

## 猪苗代湖底コア試料 (INW2012) の全有機炭素量・全窒素量の 層序変動に基づく過去 5 万年間の気候・環境の解析

渡邊 慶 (信州大学大学院理工学研究科) ・公文富士夫 (信州大学理学部)  
・長橋良隆・廣瀬孝太郎 (福島大学・共生システム理工学類)

### 要 旨

福島県猪苗代湖で採取された INW2012 コア試料を対象に 200 cm 以浅では 1 cm ごとに、200 cm 以深では 1 cm おきに深度 27.8 m まで、約 1500 試料の全有機炭素 (TOC : total organic carbon), 全窒素 (TN : total nitrogen) の含有量を測定した。6 つの放射性炭素年代測定値と 6 つのテフラ年代から年代モデルを作成して深度を年代に変換し、約 48 ka までの猪苗代湖における TOC, TN 含有率の経年変動を明らかにした。湖底堆積物の TOC 含有率の経年変動と、長野県北部の野尻湖湖底堆積物の TOC の経年変動とを比較した。両者はよく似ており、本コアにおける TOC 含有率の変動は、猪苗代湖の生物生産性を表すだけでなく、この地域をとりまく気候変動を表していることが分かった。グリーンランド氷床 (NGRIP) の酸素同位体比との比較からも本コアの TOC 含有率が汎世界的な寒暖変動に大きく影響を受けていると考えられる。本研究の TOC 含有率変動の資料は今後の東北地方における気候指標として有意義である。

### I. はじめに

湖沼堆積物中の全有機炭素 (total organic carbon: TOC) と全窒素 (total nitrogen: TN) の含有率 (濃度) は、湖沼における生物生産性の指標としてしばしば測定されてきた。また、C/N 比は、有機物の起源が湖内のプランクトンか、周辺陸域の植物由来か、という指標となることが指摘され、古環境解析の指標として利用されてきた (例えば、中井ほか, 1982)。その後、湖沼堆積物中の TOC の研究が積み重ねられ (Adhikari and Kumon, 2001; Benson *et al.*, 2003 など)、湖沼堆積物中の TOC, TN が、単に湖沼内の生物生産性を反映するだけでなく、生物生産性を支配する気候や環境の指標としても有効であることが認められつつある (公文ほか, 2005; Kigoshi *et al.*, 2014 など)。また、TOC・TN の測定は比較的簡便な機

器分析であるため、多数の分析が必要となる長期期間の解析に有利である。

本研究は 2012 年に猪苗代湖で採取された湖底堆積物コア (INW2012 : 廣瀬ほか, 2014) に対して、高時間分解能で TOC・TN 含有量を測定することによって、過去 4.8 万年間の猪苗代湖の生物生産性の変動を解明し、猪苗代湖とその周辺域の古気候・古環境変遷を明らかにすることを試みた。

### II. コア試料について

猪苗代湖堆積物コア (INW2012) は、福島県猪苗代湖のほぼ湖心部 (図 1 : 37°27'43.4"N, 140°05'57.4"E, 水深 90 m) で水圧式シンウォールサンプラーを用いて 2012 年 11 月に掘削、採取されたものである (廣瀬ほか, 2014)。INW2012 コアは、隣り合った 4 つの掘削孔で深度をずらし

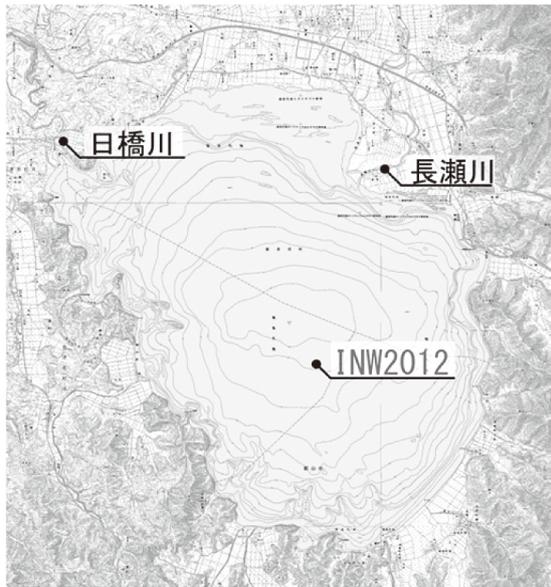


図1 福島県猪苗代湖における INW2012 コアの掘削位置

(国土地理院の数値地図 1/25000 を改変)

ながら採取されたコア試料を繋ぎ合わせて集成した標準となる岩相層序が設定されている(廣瀬ほか, 2014)。なお, 本コアの採取サイトは 90m の深い水深があるため, 現在では波浪による攪拌の影響は受けていない。また, 採取サイトは碎屑物の主要な供給源となる北岸とは最深部を挟んで反対側に位置し, 数 m ほど水深が浅い場所を選んでいるため, 洪水を起源とするタービダイト流の影響も比較的小さいと考えられる。

採取されたコア試料 INW2012 は, 全長 28.13 m とされているが, 本研究では深度 27.8 m 以浅をみつかった。27.8~26.6 m では細礫や粗粒砂で構成され, 材化石・植物遺体などを散在して含む(廣瀬ほか, 2014)。深度 26.60~24.89 m では, 正級化する細粒砂~シルトである。深度 24.89~0.0 m では, おもにオリーブ灰~灰色粘土層と黒色粘土層とからなる明色層と暗層との交互層が累重している。明色層には直径 0.5~2 mm の顆粒状の黒色斑点が点在す

る。この岩相は水深の大きな湖の環境を示唆する。

また, コアの中には 15 層のテフラが見いだされている(廣瀬ほか, 2014)。その中で, 主要な広域テフラは榛名二ツ岳伊香保テフラ層(Hr-FP, 深度 178 cm), 榛名二ツ岳渋川テフラ層(Hr-FA, 深度 181 cm), 沼沢-沼沢湖テフラ層(Nm-NM, 深度 491 cm), 十和田-中掬テフラ層(To-Cu, 深度 552 cm), 浅間草津テフラ層(As-K, 深度 1092 cm), 始良 Tn テフラ層(AT, 深度 1570 cm) の 6 層が確認された(廣瀬ほか, 2014)。

### III. 研究方法

#### 1. 含水率と見かけ密度

コア試料は深度 1 cm ごとに分割して, 湿重量と 105 °C で 12 時間乾燥させた後の乾重量とを測定した。測定された湿重量と乾重量の差から含水率と見かけ密度を求めた。見かけ密度は, 固形物の密度を 2.65 と仮定したうえで, 含水率の測定に基づいて, 湿試料 1 cm<sup>3</sup> あたりの固形物の乾燥重量として計算した。

#### 2. TOC, TN 分析

1 cm ごとに乾燥した試料について, 標準の岩相層序に沿って, 1 cm おきに試料を選び出し, まず粗く粉碎し, 次にその一部約 200~300 mg をメノウ乳鉢に移して粒感がなくなるまですりつぶし, 事前に重量を測定しておいた 6 cc 容量のスクリー管瓶に入れた。試料を入れた管瓶ごとに重量を測定した後, 3% の希塩酸を 0.5 cc 加えて, 約 100°C のホットプレート上で 12 時間乾燥させた。塩酸処理後の試料は固化しているので薬匙で細かく砕き, 約 20 mg を錫箔カップに量り取り, ピンセットを用いて包んだ。Thermo-Fisher SCIENTIFIC 社製 Flash 2000+ を用いて TOC および TN 含有

量の測定を行った。塩酸処理によって増加した重量は補正して、塩酸処理前の試料に対する含有量を求めた。C/N比はこれらの含有重量の比として計算した。

#### IV. 結果

##### 1. 含水率・見かけ密度の層序的変動

標準層序にそった含水率と見かけ密度の深度による変化を図2に示す。含水率は全体的として深度が大きくなるにつれて少しずつ減少している。また、見かけ密度

は深度が大きくなるにつれて増加している。これらの傾向は初期の続成過程として圧密作用が進行した結果である。

見かけ密度は水分を含めた密度や含水率などの指標よりも圧密状態をより敏感に表すことができるため、ここでは見かけ密度の変化について述べる。全体として、見かけ密度は下部になるほど高くなっていく。間欠的に挟まる高密度層を除いて考えた場合、見かけ密度は3つのユニットに区分される。深度が0~750 cmでは0.3~

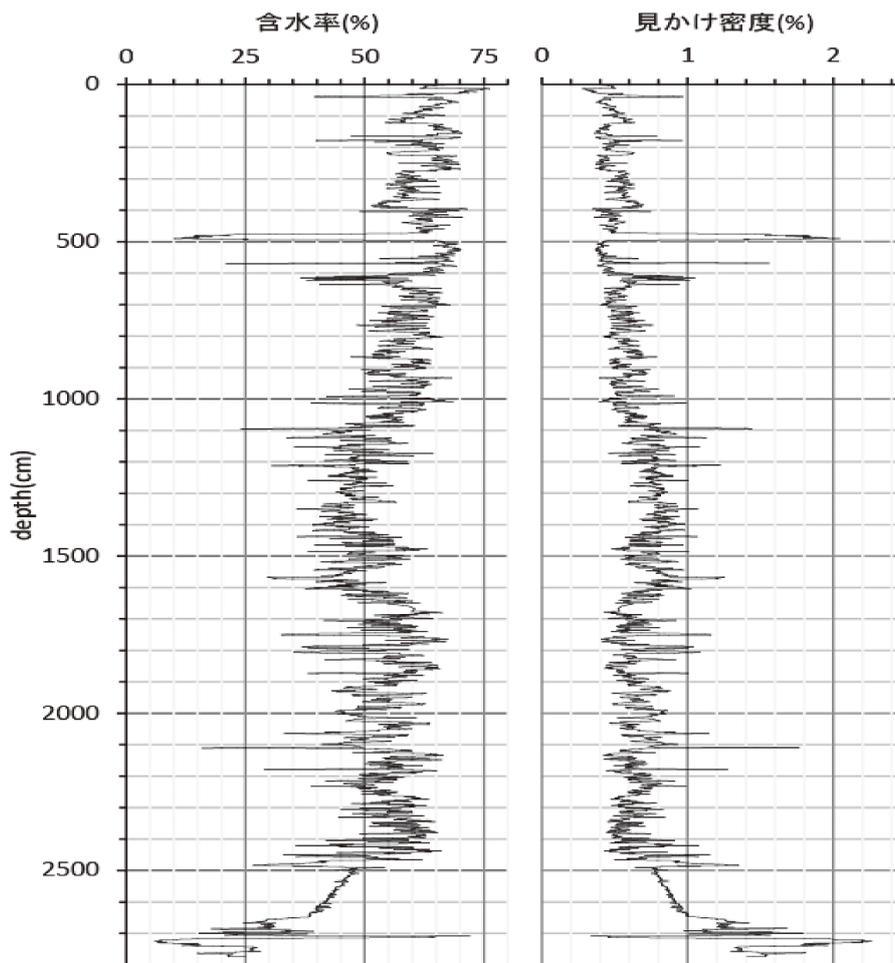


図2 INW2012 コアの含水率（左）と見かけ密度（右）の層序的変化。

0.7 g/cm<sup>3</sup> で変動し、下位に向かって漸増する。この上部層は他の二つのユニットに比べて全体として密度が小さく、変動も比較的小さい。深度 750~1500 cm では見かけ密度が 0.4~0.9 g/cm<sup>3</sup> の中で変動する。この中部層は他の二つのユニットに比べて密度が大きく、深度とともに細かく振動する。深度 1500~2400 cm では見かけ密度が 0.5~0.8 g/cm<sup>3</sup> の範囲で変動する。この区間の下部は中部より少し密度が低い。また、変動の幅が大きく、その頻度も高い。また、深度 2400 cm から 2778 cm にかけて見かけ密度が 0.8 から 1.8 g/cm<sup>3</sup> まで下位にむかって急激に増加している。

より詳細に見ると深度 447 cm や 1467 cm などに見かけ密度が局所的に突出したピークが見られる。一方、突出した谷などは見られない。間欠的に挟まる高密度層は洪水層やテフラ層であると考えられる。C/N比においても突発的なピークとしても表れているものは、陸源の粗粒な粒子と有機物が洪水によって流入してきた堆積物である可能性がある。39 cm, 449 cm, 525 cm, 1027 cm, 1465 cm のピークはテフラ層によるもので、岩相からもテフラが認定されている。

## 2. TOC, TN 含有率の層序的変動

INW2012 コアの「標準層序」にそった 2778cm の厚さの堆積物に対して、深度 0~200 cm では 1 cm ごとに、それ以深では 1 cm おきに合計 1495 試料について TOC 量 (%), TN 量 (%) を測定した (図 3)。

数か所で極端に TOC の値が低い層準が存在するが、そのほとんどは見かけ密度のピークと一致しており、岩相からもテフラ層と認定される層準である。また、局所的

な TOC のピークが数か所に見られるが、これらは C/N の局所的なピークとも一致しており、陸源由来の有機物の突発的な流入によるものだと考えられる。また、深度 2778 ~ 2489 cm の堆積物は、コア試料の層相からみて猪苗代湖の形成初期の河川に近い環境下で堆積した砂層と考えられ、C/N比の高さも陸源有機物の供給源が近いことを表している。深度 2778~2489 cm では、下位から 0.3%以下のほとんど TOC を含まない層、5%以上の突出して高い TOC、および 2~3%の比較的高い含有率で安定した層と重なる。深度 2489~1500 cm では、1~2%の比較的低い TOC 含有率で推移し、周期の長い緩やかな変動を示す。深度 1500~1450 cm では、1%以下の値をとり、最も TOC が低い層準である。深度 1450~1000 cm では、1%ほどの低い含有率で推移した後、緩やかな上昇を示し、2%ほどの含有率に達する。深度 1000~650 cm では、2%から 3%へと徐々に TOC が増加する。深度 650~0 cm では、2%~4%の高い TOC 含有率で特徴づけられ、周期の長い増減も認められる。深度 600 cm, 520 cm, 450 cm, 250 cm, 50 cm で急な TOC の減少が認められる。

TN 含有率は、最下部で 0.2%とやや高めであるが、深度 2489~1000 cm の間は 0.1%でほぼ一定であり、深度 1000 cm 以浅で 0.2~0.3%に上昇する。

C/N比は概ね 5 ~ 12 の範囲で変動する。2~5 と極端に低い値は、炭素量が少ないために無機窒素の影響が出たものである。深度 2489~500 cm では、8~9 前後でほぼ一定である。深度 500~0 cm では、9~10 の値で、やや高めである。

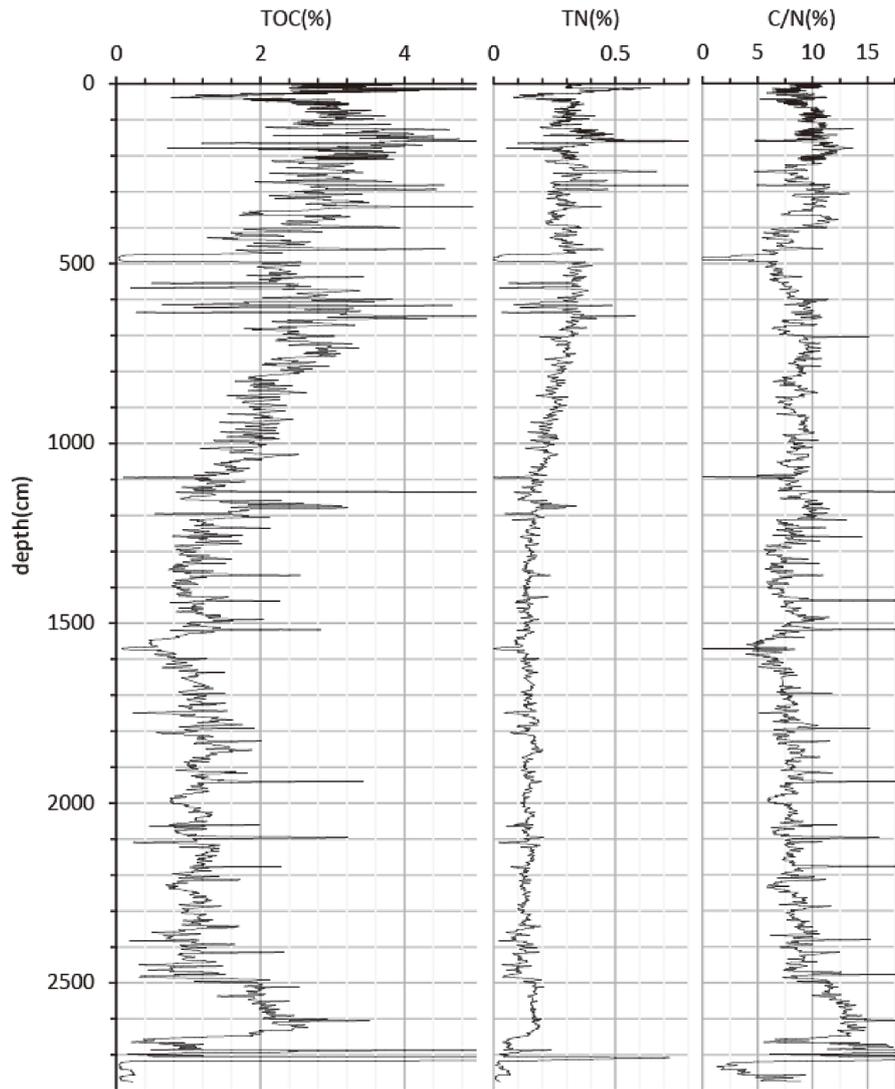


図3 猪苗代湖 INW2012 コアの TOC 含有率（左），TN 含有率（中）および C/N 比（右）の層序的変動

## V. 考察

### 1. INW2012 コアの年代モデル

廣瀬ほか（2014）に報告された  $^{14}\text{C}$  年代測定値と指標テフラに基づいて年代モデル（図 4）を構築した。洪水やテフラ降灰などのイベントによって短期間で堆積した堆積物の影響を除くため、コアの最表層（湖底面）から各試料までの深さから、その深度までのイベント堆積物の厚さを減じた補正深度（corrected depth）を求め、年代モデルに使用した。年代決定に使用した放射性炭素年代値とその深度、指標テフ

ラの深度と推定年代を廣瀬ほか（2014）、Okuno *et al.* (2011), Smith *et al.* (2013) から引用・編集して表 1 にまとめた。 $^{14}\text{C}$  年代値の較正には IntCal09 (Reimer *et al.*, 2009) を使用した。なお、 $^{14}\text{C}$  年代測定の較正年代は試料の採取深度に対応して順次古い年代を示しているが、下部の 2 資料（PLD-22986, 22542）は深度に対して逆転していた。2 資料は近接しており、その測定値も  $^{14}\text{C}$  年代測定値の限界に近いので、両者の平均を取って補正深度 2344.5 cm に対して、42,900 cal yBP として用いた。

表 1 猪苗代湖 INW2012 コアの年代モデルに用いた基準値

廣瀬ほか (2014), Okuno *et al.* (2011) および Smith *et al.* (2013) より引用して編集.

keys	depth from core top (cm)	corrected depth (cm)	Age(cal yBP)
core top	0	0	0
Hr-FP tephra	178	171	1680
Hr-FA tephra	181	174	1720
PLD-22540	324	311	3070
Nm-Nk tephra	496	454	5050
To-Cu tephra	552	507	5770
PLD-22989	576	531	6130
PLD-22985	793	736	9770
As-K tephra	1092	1024	18110
PLD-22541	1509	1418	29470
AT tephra	1570	1465	30000
PLD-22542 & 22986	2527*	2345*	42900*

\* average of two samples

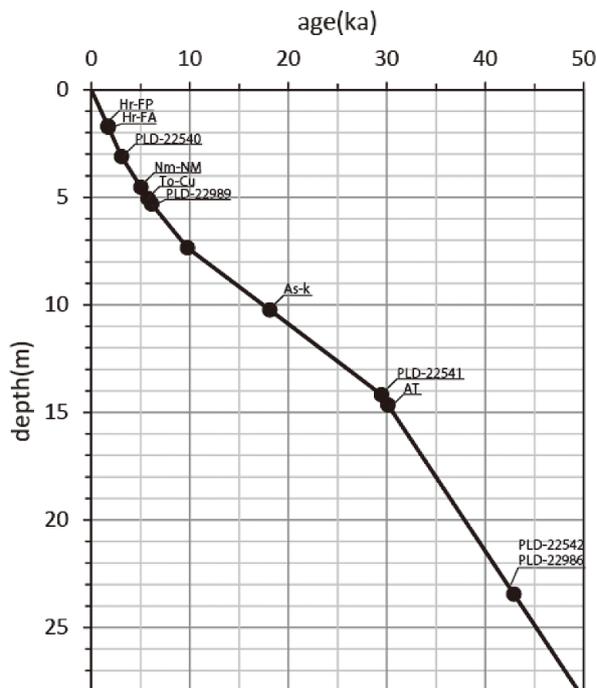


図 4 INW2012 コアの深度-年代モデル

深度はイベント層を除いた後の補正深度。年代 (ka=1000 年) は  $^{14}\text{C}$  濃度について同位体分別効果の補正後に大気中の放射性炭素量の経年変動を校正した年代値

## 2. TOC, TN, C/N 比の経年変化

図 4 に示した年代モデルを用いて、標準層序に基づく深度を年代に変換し、TOC と TN, C/N 比の経年変化に変えたものを図 5 に示す。コア試料の下底は約 4.8 万年前にまで遡る。次に経年的な TOC, TN, C/N 比の変動を時代別に説明する (図 5)。

全体として TOC は 1~4%の間で変動する。TOC 含有率の変動を基準とすると、大きく 5 つの時代に区分することができる。48~42.5 ka の時代では TOC の変動が大きい時代、42.5~30 ka は値がやや低く短周期の変動が多い時代、30~17 ka では値が低く変動が少ない。17 ka から 10 ka にかけては含水率が次第に増加し、10~0 ka では値が高く短周期で大きく変動する。TN は TOC と同調した変動をしているが、比較的安定している。

48~42.5 ka では、比較的高い TOC と TN で特徴づけられ、C/N 比も 12 以上と高い。

42.5~30 ka では、1~2%の比較的低い TOC で推移するが、0.8~1.5%の変動幅で、数百年~千年ほどの周期の変動を示す。TN も TOC に同調した変化を示す。C/N 比には突発的なピークが他の時代よりも多い。C/N 比の突発的なピークは洪水などによって陸源由来の有機物が湖心付近まで運搬されたためと考えられる。それらの洪水層を除いて考えた場合、この時代の TOC は 1.5%以下、TN も 0.1%程度と小さい。気温が低いことも制限要因になり、湖内の生物生産が小さくなっていったと考えられる。30.5~30 ka では、TOC が 1%以下の最も低い値をとる。

30~17 ka では、TOC は 1~2%の低い値で推移し、後半にやや高くなる。21~20 ka 頃には 2%ほどと高くなる。20~18 ka では一旦 TOC が 1%近くまで下がる。TN も

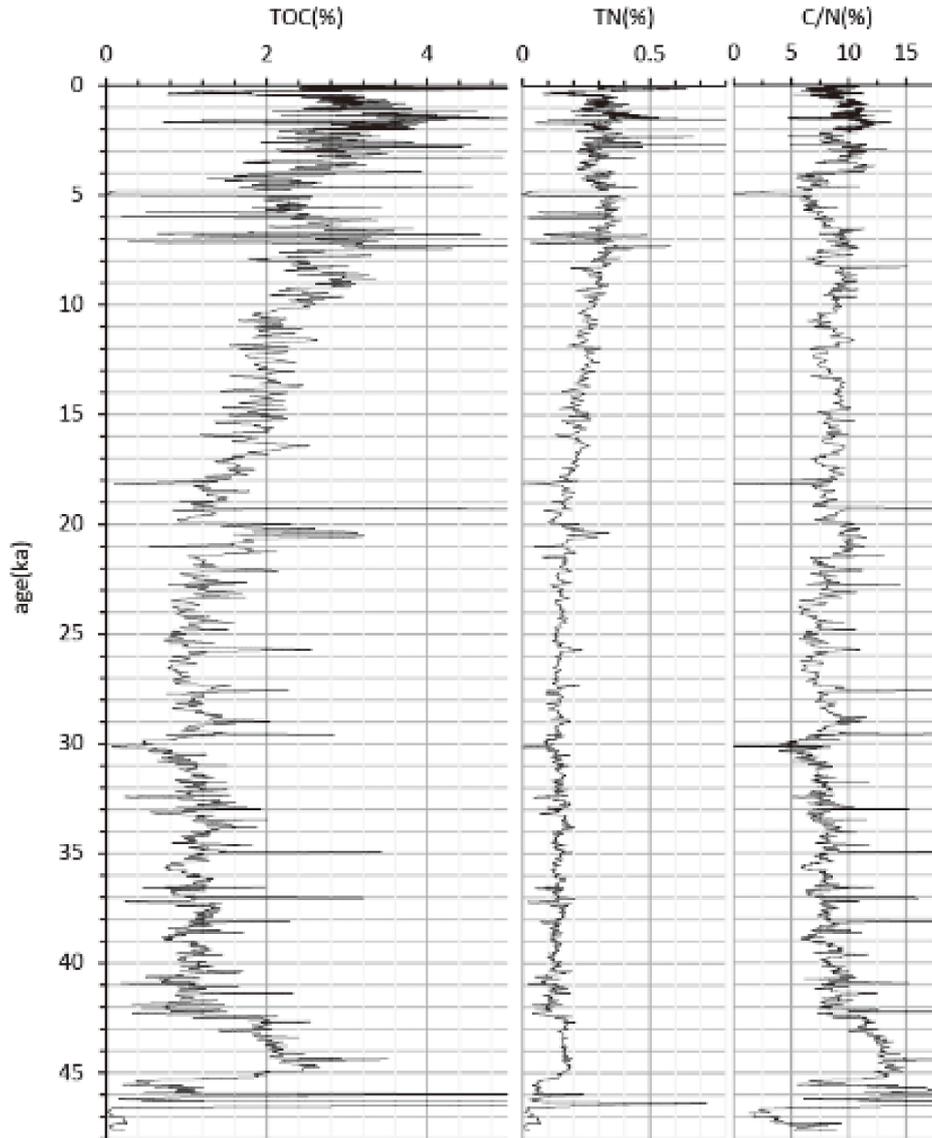


図 5 TOC(左), TN(中)および C/N 比(右)の経年変化

TOC に同調してわずかに増加する。前に時代に引き続いて生物生産性が少ない時代であったが、後期には生産性の増加が示唆される。また、1500 年から 2000 年に一回ほどの頻度で 2%を超えるピークがある。C/N 比にも数回の突発的なピークがあるものの 42.5~30.5 ka の時代より少ない。この時代は最終氷期最寒冷期にあたるが、TOC 含有率は 42.5~30.5 ka とあまり変わらない。しかし、図 5 の年代モデルに示されているように、この時期の堆積速度は小さいので、生物生産性を表す意味での TOC

濃度は「過大に評価」されていると考えられる。

17 ka 以降は TOC が徐々に増加し、15 ~ 10ka では 2%前後で推移する。TN も 0.1% から 0.25%へと増加し、TOC と似た変化を示す。C/N 比は 7~9 でほぼ安定しており、有機物の起源には変化がないことを示唆する。最終氷期最寒冷期以降の温暖化に伴って湖沼内での生物生産性が増加しはじめたと考えられる。

10 ka 以降、現在までの TOC 含有率は 2% から 4%の間で大きく変動し、全体として

も高い含有率を示す。TN も同調した変化をしており 0.3 ~ 0.5%の高い値をもつ。C/N 比も 7 ~ 12 の幅で大きく変動し、TOC の多い時期には C/N 比が 10 以上の値をもつことも多い。完新世の温暖期になったために、生物生産性が高まり、TOC と TN の増加をもたらしたと考えられる。また、降水量も増え、陸源由来の有機物の寄与が増加した結果 C/N 比が高くなったものと考えられる。

### 3. 有史以降の猪苗代湖の環境変動

本節では、磐梯朝日遷移プロジェクトの目的のひとつである過去 2000 年前間の環境変化に注目して議論を行う。2000 年以降では 1 cm ごと(平均 9.5 年間隔)で TOC, TN の含有量変動が明らかになっている(図 6)。

全体として見ると、TOC の値は 1~5%で大きく変動しているが、2000 年以降の平均的な含有率は 3.1 %で、それ以前の 46,000 年間と比較して高い値をとっている。

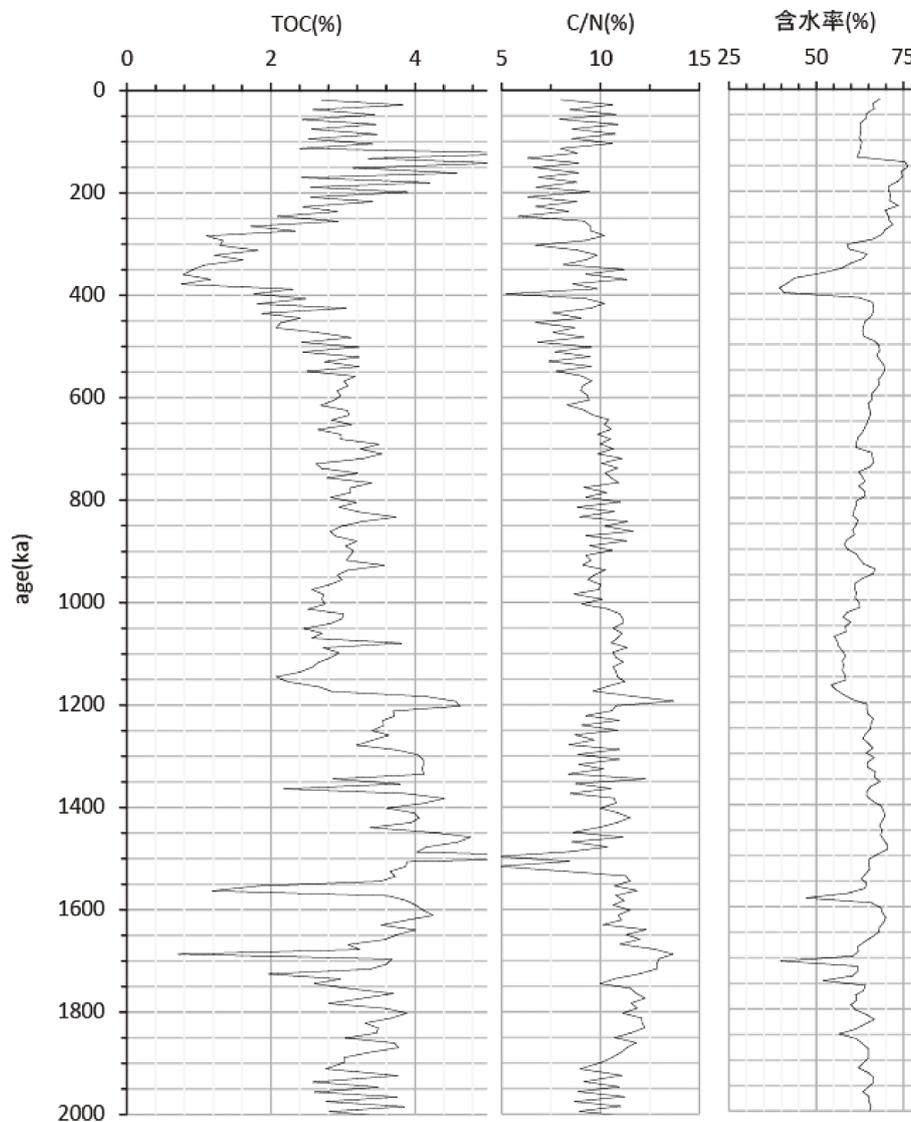


図 6 猪苗代湖 2000 年前以降の TOC(左), C/N(中) および含水率(右)の経年的変動

2000 年前以降の全体を概観すると TOC 濃度の特徴が異なる 4 つの時期を区別することができる。2000 年前～1200 前は 4% 前後の高い TOC 含有率を持ち、突発的な増減を挟む。1200 年前～400 年前では 3% 前後の安定した TOC 含有率を示す。400 年前～130 年前では、最初に TOC 含有率が 1% 以下まで急減し、その後急速に増加して 130 年前には 5% 以上の高含有率を示す。130 年前以降現在までは 3% の値を中心に 0.5% 程度の幅で振動する。これらの TOC 含有率の特徴は含水率の変動と対応しており、猪苗代湖の湖水環境の変化と連動していると考えられる。

2000 年前～1200 年前は、TOC が高く、含水率も高い。含水率の高さは堆積物の粒径の小ささや生物遺骸の多さを反映しており、猪苗代湖における生物生産性が高かったものと考えられる。また、1700 年前の TOC の大きな谷は低含水率に対応しており、岩相の記録からも Hr-FP テフラによる希釈と考えられる。1580 年前の TOC の谷も含水率の低下と同調することから、混濁流などによって粗粒な碎屑物がコア地点に堆積した結果と考えられる。一方、1200 年前の TOC のピークは C/N のピークとも一致することから陸源の有機物の急増を示唆するが、含水率には特異な変化が無い。その直上位の堆積物が低含水率であることから見て、ごく細粒の洪水堆積物という可能性も考えられる。

1200 年前～400 年前では、TOC 含有率は現在のものに近く、変動幅も小さい。生物生産性は現在と近く、安定した環境であった。含水率の漸増は上部にむかって圧密が小さくなることの反映と考えられる。

400 年前から 130 年前にかけて TOC が 1% から 5% まで急減に増加している。400

年前には含水率の急減があり、相対的に粗粒な碎屑粒子の増加を示唆する。TOC の低濃度は碎屑粒子による希釈の可能性がある。猪苗代湖になんらかのエントが発生し、徐々に環境が元の状態へもどり、生物生産性が改善していった過程を表しているのかもしれない。しかし、この変化は短期間の洪水とその収束過程を示している可能性もある。130 年前には TOC 含有率が 5% から 3% まで急減し、C/N 比も 8 から 10 へ高くなる。含水率も 10% 以上急減するので何らかの環境の急変が推定される。そこから現在にかけては平均 3% 前後で、1% ほどの振幅で激しく変動する。含水率は 62% 程度でやや低く、ほとんど変化しない。一方、250 年ほど前から TOC 含有率と C/N 比はほぼ 1 試料ごとに明確に増減する特徴を示す。これは、数年と言った短い周期での環境変動が繰り返され、生物生産性が周期的に変動していた可能性を示唆する。

本研究における 400 年前の急激な TOC の減少は、江戸時代の沼尻鉦山の採掘の始まりと年代は一致する。ただし、本コア最上部における年代推定は Hr-FP テフラ（1450 年前）と湖底面（深度 0 cm, 0 ka）に依存し、堆積速度は一定と仮定しているため、年代推定にはある程度大きな誤差がある可能性も想定せねばならない。

過去 2000 年間の猪苗代湖堆積物に含まれる TOC 含有率の変動からみると、一部に粗粒碎屑物による希釈や堆積速度の変化という可能性があるが、TOC 濃度はおおむね生物生産性を反映していると考えられる。2000 年前～1200 年前に比較して、1200 年前から現在にかけては生物生産性がおおむね低いといえる。1200 年前から鉦山開発が盛んだったとは考えにくいので、

1200 年以降の猪苗代湖の生物生産性の低さは火山活動による酸性化に由来する可能性があり、近世以降の鉱山開発はより強い酸性化をもたらして、生物生産性の増減に大きな影響を与えたとも考えられる。

#### 4. 猪苗代湖堆積物の TOC 変動の意味

本節では、猪苗代湖コアの TOC 含有率変動を、野尻湖堆積物コア（長野県北部；NJ88 コア）（公文ほか，2003；Kumon *et al.*，2012）の TOC 変動、矢の原湿原（福島県）の植生変遷（叶内，1988）、およびグリーンランド氷床コア（NGRIP）の酸素同位体比変動（NGRIP members, 2004）と比較し、TOC 含有率の長期的な変動の原因を検討

する（図 7）。なお、矢の原湿原堆積物の年代は、それぞれの表層と AT テフラの層準を基準にして比較する。

猪苗代湖堆積物の TOC 含有率は 1~4% で変動するのに対して野尻湖堆積物の TOC は 1~8% で値が高いという差はあるが、変動のパターンはよく似ている。

例えば、42~30 ka では振幅がやや大きい短期間の変動が多いことは猪苗代湖堆積物と野尻湖堆積物で一致している。また、その時期に NGRIP 氷床コアでは D-O イベントの急激なピークが明瞭であるのに対して、猪苗代湖堆積物と野尻湖堆積物の TOC はいくつかの小さなピークを作り、大まかに対応関係を認めることができる矢

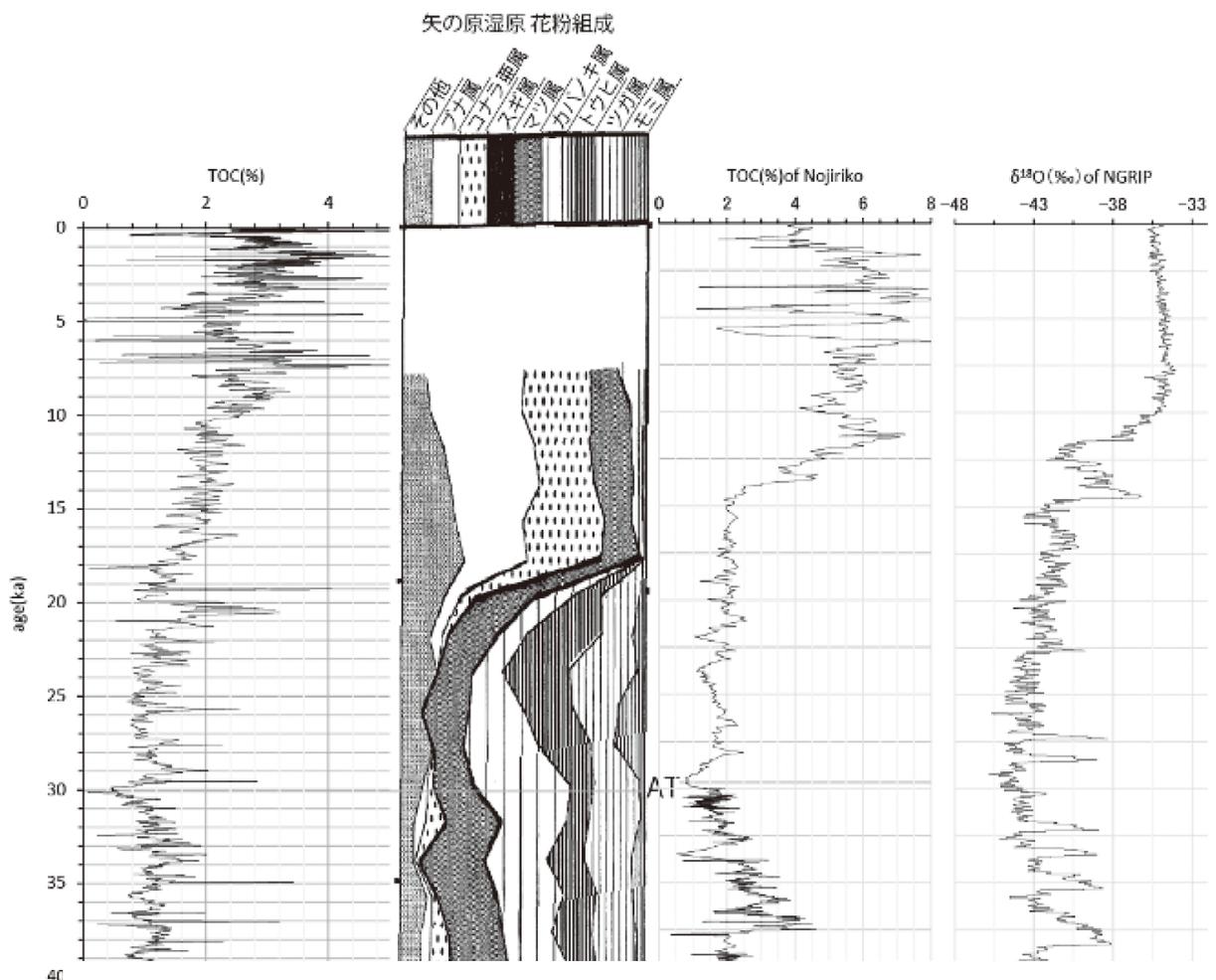


図 7 猪苗代湖 TOC と他指標との比較

左から猪苗代湖の TOC 含有率、矢の原湿原の花粉組成（叶内，1988）、野尻湖の TOC 含有率（Kumon *et al.*，2012）およびグリーンランド氷床コアの酸素同位体比（NGRIP members, 2004）。

の原湿原では亜寒帯針葉樹が冷温帯落葉樹に対してわずかに優占していることから猪苗代湖周辺でもやや冷涼な気候だったと考えられる。

30 ka 頃には両コアともに TOC が非常に少ない。30~17 ka を通じて両コアの TOC 含有率はもっとも低い水準にあり、かつ変動も少ない。この時期は最終氷期最寒冷期にあたり、生物生産性は最少であったと考えられる。この時期には矢の原湿原の植生は亜寒帯針葉樹が卓越しており、寒冷な気候であったことを裏付けている（叶内, 1988）。NGRIP でも温暖期のピークが少ない寒冷な時代を表している 17~10 ka においては、猪苗代湖では徐々に TOC が増加するのに対して、野尻湖では 14 ka 付近で急激に増加している。NGRIP でも 14 ka 付近で急激な温暖化を示している。矢の原湿原の植生変化の正確な年代見積もりは困難であるが、比較的急激に亜寒帯針葉樹から冷温帯落葉樹に遷移している。10 ka から現在にかけては、猪苗代湖と野尻湖の両方で、高い TOC 含有率を示すとともに、短期間の大きな変動が認められる。その変動の大きさは、NGRIP の酸素同位体比がほとんど変化しないことと対照的である。矢の原湿原の植生は冷温帯落葉樹が優占するようになっている。

## VI. まとめ

本研究では、福島県猪苗代湖湖底から採取された INW2012 コアを対象に過去 48,000 年間全有機炭素 (TOC) と全窒素 (TN) の含有率の変動を明らかにした。

猪苗代湖湖底堆積物の TOC 含有率の経年変動は、長野県北部の野尻湖湖底堆積物の TOC の経年変動とよく似ており、双方の湖はおなじ時期の同じ気候要素の影響を受けて、生物生産性が変動したことが示

唆された。本コアにおける TOC 含有率の変動は、グリーンランド氷床の酸素同位体比の変動とも類似しており、大局的には猪苗代湖の生物生産性は汎世界的な寒暖変動に大きく影響を受けていると考えられる。猪苗代湖の堆積物コアの TOC 含有量は、猪苗代湖の生物生産性を表すだけでなく、気候変動を表す指標としても機能しており、猪苗代湖の TOC 含有率の経年的変動は東北地方における古気候指標として有意義であることが判明した。

## 謝辞

コア試料の採取および記載の作業では、福島大学の神野成美氏、金子翔平氏、中澤なおみ氏の協力を得た。また、信州大学に持ち帰った試料の裁断、乾燥では、伊東寿賀子氏に大変お世話になった。これらの方々に厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- Adhikari, D.P. and Kumon, F. (2001) Climate changes during the past 1300 years as deduced from the sediments of Lake Nakatsuna, central Japan. *Limnology*, 2, 157-168.
- Benson, L., Lund, S., Negrine, R. Linsley, B. and Zic, M. (2003) Response of North American Great Basin Lakes to Dansgaard-Oeschger oscillations. *Quaternary Science Reviews*, 22, 2239-2251.
- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51, 337-360.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjornsdottir, A.E., Jouzel, J. and

- Bond, G. (1993) Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, 128-220.
- 廣瀬孝太郎, 長橋良隆, 中澤なおみ (2014) 福島県猪苗代湖の湖底コア (INW2012) の岩相層序と年代, 第四紀研究, 53, 157-173.
- 叶内 敦子 (1988) 福島県南部・矢の島湿原堆積物の花粉分析による最終氷期の植生変遷. 第四紀研究, 27, 177-186.
- Kigoshi, T., Kumon, F., Hayashi, R., Kuriyama, M., Yamada, K, Takemura, K. (2014) Climate changes for the past 52 ka clarified by total organic carbon concentrations and pollen composition in Lake Biwa, Japan. *Quaternary International*, 333, 2-12.
- 公文富士夫, 金丸絹代, 田原敬治, 角田尚子, 山本雅道, 林秀剛 (2005) 湖底堆積物中の有機炭素含有率と湖水注の生物生産性, および気象要素との関係—長野県, 木崎湖における 21 年間の湖沼観測からの検証—. *地質学雑誌*, 111, 599-609.
- 公文富士夫, 河合小百合, 井内美郎 (2003) 野尻湖湖底堆積物中の有機炭素・全窒素含有率および花粉分析に基づく約 25000 ~ 6000 年前の気候変動. 第四紀研究, 42, 13-26.
- Kumon, F., Kawai, S. and Inouchi, Y. (2012) High-resolution climate reconstruction during the past 72 ka from pollen, total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) analyses of the drilled sediments in Lake Nojiri, central Japan. Ono, A. and Izuho, M.(eds.), *Environmental changes and human occupation in East Asia during OIS 3 and OIS 2*, *British Archaeological Reports International Series 2352*, 1-12.
- NGRIP (North Greenland Ice Core Project) members (2004) High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431, 147-151.
- Okuno, M., Torii, M., Yamada, K., Shinozuka, Y., Danhara, T., Gotanda, K., Yonenobu, H. and Yasuda, Y. (2011) Widespread tephras in sediments from lake Ichi-no-Megata in northern Japan: Their description, correlation and significance. *Quaternary International*, 246, 270-277.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer C.E. (2009) IntCal09 and marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 51, 1111-1150.
- Smith V.C., Staff R.A., Blovkley S.P.E., Ramsey C.B., Takeshi N., Mark D.F., Keiji T., Toru D., Suigetsu 2006 Project Members (2013) Identification and correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronizing of east Asian/west Pacific Palaeoclimatic records across the last 150 ka, *Quaternary Science Reviews*, 67, 12