

福島県猪苗代湖の湖底堆積物コア試料(INW2012)と産出する珪藻化石

廣瀬孝太郎 (福島大学・共生システム理工学類)・後藤敏一 (近畿大学・医学部基礎医学部門研究室)
 ・長橋良隆 (福島大学・共生システム理工学類)

要 旨

猪苗代湖の湖心部で掘削されたボーリングコア (INW2012: 掘削長 28.13 m) の層序学的検討と、そこから産出する珪藻化石の形態・分類学的検討を行った。INW2012 コアの約 5.0~7.0 m は、コア主要部のバーコード様の明暗細互層とは岩相から明確に区別できる、規則的な細互層が発達する。約 9000~5000 年前に相当するこの層準は、珪藻殻の産出量が上位・下位よりもはるかに多く、この時期の猪苗代湖には気候変動に対応した大きな環境変化が生じたことが示唆された。また、このうち多くの層準では *Aulacoseira* sp. が優占した。本種は、*A. subarctica* に形態的に類似するが殻の細部の構造において明確に異なる。また、一部の層準では *Eunotia* sp. (aff. *E. paludosa* Grunow) が優占した。本種の栄養細胞に混じって、大別して二つのタイプの奇形 (大型の殻と小型の殻) が豊富に含まれた。大型の殻の奇形では、殻の中央が腹側あるいは背側へ湾曲する、殻の末端が腹側へ曲がる、縦溝が殻面に配置する、中肋が本来の位置よりも背側にずれる。また、小型の殻では、腹側あるいは背側が突出する、本来の 2 つの殻末端に加え縦溝を伴った末端が 1 つ余分に加わるなど、形質の変異は多岐にわたる。これらの奇形のそれぞれは、殻のサイズ、形状の特徴などから、本種の生活環の中の特定の時期に形成されたことが推定される。

I. はじめに

湖沼堆積物には、湖沼やその周辺環境の変化が記録されている。とくに、過去から現在まで継続して堆積している大規模な湖沼には、古環境を解析するための貴重な情報が保存されている。日本の湖沼では、琵琶湖や水月湖などにおいて、古環境に関する研究が行われている (たとえば Hayashida *et al.*, 2007 ; Nakagawa *et al.*, 2003)。しかし東日本の湖沼においては、このような知見に乏しいのが現状である。

猪苗代湖は福島県の中央部に位置し、湖面標高 514 m、湖面積 103 km² (国内 4 位)、最大水深 94m の湖である。猪苗代湖の湖水は、1995 年まで pH 5 程度を示し、火山性酸性湖とされていた。それは、安達太良山西麓を源流とする硫黄川の強酸性水 (pH 2 程度) が、長瀬川と合流し猪苗代湖に注いでいるからである。しかし、1996 年以降、徐々に pH が上昇し、2011 年には pH 6.9 のほぼ

中性となっている (福島県環境センター, 2013)。その原因として人為的環境変化の影響が指摘されているが、正確なメカニズムを明らかにするためには、堆積物中の情報から過去に遡り、現在の環境を時系列の中で評価する必要がある。

INW2012 コアは、2012 年に猪苗代湖の水深約 92 m の地点において掘削された。湖心部で採取したコアであることから、猪苗代湖の形成期の岩相とその年代についてこれまでより高精度で議論できる可能性がある。また、猪苗代湖とその周辺地域の水域生態系や古植生などの古環境変遷を検討する試料としても重要である。このように、INW2012 を用いて猪苗代湖の形成史と古環境変遷史の解明を目的とし、それらの分析や解析が現在進行中である。本論では、猪苗代湖の湖心部で採取した湖底堆積物コアの岩相層序の概要、およびそこに産出する珪藻の形態について報告する。

II. INW2012 コアの岩相層序

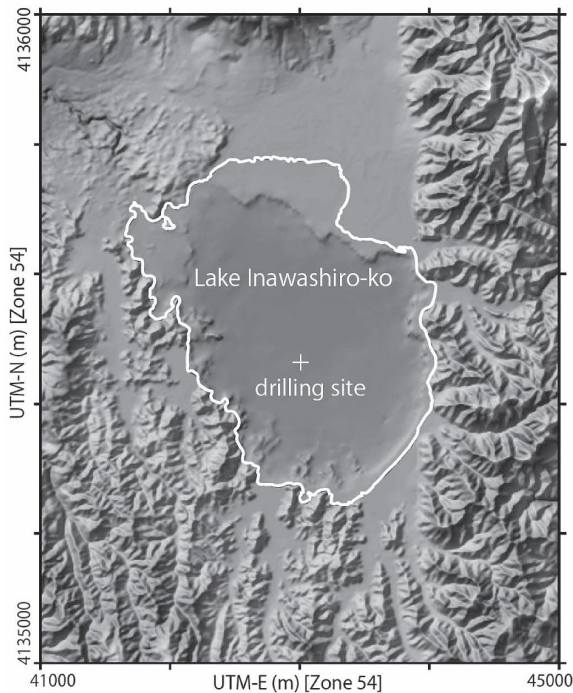


図1 研究地域および試料採取地点

2012年に、福島県猪苗代湖の湖心部付近において掘削長28.13mの湖底堆積物を掘削した(図1)。この湖底堆積物コア(INW2012)の岩相層序と年代を明らかにし、猪苗代湖層と命名した。詳細は長橋・廣瀬(2013)および投稿中の論文(廣瀬ほか, 投稿中)にまとめられているのでここでは概要を報告する。

採取したコアの深度は28.13mまでであるが、少なくとも深度37.17mまでは砂礫が連続することを確認した。猪苗代湖層は、岩相層序により、下部・中部・上部に3分される。下部(深度37.17~26.60m)は、砂礫層と細礫や材片を含み上下方向に岩相変化の激しい中粒砂~砂質シルトからなる。中部(深度26.60~24.89m)は、深度26.60~26.51mではこの下位よりも有機物の含有量が極端に少なく、弱く成層した極細粒砂からシルトに上方細粒化する。これより上位の主要部は、材片を希に含み、全体をとおして極細粒砂からシルトに上方細粒化しているが、顕著な堆積構造は確認できない塊状の岩相を示す。上部(深

度24.89~0.00m)の主要部は、直径0.5~2mmの黒色の顆粒を含むオリーブ灰~灰色の粘土と、黒色の粘土からなる明暗縞状の細互層であり、一枚の縞の厚さが不規則であるため、バーコード様を呈する。このバーコード様粘土には、火山泥流や非火山性の洪水、堆積後の続性作用などで形成されたと考えられる堆積物が少なくとも64層挟まれる。また、深度6.99~4.96mは、細かなラミナ状の縞が発達する。この縞は1組の厚さが2~3mm程度で、その中で下部から上部に向かって灰色~黒色に漸移的に変化する(図2)。この縞は、とくに495.9~545.4cm, 496.9~501.4cm, 647.3~648.3cm, 660.3~660.8cm, 663.3~663.8cm, 679.0~684.5cm, 687.3~698.8cmに顕著である。これらは、その岩相から、主要部を構成する上述のバーコード様の縞と明確に区別され、構成物質の多くが珪藻化石であることも特徴の一つである。

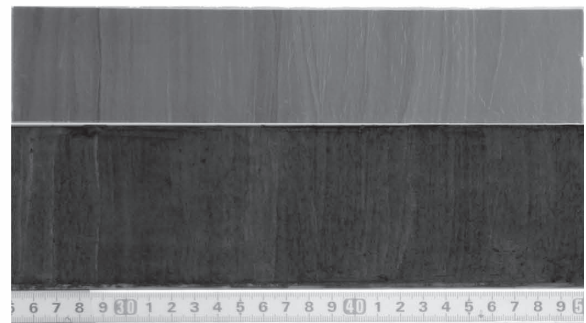


図2 縞状年度の断面写真(下) および軟X線写真

INW2012コアの ^{14}C 年代測定値(2 σ 暦年代範囲)により、3.24mで1212BC~1025BC、深度5.76mで4259BC~4051BC、深度7.93mで7973BC~7728BC、深度15.09mで27756BC~27263BC、深度24.93mで42571BC~41471BC、深度25.60mで40451BC~39611BCの年代値が得られた。これらの年代値とコアの岩相から年代モデルを設定した結果、上部の基底から深度15.09mの堆積速度は、約0.7(mm/yr)となり、上部の中では比較的速い。その上位では、深度7.93m

まで約 0.3 (mm/yr) と上部のうちで最も遅い。それより上位では上部ほど速く、深度 3.24 m から表層では 約 1.0 (mm/yr) となった。

III. 珪藻分析方法

INW2012 の断面からスパーテルを用いて一辺 5 mm 程度の直方体状に試料を切り出し、二次試料とした。そのうち、前述の明瞭な縞状構造が発達する深度 6.99~4.96 m から採取された深度 647.8 cm (IN2-08: 13.5) および深度 694.3 cm (IN2-08: 60.0) を珪藻分析に供した。適量を約 6% の過酸化水素水とともに約 10 分間加熱した後、プルーラックスで封入した。観察および計数は、油浸系対物レンズ (×100)、接眼レンズ (×10) のもとで、カバーガラス上の任意に選んだ直線に沿って、メカニカル・ステージを用いて走査しながら行った。

IV. 結果と考察

1. *Aulacoseira* sp. の形態的特徴

深度 694.3 cm (IN2-08: 60.0) の試料を観察した結果、この試料には *Aulacoseira* 属の 1 種が極めて高い頻度で優占していることがわかった。また、予察的な検鏡の結果、前述の明瞭な縞が発達する層準 (6.99~4.96 m) の多くでは、深度 647.8 cm と同様に同一の種が優占した。本研究では、この種を *Aulacoseira* sp. として以下にその形態的特徴について述べる。

Aulacoseira sp. の光学顕微鏡写真を図 3 (1~6) に示す。殻は円筒形であり、連結針により直線状の群体を形成する。殻面は円形、殻の直径は 2.5~10.5 μm、殻 (殻套) の高さは 7.0~12.0 μm で、殻の高さが小さい細胞ほど殻の直径が大きい傾向にある。殻面には胞紋は無いが、もしくは縁辺に存在する。殻套では若干らせんを描く胞紋列が条線を構成する。胞紋密度は 10 μm あたり 14~20 個であり、条線密度は 10 μm あたり 14~16 本である。連結針の長さは 1.9-2.8 μm で先端は尖り、

基部は間条線 2 本分の幅をもつ。殻套縁には幅 1.1-3.0 μm の横輪 (ringleist; ring-costa) が発達する。殻面観において、唇状突起は横輪にピントを合わせると、殻套に張り付いたような数個の大型の黒い影として認められ、その幅は 1.5~3.0 μm である。

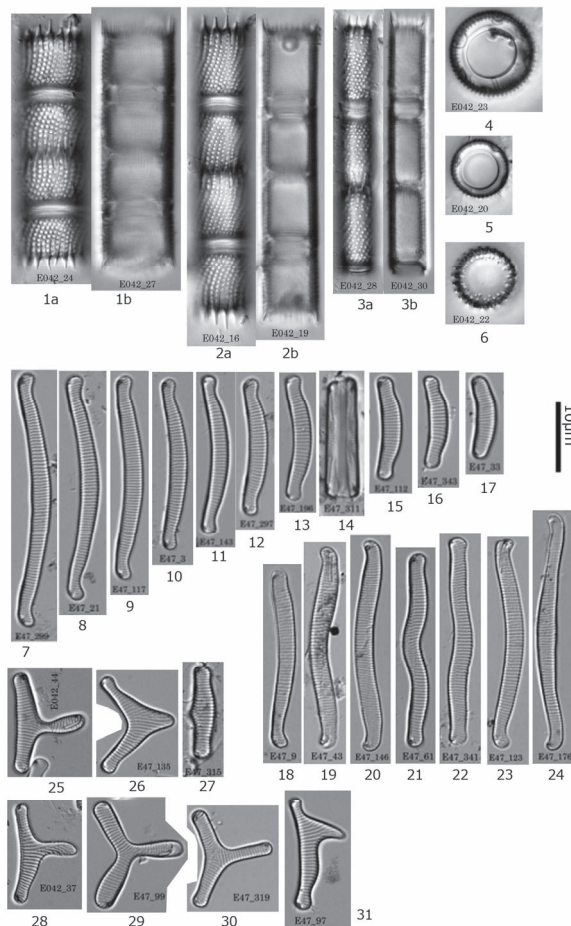


図 3 産出した珪藻の光学顕微鏡写真

1~6: *Aulacoseira* sp., 7~17: Valves of vegetative cells of *Eunotia* sp. (aff. *E. paludosa*), 18~24: Teratological forms of *Eunotia* sp. (Type A), 25~31: Teratological forms of *Eunotia* sp. (Type B).

以上の特徴から、*Aulacoseira* sp. は *A. subarctica* (O.Müll.) E.Y.Haw., および *A. longispina* (Hust.) Simonsen に類似するが、条線密度、唇状突起の形状、連結針のサイズなどの点で異なる。現生種としては確認されていないので詳細な生態は不明であるが、他の *Aulacoseira* 属と同様に、主と

してプランクトン性（たとえば渡辺ほか，2005）である可能性が高い。

2. *Eunotia* sp. (aff. *E. paludosa* Grunow) の形態的特徴

深度 647.8 cm (IN2-08: 13.5) の計 1,639 殻を観察した結果，この試料には *Eunotia paludosa* に類似した *Eunotia* 属の 1 種が優占し，約 92 % を占めた(表 1). 本項では，この種を *Eunotia* sp. (*Eunotia* aff. *paludosa*) として以下にその形態的特徴について述べる。

表 1 *Eunotia* sp. の形態別産出頻度量

	valves	R. A. (%)
<i>Eunotia</i> sp. (aff. <i>E. paludosa</i>)	1142	69.7
Teratological form Type A	89	5.4
Teratological form Type B	273	16.7
<i>Eunotia trinacria</i> Krasske	50	3.1
<i>E. sp. 1</i>	13	0.7
Others	72	4.4

Eunotia sp. の光学顕微鏡写真を図 3 (7~17) に示す。本種の殻の形状は，(*Eunotia* 属のいずれの種もそうであるように)，頂軸に対して非対称の三日月型である。殻の長さは 12.0~34.0 μm ，殻の幅は 2.5~3.5 μm である。条線はほぼ平行に配列し，その間隔は腹側に比べ背側でやや広い。条線密度は 10 μm 当たり 19~24 本である。本種は，*Eunotia paludosa* Grunow に類似するが，殻の湾曲の程度がより強い点で異なる(表 2)。

表 2 *Eunotia* aff. *paludosa* の形態的特徴

	valves	R. A. (%)
<i>Eunotia</i> sp. (aff. <i>E. paludosa</i>)	1142	69.7
Teratological form Type A	89	5.4
Teratological form Type B	273	16.7
<i>Eunotia trinacria</i> Krasske	50	3.1
<i>E. sp. 1</i>	13	0.7
Others	72	4.4

E. paludosa のサイズに関する情報は Alles *et al.*, (1991) による。

生態に関しては，現生種として確認されていないので不明であるが，*Eunotia* 属は底生性であり(渡辺ほか 2005)，たとえば猪苗代湖周辺においては，裏磐梯の赤沼やり沼など，比較的水深の小さい湖沼の試料で確認されている(たとえば廣瀬ほか，2013 の *Eunotia* aff. *exigua*)。本研究における *Eunotia* sp. の産出層準である深度 647.8 cm (IN2-08: 13.5) は，堆積構造や構成粒子などの岩相の特徴から，現在の猪苗代湖とあまり変わらない大水深を有する静穏な環境で堆積したと考えられる。そのため，本種が底生性であるならば，100 m 近い水深の底質表層に繁茂していたとすることには違和感がある。また，本種が優占種として化石群集の 92 % を占めることから，流入河川や水深の小さい湖の沿岸域から運搬されて異地性群集として堆積したとも考えにくい。

Eunotia sp. の堆積当時，本種が湖面付近の浮遊物(大型の藻類など)に付着して繁茂していた可能性など，本種の生息状況については今後の課題としたい。

また，特筆すべきは，本種の奇形がこの試料中に高い割合で含まれることである。この奇形は，大きく分けて 2 つのタイプ (Type A と Type B) に分類される。このうちの Type A は総じて大型であり，通常の栄養細胞と類似した形状を示すものの，殻の形状や構造において異なる(図 3 : 18~24)。この中には，縦溝が殻面に配置するもの，中肋 (sternum) が本来の位置よりも背側にずれるもののほか，殻の背側が内側に湾曲するものや，貫殻軸方向に湾曲するものが確認された。もう一つの Type B は，殻の中央が腹側，あるいは背側へ湾曲・突出する特徴を有し，総じて小型であった(図 3 : 25~31)。その中には，本来の 2 つの殻末端に加え縦溝を伴った末端が 1 つ余分に加わるものもあった。全ての珪藻殻に対する割合は，通常の殻が 69.7 %，Type A が 5.4 %，Type B が 16.9 % を占める(表 2)。

これらの奇形のそれぞれは，各タイプで殻のサ

イズが比較的均一であること、形状の特徴などから、本種の生活環の中の特定の時期に形成された可能性がある。

3. 珪藻多産層準の古環境

年代モデルによると、INW2012の明瞭な縞が発達する層準(6.99~4.96 m)は、約5000年前~9000年前に相当する。前述のように、この層準は、その上下に比べ、珪藻化石の産出量のはるかに多い。また、この層準は、猪苗代湖が成立して以降過去4万2000年間で、世界的に最も温暖であったと考えられている時期に相当する(たとえばNGRIP, 2004; Mayewski *et al.*, 2004)。琵琶湖湖底の第四紀の湖沼堆積物において、温暖期には、珪藻化石の産出量が増加することが指摘されており(たとえばKuwae *et al.*, 2002)、これは温暖期の湿潤な気候により、河川からの栄養塩の負荷量増加が珪藻の生産量を増大させたためであるとされている。INW2012における珪藻化石の多産もこのような気候変動が湖の環境に大きな変化を生じさせた可能性が高い。また、Falasco *et al.* (2009)によれば、珪藻に奇形が生じる要因とは、1) 環境ストレス、2) 紫外線、3) 機械的な要因、4) 塩分、5) 栄養塩のレベル、6) 重金属、7) 毒性物質の混入、8) 人工的な生育状況、である。*Eunotia sp.*の奇形殻の多産には、これらのうちいずれの要因が主として寄与しているかは今後詳細な検討を行う必要があるが、湖の環境変化が関与する栄養塩量の変化や個体群密度の増加により、生育に対して何らかのストレスが生じた可能性が高い。

V. まとめ・今後の課題

猪苗代湖の過去4万2000年間の環境変動を記録していると考えられるINW2012コアのうち、約5000年前~9000年前に相当する層準は、特徴的な縞が発達し、珪藻化石が極端に多産する層準であることが明らかになった。この層準に優占す

る *Aulacoseira sp.* および *Eunotia sp.* は、古環境を解析する鍵となるが、現時点では既往の報告に形態が一致する種を見いだすことができなかったため、今後はこれらの種の同定・生態に関する情報を蓄積したい。また、*Eunotia sp.*の奇形の極端な多産や、底生性であるはずの *Eunotia* 属が大水深の湖心部から大量に産出する原因も不明である。そのため、今後はコアを通じて珪藻群集の変化を明らかにし、それを駆動した湖沼のシステムを明らかにしていきたい

謝辞

本論で用いた地図データの一部を、福島大学の柴崎直明教授に提供いただいた。また、試料採取などの作業は、福島大学の中澤なおみさん、神野成美さん、金子翔平さんにお手伝いいただいた。また、中澤さんには軟X線写真の撮影もお願いした。さらに、猪苗代湖の湖底堆積物の掘削と研究に関わって、以下の諸機関から許可や協力をいただいている。ここに記して謝意を表する。

環境省、福島県生活環境部、福島県環境センター、福島県会津若松建設事務所、福島県県中建設事務所、福島県猪苗代土木事務所、会津若松市、郡山市、猪苗代町、猪苗代・秋元漁業協同組合、磐梯観光船株式会社、猪苗代湖の自然を守る会、(株)ニチレイ

引用文献

- Alles E., Nürpel-Schempp M. and Lange-Bertalot, H. (1991) Zur Systematik und Ökologie charakteristischer *Eunotia*-Arten (Bacillariophyceae) in elektrolytarmen Bachoberläufen. Nova Hedwigia 53,171-213.
- Falasco, E., Bona, F., Ginepro, M., Hlúbíková, D., Hoffmann, L. and Ector, L. (2009) Morphological abnormalities of diatom silica walls in relation to heavy metal contamination and artificial growth

- conditions. *Water SA*, 35, 595–606
- 福島県環境センター (2013) 福島県環境センター
年報 第15号. 84p, 福島県環境センター.
- Hayashida, A., Ali, M., Kuniko, Y., Kitagawa, H.,
Torii, M. and Takemura, K. (2007) Environmental
magnetic record and paleosecular variation data
for the last 40 kyrs from the Lake Biwa sediments,
Central Japan. *Earth Planets Space*, 59, 807–814.
- 廣瀬孝太郎・長橋良隆・中澤なおみ (投稿中) 福
島県猪苗代湖の湖底堆積物コア (INW2012)
の層序と年代. 第四紀研究.
- 廣瀬孝太郎・長橋良隆・高貝慶隆 (2013) 裏磐梯
五色沼湖沼群の湖底堆積物～堆積物および懸
濁物の化学・粒度組成, 珪藻～. 福島大学磐
梯朝日遷移プロジェクト平成24年度報告書,
38-47.
- Kuwae, M., Yoshikawa, S. and Inouchi, Y. (2002) A
diatom record for the past 400 ka from Lake Biwa
in Japan correlates with global paleoclimatic
trends. *Palaeogeography, Palaeoclimatology,
Palaeoecology*, 183, 261-274.
- Mayewski, P. A., Rohling, E.E., Curt Stager, J.,
Karlén, W., Maasch, K.A., David Meeker, L.,
Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveland, S.,
Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack,
F., Staubwasser, M., Schneider, R.R. and Steig, E.
J. (2004) Holocene climate variability. *Quaternary
Research*, 62, 243-255.
- 長橋良隆・廣瀬孝太郎 (2013) 猪苗代湖湖底堆積
物の掘削とコア試料の概要. 福島大学地域創
造, 24, 55-61, 福島大学.
- Nakagawa, T., Kitagawa, H., Yasuda, Y., Tarasov, P.E.,
Nishida, K., Gotanda, K. and Sawai, Y. (2003)
Asynchronous Climate Changes in the North
Atlantic and Japan During the Last Termination.
Science, 299, 688-691.
- North Greenland Ice Core Project members (2004)
High-resolution record of Northern Hemisphere
climate extending into the last interglacial period.
Nature, 431. 147-151.
- 渡辺仁治・浅井一視・大塚泰介・辻彰洋・伯耆 (2005)
淡水珪藻生態図鑑. 群集解析に基づく汚濁指
数 DAIPo, pH 耐性能. 784p, 内田老鶴圃.