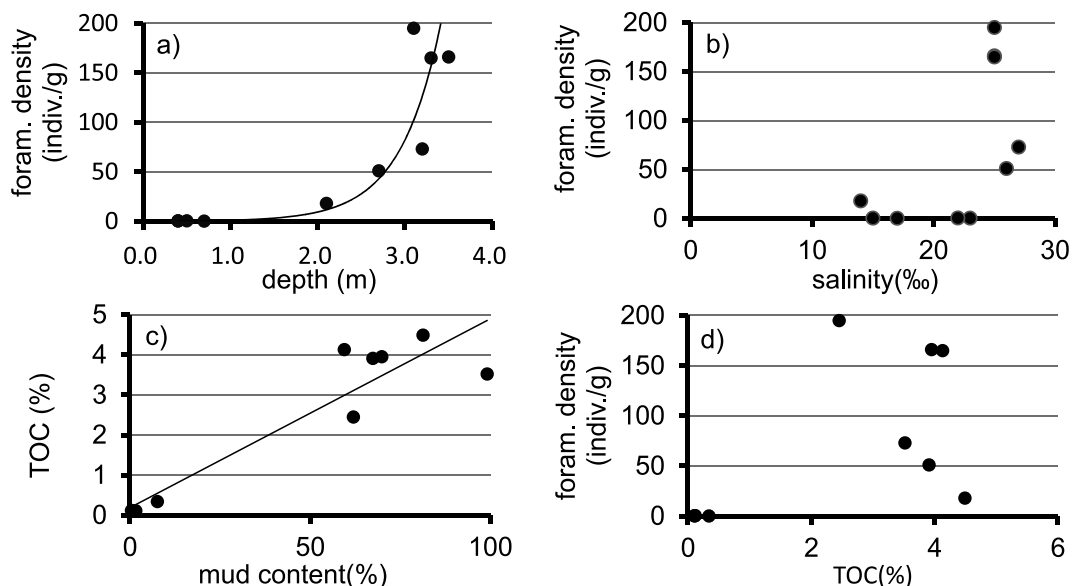


図 3. 有孔虫密度と水深、塩分濃度、TOC との関係および TOC と含泥率の関係.

Figure 3. Relationship of foraminiferal density to water depth, salinity and TOC, and relationship between TOC and mud content.

ていることが明らかとなった。これは、Nomura *et al.* (2006) が試料を採取した2003年以降に尾駿沼に *A. beccarii* 以外のタクサが生息するようになった可能性が考えられる。ただし、今回の調査でも、st. 7 のように *A. beccarii* 以外のタクサを含まない試料もあったので、Nomura *et al.* (2006) ではそのような地点でコアを採取した可能性も否定できず、今後のさらなる

調査が望まれる。

A. beccarii は広塩性種であり (Alve and Murray, 1999), 有機物負荷の高い環境に多産し (Alve, 1995; Thomas *et al.*, 2000), 低溶存酸素環境に対する抵抗力を有するとされる (Moodley and Hess, 1992; Karlsen *et al.*, 2000). 東京湾では *A. beccarii* forma 1 は淡水の流入により塩分が変動する淘汰の悪

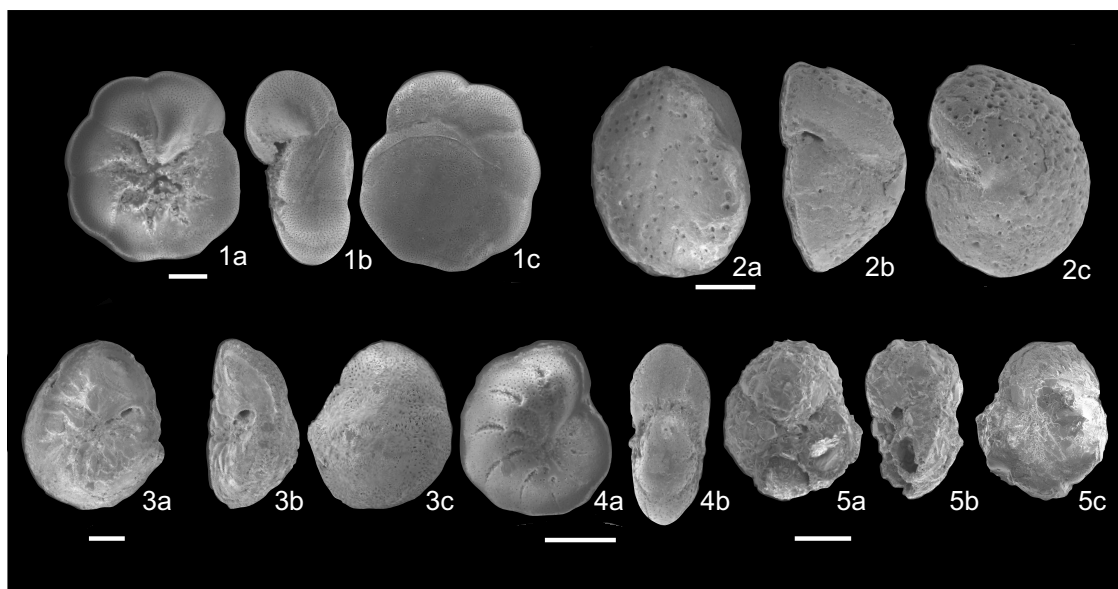


図4. 尾駱沼の表層堆積物より産出した有孔虫の走査型電子顕微鏡写真。スケールバーは100μm。1a-c. *Ammonia beccarii* (Linnaeus) forma 1 st. 1, 2a-c. *Cibicides refulgens* Montfort st. 2, 3a-c. *Rosalina bradyi* (Cushman) st. 2, 4a-b. *Elphidium subincertum* (Asano) st. 6, 5a-c. *Trochammina hadai* (Uchio) st. 6.

Figure 4. SEM micrographs of foraminifera from surface sediments of Lake Obuchi-numa, Aomori Prefecture, Northeast Japan. Scale bars=100μm. 1a-c. *Ammonia beccarii* (Linnaeus) forma 1 from st. 1, 2a-c. *Cibicides refulgens* Montfort from st. 2, 3a-c. *Rosalina bradyi* (Cushman) from st. 2, 4a-b. *Elphidium subincertum* (Asano) from st. 6, 5a-c. *Trochammina hadai* (Uchio) from st. 6.

い砂泥底に分布し、その海域の塩分濃度は8~30‰である(小杉ほか, 1991)。尾駱沼における塩分濃度はこの範囲に収まる。なお、尾駱沼での有孔虫密度は、塩分濃度が25‰を超えた水域で高い(図3b)。尾駱沼の有孔虫群集は *A. beccarii* が卓越しているので、尾駱沼での有孔虫密度は *A. beccarii* の密度と見なすことができる。そうするとこの種は、より低塩分にも耐性があるものの塩分25‰を超えた水域を好む可能性がある。長崎県対馬の浅茅湾奥部は、1900年に万関瀬戸が開削される以前は閉鎖的環境であり、底質中のTOCは1.8~2.2%であった(河野ほか, 2013)。青森県の陸奥湾における底質のTOCは、高いところでも1.5%をやや上回る程度である(Minoura and Osaka, 1992)。一方、湖底に無酸素状態が出現する島根県中海の湖心、北西部、および南部や静岡県浜名湖の主湖北部および附属湖でのTOCは、それぞれ3.5~4.0%, 3.0~4.94%である(倉門ほか, 1998)。今回尾駱沼深部で測定したTOCは2.45~4.49%であり、1900年以前の浅茅湾奥部より高く、中海や浜名湖と同等である。すなわち、尾駱沼深部は無酸素状態が出現する水域並みにTOCが高く、実際に8~10月に還元的になるとされている(Ueda *et al.*, 2000)。この高有機物負荷も尾駱沼深部で *A. beccarii* が卓越する

要因の一つと考えられる。尾駱沼ではTOCが2%を越えた水域で有孔虫密度が高い値を示している(図3d)。なお、尾駱沼でのTOCは含泥率と相関があり($r^2=0.87$; 図3c)、細粒堆積物が堆積するようにより循環速度が遅い湖底ほど有機物が酸化分解されにくいと考えられる。C/N比は一般に、藻類起源の場合9以下(Emerson and Hedges, 1988)、陸生植物起源の場合は20~200(Hedges *et al.*, 1986)を示すとされる。島根県の宍道湖と日本海を結ぶ佐陀田川では1980年代にC/N比が約19以下に減少するとともに *A. beccarii* の相対頻度が増加したことから、*A. beccarii* はC/N比が低い有機物を好むと解釈される(野村ほか, 2011)。今回測定したC/N比は9.16以下なので、尾駱沼湖底の有機物の性質は *A. beccarii* の生息に適していると考えられる。

T. hadai は日本各地の汽水環境から報告されている(例えば、Matoba, 1970; 紺田・千地, 1989)。しかし、Uchio (1962) は新潟県の信濃川河口沖の通常の世界と塩分濃度がほぼ同じ海底から *T. hadai* が優勢な *Trochammina* 群集を報告し、*Trochammina* を優勢にしている環境要因は塩分濃度ではなく信濃川が運搬した有機物であると考えた。さらにUchio (1962) は、*Trochammina* 群集が産出する試料では水洗時に多量の

有機物が見られたと記述しており、その有機物は陸源の植物由来と考えられる。したがって、尾駿沼では低塩分ながら *T. hadai* が優勢にならないのは、尾駿沼の有機物の起源が主に藻類であることが原因であると考えられる。

E. subincertum は、東京湾では内湾域に広く分布し、その塩分濃度範囲は30~35%と *A. beccarii* forma 1 のそれと比べて高い (小杉ほか, 1991)。前述のように尾駿沼では水深1~3 m の間に塩分躍層が形成されるので (植田ほか, 1998)、これが尾駿沼では生体の *E. subincertum* の分布が水深3 m 以深に限られる要因と考えられる。

また、尾駿沼深部の塩分および溶存酸素量は、*A. beccarii* は耐えられるものの、ほかのタクサの生存は厳しいと考えられる。以上が尾駿沼において *A. beccarii* を独占または卓越させている原因と推定される。

C. refulgens および *R. bradyi* は東京湾では藻場種群とされ、塩分30~35%の海域に生息する (小杉ほか, 1991)。尾駿沼でこれらの種が産出した st. 2 は塩分が22%であり、今回得られた標本がいずれも染色されなかったことも考慮すると、これらは異地性の遺骸であると考えられる。その場合、尾駿沼深部からこれらの遺骸が浮上するとは考えられないので、これらの遺骸は太平洋から流入したと解釈される。*Quinqueloculina* 属を含む Miliolidae 科の有孔虫は、高塩分環境に耐性がある一方で、低塩分環境からは産出しない (Murray, 1973)。したがって、st. 1 から産出した *Quinqueloculina* sp. の遺骸も太平洋から流入したと解釈される。

2) 津波の影響

今回の調査では *Ammonia* 以外のタクサが産出したが、いずれもその頻度は小さく、*A. beccarii* が卓越していたという点で Nomura *et al.* (2006) の結果と調和的であった。*C. refulgens*, *R. bradyi*, および *Quinqueloculina* sp. はその遺骸が太平洋から尾駿沼に流入したと考えられる。これらは津波によって移動した可能性もあるが、満潮時に尾駿沼に流入する海水によって移動したとの解釈も可能である。さらに、これらのタクサの分布は尾駿川に近い st. 1 および 2 に限られる。したがって、東北地方太平洋沖地震に伴う津波は、尾駿沼の有孔虫群集の種構成には殆ど影響を与えなかったと言える。

今回得られた尾駿沼深部における生体と遺骸を合わせた有孔虫密度は51~195個体/gであった。一方、Nomura *et al.* (2006) がコア最上部で報告した有孔虫密度は約150個体/gである。有孔虫処理で用いたふるいの目開きが Nomura *et al.* (2006) では75 μ m、本研

究では63 μ m と若干異なるが、両者の有孔虫密度に大きな差はない。したがって、東北地方太平洋沖地震に伴う津波は、尾駿沼の有孔虫密度にも殆ど影響を与えなかったと言える。

尾駿沼に比較的近い八戸の海面は、1990年代半ば以降高いまま推移している (Permanent Service for Mean Sea Level, http://www.psmsl.org/data/obtaining/rlr.annual.plots/1266_high.png)。したがって、Nomura *et al.* (2006) がコアを採取した2003年以降も海面は高いままで、尾駿沼には海水が満潮時毎に流入していると推定される。そのため、尾駿沼深層の塩分濃度は、東北地方太平洋沖地震に伴う津波によっては極端な増加はせず、有孔虫群集に明確な変化が現れなかったと考えられる。また、津波の流入経路は尾駿川のみに限られたため (原口・岩松, 2011)、海岸に生息していた有孔虫は津波によっては尾駿沼に殆ど流入しなかったと推定される。

6. 結論

青森県下北半島南東部に位置する尾駿沼の表層堆積物から6属5種の底生有孔虫が得られた。尾駿沼の有孔虫群集は *A. beccarii* が独占または卓越していた。塩分濃度が25%前後である水深2.5m 以深で有孔虫密度が高く、*A. beccarii* は低塩分環境に耐性があるものの、25%以上の塩分環境が適している可能性がある。底質中の有機物の C/N 比は4.38~9.16と、有機物が *A. beccarii* の生息に適している藻類起源であることを示す。全有機炭素量は水深2.1m 以深で2%を越えており、これが *A. beccarii* 以外のタクサの生息を困難にしていると考えられる。

2012年に尾駿沼の表層堆積物から得られた有孔虫群集は、2003年に尾駿沼から回収されたコアの最上部から得られた有孔虫群集と、その組成および有孔虫密度に大きな違いがなかった。したがって、東北地方太平洋沖地震に伴う津波は、尾駿沼の有孔虫群集に殆ど影響を与えなかった。

謝辞

弘前大学名誉教授の氏家良博博士には、有機物分析の設備を使用させて頂いた。匿名査読者の方には有益なご助言を頂き、原稿が改善された。弘前大学農学生命科学部技術職員の対馬優聖氏には、電子顕微鏡写真の撮影でお世話になった。以上の方々に感謝する。

引用文献

Alve, E. (1995) Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: A review. *Journal of Foraminiferal Research* **25**, 190-203.

- Alve, E. and Murray, J. W. (1999) Marginal marine environments of the Skagerrak and Kattegat: A baseline study of living (stained) benthic foraminiferal ecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **146**, 171-193.
- Emerson, S. and Hedges, J. I. (1988) Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography* **3**, 621-634.
- 原口 強・岩松 暉 (2011) 東日本大震災津波詳細地図 上巻. 古今書院, 東京, 97pp.
- Hedges, J. I., Clark, W. A., Quay, P. D., Richey, J. E., Devol, A. H. and Santos, U. de M. (1986) Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography* **31**, 717-738.
- Karlsen, A. W., Cronin, T. M., Ishman, S. E., Willard, D. A., Kerhin, R., Holmes, C. W. and Marot, M. (2000) Historical trends in Chesapeake Bay dissolved oxygen based on benthic foraminifera from sediment core. *Estuaries* **23**, 488-508.
- 河野重範・入月俊明・野村律夫 (2013) 長崎県対馬の万関瀬戸開削・拡幅に伴う貝形虫群集と内湾環境の変化. 地球科学 **67**, 89-99.
- 紺田 功・千地万造 (1989) 紀伊半島田辺湾における最近の有孔虫群集の変化. 高柳洋吉・石崎国熙編, 日本列島の有孔虫, 東光印刷, 仙台, 105-110.
- 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 no. **50**, 37-55.
- 倉門由紀子・中三瓶良和・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* **5**, 123-135.
- Matoba, Y. (1970) Distribution of recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. *Science Reports of Tohoku University, 2nd Series (Geology)* **42**, 1-85.
- Minoura, K. and Osaka, Y. (1992) Sediments and sedimentary processes in Mutsu Bay, Japan: Pelletization as the most important modes in depositing argillaceous sediments. *Marine Geology* **103**, 487-502.
- Moodley, L. and Hess, C. (1992) Tolerance of infaunal benthic foraminifera for low and high oxygen concentrations. *Biological Bulletin* **183**, 94-98.
- Murray, J. W. (1973) Distribution and Ecology of Living Benthic Foraminiferids. Crane, Russa & Co., New York, 274pp.
- Nomura, R., Nemoto, N. and Komura, K. (2006) Environmental changes in brackish Lake Obuchinuma, Aomori Prefecture, northeast Honshu, Japan, with special reference to sea-level variation in the 20th Century. *Quaternary Research* **45**, 347-360.
- 野村律夫・河野重範・辻本 彰 (2011) 島根県佐陀川に記録された *Ammonia* イベント. *Laguna* **18**, 1-12.
- Thomas, E., Gapotchenko, T., Varekamp, J. C., Mccray, E. L. and Buchholz ten Brink, M. R. (2000) Benthic foraminifera and environmental changes in Long Island Sound. *Journal of Coastal Research* **16**, 641-655.
- Uchio, T. (1962) Influence of the River Shinano on foraminifera and sediment grain size distribution. *Publication from Seto Marine Biological Laboratory*, **10**, 363-392.
- 植田真司・川端一史・長谷川英尚・桜井直行・近藤邦男 (1998) 青森県汽水湖尾駁沼の堆積物中における ^{238}U , ^{137}Cs および安定元素の分布特性. 陸水学雑誌 **59**, 159-173.
- Ueda, S., Kawabata, H., Hasegawa, H. and Kondo, K. (2000) Characteristics of fluctuations in salinity and water quality in brackish Lake Obuchi. *Limnology* **1**, 57-62.
- 植田真司・川端一史・久松俊一・稲葉次郎・細田昌広・横山瑞江・近藤邦男 (2002) 浅い汽水湖尾駁沼における塩分躍層の構造特性に関する研究. 陸水学雑誌 **63**, 125-134.
- 植田真司・築地由貴・近藤邦男・山室真澄 (2005) 青森県汽水湖尾駁沼におけるベントスの種構成およびその歴史の変遷. 陸水学雑誌 **66**, 197-206.
- 山本護太郎 (1954) 汽水性水域の底生生物群集の研究 Ⅲ. 尾駁沼・鷹架沼の底生生物, 特に群集型の系列について. 日本生態学会誌 **4**, 60-63.