

[原著]

有孔虫からみた青森県下北半島南部，尾駁沼における 過去約130年間の環境変化

根本直樹*¹・友膳佳寿子*²

Environmental change in the Lake Obuchi-numa, Shimokita Peninsula, Northeast Japan, during last 130 years, inferred from foraminifer

Naoki Nemoto*¹ and Kazuko Yuzen*²

Abstract

Faunal change of foraminifers in the core with 32 cm long from Lake Obuchi-numa, southeastern part of Shimokita Peninsula, northeast Japan, was investigated to clarify the environmental change in this lake. Sedimentation rate of this core was inferred by correlating the fluctuation of foraminiferal density in this study with that in Nomura et al. (2006). The average sedimentation rate of studied core is about 2.53g/cm²/yr on the basis of this correlation. According to Nomura et al. (2006), the foraminiferal density synchronously varied with sea level fluctuation. This suggests that the density is changed by the water quality, such as salinity, of Lake Obuchi-numa influenced by the inflow of sea-water to this lake. In latest 19th Century, the salinity in the Lake Obuchi-numa rapidly increased in short duration. This dues to the inflow of sea-water to this lake by the Meiji Sanriku Tsunami or high sea level. The increases of that density around 1930's, 1950's, and 1970's were direct responses of the foraminifers in the Lake Obuchi-numa to sea-level rise, while the foraminifers responded to sea-level rise in 1990's with time lag.

Key words: foraminifer, Lake Obuchi-numa, environmental change, last 130 years

1. はじめに

汽水湖や内湾は、その形態から外海との水の交換が緩慢な閉鎖的水域である。このような水域は人間活動や海面変動の影響を受けやすく、それらの影響を解明することは環境改善に取り組む上で有益である。観測データが欠落または不足している水域において過去の環境を推定する手段として、有殻微小生物の遺骸群集の変化から環境変化を推定する環境微古生物学的手法が用いられている（たとえば、Nomura et al. 2006; 廣瀬ほか 2008）。

本研究で対象とした尾駁沼^{おぶちぬま}は、青森県下北半島南部に位置する（図1）海跡汽水湖である。その湖底地形から、湖底部は閉鎖的環境になりがちである（植田ほか 2002）。

尾駁沼から採取されたコアに含まれる有孔虫の研究としては、Nomura et al. (2006) がある。彼らは、尾駁沼から2003年に得た長さ20cmのコアについて、²¹⁰Pb および¹³⁷Cs によって各層準の堆積年代を推定するとともに、試料の乾燥重量1gあたりに含まれる有孔虫殻の個体数（以下有孔虫密度）の変化を示した。

2017年1月19日受付，2017年4月30日受理

*¹ 弘前大学大学院理工学研究科 〒036-8561 青森県弘前市文京町3

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

E-mail: nemoto@hirosaki-u.ac.jp

*² 株式会社リハビテック 〒603-8487 京都市北区大北山原谷乾町22-16

Rehabitech Co. Ltd., Okitayama, Kita-ku, Kyoto, Kyoto 603-8487 Japan

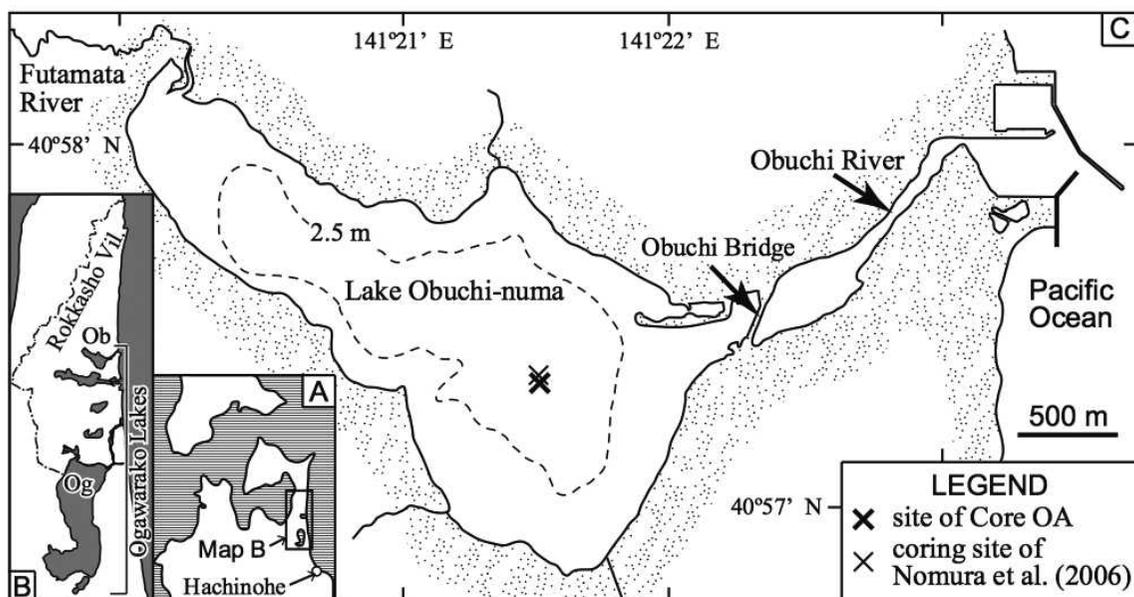


図1. 尾駱沼の位置 (A, B) およびコア OA 採取位置 (C). 地図 B の Ob および Og は、尾駱沼および小川原湖をそれぞれ表す。
Figure 1. Index map of Lake Obuchi-numa (A, B) and locality of coring site (C). "Ob" and "Og" in map B represent Lake Obuchi-numa and Lake Ogawarako, respectively.

さらに、その変化と青森県八戸市の八戸検潮所における海水面変化を比較し、1950年代前半と1960年代～1970年代初期には有孔虫密度が海水面上昇に伴い増加していること、1980年代以降は海水面が上昇しているにも拘らず有孔虫密度が増加していないことを報告した。そして、20世紀半ばの2回の海水面上昇は湖水の活発な循環を促し、有孔虫密度の増加を招いたが、環境変化のために20世紀末の海水面増加は湖水の循環を促進せずに、有孔虫密度も増加しなかったと解釈した。

本研究では、2012年に得た長さ32cmのコア中の有孔虫の変化に基づき、尾駱沼での環境変化を推定した。これにより、Nomura et al. (2006) の結果を確認するとともに、彼らが検討した期間の前後での尾駱沼における環境変化も明らかにする。そして、それらの環境変化を引き起こした原因についても考察する。

2. 尾駱沼の地形と湖水の構造

尾駱沼は、青森県下北半島南東部に分布する小川原湖沼群の最北端に位置し、平均水深は約2.5m、周囲長が14.3km、面積は3.71km²である。西の二又川からは淡水が、満潮時には東の尾駱川を經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駱沼の水深は、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)に達し、水深が1mに満たない尾駱川にかけて急減する。ゆえに、

尾駱川から流入した海水は尾駱沼深層に比較的滞留しやすい。尾駱沼の塩分は、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水する。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。尾駱沼の湖水は一般に酸性であるが、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)。

根本ほか(2016)は尾駱沼で現世有孔虫の分布を調査した。それによると底質は、水深1m未満では砂、2m以深では泥である。

3. 研究方法

本研究で用いたコア OA は、2012年6月13日に尾駱沼の最深部付近(北緯40°57.340', 東経140°21.533')から採取された(図1)。コアの長さは32cmである。コアは、船上から内径7.1cmの塩化ビニル樹脂製のパイプを人が体重をかけて湖底に押し込み、パイプの上端を塞いで回収した。

採取したコアから、層位間隔1 cm ごとに試料を分取した。湖底からの各試料の基底の深度 (cm) に基づいて、各試料を OA-1, 2, 3, …と称する。試料は、乾燥重量を秤量した後に、63 μ m のふるい上で水洗した。再度乾燥させた後に秤量し、水洗の前後の重量差から含泥率を求めた。その後に残渣を、簡易分割器を用いて、1 分割中に有孔虫殻が200個体以上含まれるように分割した。分割試料に含まれる全ての有孔虫殻を拾い出し、実体顕微鏡下で同定した。なお、OA-1,

9, 10, 11, および24の5試料は、全試料から拾い出しを行なっても、有孔虫殻の数が200個体に満たなかった。さらに、各試料の有孔虫密度を算出した。

4. 結果

1) 含泥率

含泥率は大部分の試料で90%を超えていた。しかし、OA-7, 20, および31の3試料では、85%前後の値を示した(表1, 図2)。

表1. 尾駸沼より得られたコアの各層準から産出した有孔虫, および含泥率.

Table 1. Distributions of foraminiferal species, mud contents in the studied core from Lake Obuchi-numa, southeastern Shimokita Peninsula, Northeast Japan.

interval (cm)	foraminifer										total	foraminiferal density (individual/g)	dry weight of sample (g)	mud content (%)					
	agglutinated					calcareous													
	<i>Texturalia?</i> sp.	<i>Trochammina hadai</i> Uchio	<i>Trochammina japonica</i> Ishiwada	<i>Trochammina</i> sp.	Gen. et sp. indet.	<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus) forma 1	<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus) forma 2	<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus) forma 3	<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus)	<i>Ammonia</i> sp.	<i>Ammonia?</i> sp.	<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem)	<i>Elphidium subincertum</i> Asano	<i>Elphidium</i> sp.	<i>Elphidium?</i> sp.	<i>Rosalina?</i> sp.	<i>Murrayinella</i> sp.	Gen. et sp. indet.	
0-1						4													
1-2						172			13			1					13	4	2.9
2-3		1	1			138			9		28						28	205	38.1
3-4			2			118			19				1				70	210	180
4-5	1					159			35					1			42	238	142
5-6						142			19			1	1				1	44	208
6-7		2				159			23								16	200	143
7-8						128			46	23	23		1				13	256	62.2
8-9						41			5	3	3						3	65	6.5
9-10						23		2	1	3	3						3	32	2.4
10-11						6			2	5							2	15	1.3
11-12						146	2		42	14			3				8	215	62.3
12-13						157	2		17	18	1						13	208	132
13-14						173	1		16	8	7						1	8	214
14-15						143	2		31	17	12						13	218	26.1
15-16						153	4		57	13	12							239	59.9
16-17						83			64	26	27						12	212	12.6
17-18						123	6		41	24	17						3	214	110
18-19						91	1		62	35	8						7	204	140
19-20						155	1		41	12							2	211	143
20-21						140			55	11	10						2	218	103
21-22						128			49	29	9						1	216	68.5
22-23						121	1		50	25	9						4	210	21.7
23-24						117			40	27	6						1	191	39.0
24-25						100			71	28	9						2	210	23.3
25-26						113	1		48	40	5							207	35.0
26-27						142	2		41	14	9						1	209	30.9
27-28						160			29	15	4						1	209	45.4
28-29						163	1		24	15	5							208	54.4
29-30						167	2		35	5	3						1	213	84.5
30-31						150	1		37	13	3						4	208	96.5
31-32						128			47	32	11						6	224	20.9

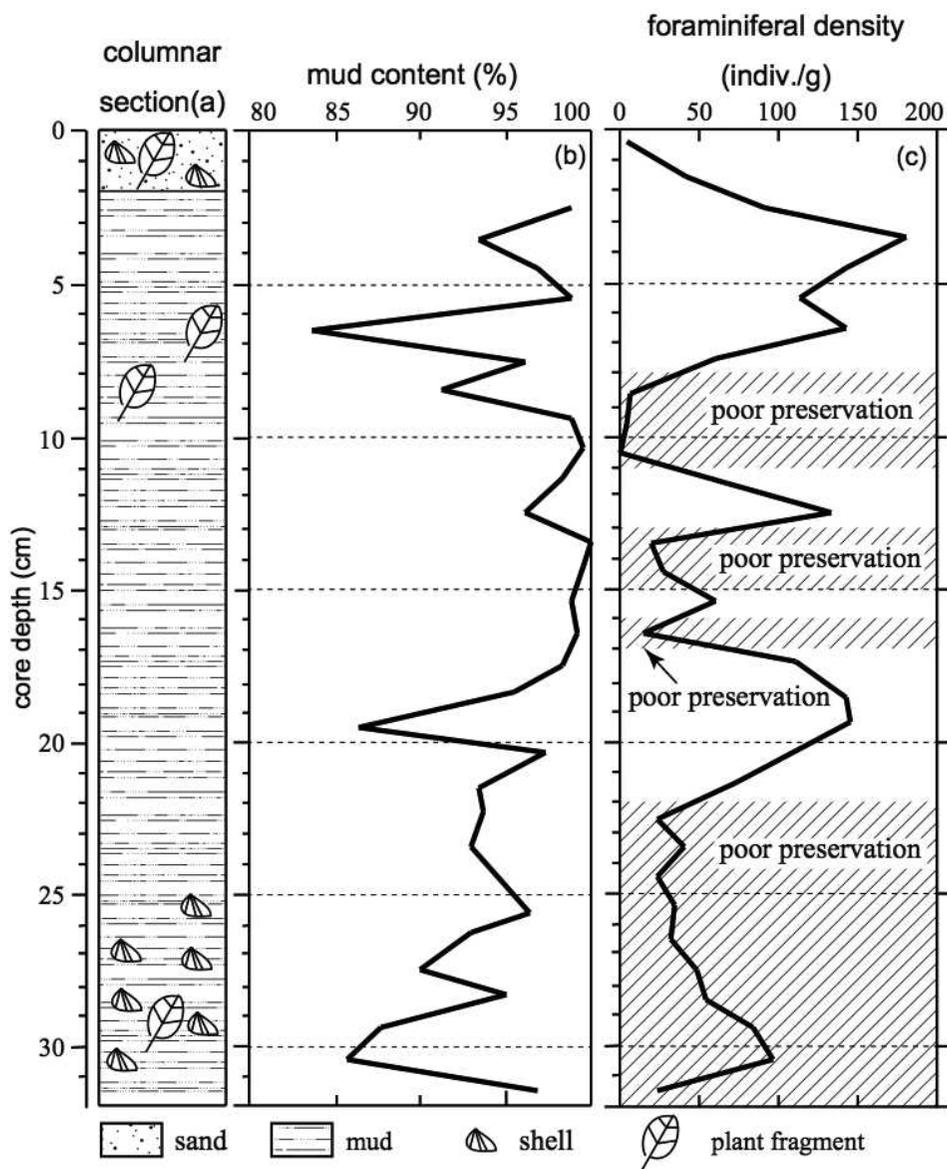


図2. コア OA の柱状図 (a), 含泥率 (b), および有孔虫密度 (c) の層位変化.

Figure 2. Columnar section of Core OA (a), and stratigraphic variations of mud content (b) and foraminiferal density (c) in Core OA from Lake Obuchi-numa, southeastern Shimokita Peninsula, Northeast Japan.

2) 有孔虫

7属6種の有孔虫が同定された(表1). 全ての層準で *Ammonia beccarii* (Linnaeus) forma 1 を主とする *Ammonia* 属が独占または卓越していたが, OA-14より上位では *Elphidium excavatum* (Terquem), *Elphidium subincertum* Asano といった他の石灰質タクサが, さらに OA-7より上位では *Trochammina hadai* Uchio, *Trochammina japonica* Ishiwada といった膠着質タクサが, わずかながら産出した. OA-9~11,

14~15, 17, および23~32では, 有孔虫の殻の保存状態が不良であった. 有孔虫密度は1.3~180個体/gの範囲で変動し, OA-3~8, 12~13, 16, 18~22, および29~31で比較的高い値を示した(図2).

5. 考察

1) 堆積年代

コア OA における各層準の堆積年代を, 本研究で得られた有孔虫密度の変化と Nomura et al. (2006)

が報告した有孔虫密度の変化とを比較して推定する。なお、コア OA の上部 2 cm は、砂から成り (図 2)、その基底には侵食面が認められた。このことからこの区間は、2011年 3月の東北地方太平洋沖地震による震動または津波により、尾駿沼浅部の堆積物が移動して再堆積したものと考えられる。そのため、OA-3 以深が 2011年 3月上旬以前に堆積したものとして考察を行う。

1970年代以前の尾駿沼における有孔虫密度は、太平洋から流入する海水量が海面変動により変化したために変化したとされる (Nomura et al. 2006)。そうであるなら、塩分躍層以深であればコア採取地点に拘らず有孔虫密度は同じ経時変化をしたことになる。さらに、コア OA は Nomura et al. (2006) が用いたコアの採取地点に近い位置から採取されたので、両者における有孔虫密度の経時変化は同様の傾向を示すと考えられる。

しかしながら、コア OA の上部 2 cm は砂から成り (図 2)、その基底には侵食面が認められた。しかし、その侵食量は不明である。そのため、以下の作業仮説をもとに、Nomura et al. (2006) のコアの深度 9.0, 11.0, 14.0, 19.0cm に着目して、コア OA における有孔虫密度の極大層準であるコア深度 4, 13, 20, 31cm との可能な対比を行い、コア OA におけるピーク

ク間の平均堆積速度を求めた (表 2)。作業仮説は、1) コア OA の深度 4 cm が Nomura et al. (2006) のコア深度 14.0cm より上位と対比できる、2) Nomura et al. (2006) で最も顕著なコア深度 11.0cm のピークは、コア OA でもその区間が含まれるなら確実に検出できる、の二つである。なお、Nomura et al. (2006) での極大層準の年代は、彼らの図 8 から読み取ったおおよその年代を用いた。

Nomura et al. (2006) が算出した彼らのコアの平均堆積速度である $0.075\text{g}/\text{cm}^2/\text{yr}$ をコア OA の横断面積当たりの堆積速度に換算すると、 $2.97\text{g}/\text{yr}$ となる。植田ほか (2002) によると尾駿沼の湖心部の環境は年間を通して安定しており、Nomura et al. (2006) が扱ったコアもコア OA もともに湖心付近から採取されているので、両者の堆積速度が大きく異なるとは考えにくい。表 2 に示したように、 $2.97\text{g}/\text{yr}$ に近いのは、case 2 の $2.72\text{g}/\text{yr}$ 、case 5 の $20\sim 13\text{cm}$ の $2.53\text{g}/\text{yr}$ 、および case 7 の $31\sim 20\text{cm}$ の $2.88\text{g}/\text{yr}$ である。このうち case 7 では、コア深度 19cm 以深の層準の平均堆積速度が $4.66\text{g}/\text{yr}$ 以上となってしまう、この推定は採用できない。一方 case 2 の値を外挿すると、コア深度 2 cm の侵食面により厚さ約 12cm の堆積物が削剥されていることになる。case 5 では、コア深度 2 cm の侵食面直下の年代は 2011年 となり、

表 2. Nomura et al. (2006) と本研究の有孔虫密度のピークの対比と堆積速度。

Table 2. Correlation between peaks of foraminiferal density in Nomura et al. (2006) and this study, and sedimentation rate based on their correlations.

Nomura et al. (2006)		this study									
		case 1		case 2		case 3		case 4		case 5	
depth (cm)	year	depth (cm)	rate (g/year)								
8.5-9.0	1975							3-4		3-4	12.56
10.5-11.0	1967			3-4		3-4		4.57		12-13	
13.5-14.0	1953	3-4			2.72	12-13	7.18				2.53
18.5-19.0	1930	12-13	4.37	12-13		19-20	4.07	12-13	4.07	19-20	

Nomura et al. (2006)		this study							
		case 6		case 7		case 8		case 9	
depth (cm)	year	depth (cm)	rate (g/year)						
8.5-9.0	1975	3-4		12-13		12-13		19-20	
10.5-11.0	1967	12-13	12.56	19-20	11.69	19-20	11.69	30-31	13.31
13.5-14.0	1953	19-20	6.68		2.88	30-31	7.61		
18.5-19.0	1930	30-31	4.63	30-31					

rate = sedimentation rate

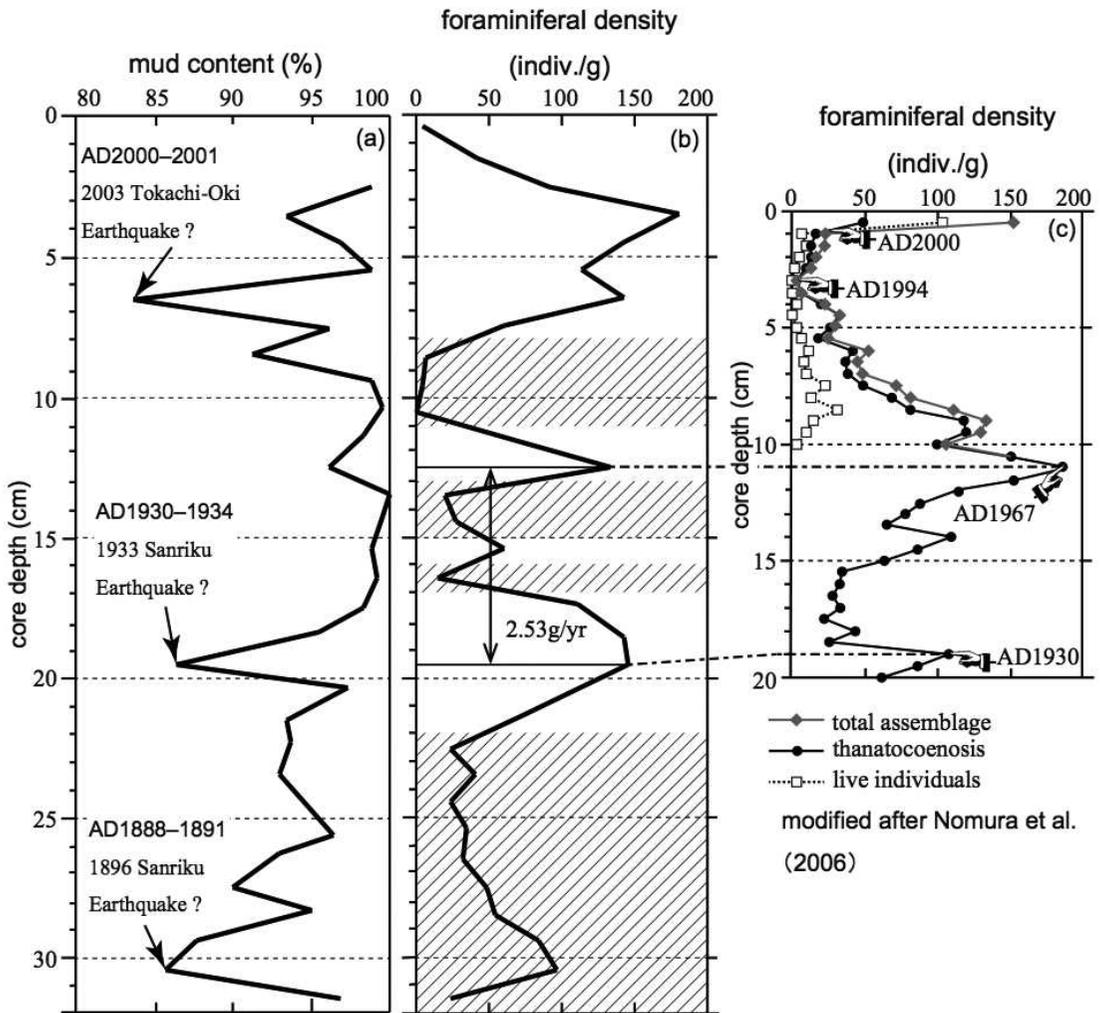


図3. 堆積年代の推定. コア OA の含泥率 (a), および本論 (b) と Nomura et al. (2006) (c) での有孔虫密度の層位変化.
 Figure 3. Estimated age of each horizon. Stratigraphic variations of mud content in Core OA (a), foraminiferal density in Core OA (b) and Nomura et al. (2006) (c).

侵食は極めて軽微なものだったことになる。

東北地方太平洋沖地震直後に尾駱沼の表層堆積物中の有孔虫を調査した根本ほか (2016) によれば, この地震によって尾駱沼に流入した津波は尾駱沼の有孔虫群集にほとんど影響を与えなかった。また, コア OA は尾駱沼の湖心付近から採取され, その周辺は比較的平坦な湖底地形である。侵食面より上位の砂は尾駱沼の縁辺から流れ込んだと推定されるが, その流れが湖心付近で大きな侵食力を保持していたとは考えにくい。さらに, コア深度 4 cm を Nomura et al. (2006) のコア深度 19.0 cm より下位の層準と対比すると, 推定される侵食量はさらに大きくなる。したがって, case 5 の堆積速度は Nomura et al. (2006) に比べて若干低いものの, 最も妥当な見積りと考えられる。

2) 含泥率の変化

含泥率がやや低い OA-7, 20, および 31 の年代は, 前述の堆積速度に基づいて推定すると, それぞれ 2000~2001 年, 1930~1934 年, および 1888~1891 年である。これらはそれぞれ, 十勝沖地震 (2003 年), 昭和三陸地震 (1933 年), および明治三陸地震 (1896 年) に近い年代であり, 含泥率の低下はこれらの地震に起因している可能性が考えられる (図 3)。この対応は, 本論での堆積速度の推定の妥当性を示唆する。ただし, これらの層準で有孔虫密度や種構成に変化は認められなかった。

原口・岩松 (2011) によると, 尾駱沼には東北地方太平洋沖地震により津波が流入した。前述のように, 根本ほか (2016) は, 尾駱沼の有孔虫群集には東北地

方太平洋沖地震に起因する顕著な変化が見られなかったと報告した。そして、その原因は、津波が尾駱沼と太平洋を隔てている浜堤を超えずに、尾駱川を遡上したに過ぎず、尾駱沼の外から有孔虫殻が運び込まれることはほとんどなかったためと解釈した。六ヶ所村史刊行委員会編（1997）によると、明治三陸地震では津波による漁具等の流失はあったものの、六ヶ所村での人的被害はなかった。昭和三陸地震の際には、六ヶ所村泊には波高2mの津波が襲来したが、六ヶ所村での被害は漁船破損3隻、家屋倒壊2戸に留まっている。2003年の十勝沖地震の際の六ヶ所村泊南の津波高は1.3mであった（<http://www.eriu-tokyo.ac.jp/people/hirata/tokati/4.3.1/4.3.1t.pdf>）。このように、前述の各地震によって大規模な津波が尾駱沼に襲来したという記録はない。したがって、本コアでの含泥率の低下は、地震による揺れそのものまたは尾駱沼に侵入した小規模な津波によって起こった擾乱により、尾駱沼の浅部から砂質堆積物が湖心部に流下して起こったと考えられる。

3) 有孔虫

本論での有孔虫密度の変化を八戸での海水面変動（Permanent Service for Mean Sea Level, http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/sl_trend/sl_trend.html）と比較する（図4）。この図では、海水面を5年間の移動平均で表している。なお、八戸の海水面のデータは、1941年に観測が開始されたので、それ以前のものはない。有孔虫殻の保存が悪い層準を除けば、有孔虫密度が高い期間は海水面も高い。本論で採用した年代は、有孔虫密度の変化パターンを海水面変動と同様に变化している Nomura et al. (2006) のそれに対比して得た。したがって、本論での有孔虫密度が海水面変動と類似の変化をしたのは当然であろう。さらに、Nomura et al. (2006) が扱わなかった2003年以降に着目すると、尾駱沼での有孔虫密度は高い値で推移し、海水面も高いままである。海水面は1990年代に上昇を始めていたが、Nomura et al. (2006) での有孔虫密度は2000年代に相当する最上部の試料で上昇傾向を示していた。本研究の結果は、高海水面の継続を反映して、2000年代以降の尾駱沼の有孔虫密度が高かったことを示す。つまり、尾駱沼の有孔虫密度は、20世紀半ばの海面上昇には即応して上昇したが、1990年代の海面上昇には時間差をもって応答した。これは、1980年代に行われたむつ小川原港や尾駱浜船溜りの建設によって海岸地形が変化し、尾駱沼の環境が海水面上昇に対してより緩慢に応答するようになったためかも知れない。

一方、1930年代以前では、1888年頃に有孔虫密度の極大が認められた。したがって、この時期にも海水面

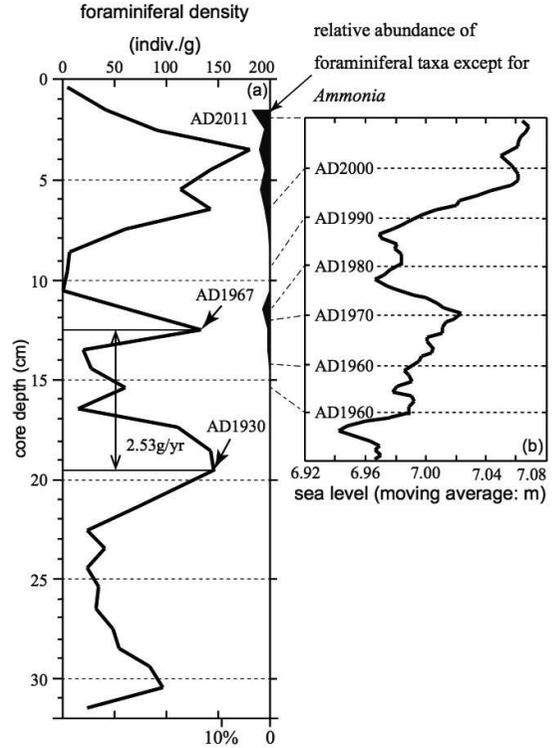


図4. コアOAでの有孔虫密度の層位変化(a)および八戸での海水面変動(b)。

Figure 4. Stratigraphic variations of foraminiferal density in Core OA (a) and temporal sea level change in Hachinohe, eastern part of Aomori Prefecture (b).

上昇のような尾駱沼における湖水循環を活発化させる出来事があったと示唆される。

全ての層準で *Ammonia beccarii* forma 1 を主とする *Ammonia* 属が独占または卓越していたが、OA-14~12とOA-8より上位では他のタクサも産出した。石灰質種である *E. excavatum* forma *excavatum* および *E. subincertum* は、小杉ほか(1991)による東京湾の研究によると塩分がそれぞれ35%前後および30~35‰の海域に生息する。一方、*A. beccarii* は広塩性種であり(Alve and Murray 1999)、東京湾では淡水の流入により塩分が8~30‰の範囲で変動する海域に分布する(小杉ほか1991)。したがって、OA-14~12およびOA-8より上位が堆積した時代は、*A. beccarii* forma 1の生息には適しており、かつ *E. excavatum* forma *excavatum* および *E. subincertum* の生息も可能な塩分環境であったことが示唆される。一方、それ以外の層準では *E. excavatum* forma *excavatum* および *E. subincertum* の生息が困難であったと推定される。よって、尾駱沼の塩分は両種の生息には適さないほど低かったものの、1970年前後および1990年代後期以降

には高海面を反映して尾駱沼に流入する海水量が増え、湖底の塩度が上昇したと考えられる。

東京湾において *Trochammina* 属は *A. beccarii* forma 1 と同じ環境に生息しており (小杉ほか 1991)、尾駱沼における *Trochammina* 属の産出が塩分の変化に起因するとは考えにくい。コア下方に向かって膠着質有孔虫の割合が減少する例が知られ、これらはタフォノミックな変化と解釈されている (例えば、Edelman-Furstenberg et al. 2001; Murray and Pudsey 2004)。本試料でも OA-8 以深では膠着質有孔虫が見られないことも、膠着質殻が時間の経過とともに分解してしまったためと考えられる。

6. 結論

青森県下北半島南東部に位置する尾駱沼から長さ 32cm のコアを採取し、含泥率および有孔虫の層位変化を分析した。有孔虫密度の変化から、このコアの堆積速度は $2.53\text{g}/\text{cm}^2/\text{yr}$ と見積もられた。この堆積速度より、含泥率がやや低い 3 層準の堆積年代は、それぞれ十勝沖地震 (2003年)、昭和三陸地震 (1933年)、および明治三陸地震 (1896年) に相当し、コア基底の堆積年代は 1880 年代と推定された。有孔虫は *Ammonia beccarii* が独占または卓越していたが、コア深度 14cm 以浅ではそれ以外のタクサも認められた。これは、1970 年前後および 2000 年以降の高海面を反映していると考えられる。有孔虫密度の増減は、主に海水面変動を反映していると推定される。20 世紀半ばには海面上昇に即応して有孔虫密度が上昇したが、1990 年代の海面上昇に対しては、有孔虫密度はやや遅れて上昇した。この相違は、尾駱川河口の地形改変に起因しているかも知れない。

謝辞

東北大学大学院理学研究科助教の山田 努博士および東北大学名誉教授の箕浦幸治博士には、本研究で用いたコアを提供して頂いた。査読者である化石研究会誌編集委員の小幡喜一会員および東海大学海洋学部博物館の柴 正博会員には貴重なご意見を頂き、原稿が改善された。記して感謝する。

文献

Alve E, Murray JW (1999) Marginal marine environments

of the Skagerrak and Kattegat: A baseline study of living (stained) benthic foraminiferal ecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 146, 171-193

Edelman-Furstenberg Y, Scherbacher M, Hemleben C, Almogi-Labin A (2001) Deep-sea benthic foraminifera from the central Red Sea. *Journal of Foraminiferal Research* 31, 48-59

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, 97p

廣瀬孝太郎・安原盛明・辻本 彰・山崎秀夫・吉川周作 (2008) 大阪湾における過去約 120 年間の珪藻遺骸群集組成と人為環境改変・汚染による影響. 第四紀研究 47, 287-296

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

Murray JW, Pudsey CJ (2004) Living (stained) and dead foraminifera from the newly ice-free Larsen Ice Shelf, Weddell Sea, Antarctica: ecology and taphonomy. *Marine Micropalaeontology* 53, 67-81

根本直樹・佐々木 瞳・相澤武宏 (2016) 青森県下北半島南部、尾駱沼における現世有孔虫の分布. *化石研究会誌* 48, 66-73

Nomura R, Nemoto N, Komura K (2006) Environmental changes in brackish Lake Obuchi-numa, Aomori Prefecture, northeast Honshu, Japan, with special reference to sea-level variation in the 20th Century. *Quaternary Research* 45, 347-360

六ヶ所村史刊行委員会編 (1997) 六ヶ所村史 下巻 II. 六ヶ所村史刊行委員会, 六ヶ所, 829p

植田真司・川端一史・長谷川英尚・桜井直行・近藤邦男 (1998) 青森県汽水湖尾駱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, 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) 浅い汽水湖尾駱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