

<研究ノート>

# 三方五湖における年縞の有無と水月湖に年縞を 形成した古環境の復元

—湖で採取したコアから探る—

篠塚良嗣<sup>1</sup>・山田和芳<sup>2</sup>・入澤汐菜<sup>3</sup>・

瀬戸浩二<sup>4</sup>・北川淳子<sup>5</sup>

**要旨**：日向湖、久々子湖、菅湖、三方湖において、数m長さのピストンコアを採取し、年縞の有無を観察した。また、久々子湖、水月湖、三方湖において塩分濃度の測定を行い水月湖との関係を探った。その結果、日向湖は過去約3300年間、久々子湖は過去約1800年間、菅湖は過去約7000年間、三方湖は過去約1300年間に関して、水月湖のような長期にわたる連続的に堆積した年縞堆積物は認められなかった。しかし、日向湖と菅湖に関しては、寛文地震以降短期間であるが規則的且つ明瞭な縞模様をもつ層が認められた。これは日向運河の開削、寛文地震に起因する浦見川の開削と嵯峨隧道の開削により、三方五湖に海水が浸入しやすい環境に急変した事によるものと推測できる。現在の水月湖は、若狭湾からの海水の流入と、はず川からの淡水の流入のバランスにより、水月湖内に塩分躍層が形成され、それが一つの要因となって年縞が形成されている。しかし、寛文地震以前の地形変化を起こす前は、水月湖への若狭湾からの海水の浸入を気山川との菅湖（最大水深15m）で制限し、はず川からの淡水の流入は三方湖を経由することで、水深の深い水月湖（最大水深38m）へと静かに流入していたと推測できる。寛文地震以前は、このようなバランスの上に水月湖の年縞が形成されていたと推測できる。

**キーワード**：コア堆積物、三方五湖、年縞、塩分濃度、古環境変化

## 1 はじめに

三方五湖（水月湖、三方湖、日向湖、菅湖、久々子湖）の一つである水月湖には、「年縞」といわれる明暗の縞模様（ラミナ）を一セットとして一年間に堆積した堆積物が、7万年間以上連続して堆積している事がすでに報告されている（中川2015）。また、この水月湖の年縞が過去5万年以内に起きた地震や噴火などの年代を決定する世界標準の物差しになったことも記憶に新しい。この年縞の生成には、湖底に堆積した堆積物が乱されない環境（湖底に生息する生物がいないこと、水の

流れがないこと）が必要である。水月湖はすり鉢状の湖であり、最大水深が約34mと深く、直接流入する大きな河川がないためこのような環境が作り出されたと推測できる。また、これら以外に重要なのが季節変化による湖底に堆積する物質の違いである。日本では四季の変化があり、プランクトンの死骸などの有機物や珪藻、周辺地域からの碎屑物などの量比が季節によって異なることで、明暗の縞模様が形成されることになる。また、この季節変化以外に、地震や津波などの災害が起こり、湖内に流入する物質の量比がこれまでと

1: 立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構 2: ふじのくに地球環境史ミュージアム 3: 島根大学総合理工学部 4: 島根大学・汽水センター 5: 福井県里山里海湖研究所

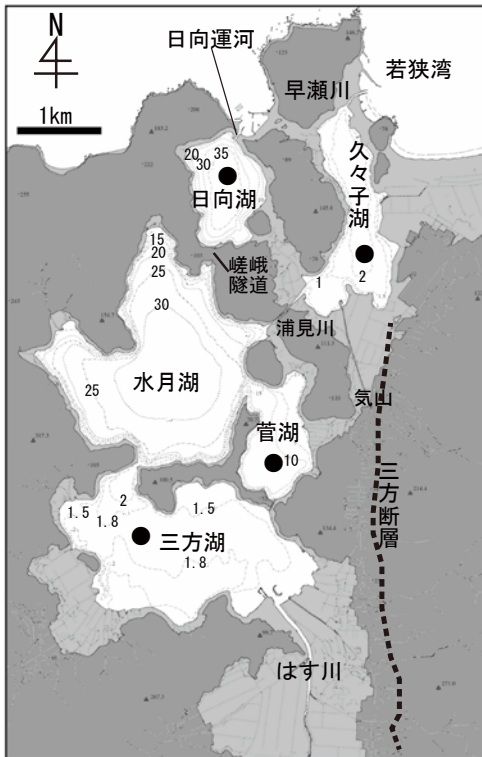


図1 三方五湖の地形図とコア採取地点

異なる場合は、堆積物に記録される事になる。そのため、年縞堆積物を分析することで過去の環境変化、気候変化や災害履歴を年単位などの高時間分解能で復元することが可能となる。すでに水月湖では様々な研究が行われている (Kitagawa and van der Plicht 1998、Nakagawa et al 2011 など)。また、近年、東日本大震災などの大規模災害が頻繁に起こり、社会に大きなインパクト与えており、過去の災害史を復元することは、非常に重要となってきた。このように、水月湖は特別なバランスの上に成り立っている、世界的に見ても非常に重要な湖である。

この水月湖と隣接しているのが、三方湖、日向湖、久々子湖、菅湖である。これらの湖に水月湖と同様な数万年間にわたる連続的な年縞が存在するならば、水月湖の年縞と対比

する事が可能となり、水月湖の年縞の年代の精度、確度が増す事は言うまでもない。特に日向湖は、①最大水深が約38mと深い湖であること、②直接流入する河川が存在しないこと、③すり鉢状の湖と、水月湖と同じ環境を有している。このためこの環境が過去も安定的に維持されているようなら水月湖のように長期間にわたって年縞堆積物が堆積していても不思議ではない。そこで、すでに三方湖ではコアリング調査がされているが (安田 1982、竹村 1994)、この三方湖を含めた日向湖、久々子湖、菅湖の4つの湖においてコアリング調査を行い、コア堆積表面の肉眼観察と顕微鏡観察を併用し、各湖の年縞の有無と堆積環境の変遷を明らかにした。さらに、はず川→三方湖→水月湖→久々子湖→若狭湾までの塩分濃度の測定を行うことで、水月湖と三方湖・日向湖・菅湖・久々子湖との関係を探った。

## II 三方五湖周辺の地形

三方五湖の地形図を図1に示した。三方五湖は福井県の南部の日本海沿岸に位置し、それぞれのおおよその周囲、最大水深、面積は以下のとおりである。水月湖 (周囲9.9km、最大水深約34m、面積4.1km<sup>2</sup>)、三方湖 (周囲9.6km、最大水深約2.5m、面積3.5km<sup>2</sup>)、菅湖 (周囲4.2km、最大水深約15m、面積1.0km<sup>2</sup>)、久々子湖 (周囲7.0km、最大水深約3.0m、面積1.3km<sup>2</sup>)、日向湖 (周囲3.6km、最大水深約38m、面積0.9km<sup>2</sup>)。現在、大きな流入河川ははず川のみで、はず川から流れ込んだ淡水は、三方湖に流入し、ついで水月湖に流入し、現在水月湖の副湖盆となっている菅湖にも流入する事になる。そして、水月湖から浦見川 (浦見運河) を通って久々子湖に流れ込み若狭湾へと排水している。日向湖

は日向運河により若狭湾と繋がっている以外に、現在は常時閉門しているが、嵯峨隧道により水月湖と繋がっている。しかし、三方断層が活動した1662年の寛文地震（小松原ほか1999、石村ほか2010）以前は、はず川→三方湖→水月湖→菅湖→（気山川：今は存在しない川）→久々子湖→若狭湾へと排水しており、日向湖だけは他の四湖と完全に独立していた。寛文地震の影響で、気山川近辺が隆起し、菅湖から気山川を通して久々子湖への排水が不可能となり水害が発生したと言われている。これを解消するため、1664年に浦見川を人為的に開削し、水月湖から久々子湖へと排水したことで、現在のような水の流れになっている。また、浦見川以外に、大雨による排水の対策として、水月湖と日向湖をつなぐ、嵯峨隧道が1763年に完成するも崩落・再建を繰り返し、最終的に1934年に完成した。現在は水月湖側に水門をつけて、常時閉じた状態となっているが、昔は小船が通行可能な運河としての役割も果たしていたと報告されている（門井2008）。この寛文地震に伴

う浦見川の開削、嵯峨隧道の開削により、水月湖は淡水環境から、海水が侵入する汽水環境になった事が知られており（福澤1995）、三方五湖の湖内の環境に大きな変化をもたらしている。

### III コア採取地点と採取方法と水質調査

三方五湖のうち水月湖を除く三方湖、日向湖、菅湖、久々子湖においてコア試料（数m長さの柱状湖底堆積物）を採取した（図1の●印）。三方湖（最大水深約2.5m）と久々子湖（最大水深約3m）は、水深が比較的浅い湖であるため、押し込み式ピストンコアラ（図2）<sup>1)</sup>を用いてコア試料を採取した。水深が深い日向湖（最大水深約38m）と菅湖（最大水深約15m）は、マッケラス型空気圧入式ピストンコアラ（図3）<sup>2)</sup>を使用し、さらに日向湖のみリミノス型重力式採泥器（写真1）<sup>3)</sup>での採取も行った。水質調査（塩分濃度の測定）は、多項目水質計（AAQ127:JFEアドバンテック製）を用いた。



図2 押し込み式ピストンコアラ

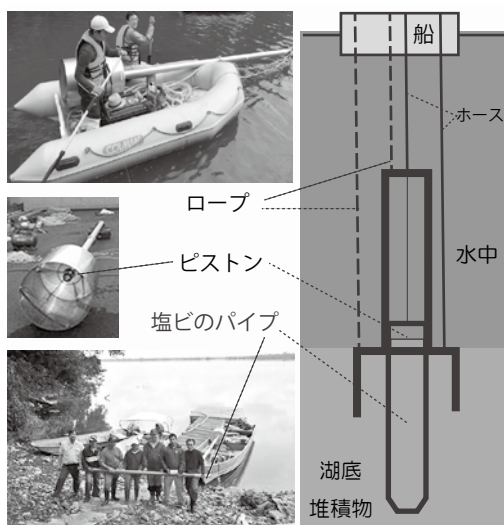


図3 マッケラス型空気圧入式ピストンコアラの模式図



写真1 リミノス型重力式採泥器

#### IV コア採取調査の結果と考察

##### 1 年代測定

日向湖、久々子湖、菅湖、三方湖で採取したコアの年代と深度のグラフを図4に示した。炭素年代の測定誤差 ( $2\sigma$ ) は $\pm 50$ 年前後である。図4のグラフを外挿することで各々のコアのおおよその堆積年代を計算すると、日向湖は約2.5m長さのコアで約3300年間、久々子湖は約1.4m長さのコアで約1800年間、菅湖は約3.5m長さのコアで約7000年間、三方湖は約1.5m長さのコアで約1300年間の堆積環境を保存していると計算できる。

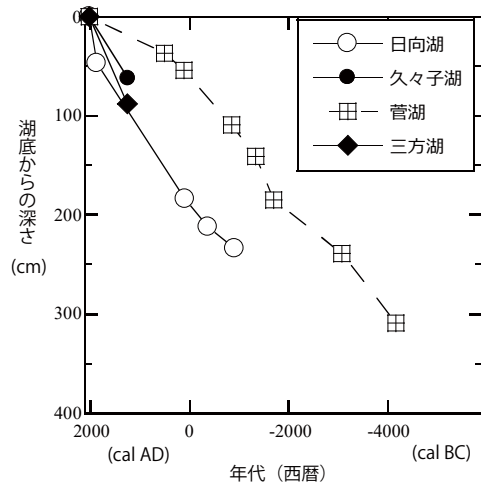


図4 日向湖、久々子湖、菅湖、三方湖で採取したコアの深度と年代の関係

##### 2 柱状図とコア写真

日向湖、久々子湖、菅湖、三方湖で採取した各々のピストンコア堆積物の柱状図と代表的なコア堆積物の表面写真を図5 (日向湖)、図6 (久々子湖)、図7 (菅湖)、図8 (三方湖)に示した。

###### 2.1 日向湖

まず、北に位置し、現在は他の4つの湖とは常時繋がっていない独立している日向湖から説明する。日向湖のコアをコア下部から見ていくと、湖底から深さ175~173cm (図5右下写真)と146~145cm (図5左下写真)の粘土層(前後の層よりも白っぽい色を示す)を除くと、湖底から深さ240~142cmまでは不明瞭なラミナを伴う粘土層(肉眼でかすかに確認できる縞模様を伴う粘土層: 図5中央下写真)が続いている。その後、深さ142~深さ83cmまで、数cmから数十cmの厚さをもつ、ラミナを伴う粘土層(肉眼で確認できる縞模様を伴う粘土層であるが、水月湖のように縞模様が規則的に繰り返す年縞とは明らかに異なる: 図5右上写真)と不明瞭なラミナを伴う粘土層が繰り返し確認できる。そし

て、深さ68cmまではラミナはなくなり粘土層のみが確認できた。その後、再度深さ68~52cmまで不明瞭なラミナを伴う粘土層が確認でき、さらに深さ52~28cm (図5写真左上)および深さ20~5cmに明瞭なラミナを伴う粘土層(水月湖の年縞堆積物のような規則正しい明瞭な縞模様を伴う粘土層)が、深さ28~20cmおよび5~0cmには粘土層もしくは、ラミナを伴う粘土層が確認できた。

深さ175cm (A. D. 270)と146cm (A. D. 580)に認められた層厚1~2cmの層は、前後の層と比較して白っぽい色の粘土層であった。これは、有機物が少なく、短時間で堆積したものと推測できるため、洪水などによって土砂交じりの水が湖内に流入したことによる堆積物と考えた。このような突発的な環境変化を除くとすると、深さ240~142cm (B. C. 1050~A. D. 630)までは比較的安定した堆積環境が続いていたと推測できる。その後、ラミナを伴う粘土層が繰り返し出現している(深さ142~138cm: A. D. 630~A. D. 690; 深さ120~115cm: A. D. 920~A. D. 980; 深さ105

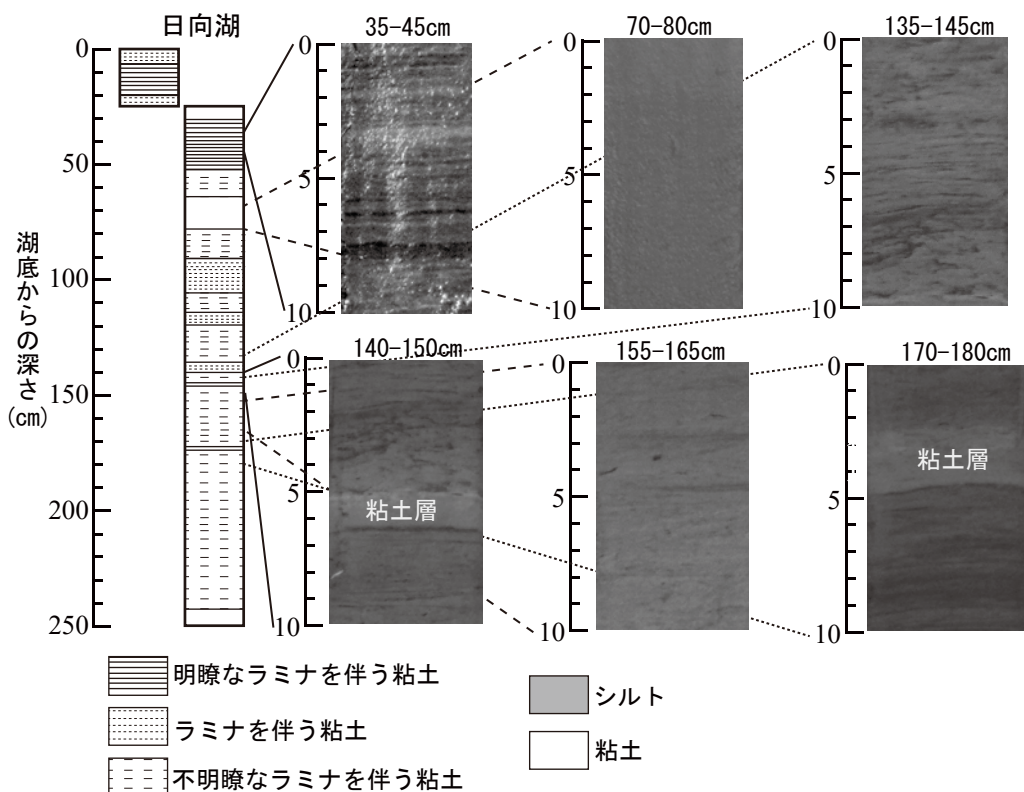


図5 日向湖の柱状図とコア写真

～90cm : A. D. 1100 ～ A. D. 1300)。このラミナの形成は、若狭湾に面していることを考えると、淡水より比重の重い海水が断続的に日向湖内に流入し、湖底に海水が溜まることで塩分躍層<sup>4)</sup>が形成されるなどして、湖底が攪拌されにくい環境が形成されたためと推測できる(現在コア堆積物の詳細な化学分析を行っており、これにより詳細が明らかになると考えている)。その後、再び深さ68cm (A. D. 1600) から不明瞭なラミナの形成が認められる。これは、日向湖を船だまりにするために、日向湖と若狭湾とを結ぶ日向運河を1635年に開削(門井2008)している。そのため、若狭湾から日向運河を通り日向湖湖底に常時海水が進入する環境になり、弱い塩分躍層が形成され、不明瞭なラミナが

形成されるようになったと推測できる。さらに、断続的な明瞭なラミナの生成(深さ52～28cm : A. D. 1800 ～ A. D. 1925 ; 深さ20～5cm : A. D. 1950 ～ A. D. 2000)は、水月湖と日向湖とを結ぶ嵯峨隧道の形成と崩壊が関係していると推測できる。史実によると(門井2008)、日向湖と水月湖を結ぶ嵯峨隧道は1763年に完成するも崩落、再建を何度も繰り返しており、現在閉門していると記載されている。嵯峨隧道により、海水が常時流入する日向湖と、三方湖から淡水が流入する水月湖が通じたことで、水月湖の淡水が優勢な表層水が、日向湖に大量に流入することで、日向湖の湖底付近には海水が溜まり、表層には淡水が溜まるような、強い塩分躍層が形成されたことで、鉛直循環が妨げられたことで、

湖底付近は攪拌されなくなり、明瞭な規則正しいラミナが形成されたと推測できる。逆に、水月湖には海水が流入するので、水月湖も塩分躍層が強化されたと推測できる。このような水質変化に伴う生態系へ影響等により嵯峨隧道は、現在水月湖側で閉門されている。この対策により、水月湖からの淡水優勢の表層水が日向湖に流入しなくなったため、今回採取したコアの表層堆積物は、明瞭な規則正しいラミナを伴う粘土層から最表層の堆積物はラミナを伴う粘土層へと変化していると推測できる。

日向湖は、最大水深が38mと水月湖と同程度に深く、また水月湖のように直接流入する河川もなく、すり鉢状の湖であるため、連続的な年縞がある事が期待されたが、過去約3300年間に關しては、長期間にわたる連続的な年縞は確認できなかった(ちなみに、秋田県一の目潟(面積0.26km<sup>2</sup>)は最大水深42mと深く、流入河川がない淡水湖であり、年縞堆積物の存在が知られている(Okuno et al 2011))。水深が深いのに関わらず、何らかの原因で湖底が攪拌される環境であったと推測でき、若狭湾に面しているため、断続的に海水が流入する環境が原因の一つかもしれない。一方で、日向運河の開削、嵯峨隧道の開削・崩落・再建による大量な海水の浸入が起因すると推測できる層厚10~20cm程度と短期間の明瞭なラミナを確認できた。

## 2.2 久々子湖

久々子湖のコア下部から見ていくと、深さ約115cm(A.D.600)までは粘土層(図6左下写真)が続き、その後90cm(A.D.900)までは不明瞭なラミナを伴う粘土層(図6右中央写真)が続いている。その後は79cm(A.D.1700)から層厚3cm程度のシルト層(図6左上写真)が挟在するものの、湖底表層まで粘土層が続いている。

久々子湖は早瀬川を通して若狭湾と繋がっているため、海水が逆流しやすい環境である。逆流した海水は淡水より比重が重く淡水の下にもぐりこもうとするため、湖底に流れが生まれると推測できる。また、久々子湖は最大水深が3mと浅いため、風や波によっても湖底付近は攪拌されると推測できるため、堆積

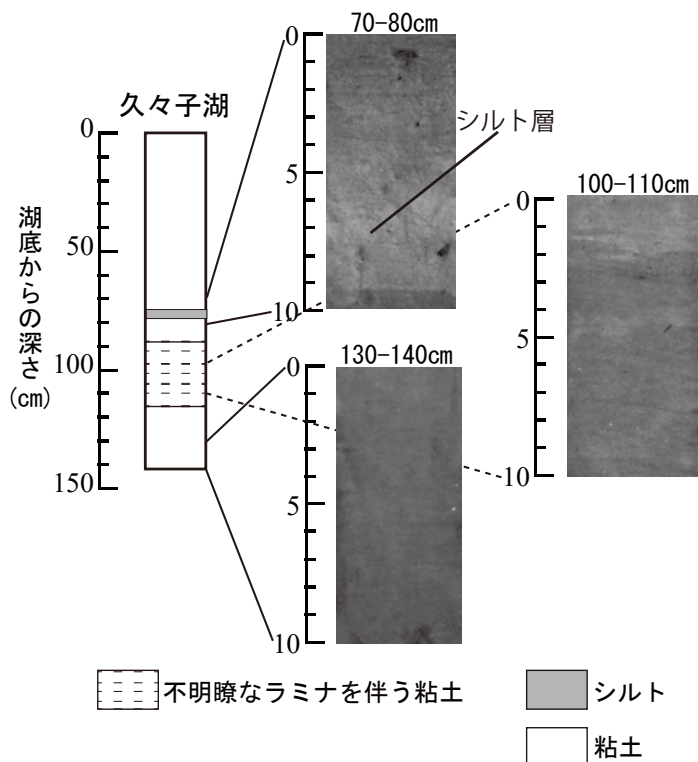


図6 久々子湖の柱状図とコア写真

物に縞模様は形成されず粘土層が堆積していると考えた。深さ約 115cm (A. D. 600) から 90cm (A. D. 900) に認められる不明瞭なラミナを伴う粘土層は、一時的に鉛直循環が弱くなったのかもしれないが、現在詳細な化学分析を行いその原因を探っている。ちなみに、挟在した前後の層と比較して白っぽいシルト層は、洪水堆積物であると推測できる。シルトは粘土よりも大きな粒子であるため、粘土よりも沈降速度が速くなる。そのため、いつもと違う場所から流されてきたと推測でき、白っぽいことから有機物が少ないと推測できる。近辺で、洪水やがけ崩れなどが起こった

ことで、湖内に有機物が少ない砂や泥混じりの水が流入したことによると推測できる。

久々子湖では、過去約 1800 年間に、年縞の生成は確認できなかった。

### 2.3 菅湖

菅湖のコア下部から見ていくと、コアに挟在する深さ 186cm の火山灰層 (図 7 右下写真) と、深さ 47cm のシルト層 (図 7 左下写真) を除くとコア下部の 350 ~ 10cm まで粘土層が堆積している (図 7 左下、右上写真)。その後、突然深さ 10cm からラミナを伴う粘土層が確認でき、深さ 5cm から最表層まで明瞭なラミナを伴う粘土層 (図

7 左上写真) が確認できた。写真では明瞭ではないが、日向湖の表層堆積物と同様に、水月湖の年縞堆積物のように規則正しい縞模様が肉眼では確認できている。

挟在していたシルト層は洪水や土砂崩れなどによるものと推測できる。このような環境変化と火山灰層を除くと、コア下部の深さ 330cm (B. C. 4500) から深さ 10cm (A. D. 1600) までは粘土層がずっと続いているため、鉛直循環が活発な非常に安定した堆積環境をしていたと推測できる。しかし、それ以後急に環境が変化し、ラミナが生成する湖内環境へと変化し、さらに深さ 5cm (A. D. 1800) からは水月湖に見られるような明瞭なラミナが生成するような環境へと急変している。これは鉛

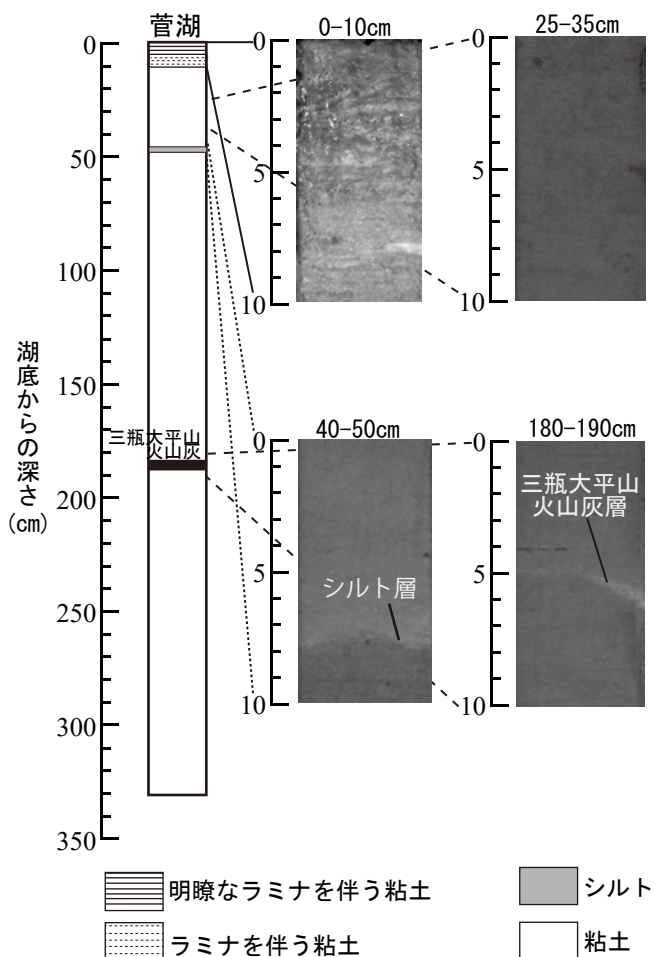


図 7 菅湖の柱状図とコア写真

直循環が弱くなったことを示しており、1662年の寛文地震に伴う1664年の浦見川開削と大きく関係していると推測できる。もともとは、はず川→三方湖→水月湖→菅湖→(気山川)→久々子湖→若狭湾に排水していたのが、寛文地震による隆起により気山川がせき止められる状況に陥った。これにより水害が発生し、排水のために浦見川が開削され、水月湖→浦見川→久々子湖→若狭湾へと排水されるようになった(この時、菅湖は水月湖の副湖盆という形になったと推測できる)。この地形変化によって、これまで淡水湖だった水月湖に久々子湖から海水が流入し、それに伴い水月湖から塩分濃度の高い水が徐々に菅湖に流入することで、菅湖にも塩分躍層が形成されるようになり、現在のような明瞭なラミナが形成される環境になったと推測できる。

過去約6500年間に於いて、水月湖のような長期間にわたる連続的な年縞は確認できなかった。これは、鉛直循環を起しやすい環境であったからと推測できる。一方で、寛文地震の影響による浦見川開削による海水の流入に起因すると推測できる層厚5cm程度の短期間の明瞭なラミナは確認できた。

## 2.4 三方湖

三方湖のコアをコア下部から見ていくと、コア下部の深さ150cmから最表層まで粘土層が堆積している(図8右写真)。これは、三方湖にははず川が流入していること、また三方湖の最大水深が2.5mと浅いため、風などによっても湖底がよくかき混ぜられた結果であると推測できる。

三方湖では、過去1300年間に於いては、年縞は確認できなかった。

## 2.5 日向湖・久々子湖・菅湖・三方湖と、水月湖との関係について

塩分濃度の垂直分布(2015年3月測定)の図を図9に示す。この図は、はず川→三方湖→水月湖→浦見川→久々子湖→早瀬川→若狭湾までの2015年3月の塩分濃度の垂直分布の図である。若狭湾から海水が早瀬川を逆流して久々子湖に流入し、海水は淡水より比重が重いため湖底に溜まっていることがわかる。また、久々子湖は最大水深が3mと浅い湖で、浦見川も水深が深くても2m程度であるため、湖底つたいに水月湖へと流入していることがわかる。このようにして水月湖へと海水が流入することにより、現在水月湖は水深数mの所に塩分躍層(図9)を持つ汽水湖となっている。この水月湖への海水の流入量次第では、三方湖が一時的に汽水環境となることも不思議ではない。この図には記載していないが、水月湖と繋がっている菅湖(水月湖の副湖盆)も水月湖から汽水・海水が流入することで、現在塩分躍層が存在する湖となっている(沢田ほか1981)。日向湖は、日向運河の開削により常時海水が流入することから、現在は海水湖となっている。

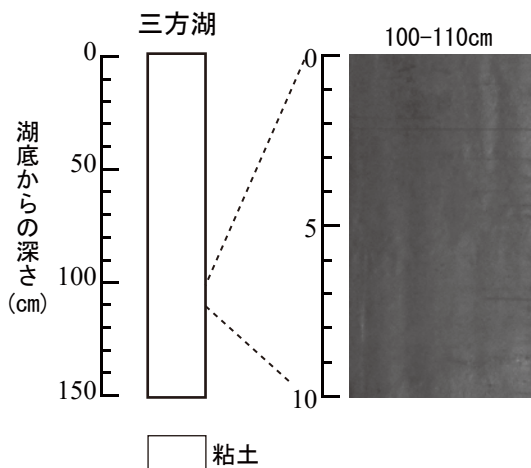


図8 三方湖の柱状図とコア写真



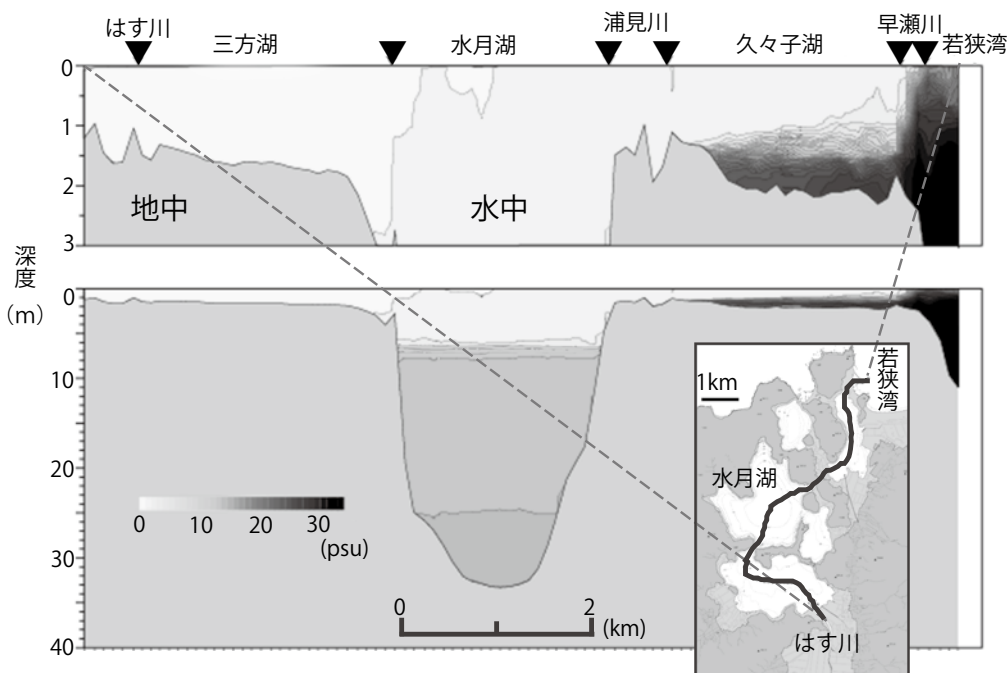


図9 はす川→三方湖→水月湖→久々子湖→若狭湾までの塩分濃度の垂直分布

現在、明瞭なラミナが形成されているのは水月湖と、(水月湖の副湖盆である)菅湖である。それは久々子湖から大量の海水が水月湖に流入し、それが菅湖へも流れ込み、淡水より比重が重い海水は湖底に溜まる事になる。一方、はす川から碎屑物を含む淡水が三方湖を通じて水月湖へと流入することになり、水月湖と菅湖で強い塩分躍層が形成されることになる。そのため、水月湖と菅湖の湖底付近は攪拌されにくい酸素の乏しい環境となっているため年縞が形成されると推測できる。そのため、現在の水月湖の年縞は、湖への海水の流入量と、はす川からの淡水の流入量とのバランスによって成り立っているといえる。

しかし、地形変化をもたらした寛文地震以前は、はす川から流れ込んだ淡水は、三方湖→水月湖→菅湖→気山川→久々子湖を経由して若狭湾に排水していた。そのため、現在と

違って水月湖は淡水湖であったことが知られている(福澤 1995)。また、菅湖も過去 6500 年前から寛文地震までは、多少の海水の逆流はあったかもしれないが、大量の海水が気山川を逆流して菅湖に流入した形跡は菅湖のコア堆積物には残っていない。そのため、この当時の水月湖は、若狭湾からの海水の浸入を、気山川と最大水深 15m の菅湖の二段階で制限していたと推測できる。一方、はす川からの碎屑物を含む水が三方湖に流入することで、穏やかな流れとなって静かに水月湖へと流入することになる。また、水月湖は最大水深が 38m と深いため、淡水でも年縞が形成されたと推測できる(ちなみに、淡水湖である秋田県一の目潟でも年縞堆積物の存在が知られており、最大水深は 42m である)。寛文地震以前の水月湖の年縞は、三方湖、菅湖、久々子湖のバランスの上に成り立っていたと推測できる。

最後に、日向湖であるが、元々は他の四湖とは独立していたが、寛文地震以後に嵯峨隧道開削により水月湖と繋がっている。しかし、現在は水門によって常時閉じられている。これは、水月湖には日向湖の海水優勢な水が流入し、逆に日向湖には水月湖の淡水が優勢な水が流入したことで、漁業と農業に大きな被害が出たためである（門井 2008）。

## V 結論

日向湖は過去約 3300 年間、久々子湖は過去約 1800 年間、菅湖は過去約 7000 年間、三方湖は過去約 1300 年間の間、水月湖のような長期間にわたる連続的な年縞の堆積は認められなかった。しかし、日向湖と菅湖に関しては、寛文地震以降 10～20cm の層厚の規則正しい明瞭なラミナが認められ、菅湖に関しては現在も確認できる。これは日向運河の開削、寛文地震に起因する浦見川の開削と嵯峨隧道の開削によって、三方五湖の水環境が急変したことによるものと推測できる。

現在の水月湖は、若狭湾からの流入する海水と、はず川から流入する淡水の流入量とのバランスによって、水月湖内に塩分躍層が形成され、それが一つの要因となって年縞が形成されている。しかし、寛文地震以前の地形変化を起こす前は、若狭湾からの海水の浸入を気山川と菅湖の二段階で制限し、はず川からの流れを三方湖で穏やかにし、水深が深い水月湖へと静かに流入する事で年縞が形成されていたと推測できる。水月湖の年縞は、このようなバランスの上に成り立っていたと推測できる。

## 謝辞

コアリング調査の実施にあたり、三方五湖の漁業組合の皆さんにはひとかたならぬお世話になりました。記して感謝申し上げます。

## 注

- 1) 押し込み式（夏原式）ピストンコアラーは、湖底から約 2m 長さの円柱状（直径約 7cm）の連続した堆積物を人力で採取することができる。こちらも②と同じように船上からコアラーを湖底に突き刺すが、2m の長さのサンプラーの先端にピストンがついており、このピストンが湖底面の直上で停止するように設定してある。しかし、コアラーはそのまま湖底に突き刺さっていくので、ピストンはパイプの下部から上部へひきあげられる状態になり、吸引圧が働くため、堆積物を吸い込みながらサンプラーが押し込まれていく。
- 2) 押し込み式ピストンコアラー（注 1）と原理は同じだが、人力でサンプラーを湖底に押し込むのではなく、圧縮空気を使って湖底にサンプラーを押し込む。そのため、水深 40m くらいと深い湖でも堆積物の採取が可能である。図 3 左上写真のような 6 人乗りのゴムボートに、コアサンプラーと発電機、排水ポンプ、コンプレッサーと、人が 2～3 名乗り込み船上で作業を行う。
- 3) 湖底から数十 cm 長さのコアを採取する場合に用いるのが、リミノス型重力式採泥器（コアラー）である。湖底最表層の堆積物は、水分を沢山含んだ層であるため、少しの衝撃ですぐに乱れてしまうデリケートな層である。この湖底最表層の堆積物を採取するのに適しているのが、リミノスコアラーだ。写真 1 のように、ゴムボートに乗って、紐をつけたサンプラーを湖に落として堆積物を採取するという、シンプルな装置となっている。
- 4) 湖底付近の高塩分層と上層部の淡水層との間に存在する、塩分が急激に変化する層のことである。

## 参考文献

- 石村大輔・加藤茂弘・岡田篤正・竹村恵二 2010 「三方湖東岸のボーリングコアに記録された三方断層帯の活動に伴う後期更新世の沈降イベント」『地学雑誌』119 (5) : 775-793。

## 三方五湖における年縞の有無と水月湖に年縞を形成した古環境の復元

- 門井直哉 2008 「フォーラム 地形図に現れる福井の地域環境 11:三方五湖とその周辺」『福井大学地域環境研究教育センター研究紀要「日本海地域の自然と環境」』15:139-144。
- 小松原琢・水野清秀・寒川旭・山崎晴雄 1999 「三方断層のトレンチ調査と寛文地震時の地殻変動に関する検討」『地質調査所速報 平成10年度活断層・古地震研究調査概要報告書』197-213。
- 竹村恵二・北川浩之・林田明・安田喜憲 1994 「三方湖・水月湖・黒田低地の堆積物の層相と年代」『地学雑誌』103(3):233-242。
- 沢田稔之・青木啓子・山口慎一・植山洋一・宇都宮高栄・前川勉・白崎健一・田川専照・伊藤希一郎 1981 「三方五湖の富栄養化に関する研究 II 水月湖、菅湖における水質の垂直分布について」『福井県公害センター年報』11:192-196。
- 中川毅 2015 『時を刻む湖 — 7万枚の地層に挑んだ科学者たち—』岩波科学ライブラリー。
- 福澤仁之 1995 「天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物」『第四紀研究』34(4):135-149。
- 安田喜憲 1982 「福井県三方湖の泥土の花粉分析的研究最終氷期以降の日本海側の乾湿の変動を中心として」『第四紀研究』21:255-271。
- Kitagawa H., van der Plicht J. 1998 Atmospheric  $\delta^{13}C$  calibration to 45,000 yr B.P.: late glacial fluctuations and cosmogenic isotope production. *Science* 279: 1187-1190.
- Nakagawa T., Gotanda K., Haraguchi T., Danhara T., Yonenobu H., Brauer A., Yokoyama Y., T. A. D. a R., Takemura K., Staff R. A., Payne R., Bronk Ramsey C., Bryant C., Brock F., Schlolaut G., Marshall M., Tarasov P., Lamb H., Suigetsu 2006 Project Members 2012 SG06, a fully continuous and varved sediment core from Lake Suigetsu, Japan: stratigraphy and potential for improving the  $\delta^{13}C$  calibration model and understanding of late Quaternary climate changes. *Quart. Sci. Rev.* 36: 164-176.
- Okuno M., Torii M., Yamada K., Shinozuka Y., Danhara T., Gotanda K., Yonenobu H., Yasuda Y. 2011 Widespread tephra in sediments from lake Ichi-no-Megata in northern Japan: Their description, correlation and significance. *Quat. Int.* 246: 270-277.

【2016年11月16日受理】

## The reconstruction of paleoenvironmental change using the core sediments of Lakes Hyuga, Kugushi, Suga, and Mikata

SHINOZUKA Yoshitsugu<sup>1</sup>, YAMADA Kazuyoshi<sup>2</sup>, IRISAWA Sena<sup>3</sup>,  
SETO Koji<sup>4</sup>, KITAGAWA Junko<sup>5</sup>.

**Abstract:** Several piston cores were collected from Lakes Hyuga, Kugushi, Suga, and Mikata to confirm the presence of varve sediments. In addition, the salinity of Lakes Kugushi, Suigetsu, and Mikata was measured to investigate an association between each lake and Lake Suigetsu. Continuous varve sediments have not been found in Lake Hyuga for the past 3,300 years, in Lake Kugushi for the past 1,800 years, in Lake Suga for the past 7,000 years, and in Lake Mikata for the past 1,300 years. However, after the Kanbun earthquake, the presence of short-term lamina (thickness: 10–20 cm) in Lakes Hyuga and Suga can be confirmed with the naked eye. We propose that the aquatic environment of “Mikata-goko” (an area comprising Lakes Suigetsu, Mikata, Suga, Kugushi, and Hyuga) experienced a drastic change due to the excavation of the Hyuga Canal, Urami River, and Saga Tunnel. At present, halocline is being formed by the inflow of seawater and freshwater to Lake Suigetsu, which is a factor leading to varve sediment deposits. However, before the Kanbun earthquake, the invasion of seawater from Wakasa Bay into Lake Suigetsu was limited by its flow through the Kiyama River and Lake Suga. In addition, the freshwater from the river slowly flowed into Lake Suigetsu because of its flow through Lake Mikata. We propose that such a balance was formed by the Lake Suigetsu varve sediment.

**Keywords:** core sediment, Mikata-goko (five lakes of Mikata), varve sediment; salinity, paleoenvironment change

1: Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University

2: Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka

3: Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University

4: Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University

5: Fukui Prefectural Satoyama-Satoumi Research Institute