

立山の池塘の内部構造調査

富山市科学博物館

加藤 咲

1. はじめに

立山弥陀ヶ原の景観を特徴づけるものの一つが多くの池塘である。池塘は泥炭地の緩斜面に限って見られると報告されており（小泉，1982），弥陀ヶ原でも池塘は斜面勾配の急な所でなく緩やかな所に存在している。

池塘の成因に関しては，傾斜が小さく排水されにくい地形と，地下の不透水層の存在によってくぼ地に水がたまることが発端となるという説がある（立山連峰の自然を守る会・富山大学自然環境保全グループ，1974）。また，池塘には発生期，成立期，老衰期，消滅期という「ガキ田の輪廻」が存在するという報告もある（本多1965）。

朴木ら（2020）は立山弥陀ヶ原の追分に存在する一つの池塘について，東-西，南-北に設定した基線上で地表面の起伏の形状を計測し，さらに，この基線上からピンポールに一定の力をかけて順に刺し，ピンポールが停止した深さを計測したところ，池塘を取り囲んでいる盛り上がりの直下に堤防状の地形が存在することを見出した（朴木ら，2020）。

この手法を利用して池塘の表面とその内部の地形を面的に計測し，池塘の内外の土壌コアサンプル（以下，土壌コアという。）の採取・解析と土壌試料の一部の年代測定を行う事で，池塘の成因や形成時期について何らかの知見が得られる可能性がある。そこで，弥陀ヶ原の追分で全く独立して存在する池塘の1つを対象に，地形計測，内部構造計測，土壌コア採取と解析，放射性炭素による年代測定を行った。

2. 調査地点，調査方法

2.1 対象とした池塘

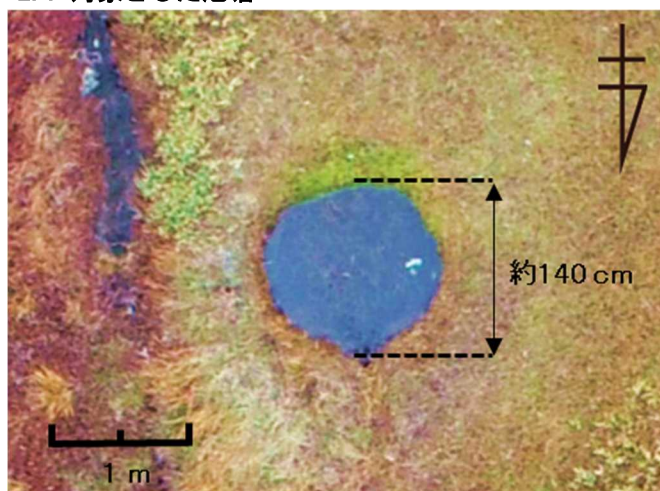


図1 調査した池塘

調査した池塘（36°33′56.37″N，137°32′55.36″E，標高1858 m）（図1）は弥陀ヶ原追分の池塘が密集して形成されている南から北に傾斜する緩斜面上にあるが，最も近い池塘からは約10 m離れており，この池塘の流出水と連結する池塘はなく単独で形成されていた。池塘を取り囲んで盛り上がった地形が形成されており（以下，堤防という），その面はほぼ水平に形成されていた。堤防周囲の傾斜は，西側と東側は一定の傾きで傾斜し，南側は隣接する斜面の傾斜よりもやや急に，北側は隣接する斜面よりもやや緩やかに傾斜していた。

2.2 調査方法

2.2.1 地表面調査

地表面の凹凸の計測は，池塘近くの南東側斜面に調査基点を設置し，この起点との高さの差を比高として計測した。基点は池塘の中心から西方向に1.2 m，この位置から北に2.1 mの位置になるように設定し，東西2.4 m，南北3.7 mの調査区を設定した。

計測は，東西の調査基線上に，直径3 mm，長さ3 mの棒をピンポールを用いて保持し，水準器で水平を確認後，東西に30 cm間隔で地表面から棒までの高さを測り，基点の高さを差し引いて各位置の比高とした。

南北も30 cm間隔に行ったが，池塘周辺の起伏が大きい部分での計測は10～20 cm間隔で行った。

計測値から立体図などを作成したが，10 cm間隔の数値が必要で計測値がない場合においては，計測点の間隔が20 cmの場合は両者の比高の平均値を，30 cmの場合は比例配分によって比高の補間値を用いた。

2.2.2 ピンポール調査

直径 8 mm、長さ 1 m のピンポールの上端に操作しやすくするためのハンドルを固定し（図 2）、ピンポールの先端から上に向けて 1 cm 毎に目盛りを付けた。

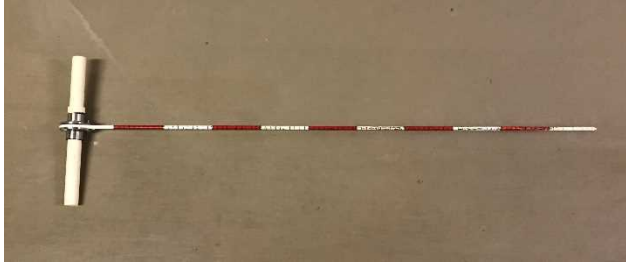


図 2 調査に使用したピンポール

地表面調査と同じ基線で、なるべく一定の力を加えてピンポールを刺し、ピンポールが止まった位置の深さを 30 cm 間隔で計測した。池塘の堤防から湖底と池塘の南側の流入部分においては、10 cm 間隔で調査した。ピンポール停止位置の比高は、地表の比高と刺さった深さから算出した。

なお、ピンポールのハンドルにスーツケース用の荷重計（50 kg 用）を取り付けて、調査時にどの程度の荷重で刺しているのか計測したところ、ピンポールを押し力は 35 kg 程度であった。

2.2.3 土壌コアの採取

土壌コアの採取には大起理化学工業株式会社のライナー採土器 DIK-110C を使用した。この採土器で採取できる土壌コアの直径は 46 mm、長さは 30 cm である。下層の土壌コアを採取する場合は、最初の土壌コアを抜き出した後、採取された土壌コアをコアサンプラーからライナーごと取り出し、新しいライナーを装着し、元のコア穴に差し込んで 2 本目以降の土壌コアを採取した。

池塘の湖底部の土壌コアは水分が多くコアサンプラーではうまく採取できなかったため、長さ 1 m、内径 27 mm の検土丈タイプのコアサンプラーを使用して採取した。

土壌コアの採取は 2020 年 9 月中旬から 10 月中旬にかけて行い、池塘の西側の堤防（基点より北に 200 cm、西に 210 cm。以下、西コアとする）、池塘の北側の堤防（基点より北に 290 cm、西に 120 cm。以下、北コアとする）、池塘の南側の流入口（基点より北に 100 cm、西に 120 cm。以下、南コアとする）と池塘の湖底（基点より北に 200 cm、西に 120 cm。以下、湖底コアとする）、池塘の東側の堤防の外（基点より北に 210 cm、西に 10 cm。以下、東外コアとする）の 5 か所で行った（図 5 参照）。

池塘の堤防上における土壌コア採取では、土壌コア採取によって直径 46 mm の採取穴が残るため、万一、コア穴から漏水すると池塘に水がたまらなくなる事態が想定された。そこで堤防の幅の中心と思われる位置から若干外側の位置で土壌コアを採取し、堤防の内側の土壌が多く残るようにした。

図 3 は地表コア採取後である 2020 年 10 月 28 日の調査対象の池塘で、水位は通常の満水に近い状態と変わらず、この時点では、堤防での土壌コア採取の影響はなかったと言える。

2.2.4 土壌コア試料の分析

2.2.4.1 土相の区分

採取した土壌コアは縦方向に切断して 2 つに分け、その断面の状態を目視で調べ、黒色堆積物と粘土の層に大きく分け、次に、それぞれの層について色や硬さ、粒度の違いなどで、さらにいくつかに分けた。土壌コアの表面からそれぞれの層の境界位置までの深さを計測し、各土壌コアについて柱状図（図 6 参照）を作成した。なお、図 4 は池塘の湖底コアと西コアの断面の比較である。

2.2.4.2 分析用試料採取

土壌コアの断面に内径 4 mm のコルクポーラを深さ 5 mm 以上刺し、コルクポーラから取り出した試料の長さを 5 mm にそろえて、分析用試料とした。



図 3 積雪の中の調査対象池塘（2020 年 10 月 29 日）

試料の採取位置は、層が均一な部分については2 cm 毎に、異なる土壌の境界面では境界面の直上と直下の位置で採取し、それぞれの採取位置について地表面からの深さを記録した。

2.2.4.3 乾燥重量・有機物量・無機物量の測定

アルミ箔製の容器を電気炉で550°C、1時間以上熱し、冷却後、再度、550°Cで1時間以上熱してデシケーターに入れて冷却後、試料の秤量用容器とした。2.2.4.2の試料を秤量用容器に載せ、110°Cで2時間加熱後にデシケーターで冷却し、乾燥重量を0.01 mgの単位まで秤量した。

乾燥試料を載せた秤量用容器を電気炉で550°C、1時間以上熱し、デシケーターに入れて冷却後に強熱残差である無機物重量を秤量した。そして、有機物重量を、乾燥重量と無機物重量の差から算出した。

2.2.4.4 無機物の粒子の計測

強熱後の残留物である無機物を重量既知（0.1 gの単位まで計測）の300 ml ビーカーに入れ、シリコン製のヘラで大きな塊をつぶし、ビーカー内に移した。次に、脱粒子水200 ml程度をビーカーに入れ、ビーカーの重量を0.1 gの単位まで計測した。これを超音波洗浄機で5分間処理し、強熱によって固まった粒子をバラバラにした。この懸濁液をマグネチックスターラで激しく攪拌しながらホールピペットで分取し希釈した懸濁液を試料とした。

試料は、液中微粒子計（HIAC 9703+）で、1.5~150 μmの粒子の個数濃度計測を行った。なお、粒子数が計測上限を超えた場合は、同様な方法で再度希釈した試料を用いた。

計測した粒径範囲を表1に示した。

表1 液中微粒子計の計測粒径範囲（μm）

1.5-2.0, 2.0-2.5, 2.5-3.0, 3.0-4.0, 4.0-5.0, 5.0-6.0,
6.0-8.0, 8.0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50,
50-60, 60-80, 80-100, 100-150

2.2.4.5 放射性炭素による年代測定

調査した池塘がいつから存在していたのかを推定するため、湖底コアから1カ所、西コアから4カ所分析用の試料を採取し、(株) 加速器分析研究で年代測定を行った。試料の採取位置は図4に併記した。

3. 結果

3.1 池塘を取り巻く地形

図5に、地表面とピンポール停止位置の計測結果から作成した等比高線図を示した。左図が地表面、右図がピンポール停止位置で、地表面の比高-20 cmの等比高線を点線で囲んだ。池塘を取り囲む堤防の内側を表すこととなる。

堤防周辺は南から北に傾斜していたが、池塘の南側は周囲よりもくぼみ、北側は少し盛り上がることで、池塘周囲全体で平坦面となっていた。池塘地表面の地形（図5左）は、南北に140 cm、東西に140 cmの円に近い形のくぼみであった。ただし、図5では計測値の不足により、やや正方形に見える。池塘の南側にはワタミズゴケ（*Sphagnum tenellum*）が生育し、池塘を取り囲むように堤防が形成されていた。池塘の堤防の幅は場所によって異なり、北側の幅は他よりも広がった。

ピンポール停止位置（図5右）は、地表面から30~85 cmの深さにあり、比高では-45~-110 cmであった。

図5右図中の点線（地表面の-20 cmの等比高線）の外側が地表面の堤防の位置にな



図4 湖底コアと西コアの写真と鉛直構造の概略

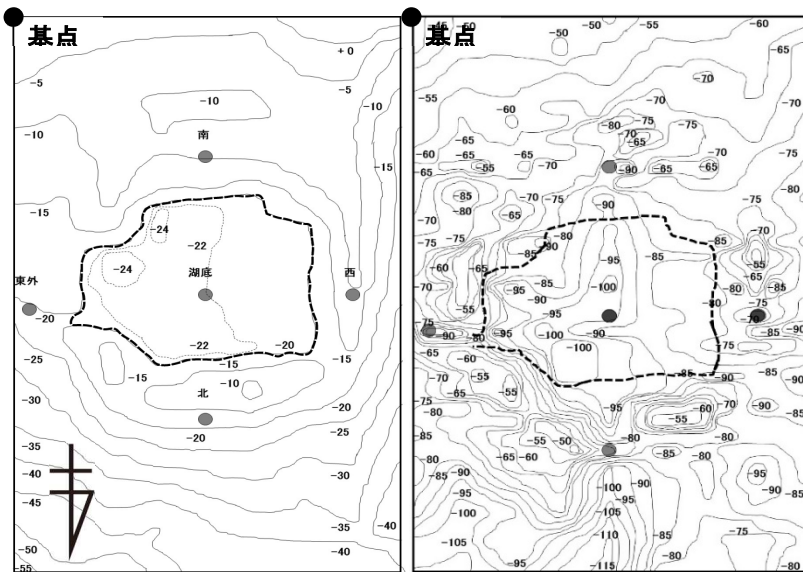


図5 池塘周辺の地表面(左)とピンポール停止位置(右)の等高線図。点線は左図における-20 cmの等高線、●は土壌コア採取位置。それぞれ、横2.4 m、縦3.7 mの領域である。

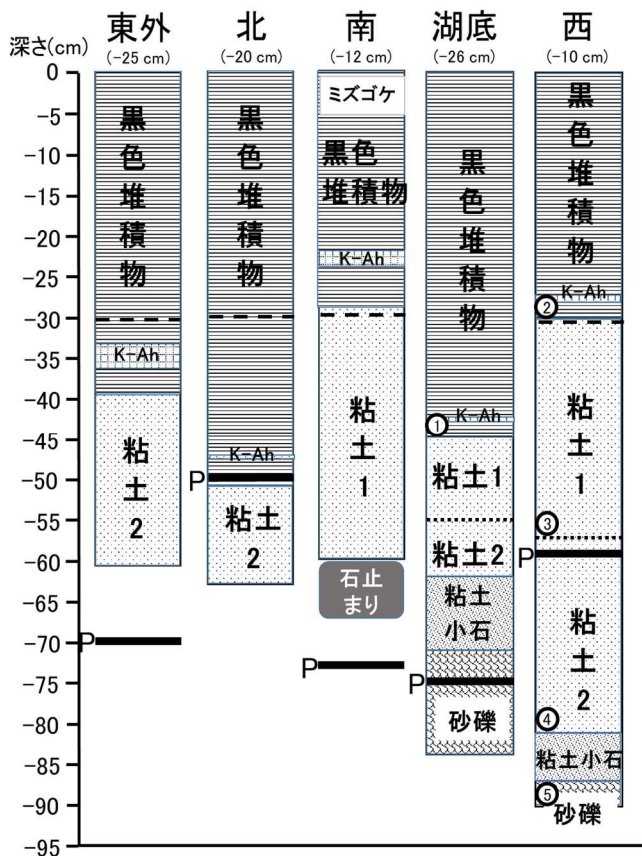


図6 池塘とその周囲で採取した土壌コアの鉛直構造。土壌コア名の下に基点から地表までの比高を記した。破線はコアサンプラーでの採取による境界、点線は粘土層1と粘土層2の境界、実線Pはピンポール停止位置、○は年代測定試料採取位置である。

る。ピンポールが停止した位置の形状は、地表面の-20 cmの等高線の外側で高まり、特に、池塘の東側から北側にはいくつかの小さな山が池塘を取り囲むように並んでいた。池塘の南側の流入部付近や南西側の堤防の内部の比高は、周囲よりもさらに低くなる地形が存在し、南西側の堤防では、内部に顕著な高まりは見られなかった。

3.2 土壌コアの地層

図5に土壌コア採取位置を示した。北コアの採取場所は、堤防の中でも幅が広く、他の土壌コア採取場所よりも固く締まっていた。西コアと湖底コアについては、他の土壌コアよりも深い位置まで試料を採取した。

図6にそれぞれの土壌コアの鉛直構造の概略を示す。縦軸は地表からの深さであり、地表までの比高は各土壌コア名の下に付記した。

土壌コアの中央付近の破線はコアサンプラーで30 cmずつ採取したことによる上部土壌コアと下部土壌コアの境界面、実線Pはピンポール停止位置、K-Ahはアカホヤ火山灰と推定される層であり、3.3で後述した。深さ-80 cm以上採取した湖底コアと西コアからは、地表から順に、黒色堆積物層(黒色の土壌の層をいう)、粘土層、粘土に砂利が混ざった層、砂礫層があることがわかった。黒色堆積物層の厚さは、5つの土壌コアで異なったが、K-Ahは全ての土壌コアで黒色堆積物層の下部に位置した。湖底コアと西コアの粘土層は質感の異なりから上部の比較的柔らかい粘土層1と、下部の硬い粘土層2に分けられた。その境界は点線で示した。他の土壌コアの粘土層も質感により粘土層1あるいは2を判定した。

ピンポールが停止した位置は、湖底コアは砂礫層の中、西コアは硬い粘土層2の上部、北コアは粘土層2の最上部であった。

深さ80 cm以上採取した西コア、湖底コアを比較すると、西コアでは、地表面から深さ-29.5 cm(比高-39.9 cm)に黒色堆積物層の下端、深さ-81 cm(比高-91.4 cm)に粘土層2の下端、深さ-87 cm(比高-97.4 cm)に粘土に砂利が混ざった層の下端、以深は砂礫層となっていた。なお、深さ-28 cm(比高-38.4 cm)には厚さ約5 mmの白色の土壌の層が見られた。

湖底コアでは、地表から深さ-45 cm(比高-71.7 cm)に黒色堆積物層の下端、深さ-62 cm(比高-88.7 cm)に粘土層の下端、深さ-71 cm(比高-97.7 cm)に粘土に砂利が混ざった層の下端、以深は砂礫層となっていた。なお、深

さ-43 cm (比高-69.7 cm) には厚さ約 2 mm の白色の土壌の層が見られた。

西コアと湖底コアの砂礫層の上面の位置は、基点をもとにする比高が-97.4 cm, -97.7 cm でほぼ一致した。粘土層は西コアで層が厚く、黒色堆積物層は湖底コアで層が厚かった。

3.3 アカホヤ火山灰層 K-Ah の位置

各土壌コアの黒色堆積物の最下部付近には数 mm~3 cm 程度の色の薄い層が挟まれており、この部分の土壌をプレパラートに載せ顕微鏡で見るとガラス質の小片が観察されたことからアカホヤ火山灰層 K-Ah と推定し、図 6 に付記した。

アカホヤ火山灰層の比高は、西コアが-38 cm ほど、南コアでは-35 cm ほどで、ほぼ同じ位置に存在していた。これに対して、湖底コアと北コアでは、それぞれ、比高-69 cm ほど、比高-68 cm ほどの同程度の位置に存在していた(図 6)。湖底コアと北コアのアカホヤ火山灰の位置は、西コアと南コアよりも比高が 30cm 以上低いほぼ同じ位置であった。アカホヤ火山灰の飛来時期は、福井県の水月湖における年稿の解析から 1995 年より 7325 年前に飛来したことが報告されている(福沢, 1995)。

3.4 土壌コアの有機物量と無機物量

図 7 に湖底コアと西コアから採取した分析試料(直径 4 mm×長さ 5 mm)の乾燥重量、無機物重量、有機物重量の深度分布を図 6 で使用した柱状図とともに示した。参考グラフとして追分のほとんど傾斜の無い斜面で採取した土壌コア MDG-OWK12 のグラフ(試料の大きさを直径 4 mm×長さ 5 mm にした場合)(朴木(2021)から引用)をあわせて示した。

西コアから採取した分析試料(図 7 中)の乾燥重量は、深さ-7~25 cm にかけて増加し、深さ-25~-29.5 cm にかけて減少する傾向にあった。深さ-29.5~-32 cm にかけて重量が増加し、深さ-32 cm で最大値 71.2 mg となった。さらに、深さ-32~-42 cm にかけて重量は減少し、深度方向に山を描くように変動した。深さ-42 cm 以深は深くなるにつれて重量は大きくなる傾向にあった。有機物重量は、黒色堆積物中で多く、特に、土壌コアの上部は乾燥重量のほとんどが有機物であった。また、粘土中にもほぼ一定量の有機物が存在していた。

湖底コアから得た分析試料の乾燥重量(図 7 左)は、深さ-4~44 cm にかけてはばらつきが大きかった。深さ-44~-48 cm にかけて重量が約 2.4 倍増加し、深さ-48 cm で最大値 63.5 mg となり、深さ-44~-48 cm に

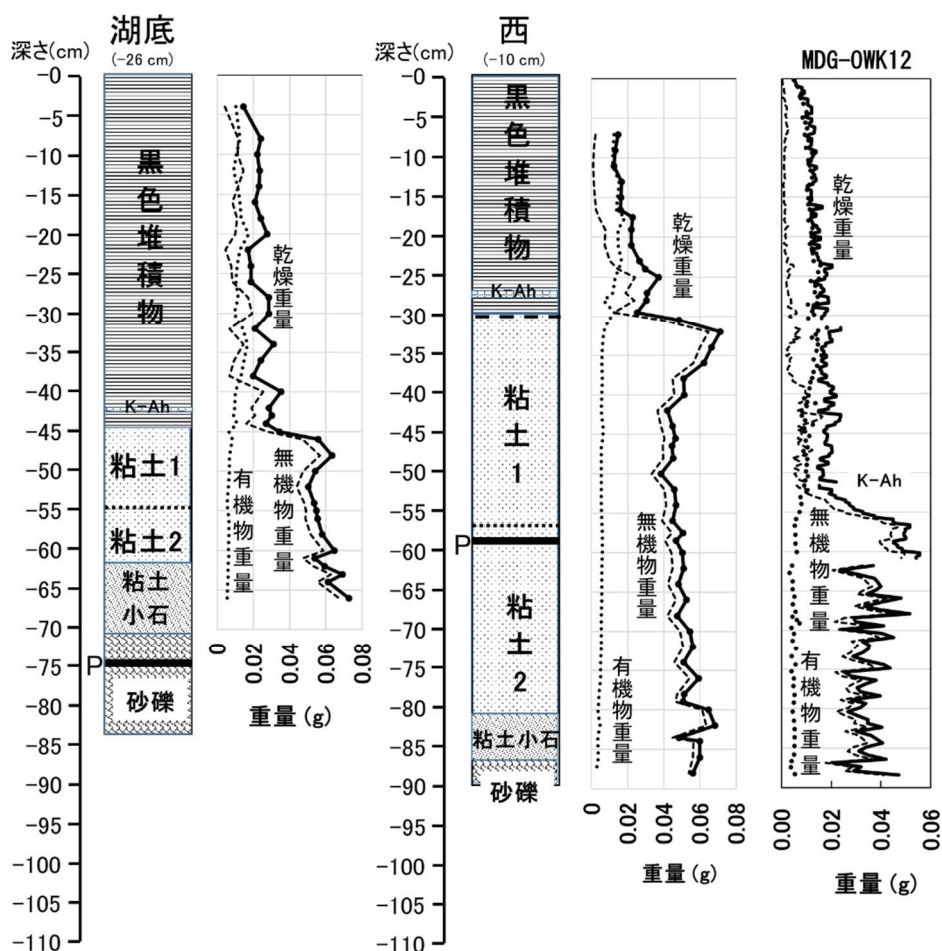


図 7 湖底コア、西コアから採取した分析試料の乾燥重量、無機物重量、有機物重量
 実線は乾燥重量、破線は有機物重量、点線は無機物重量。
 MDG-OWK12 のグラフは(朴木, 2021)から引用した。

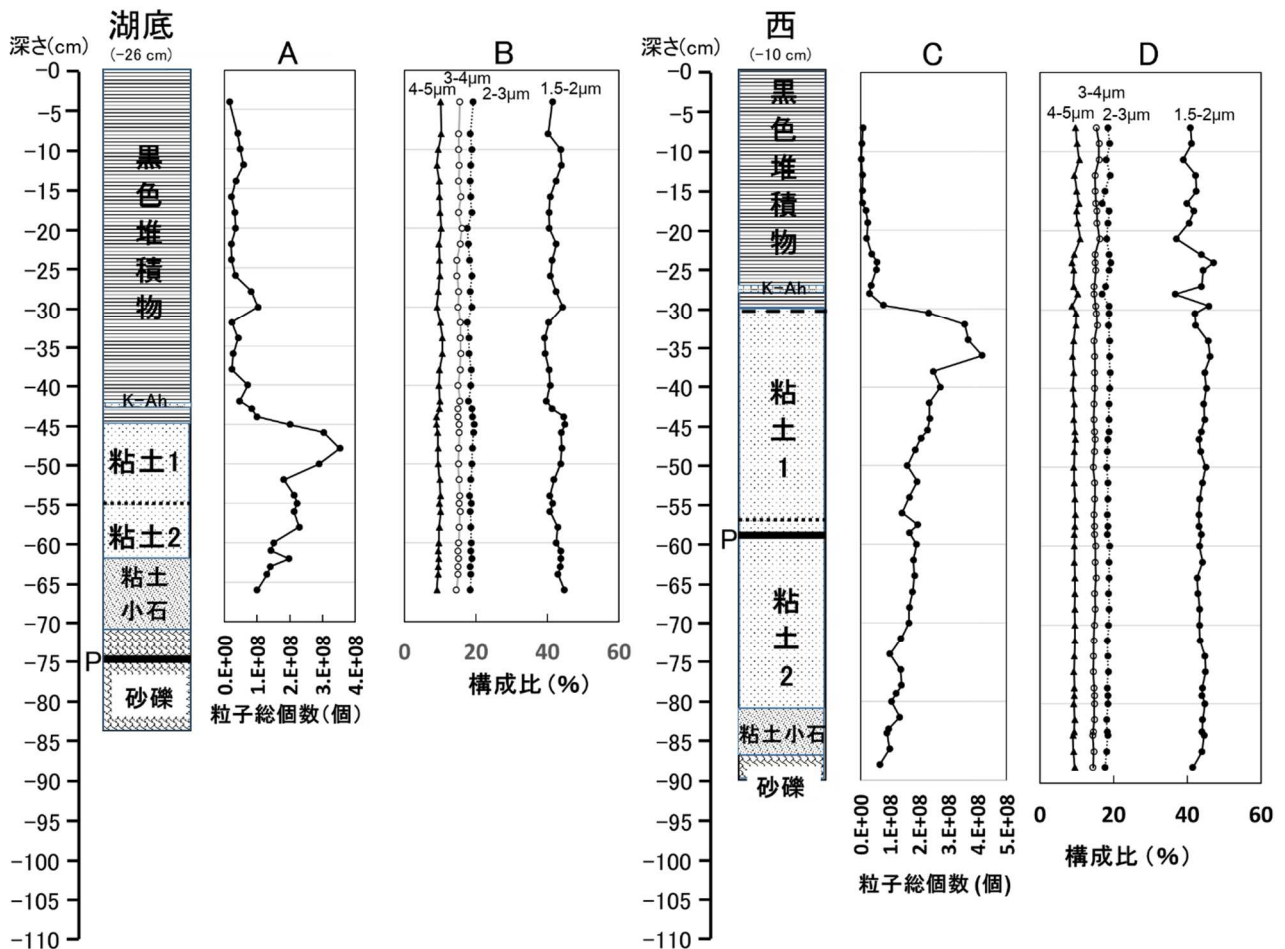


図8 湖底コアと西コアから採取した分析試料中の粒子総個数と粒径別粒子の構成比

かけて重量は減少し、西コアと同様に、山を描くような深度方向の変化となった。黒色堆積物中の有機物重量は表層部のみ無機物重量よりも多かったが、その下側から黒色堆積物の最下部付近までは無機物重量と同程度であった。この点は西コアと異なる点であったが、粘土層中にも一定量の有機物が含まれている点は同じであった。

アカホヤ火山灰と推定された層 K-Ah の下に見られた乾燥重量の増加は、湖底コアと西コアの両方に生じ、参考にした MDG-OWK12 コアにも共通していた。この乾燥重量の増加は無機物重量の増加によるものであった。

また、湖底コアの粘土層は西コアの粘土層よりも薄い、両者とも上側の柔らかい粘土層 1 から下側の硬い粘土層 2 に向かって乾燥重量が増加する点も共通していた。

3.5 土壌コアの粒子構成

図8に湖底コアと西コアの無機物試料に含まれていた粒径 1.5~150 μm の粒子の総粒子数 (図8A, C)、及び、総粒子数に占める粒径 1.5~2.0 μm, 2.0~3.0 μm, 3.0~4.0 μm, 4.0~5.0 μm の比率 (図8B, D) の深度分布を示した。

無機物中の粒径 1.5~120 μm の粒子は、粒径 1.5~2.0 μm が全体の約4割を占め最も多く、粒径 2.0~3.0 μm, 3.0~4.0 μm, 4.0~5.0 μm の順にあり、全体の8~9割が粒径 1.5~5.0 μm の粒子であった。粒径別粒子の構成比は、深さによる大きな変動はなかった。

西コアにおける総粒子数 (図8C) は、深さ-28.0~-36.0 cm にかけて増加し、深さ-36 cm で最大値をとり、深さ-28 cm の総個数の15倍となった。深さ-36 cm 以深では減少傾向がみられた。粒径 1.5~2.0 μm の粒子が占める比率は、黒色堆積物で平均41.8%, 粘土層は平均43.9%で、粘土層の方がやや高かった (図8D)。

湖底コアにおける総粒子数 (図8A) は、深さ-42~-48 cm にかけて増加し、深さ-48 cm では深さ-42 cm の約8倍に増加した。総粒子数は深さ-48 cm で最大値をとり、以深では減少傾向がみられた。これは西コアと同じ傾向であった。

粒径 1.5~2.0 μm の粒子が占める比率は、黒色堆積物で平均 41.6 %となり、西コアの黒色堆積物中とほぼ同じ値であったが、粘土層は平均 42.6 %で西コアの粘土層よりも若干低くなった (図 8B)。

粒子総個数の増減は、無機物重量の増減と似ていることから、無機物中に一定の割合で粒径 1.5~5.0 μm の粒子が含まれることが示唆された。

3.6 年代測定結果

表 2 に湖底コアと西コアから採取した放射性炭素年代測定用の試料の採取位置と測定された年代 (暦年校正年代) を示した。表 2 に 2σ 暦年代範囲を示した。

湖底コアと西コアの黒色堆積物の下端位置が形成された年代は、湖底コアはアカホヤ火山灰飛来の 7350 年前よりほぼ 1000 年以上古く、西コアはほぼ同じ年代であった。層間の形成期間を年代測定結果から算出すると、西コアの粘土 1 は 500 年程、粘土 2 は 6000 年程であった。最下層である砂礫層の上端では上の層よりも新しい年代の 13602~13454 calBP で層序と逆転した年代であった。この結果は、砂礫層内を湖底内の水が通過する際に湖内上部の新しい時代の炭素が混入したためかもしれない。

地層の層序から見れば、粘土層は黒色堆積物層の前に形成されたと考えられる。しかし、西コアの粘土 1 の下端は湖底コアの黒色堆積物の下端の年代よりも新しかった。

表 2 年代測定用試料の 2σ 暦年代範囲*

試料番号	試料採取場所	2σ 暦年代範囲
1	湖底コア, 黒色堆積物の下端	8985calBP - 8822calBP 8816calBP - 8638calBP
2	西コア, 黒色堆積物の下端	7416calBP - 7395calBP 7330calBP - 7242calBP 7215calBP - 7167calBP
3	西コア, 粘土層1の下端	7933calBP - 7887calBP 7880calBP - 7740calBP
4	西コア, 粘土層2の下端	14027calBP - 13754calBP 13625calBP - 13615calBP
5	西コア, 砂礫層	13602calBP - 13454calBP

4. 考察について

本調査結果をもとに、今後、考察を行う。

5. 引用文献

- 福沢仁之, 1995. 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年稿堆積物. 第四紀研究, 34 (44) : 135-149
- 本多啓七, 1965. 日本北アルプスにおけるガキ田の生態. 北アルプスの自然, 富山大学学術調査団編, pp. 173-192. 古今書院
- 朴木英治, 坂井奈緒子, 加藤 咲, 大宮 徹, 福井幸太郎, 白石俊明, 杉田久志, 2020. 立山の弥陀ヶ原追分地内の池塘の水循環と内部構造. 富山市科学博物館研究報告, (44) : 59-62
- 朴木英治, 2021. 立山追分で採取したコア MDG-OWK 12 の粘土層の分析データ (英文). 富山市科学博物館研究報告, (45) : 印刷中
- 小泉武栄, 1982. 化石周氷河斜面, 雪食凹地ならびに山地貧養泥炭地の形成から見た晩氷期以降の多雪化について. 第四紀研究, 21 : 245-253.
- 立山連峰の自然を守る会・富山大学自然環境保全グループ, 1974. 富山大学自然環境保全グループ (編), 立山植生調査報告書, 第 1 号, pp. 5.