

秋田県・田沢湖における 湖沼堆積物中の珪藻遺骸群集と環境変遷

福本侑¹・池田太一²・石山大三³・山田和芳⁴・
鹿島薫²・原口強⁵・岡村真⁶・松岡裕美⁶

要旨 秋田県中央部東端に位置する田沢湖において採取された約2.9mのピストンコアと31cmの表層コアについて、完新世および近過去の古環境を復元するために珪藻化石群集の分析を行った。過去8千年間を通じて当湖の固有種である *Cyclostephanos tazawaensis* などの浮遊性種が優占した。およそ4千年前から0.5千年前にかけて、気候の寒冷化、乾燥化を示すと考えられる *Discostella* spp. の増加があり、堆積速度もこの時期から低下していた。先行研究でも同時期の気候悪化が見られ、三内丸山遺跡の居住放棄に見られるような縄文文化への影響が考えられた。当湖では1940年以降の玉川からの酸性水の導入により、湖水のpHが4近くまで低下し、生態系に大きな影響を及ぼした事が知られている。表層コアの結果から *C. tazawaensis* は絶滅を免れていたことが示されたが、一連の人為開発によるとみられる珪藻群集の変化が見られ、特に酸性種が複数層準で産出した。一時的に *C. tazawaensis* が酸性化前に相当する量まで回復する層準が見られ、これは1989年からの中和処理事業により水質の改善した時期に相当すると推測された。また、湖岸からの砂泥の流出を示唆する底生種の割合の増加が現在まで続いており、利水による水位変動や、土地開発によるものと考えられた。これは最近の速い堆積速度や、低い湖水の透明度にも表れていると考えられ、湖水の酸性化と並んで田沢湖の水理環境に大きな影響を及ぼしていると推測された。

キーワード：湖沼堆積物、珪藻化石、完新世、環境変動

I はじめに

田沢湖は秋田県中央部東端の仙北市にある淡水湖で、水量が豊富で日本一深い湖（最大深度423.4m）として知られる。奥羽山系駒ヶ岳山麓に位置する当地は、県立自然公園に指定されており、近年は周辺の温泉施設と合わせて観光地化されている。江戸時代に灌漑のための導水路が人力で掘られたものの、近世まで湖周辺の開発はほとんどされていなかった。しかし昭和初期の玉川からの導水をはじめとする人為改変により水理環境は大きく変わってきた。田沢湖の東方を流れる玉川の河川水は、上流の渋黒川源流にある玉川温泉からの強酸性水を含んでおり、古来より玉川毒水とよばれ下流域の農業に大

1：立命館大学・環太平洋文明研究センター 2：九州大学・理学研究院 3：秋田大学・国際資源学研究所
4：ふじのくに地球環境史ミュージアム 5：大阪市立大学・理学研究科 6：高知大学・理工学部門

きな被害をおよぼしてきた。この河川水を灌漑に使えるよう中性化するとともに水力発電に利用するために、田沢湖につなぐ水路が建設され、1940年から河川水が湖へ導水された。この導水により湖水の酸性化が進み、それまでは pH6.3-6.7 の中性であった（後藤 1998）が、導水の 8 年後には pH4.3-5.3 まで低下した（佐藤 1951）。これにより湖沼生態系が激変し、田沢湖の固有種であったクニマスを含め、それまで生息していた多くの淡水魚や両生類が絶滅した。酸性化の進行をくいとめるため 1989 年に玉川中和処理施設が建設され、1991 年に本格稼働を開始した。中和に伴って pH は改善傾向にあったが、2002 年以降は玉川温泉源泉の活動の活発化が原因で pH は再び低下し、水質管理基準である pH6.0 を達成できない状況にある（成田・宮田 2016）。また水資源の利用に伴う湖水位の大きな変動も、湖岸の浸食や景観悪化などの問題をもたらし、植生の破壊や、沢からの生物移動の遮断など生態系への影響も懸念されている。特に 1990 年の玉川ダムの完成以前は最大 14m 幅の水位調整が行われていた（大嶋・中川 2002）。

完新世の気候、環境変動の復元と、歴史時代の湖沼生態系に対する人為影響を明らかにするために、田沢湖にてボーリング試料を採取した。今論文では堆積物中の珪藻化石群集の変化とそれから推測される環境変化について報告する。東北地方の気候は、冬や夏のモンスーン強度、偏西風の蛇行などに大きな影響を受けるが、全球的な気候変動の影響も受けていたことが、秋田県二ノ目、三ノ目潟の堆積物から明らかになっている（Yamada *et al.* 2010）。珪藻は植物プランクトンの一種で、pH などの水質の変化で生息する種が大きく変わることが知られており、またその遺骸（殻）は堆積物中に保存されやすいため、過去の水質変化を復元する指標として適している。玉川流域においても、渡辺・浅井（1996）が生息する珪藻群集を分析した結果、温泉湧出口付近の強酸性水域、水質の回復進行水域、中性の安定水域のそれぞれの水域で特徴的な種が分布していることが判明し、それらが水質の指標になりうることを報告している。

II 研究地点と試料採取

1 研究地点

田沢湖は標高 249m に位置し、面積は 25.8km²、水深は最大 423.4m で直径約 6km の円形に近い形をしている（図 1）。およそ 180-140 万年前の爆発的噴火によって陥没して生じたカルデラ湖である可能性が示されており（鹿野ほか 2008）、湖岸から深度約 400m まで急崖になっている。流入河川は小規模な沢がいくつかある程度であるが、冷水沢、大沢川などの湖南部に位置する河川群からの流入が、自然河川の全流入量の約 70% を占める（珍田・藤田 2003）。流出河川は西部に位置する濁尻川のみである。湖水は玉川からの導水以前、以降ともに貧栄養で、特に導水前に行われたプランクトン調査では、植物プランクトンは全く観察されないか、珪藻の *Cyclotella* 属あるいは *Melosira* 属がみ

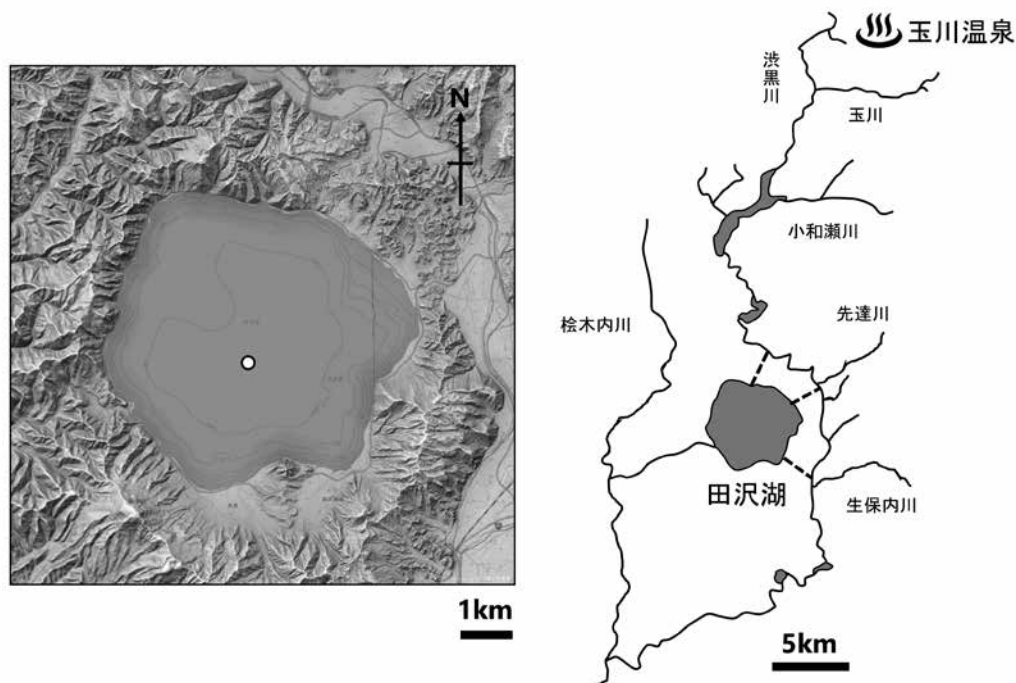


図1 田沢湖周辺の地形（左）と田沢湖をとりまく主な水系（右）

左図は、国土地理院発行の基盤地図情報（数値標高モデル5mメッシュ）を「カシミール3D」を使って加工して作成した。丸印はコア採取地点を示す。渋黒川沿いには玉川ダムなど複数のダム湖が存在する。右図中の破線は田沢湖につながる人工の水路を表す。

られるのみであった（上野 1940、渡辺 1975）。

2 試料採取

田沢湖湖心、水深約 420-423m のほぼ同地点（図1）において全長 286cm のピストンコア試料（コア名：TZW15-1）と、全長 31cm の表層コア試料をそれぞれ 2015 年 9 月、2016 年 10 月に採取した。表層コア試料は、リムノスコアラーによって採取した後に、コアラー内部にドライアイスを含めたアルミ筒を刺し込み、堆積物を凍結させること（アイスフィンガリング）によって採取した。この方法では湖底表層の攪乱を最小限にして試料採取ができるため、コアの頂上はほぼ採取時（2016 年）の堆積物であると考えられる。

Ⅲ 分析手法

1 堆積物の年代測定

TZW15-1 コアの 16 層準から植物遺骸を採取し、AMS 放射性炭素年代の測定を行った。得られた炭素年代の暦年較正については、Intcal13 (Reimer *et al.* 2013) を暦年補正

データベースとし、較正ソフトの Oxcal 4.3 (Bronk Ramsey 2009) で行った。コアの各層準の年代は、ベイズ統計を基に年代モデルを作成するフリーソフトの Bacon (Blaauw and Christen 2011) を用いて算出した。

2 珪藻分析

TZW15-1 コアについては約 10cm 間隔の 28 試料、表層コアについては 1cm 間隔の 31 試料について分析を行った。以下の方法で光学顕微鏡用プレパラートを作成した。TZW15-1 コアについては、各試料をマイクロチューブにとり、約 1ml の Elix 水を加えて攪拌した。懸濁液をカバーガラス状に滴下し、40 度に設定したホットプレート上で乾燥させた。その後、マウントメディア (和光製薬製) を用いてスライドガラスに封入した。表層コアでは、試料を 60℃ に設定したオーブンで一晩乾燥させたのちメノウ乳鉢・乳棒を用いて細かく粉砕し、12ml の遠沈管に約 20mg ずつとった。15% 過酸化水素水を約 5ml 加え、設定温度 70℃ で約 4 時間湯煎にかけて有機物を除去した。遠心分離機に 2500rpm で 5 分間かけ、上澄みを捨てたのち Elix 水を 10ml まで加えた。この操作を 2 回繰り返して未反応の過酸化水素を除去した。懸濁液を 5 倍に薄めたのちカバーガラス上に滴下し、40℃ に設定したホットプレート上で乾燥させた。その後マウントメディアを用いて封入した。合計で 200 から 300 個体を 1000 倍の光学顕微鏡を用いて同定及びカウントした。そして各珪藻種の相対産出頻度 (パーセント) を算出した。種の同定には田沢湖周辺の珪藻に関する先行研究である渡辺・浅井 (1996)、Tanaka *et al.* (2017) のほか、Round *et al.* (1990)、渡辺 (2005)、小林ほか (2006) を参照した。ごく少量産出した種の中で、近年に改名されるまでは同じ属名だったものは、それらを合計した産出頻度を旧属名で表示した。例えば、*Achnanthes* spp. のパーセントは、かつてこの属名であった *Achnantheidium* や *Rossithidium*、*Psammothidium* などのパーセントを合計した値である。また確実な種の同定のために、コアの複数の層準において珪藻殻の電子顕微鏡観察を行った。乾燥試料をメノウ乳鉢上で粉砕し、炭素コーティングを施した試料台の上に塗布した。各試料台を卓上走査型電子顕微鏡 (Phenom-World 社、Phenom Pro) で観察した。

3 化学分析

表層コアについて生物生産量や湖水循環などのデータを得るために、CNHS 元素分析装置により堆積物中の全有機炭素 (Total Organic Carbon : TOC) 濃度、全窒素 (Total Nitrogen : TN) 濃度、全硫黄 (Total Sulfur : TS) 濃度を測定した (CNS 分析)。1cm 間隔で 31 試料について分析を行なった。それぞれの試料を 60℃ に設定したオーブンで一晩乾燥させたのち、メノウ乳鉢・乳棒を用いて細かく粉砕し、電子天秤を用いて 8-12mg を秤量して銀コンテナに入れた。1mol/L の HCL を加えて炭酸塩を取り除いたのち、

乾燥、封入しそれをさらに錫コンテナで封入した。分析機器はFlash EA-1112 (Thermo Electron Corporation) で、標準試料にはBBOTを使用し、最初の5試料で検量線を作成した。また10試料おきに標準試料を測定した。測定結果は乾燥試料中の重量パーセント (wt%) で得られた。

IV 結果

1 年代測定

炭素年代測定を行った16点の試料の年代値には大きなギャップや逆転はなく、最深点の試料である255cmの年代は暦年代で7150-6800 cal yr BP (2標準偏差) であった(図2)。モデル計算ではそれ以深は年代誤差が大きくなるものの、コア最下部 (285cm) の年代はおよそ7.8-7.1千年前 (平均7.4千年前) と推測された。堆積速度はおおよそ、深度255cmから106cmまでは0.4mm/yr前後であり、そこから最上部 (深度15cm) の間は0.3mm/yrに減少していた。また短期的には深度106-102cmの間では遅く (0.14mm/yr)、また深度155-145cmでは速く (0.57mm/yr) なっていた。堆積物はコア全体を通して軟泥で、様々な濃淡のラミナ模様が見られた。火山灰と思われる白色層も散在していたため、それらを今後分析することで飛来源とさらに詳しい堆積年代がわかると考えられる。

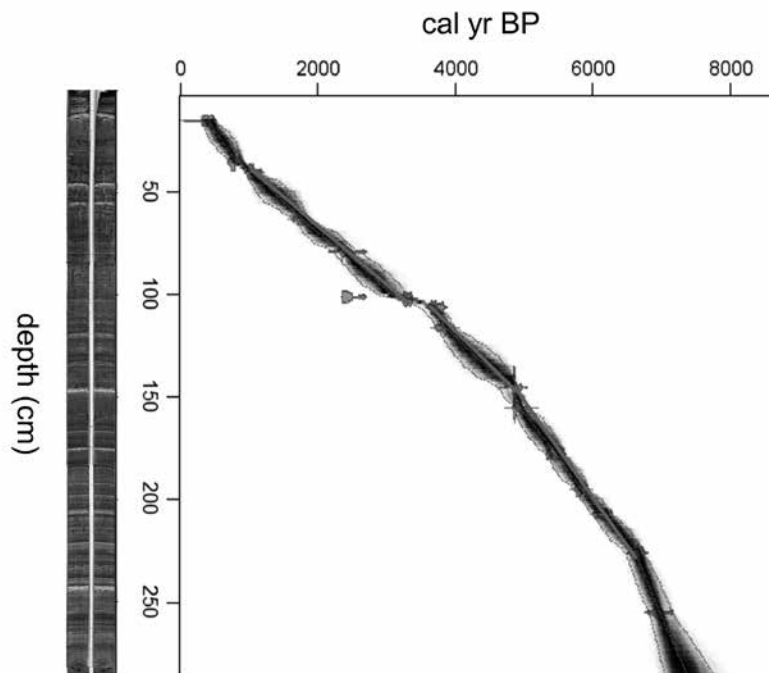


図2 炭素年代測定結果をもとにしたTZW15-1コアの年代モデル
横軸は暦年補正済みの年代

2 珪藻分析

(1) 産出した田沢湖の固有種

分析の結果、TZW15-1 コアと表層コアを合わせて 30 属、29 種の珪藻種を同定した。両コア共に円心目の浮遊性珪藻が多く産出し、最も優占する種は SEM 観察の結果 *Cyclostephanos tazawaensis* であることが判明した (図 3)。この種は、Tanaka *et al.* (2017) が報告した田沢湖の固有種であり、同心円状に強くうねる円盤形の殻、殻面のみが存在する間条線、中心部では 1 列で外側では 2 列になる条線の胞紋などの形態を持ち、その他有基突起や唇状突起の位置形状の特徴も、観察した化石殻のものと合致した。直径は 5-29 μm で、少なくとも光顕下では、殻形態にコアの各層準間での大きな違いは見られなかったが、直径の小さな殻については僅かに *Discostella* spp. と混同している可能性がある。

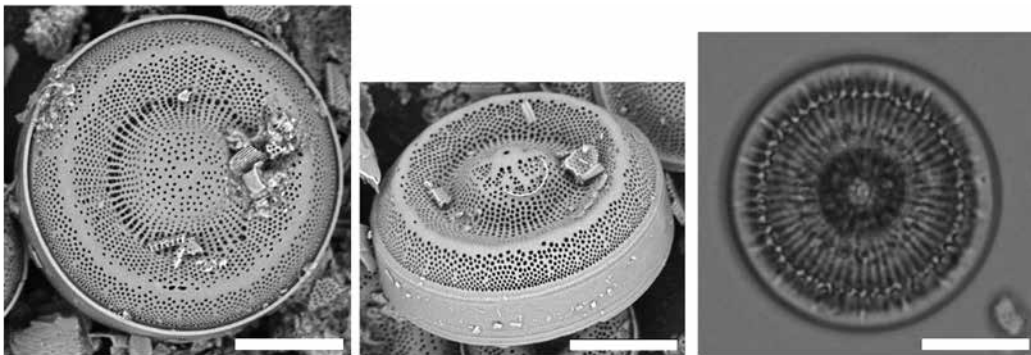


図 3 *Cyclostephanos tazawaensis* の SEM 写真 (左 2 枚) と光学顕微鏡写真 (右)
白色のスケールバーはすべて 10 μm を表す。

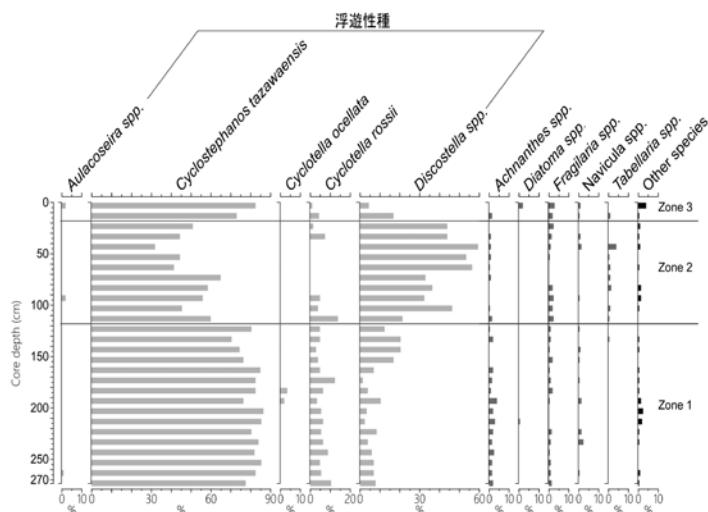


図 4 TZW15-1 コアの珪藻ダイアグラム

(2) TZW15-1 コア

TZW15-1 コアにおける珪藻各種の産出頻度のダイアグラムを図4に示した。産出傾向からコアを3つのゾーン (Zone 1、2、3) に区分した。Zone 1 (282-119cm、約 7.4-4.0 千年前)：浮遊性の *C. tazawaensis* が多くの深度で 80% 以上産出した。次いで同じく浮遊性の *Discostella* spp.、*Cyclotella rossii* が多く産出した。付着性種では *Achnanthes* spp.、*Fragilaria* spp. が共に 2% 未満で出現した。上部では *Discostella* spp. が 20% 程度まで増加した。Zone 2 (119-19cm、約 4.0-0.5 千年前)：Zone 1 で多く産出した *C. tazawaensis* が減少し、*Discostella* spp. が大きく増加した。特に深度 70-40cm では *Discostella* spp. が 60% 近くに達した。*Discostella* spp. は殻サイズが 10 μ m 以下の個体が多く、光顕では種の分類が難しかったが、SEM 観察と合わせた結果、多くが *Discostella pseudostelligera* と推測された。付着性種では *Fragilaria* spp.、*Tabellaria* spp. が出現した。Zone 3 (19-0 cm、約 0.5 千年前以降)：再び *C. tazawaensis* が増加して 70% 以上になり、*Discostella* spp. が減少した。*C. rossii* も 5% 未満で産出するようになった。付着性種では *Fragilaria* spp. が 2% ほど出現した。

(3) 表層コア

表層コアにおける珪藻各種の産出頻度のダイアグラムを図5に示した。産出傾向からコアを6つのゾーン (Zone 1-6) に区分した。Zone 1 (31-28cm)：*C. tazawaensis* が 70-80% を占め、底生種では *Achnanthes* spp. のみが 5% 以上出現した。Zone 2 (28-20cm)：*C. tazawaensis* が 40-60% まで減少し、底生種が合計で 40-50% まで増加した。特にこのゾーンの下半部では *Eunotia* spp. が 10-20% 出現した。Zone 3 (20-15cm)：*C. tazawaensis* が再び増加し、70% 近くを占めていた。また同じ浮遊性種の *Discostella* spp. がわずかに

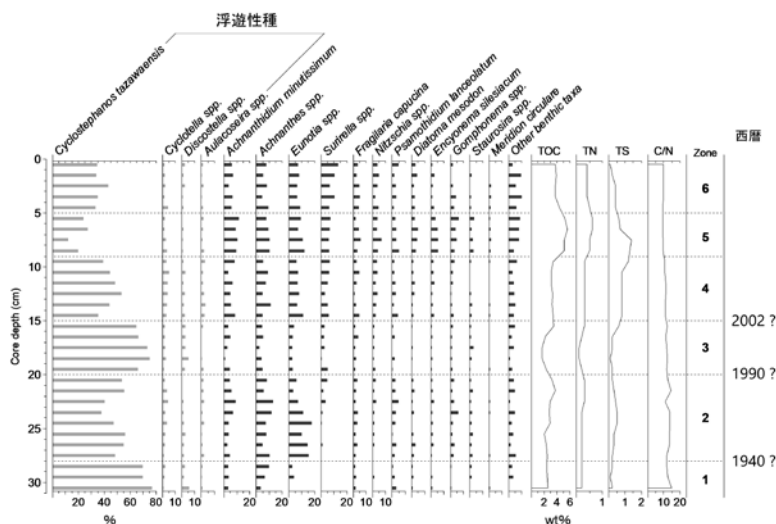


図5 表層コアの珪藻と CNS 分析による各成分量のダイアグラム
右端の西暦は推測された堆積物の年代を表す。

増加した。Zone 2で見られた多くの種が減少し、底生種は合計で30%以下となった。Zone 4 (15-9cm) : *C. tazawaensis* が30-50%まで減少し、多くの底生種が再び増加した。Zone 5 (9-5cm) : *C. tazawaensis* がさらに20%近くまで減少し、特に深度7.5cmでは12%となった。一方で *Achnantheidium minutissimum* や *Eunotia* spp. などの多くの底生種が増加し、合計で70%以上になった。また河川などの流水環境にも見られる *Diatoma mesodon* や *Encyonema silesiacum*、*Gomphonema* spp. の増加がこのゾーンでは顕著であった。Zone 6 (5-0cm) : *C. tazawaensis* が増加し35%前後になった。Zone 4や5で見られた多くの底生種は減少傾向になるが *Surirella* spp. のみ増加し、10%を超えるようになった。またこの *Surirella* spp. は Zone 3から出現し、Zone 6まで漸増を続けていた。

3 化学分析

表層コアにおける CNS 分析結果を図5に示した。TOCはZone 1では2-3wt%だったが、コア上部に向かって増加し、Zone 5では5wt%に達した。TNもTOCと同様な傾向を示した。ただTOCはZone 3において前後のゾーンより最大2%ほど低下し、TNも同様の低下が見られた。TS濃度は0.5wt%未満であったが、Zone 3の上部(深度約17cm)から増加し始め、Zone 5の深度8cmで1.4wt%に達した。その後は急減し、Zone 6では再び0.5wt%未満となった。C/N比(TOC/TN比)は堆積した有機物の起源が陸生植物か、あるいは水生の植物プランクトンかによって大きく変わり、前者では20以上となり後者ではおよそ4から10の値をとることが知られている(Meyers 1994)。C/N比は最下部の15から上部に向かってなだらかに減少し、Zone 6では10近くを示した。

V 考察

1 完新世の環境変動

TZW15-1 コアにおいて優占して産出した種は *Cyclostephanos tazawaensis* と *Discostella* spp. であった。最も頻繁に見られた *Cyclostephanos* 属は淡水性、浮遊性の珪藻であり(Round *et al.* 1990)、*Discostella* 属も浮遊性で、水深の深い湖で多く発生することが知られている(小林ほか2006、Moos *et al.* 2005)。これら淡水浮遊性の珪藻が、コアを通して90%近く安定して産出したため、田沢湖は過去約7-8千年の間も深い淡水湖であったことが分かる。

Zone 2(約4.0-0.5千年前)における *Discostella* 属の優占は、湖水環境の変化を表していると考えられる。産出した *Discostella* 属の殻の直径は多くが10 μ m以下であり、*C. tazawaensis* よりも殻のサイズが顕著に小さかった。一般に浮遊性種では殻サイズが小さい方が、より水中に浮遊しやすく、またより栄養の欠乏した環境でも繁殖できると

考えられる (Bao *et al.* 2015)。そのため Zone 2 においては気候の寒冷化による夏季の温度成層の弱体化、そして降水量の低下による流入する栄養塩の低下が推測される。また *Discostella* 属の出現、増加は Zone 1 上部の深度 150cm (約 4.9 千年前) からすでに見られた。この深度を境に堆積速度は約 0.5mm/yr から約 0.3mm/yr へ低下していた (図 2) ため、この時期から湖周辺からの流入物量や湖水中の生産量が低下したと推測される。

先行研究でも東北地方における約 4 千年前以降の寒冷化を支持するデータが得られている。Kawahata *et al.* (2009) は青森県、陸奥湾の海底堆積物について、炭素数 37 のアルケノンを基にした水温復元と花粉分析を行い、海水温が 4.1 千年前より顕著に低下することを明らかにした。そしてそれによる寒冷化、乾燥化が三内丸山遺跡の居住の放棄をもたらしたとし、北太平洋における氷床の流出に端を発する、全球的な気候変動と関連づけられるとした。また玉川温泉近郊の泥炭層を含む地層の花粉分析からも、およそ 5-2.5 千年前に寒冷、乾燥化したことが示されている (辻 1977)。

先の Kawahata *et al.* (2009) や辻 (1977) ではこの寒冷化は 2.5-2.0 千年前まで続いたとされるが、今研究では *Discostella* 属の多産は 0.5 千年前の Zone 3 開始期までおよんだ。この原因は不明であるが、気候変動に対する珪藻群集変化の応答が遅れていた可能性が考えられる (Tibby *et al.* 2012)。また、秋田県二ノ目潟のボーリングコアからは、粒度や化学分析の結果、中世温暖期や小氷期をはじめ数百年スケールの気候変動が見られた (Yamada *et al.* 2010)。田沢湖は、貧栄養湖の中でも特に植物プランクトンの生息量、種が少ない湖であるため、気候変動に対する珪藻種の交代などの応答が起こりにくかったと考えられる。Zone 3 最上部では、後述の表層コアにあるような湖水の酸性化が原因とみられる *C. tazawaensis* の減少などの変化は見られないため、コア最上部はピストンコアリングの手法上の問題で湖底表層部が欠落していると考えられる。

2 人為環境改変の影響

(1) 先行研究のコア試料との比較

表層コアは、1940 年の酸性水の導入を含む、最近の歴史時代の堆積過程を保存していると考えられるが、このコアの堆積年代のデータはまだ得られていない。しかし先行研究において近年の堆積年代についての示唆がある。布田ほか (2017) は田沢湖の湖心から採取した約 15cm 長の 2 本のコアについて、堆積物の走査型電子顕微鏡による観察と、X 線回析や赤外分光による分子構造の分析を行った。2 本のコアはそれぞれ 2003 年と 2011 年に採取されたもので、前者では表層の 5cm 間に珪藻殻が多く存在することが示された。一方、後者では表層では珪藻殻の出現はみられず、深度 7cm よりも以深であった。表層の 7cm で珪藻殻が見られなかったのは、湖水の酸性化などにより珪藻の増殖が抑えられたためと考えられたが、この 2 本のコアの対比から 8 年間でおよそ 7cm もの堆積があったと推測された。この堆積速度 (約 8.8mm/yr) を今研究の表層コアに当てはめ

てみると、コア最下部はおよそ1970年代の堆積物となる。TZW15-1 コアに比べて非常に速いこの堆積速度は、河川水の導入や、水位変動、湖岸の開発などによる人為的な土砂の流入の影響を受けたためと考えられる。また一方で、Fukushima *et al.* (1996) は1988年に深度約400mから採取したコアについて鉛年代測定を行い、およそ深度7cmが酸性水を導入した1940年に相当するとした。つまり40-50年間で7cmの堆積があったことになる。また彼らは酸性化開始の層準より上では、珪藻種の *Stephanodiscus alpinus* (今研究の *Cyclostephanos tazawaensis* に相当する可能性が高い) が大幅に減少するとした。

以上のように堆積速度には大きな幅が見られるため今研究の表層コアについても鉛同位体比の測定などが今後必要となる。今回のアイスフィンギングによるコア採取では、コア最上部の攪乱が最小限に抑えられているため、酸性水が導入された1940年の層準は先行研究のそれよりも下方になると予測される。ただ最下部のZone 1 (31-28cm) では *C. tazawaensis* が70%以上産出し、TZW15-1 コアにおける産出傾向と類似することから、1940年よりも前の湖沼環境を示す可能性がある。

(2) 酸性水の導入後の環境変化

Zone 2において増加した *Eunotia* spp. の中では *Eunotia exigua* が特に多く見られた。この種は玉川上流の酸性水中や(渡辺・浅井1996)、最近の田沢湖畔の石表面から生息が報告されており(Tanaka *et al.* 2017)、一般に強酸性水に生息する。そのためZone 2では、酸性の河川水と付随する懸濁液の田沢湖への流入が強く示唆される。またこのゾーンでは硫黄成分も増加しているため、河川水の導入を開始した1940年の層準はZone 1と2の境界である可能性がある。

Zone 3では *C. tazawaensis* が再び増加することから、湖水中の生産量が増加したことを示唆する。また有機物量(TOC)が低下していることから、生態系の生産と消費のサイクルが活発になったと考えられる。湖水のモニタリング調査によると、湖心の表層水のCODとクロロフィル量は1990年から2002年にかけて顕著に増加していた(生魚2013)。これは酸性水の中和処理施設の導入により、湖水が中性に近づいたことによると考えられる。そのためZone 3は1990年から2002年にかけての堆積物で、Zone 4からの硫黄(TS)の増加は2002年からの玉川温泉の活動の活発化を反映している可能性がある。

Zone 5では底生種とともに、流水環境を示す種が多く見られたため、導入された河川水の増加や、水位の低下などを表していると考えられる。Zone 4から6にかけては *C. tazawaensis* が減少する一方で底生種の *Surirella* spp. が漸増した。*Surirella* 属は、主に砂や泥の表面などに多く生息する珪藻であるため(Jones *et al.* 2014)、この属の増加は大きな水位変動や湖岸の開発による、湖岸の堆積物の浸食、攪乱を示している可能性がある。これらのゾーンにおける底生種のパーセントの増加は、湖水の酸性化で *C. tazawaensis* が減少したことによる、見かけ上の増加である可能性も考えられる。しかし、コアの上

半分は珪藻殻の出現頻度が相対的に低かったことや、布田ほか（2017）が採取したコアの最上部でも8年間でおよそ7cmもの速い堆積があったと推測されることから、底生珪藻を含む砂泥の流入増加があったと考えられる。

田沢湖では酸性水の導入以来、水供給のために最大14mもの水位変動が発生しており（東北地方整備局 2002）、それに伴い湖岸の砂地の浸食、植生破壊が問題化していた。この水位変動は、1990年の玉川ダムの完成以降は5m、近年では3m以内に制御されているが、2000年代前半には浸食対策の事業により、基準水位よりも約6m下げられていた（大嶋・中川 2002）。近年の観光地化とあわせ、以上のような湖岸域の攪乱が、砂泥の堆積を促したと考えられる。湖水の透明度も、最近20-30年は最大でも15mほどの低い状態が続いている（秋田県 2017）ことから、水位変動が抑えられた最近10-20年間でも湖岸からの砂泥の浮遊、堆積が活発であることがわかる。ただ、C/N比は上方に向かって低下しており、湖水の植物プランクトン由来の有機物が増えていることを表している。そのため木本、草本植物などの陸源の有機物の湖心までの流入、堆積はまだ少ないとみられ、珪藻群集が示すように、湖岸の砂地とそこに生息する底生の珪藻が増加、流入していることを示唆していると考えられる。さらに最上部のZone 6では *C. tazawaensis* は30-40%に抑えられ、底生種の堆積が盛んであることから、現在の田沢湖の湖水生態系は酸性化以前とは大きく異なることがわかる。

VI 結論

田沢湖の湖底堆積物について珪藻分析を行った結果、過去約7千年間は、現在と同様の安定した淡水湖沼であったことが分かった。また約4千年前から、気候が寒冷化、乾燥化したことが推測され、全球的な気候変動が東北地方にも顕著に表れていたことが判明した。珪藻化石からはこの気候はおおよそ5百年前まで続いたと推測されたが、植物プランクトンの気候変化に対する応答の緩衝性などにより、珪藻群集の変化が遅れたものと推測された。その後1940年以降の酸性水導入によるpHの低下などにより、田沢湖の固有種である *C. tazawaensis* は大幅に減少したが、pHが4近く下がった当湖でも絶滅することはなかった。表層コアでは珪藻群集の顕著な変動がみられたが、鉛同位体比による年代測定や詳細な元素組成の測定などにより、コアの年代が判明すればさらに人為改変による湖沼生態系への影響が明らかになると考えられる。珪藻分析に加えCNS分析の結果でも1990年代以降の中和処理事業による酸性度の改善が見られた。しかし、現在堆積中の珪藻群集は、湖岸から運搬されたと考えられる付着性種が多く、酸性化以前の生態系の回復には至っていない。そのため、湖岸の開発や水位の調整に伴う砂泥の流出に関して対策を講じる必要があると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたりコアの採取の許可、ボーリング作業の援助をいただきました、秋田県仙北市役所の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- 秋田県 2017『平成 29 年版 環境白書』秋田県生活環境部環境管理課。
- 上野益三 1940「田沢湖生物群聚の昭和 14 年夏季の状態」『陸水学雑誌』10：106-118。
- 大嶋武志・中川博樹 2002「秋田県田沢湖の水辺環境改善について」『河川』670：97-102。
- 鹿野和彦・石塚 治・大口健志・狐崎長琅 2008「田沢湖カルデラに辰子堆溶岩ドームが噴出した時期」『日本火山学会講演予稿集』p.18。
- 後藤達夫 1998「田沢湖の水質改善化について (1)」『水』40 (8)：31-40。
- 小林 弘・出井雅彦・真山茂樹・南雲 保・長田敬五 2006『小林弘珪藻図鑑』内田老鶴圃。
- 佐藤隆平 1951「酸性化された田澤湖の夏季の生物相」『陸水学雑誌』15：96-104。
- 珍田尚俊・藤田賢一 2003「田沢湖に流入する中小河川の水質及び負荷量調査結果 (平成 14,15 年度)」『秋田県環境センター年報』31：55-61。
- 辻 誠一郎 1977「秋田県玉川温泉地域の沖積世鹿湯層の花粉分析」『東北地理』29：162-168。
- 東北地方整備局 2002「秋田県田沢湖の水辺環境改善について」インターネットサイト：
<http://www.thr.it.go.jp/Bumon/B00013/k00120/kisya/0111tazawa.htm> アクセス日 2018-01-24。
- 生魚利治 2013「田沢湖の COD 及び全窒素濃度の変動要因に関する一考察」『秋田県健康環境センター年報』9：95-99。
- 成田修司・宮田直幸 2016「田沢湖流域の水環境と水質改善 (特集 秋田の水環境保全：現状と課題)」『水環境学会誌』39 (7)：242-245。
- 布田 潔・高見夏基・小笠原正剛・成田修司 2017「田沢湖湖底に堆積する珪藻被殻の形態及び化学構造に関する検討」『秋田大学大学院理工学研究科研究報告』38：1-6。
- 渡辺仁治 1975「東北地方の湖沼」津田松苗編『日本湖沼の診断：富栄養化の現状』共立出版：56-63。
- 渡辺仁治・浅井一視 1996「強酸性水の中和対策と珪藻群集—秋田県玉川の場合—」『用水と廃水』38 (8)：637-646。
- 渡辺仁治 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』内田老鶴圃。
- Bao, R., Hernández, A., Sáez, A., Giralt, S., Prego, R., Pueyo, J.J., Moreno, A. and Valero-Garcés, B.L. 2015 Climatic and lacustrine morphometric controls of diatom paleoproductivity in a tropical Andean lake. *Quaternary Science Reviews* 129：96-110
- Blaauw, M. and Christen, J.A. 2011 Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis* 6：457-474
- Bronk Ramsey, C. 2009 Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51 (1)：337-360
- Fukushima, K., Mochizuki, M., Hayashi, H., Ishikawa, R., Uemura, H., Ogura, K. and Tanaka, A. 1996 Long-chain anteiso compound series found in acidified freshwater lake sediments in Japan：Lake Tazawa-ko. *Geochemical Journal* 30 (2)：111-130
- Jones, J.I., Duerdoth, C.P., Collins, A.L., Naden, P.S. and Sear, D.A. 2014 Interactions between diatoms and fine sediment. *Hydrological processes* 28：1226-1237
- Kawahata, H., Yamamoto, H., Ohkushi, K., Yokoyama, Y., Kimoto, K., Ohshima, H. and Matsuzaki, H. 2009 Changes of environments and human activity at the Sannai-Maruyama ruins in Japan during the mid-Holocene Hypsithermal climatic interval. *Quaternary Science Reviews* 28 (9)：964-974
- Meyers, P.A. 1994 Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology* 114：289-302
- Moos, M.T., Laird, K.R., Cumming, B.F., 2005 Diatom assemblages and water depth in Lake 239 (Experimental

- Lakes Area, Ontario) : implications for paleoclimatic studies. *Journal of Paleolimnology* 34 : 217-227
- Reimer, P., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haffidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M. and van der Plicht, J., 2013. Intercal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55 : 1869-1887
- Round, F. E., Crawford, R. M. and Mann, D. G. 1990 *The diatoms: biology & morphology of the genera*. Cambridge University Press
- Tanaka, H., Katano, N. and Nagumo, T. 2017 *Cyclostephanos tazawaensis*, sp. nov. Including Diatoms from Lake Tazawa. *The journal of Japanese botany* 92 (4) : 225-236
- Tibby, J., Penny, D., Leahy, P. and Peter Kershaw, A. 2012 Vegetation and water quality responses to Holocene climate variability in Lake Purrumbete, western Victoria. In : *Peopled Landscapes : Archaeological and Biogeographic Approaches to Landscapes*. ANU Press
- Yamada, K., Kamite, M., Saito-Kato, M., Okuno, M., Shinozuka, Y. and Yasuda, Y. 2010 Late Holocene monsoonal-climate change inferred from Lakes Ni-no-Megata and San-no-Megata, northeastern Japan. *Quaternary International* 220 : 122-132

【2019年1月7日受理】

Paleoenvironmental changes inferred from diatom fossil assemblages in Lake Tazawa, northeastern Japan

FUKUMOTO Yu¹, IKEDA Taichi², ISHIYAMA Daizo³, YAMADA Kazuyoshi⁴,
KASHIMA Kaoru², HARAGUCHI Tsuyoshi⁵, OKAMURA Makoto⁶, MATSUOKA Hiromi⁶

Abstract : Lake Tazawa, located in Akita prefecture of northeastern Japan, is the deepest lake in Japan presumably formed by caldera activities during the Pleistocene. Since 1940's, water quality of the lake has shifted drastically due to artificial drawing of acidic waters from neighboring hot springs in order to exploit water resources. In spite of remedial measurements, recovery of pristine neutral waters and rich biodiversity has not yet fully achieved. Diatom fossil assemblages of sediment cores taken from deepest part of the lake were analyzed for reconstructing climate and human-induced environmental changes. Analyses were carried out on two sediment cores: a 2.9m long piston core and a short 30cm long icefinger core which preserve water-sediment interface. Radiocarbon datings showed that 2.9m long core represent 7 to 8 thousand years of sedimentation, and diatom taxa were dominated by planktonic taxa especially *Cyclostephanos tazawaensis*, an endemic species of the lake. However, *Discostella* spp. increased remarkably at approximately 4000-500 cal yr BP indicating long-term colder and drier climate. Chronology of the 30cm long core has not yet been obtained, but benthic taxa preferring acidic waters appeared from 28cm core depths onwards and sulfur content also increased, implying the introduction of acidic hot spring waters at this depth. The diatom floral history indicated that the present lake water condition is still different from its pristine conditions, mainly due to the low pH of lake water and decays of planktonic diatoms. However, rapid inflow of terrigenous minerals was also represented strongly in upper half of the core sequence. This indicates that sediment erosion due to artificial lake level control and land exploitation are also affecting the lake ecology.

Keywords : Diatom fossils, Holocene, Artificial impacts on lake, Northeastern Japan

1 : Ritsumeikan University, Ritsumeikan Research Center for Pan-Pacific Civilizations

2 : Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

3 : Department of International Resource Sciences, Akita University

4 : Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka

5 : Faculty of Science, Osaka City University

6 : Natural Sciences Cluster, Kochi University