

# 本栖湖の湖底堆積物の精密な放射性炭素年代測定が明らかにする富士山の噴火史

Stephen Obrochta\*<sup>1</sup> 藤原 治\*<sup>2</sup> 横山 祐典\*<sup>3</sup> 宮入 陽介\*<sup>3</sup>  
*Fujiwara Osamu Yokoyama Yusuke Miyairi Yosuke*

## 1. はじめに

筆者らの研究グループでは、富士五湖の1つ本栖湖で採取した試料を使って放射性炭素年代測定技術を駆使した研究を行い、富士山の噴火史について新たな事実を発見しました<sup>1)</sup>。具体的には、主に2つの発見がありました。1つは従来から知られた3つの噴火の発生時期を正確に特定できたこと。もう1つは、これまで知られていなかった2つの噴火の発見です。これには加速器質量分析計を用いた年代測定技術（機械的な部分と、測定テクニックの両方）の進歩だけでなく、測定結果の較正法の進歩もあります。更に、試料を採取する方法の工夫も大事です。富士山の噴火に関する内容は、藤原ほか<sup>2)</sup>に紹介していますので、ここではこの研究の中核となった放射性炭素年代測定に関することを主に述べたいと思います。

## 2. 放射性炭素年代測定法

ご存知のように、自然界には炭素の同位体が<sup>12</sup>C、<sup>13</sup>C、<sup>14</sup>Cの3つあり、このうち<sup>14</sup>Cは放射壊変を起こします（半減期は5,730年）。<sup>14</sup>Cは宇宙線が大気圏に突入する際に生成され、CO<sub>2</sub>の形で光合成を通じて植物に取り込まれ、更に食物連鎖を通じて他の生物に取り込まれます（他の経路もありますが、省略します）。生物が活着している間は自然界との炭素のやり取りによって体内の<sup>14</sup>C濃度は大気（水生生物では水や海水）と同じに保たれていますが、生物が死んで外界と切り離されると<sup>14</sup>Cは減少する一方となります。つまり、この時点から放射壊変を利用した“時計”が動き出します。試料中の<sup>14</sup>Cの比率が

放射壊変によってどれだけ減少したかを測定して、半減期を使った計算を行うことで試料の年代（生物が死んで閉鎖系になったとき）が分かります（実際には後で述べるように様々な較正が必要です）。放射性炭素年代測定法は、炭、木、骨、貝殻、土壌等炭素を含む試料に広く適用できるので、考古学や気候変動の研究だけでなく、過去の地震や火山噴火の履歴の研究等にも用いられています。

3つの炭素の同位体の中で、<sup>14</sup>Cは元々1兆分の1しか存在しません。古い時代の試料ほど放射壊変が進んでいるので、その比率は更に少なくなります。その比率を測定するには、最近では加速器質量分析計（AMS）が利用されます。AMSでは炭素にして50 μgの試料があれば、数千年前、数万年前の年代を求めることができます。AMSを使っても、5~6万年前より古くなると<sup>14</sup>Cの比率が小さくなりすぎて測定できません。

## 3. 深い湖からコア試料を採取

本栖湖は富士五湖の中で最も深い湖で、最大水深は121.6 mに達します（図1）。今回の研究では、湖心部で湖底から4 mの深さまで達する欠落のないコア試料を採取しました。これは過去に行われた科学調査で採取されたコア試料（長くても1.5 m程度）を大きく上回るものです。今回のコア採取には、湖にプラットフォーム（筏）を係留して、ハンマーピストンコアラという装置を使いました（写真1）。この装置では1回に約2 mの長さ（直径約7 cm）のコア試料を採取できます。何度も作業を繰り返すことで深いところまで試料を採取します。作業の継ぎ目でコアが欠けないように、最初は湖底から深さ

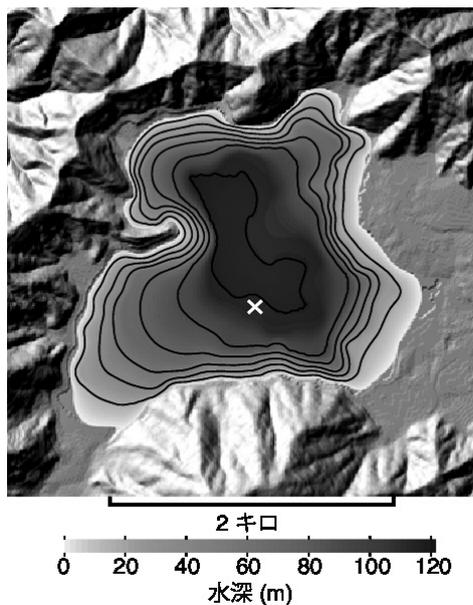


図1 本栖湖の水深分布  
等深線は20m間隔。サンプリング位置を×印で示す

2mまで、次は1mから3mまで、更に2mから4mまでと、1mずつ重なったコア試料を採取しました。これらのコア試料から最終的に1本の連続した4mのコア試料が得られました。コアは主に粘土層からなり、所々に火山灰が含まれていました。火山灰は富士山から噴出したもの（主にスコリアという多孔質の黒い粒子からなる）以外に、遠く南九州や伊豆半島の火山から飛んできたものも確認されました。

#### 4. 多くの年代を測る

今回の研究の特徴の1つは、沢山の測定を行ったことです。4mの長さのコア試料にはほぼ等間隔で30試料を測定しました。測定は東京大学大気海洋研究所のシングルステージ型加速質量分析<sup>3)</sup>を用いました。測定試料には植物の葉や昆虫の遺骸等、その場で死んで化石になったものが適しています。しかし、本栖湖のコア試料には目で見える大きな葉や昆虫の陸化石はほとんど含みません。そこで、筆者らは地層（有機物を含む泥、いわゆるバルク有機物）そのものも測定しました。従来の研究ではこのようなバルク試料は、年代が異なる有機物が混じっている可能性があるとして測定を避ける傾向がありました。しかし、その結果は図2に示したように、葉や昆虫の化石が示す値と粘土層が示す値に差はなく、得ら



写真1 調査に使った筏  
槽からピストンサンプラーを下ろす

れた年代は全体としてなめらかな曲線を描いてコアの下部から上部へと若くなっていきます。これは本栖湖の湖底では地層が静かに整然と降り積もっており、堆積した地層をかきまぜるような生物の活動も少ないためと思われる。

#### 5. 年代を補正する

得られた年代値には様々な原因による誤差が含まれているので、これを補正する必要があります。湖底に堆積した泥層に含まれる炭素の多くは、湖水に溶けていた炭素がプランクトン等の有機物として固定され沈殿したもので、地層が堆積した時の水の「年齢」を示すとも言えます。ところが湖水の<sup>14</sup>C濃度は、湖の周辺から流れ込んだ古い炭素の影響や大気中の炭素が湖水に溶け循環する時間があるために、大気と平衡状態にはありません。本栖湖の水を採取して<sup>14</sup>C年代を測定したところ大気よりも約200年古いことが判明しました。南九州や伊豆半島の火山から飛んできた2枚の火山灰（テフラ）は噴出した年代が詳しく調べられているので、その値と比較したところ、湖水の年齢は時代によっても異なり、今から3,000年よりも古い時代には大気よりも約600年も古い値を持つことが分かりました。

“時計”が動き始めた時の<sup>14</sup>C濃度はいつの時代

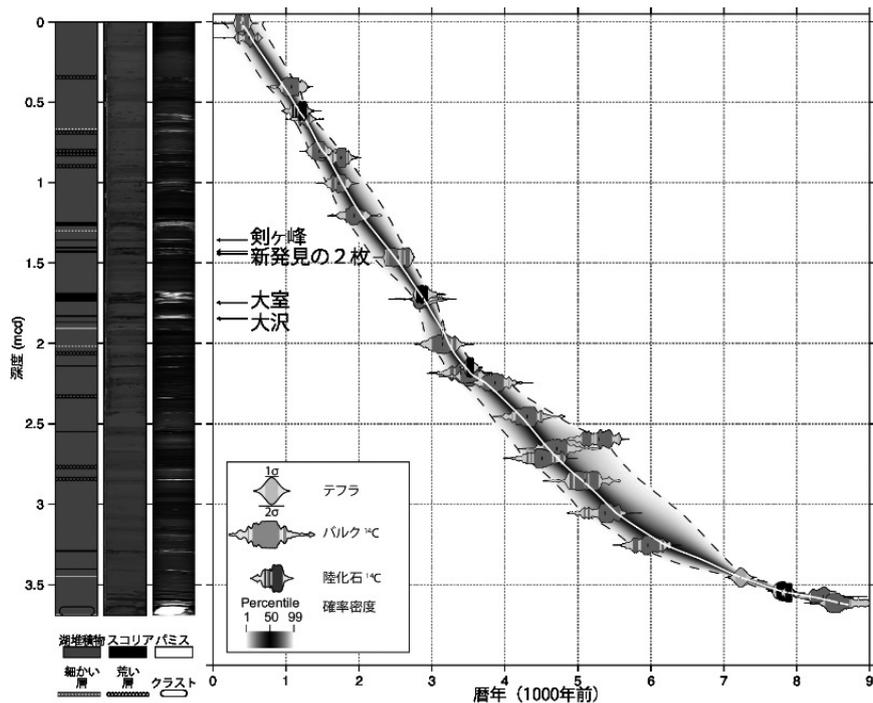


図2 コア試料と年代モデル

左から順に、コア試料のスケッチ（図の下に説明）、写真、CTスキャン画像、年代モデル。陸の化石、九州と伊豆半島から飛来した火山灰、バルク年代は元の論文ではカラーで表示されている。年代モデルの白い線は中央値年代。黒い点線は $2\sigma$ 確率範囲。濃い灰色は陸化石、灰色はバルク有機物、薄い灰色はテフラ年代分布。図は秋田大学プレス資料に基づき改変

の試料でも同じと仮定して年代を計算しますが、実は時代によって異なります。大気に入射する宇宙線の強さが時代によって異なるためです。これを補正するために IntCal という世界共通の較正曲線があります。重さをはかることに例えると、すべての秤の基準であるキログラム原器のようなものです。こうして得られたのが図2に示した一つひとつの年代値です。年代はどの値が確からしいかを示す確率分布で示しています。

## 6. 年代モデルを作る

年代モデルは、図2に示すように地層が時間と共に積み重なっていったプロセスを描いたもので、どの深さ（縦軸）がどの年代（横軸）に当たるかを示します。図2では試料を採取した深さに応じて配置しています。地層は下から順々に上へと積み重なるので、上にある地層ほど新しいはずですが、それぞれの年代値が互いの上下（新旧）関係と矛盾しないように滑らかに結んだものが左上がりのグレーの曲線です。この曲線は実際には多数の線の集まりです。

年代測定値の組み合わせから考える曲線を、モンテカルロ法で10万通り計算しています。この計算には新たに開発したアンデータブル<sup>4)</sup>というソフトを用いています。更に細かな補正を行ったところ、過去8,000年間にわたる本栖湖の湖心部での精密な年代モデルを作成できました。

## 7. 火山噴火と災害のより正確な評価へ向けて

富士山の噴火に関する既存の研究との比較から、本栖湖のコア試料に挟まれるスコリア層のうち3枚は大沢噴火、大室噴火、最後の山頂噴火（剣ヶ峰スコリア）によるものと分かりました。今回の年代モデルを使うと、それぞれの噴出年代は3,042 cal BP<sup>5)</sup>頃（従来の推定値は3214-3401 cal BP）、2,930 cal BP頃（同じく3072-3272 cal BP）、2,309 cal BP頃（同じく2,300年前頃）と推定されました。これらの火山灰が富士山の風上（西側）側の本栖湖で確認されたのは初めてで、これら3回の噴火による降灰範囲が従来の推定より広がったことが分かりました。

また、コア試料には、岩石学的特徴から富士山から

噴出したと考えられるものの、既知のどの噴火にも対応しない新発見の火山灰層が2枚挟まっていました。しかも、この2回の噴火は約20年(2,458 cal BP頃と2,438 cal BP頃)という短い間隔で起きていました。富士山麓で行われてきた従来の調査法では、噴火と噴火の間に形成された土壌があって初めて2つの噴火(2枚の火山灰層)を見分けることができます。しかし、20年というのは目に見える厚さの土壌ができるには短かすぎ、2枚の火山灰層を厚い1枚の火山灰層と誤認するかもしれません。陸上での調査では大きな噴火が1回起きたと判断される期間に、湖底の地層を使うことで実は小規模な噴火が短期間に2回あったことが分かるのです。

この発見は、富士山の噴火の頻度や規模について新たな情報をもたらしました。これは過去の履歴から将来の噴火や災害を予測するための重要な知見になります。ここに示した精密な年代モデルをベースにした研究手法は外の地域にも応用が可能で、今後発展が期待されます。

## 参考文献

- 1) Obrochta, S.P., *et al.*, *Quaternary Science Reviews*, **200**, 395-405 (2018)
- 2) 藤原ほか, GSI 地質ニュース, **8**, 66-69 (2019)
- 3) Yokoyama, *et al.*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **113**, 2354-2359 (2016)
- 4) Lougheed, B.C., and Obrochta, S.P., *Paleoceanography and Paleoclimatology*, **34**, 122-133 (2019)
- 5) BP/cal BP (ビーピー/カルビーピー) は、放射性炭素年代測定で得られた年代を表す。1950年代に開発された放射性炭素年代測定法により、1950年を基点とし何年前か示すことが定められている。放射性炭素年代測定結果には大気中放射性炭素濃度の経年変動等に由来する誤差があるので、暦年較正曲線を用いて較正する必要がある。較正した年代は cal BP と表記する。

(\*1 秋田大学大学院国際資源学研究科,

\*2 産業技術総合研究所 地質調査総合センター

活断層・火山研究部門,

\*3 東京大学大気海洋研究所)