

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：83501
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2021
課題番号：18K03769
研究課題名（和文）湖底堆積物の化合物レベル放射性炭素年代法による噴火史の高精度化 - 富士山を例として

研究課題名（英文）Reconstruction of eruption history of Mt. Fuji based on compound-specific radiocarbon dating of lake sediment

研究代表者
山本 真也（Yamamoto, Shinya）

山梨県富士山科学研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：50526754
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：日本最大の玄武岩質成層火山である富士山の噴火履歴の高精度化のため、富士五湖（河口湖・山中湖）の湖底堆積物中の有機化合物の放射性炭素年代測定を行った。その結果、植物化石が産出しない堆積物でも、脂肪酸を用いることで正確な年代推定が可能となったことが明らかとなった。また、山中湖の湖底堆積物の放射性炭素年代測定により、過去8000年間の火山噴出物の堆積年代を高精度で明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

湖底堆積物を使うことで、陸上に比べより正確な火山噴出物の堆積年代を明らかにできることが示された。また、湖底堆積物中には従来陸上では報告されていない火山噴出物が多数含まれていることが明らかとなり、高頻度で噴火を繰り返す玄武岩質火山の噴火履歴の解明に湖底堆積物が極めて有用であることが明らかとなった。今後、富士五湖の湖底堆積物中の火山噴出物の分析を進めることで、富士山の噴火履歴の解明がより一層進むことが期待される。

研究成果の概要（英文）：We measured the radiocarbon ages of organic compounds in lake sediments of Fuji Five Lakes (Lakes Kawaguchi and Yamanaka) to elucidate high-resolution eruptive history of Mount Fuji, the largest basaltic stratovolcano in Japan. We found that the age of lake sediments can be determined precisely using fatty acids even in the sediments that contain no plant macrofossils. We also developed the age-depth model of Lake Yamanaka sediments, which revealed the detailed ages of volcanoclastics in the sediments over the past 8000 years.

研究分野：有機地球化学

キーワード：噴火履歴 湖沼堆積物 放射性炭素年代 有機化合物

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本最大の活火山・富士山では、過去 3200 年間で 100 余りの火山噴出物が確認されているが、その堆積年代が確定しているものは約 3 割にも満たない。その要因として、富士山では、0.1 km³ DRE 以下の小規模噴火が約 8 割を占め、高頻度 (約 30 年に 1 回) で噴火を繰り返すことから、陸上露頭での識別が困難な上、放射性炭素 (¹⁴C) 年代測定を行なっても暦年代範囲内に多くの噴出物が含まれてしまうという点が挙げられる。一方、富士山麓には、富士五湖と呼ばれる火山性堰き止め湖が弧状に点在しており、その湖底堆積物中には富士山の火山噴出物が連続的に保存されている。そのため、これらの堆積物を対象に高精度な年代決定を行うことで、小規模噴火を含めた富士山の噴火履歴の高精度化が期待できる。ただし、湖底堆積物では、河川により運搬される古い有機炭素の影響が無視できず、また地下水等によって湖に流入する溶存無機炭素の影響 (炭素リザーバー効果) で堆積物中の全有機炭素が見かけ上古い年代を示すことが知られている。そのため、河口湖・山中湖の堆積物を使って富士山の噴火履歴の高精度化を行うためには、従来法に代わる新たな年代測定法が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、日本最大の玄武岩質成層火山である富士山を対象に、噴火履歴の高精度化のため、堆積物中の有機化合物を単離・精製し ¹⁴C 年代を測定する「化合物レベル ¹⁴C 年代法」を用い、山麓の湖底堆積物中のスコリア層の堆積年代を明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究では、「化合物レベル ¹⁴C 年代法により富士山の噴火履歴を高精度化する」ため、以下の 3 つの研究を行った。

(1) 化合物レベル ¹⁴C 年代測定に最適な有機化合物の探索

湖沼堆積物中には、様々な生物に由来する有機物が含まれており、有機物の ¹⁴C 年代から正確な堆積年代を推定するためには、有機物種間における ¹⁴C 年代の違いやその要因についての理解が必要不可欠である。本研究では、河口湖・山中湖の表層堆積物中に含まれる植物プランクトン及び陸上植物由来の有機化合物の ¹⁴C 年代測定を行ない、各化合物の堆積年代を明らかにした。また比較のため、各表層試料中に含まれる植物片や表層水中の溶存無機炭素の ¹⁴C 年代測定を行った。分析に用いた試料 (表層約 10cm) は、グラブ採泥器を用いて 2017 年 6 月 9 日 (河口湖) と 2018 年 9 月 8 日 (山中湖) に採取した。試料は、凍結乾燥後、有機溶媒による抽出を行い、高速液体クロマトグラフ装置を用い測定対象化合物の分離・精製を行なった。

(2) 化合物レベル ¹⁴C 年代法による湖底堆積物中のスコリア層の堆積年代推定

本研究では、先行研究で採取された富士五湖の湖底堆積物に含まれるスコリア層の堆積年代を明らかにするために、河口湖の堆積物コア (KA-1A) 中の火山噴出物 (大室スコリア (Om)、カワゴ平テフラ (Kg)) の上下層から珪藻由来の C₁₆ 脂肪酸 (パルミチン酸) を単離し、化合物レベル ¹⁴C 年代測定を行った。また、山中湖 (YA-1) では、(1) の研究の結果、有機化合物の年代がいずれも湖水中の溶存無機炭素よりも古い年代を示したことから、全有機炭素の ¹⁴C 年代測定を新たに 15 層準で行い、山中湖におけるリザーバー年代の層位変化を明らかにした。更に、得られたリザーバー年代を基に全有機炭素の ¹⁴C 年代の補正を行い、年代-深度モデルの作成を行った。

(3) 湖底堆積物中のスコリア層の陸上との比較

本研究では、湖底堆積物から得られた火山噴出物の堆積年代の妥当性を検討するため、富士山北麓に広く分布する大室スコリアを対象に、陸上セクションでも炭質物の ¹⁴C 年代測定を行い、湖底堆積物から得られた堆積年代との比較を行った。また、山中湖の湖底堆積物から得られたスコリア層の年代を山中湖畔で報告されている既存層序と比較し、その相違点等の検証を行った。

4. 研究成果

(1) 化合物レベル ¹⁴C 年代測定に最適な有機化合物の探索

① 河口湖

表層堆積物中の有機化合物や植物化石、表層水中の溶存無機炭素の ¹⁴C 年代測定を行なった結果、植物起源の有機化合物 (C₂₄, C₂₈ 脂肪酸) の放射性炭素同位体比 ($\Delta^{14}\text{C}$) が木の葉に比べ古い年代を示すことが明らかとなり、これら化合物が葉ワックスから直接供給されるのではなく、土壌として一時堆積した後に、湖に流入していることが示唆された (図 1)。また、C₁₆ 脂肪酸の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、表層水中の溶存無機炭素の値とよく一致しており、その起源が主に植物プランクトンであることが明らかとなった。従来、湖沼堆積物の年代測定には全有機炭素がしばしば用いられていたが、河口湖の表層堆積物中の全有機炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、表層水中の溶存無機炭素に比べ有意に

低い値を示した (図 1)。このことは、河口湖では炭素リザーバー効果に加え、風化によって湖にもたらされる古い (^{14}C を含まない) 有機物の影響が無視できないことを示唆している。河口湖では、全有機炭素に代わり C_{16} 脂肪酸を年代測定に使うことで、古い有機物の影響のない、より正確な年代モデルが構築できる可能性のあることが明らかとなった。

② 山中湖

表層堆積物に含まれる各種脂肪酸や色素化合物の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、湖水中の溶存無機炭素に比べいずれも低く ($-95\text{‰} \sim -195\text{‰}$)、土壌等からの古い有機物の影響が示唆された。一方、全有機炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ ($-73 \pm 2\text{‰}$) は、秋の湖水中の溶存無機炭素 ($-66 \pm 8\text{‰}$; Ota et al., 2021) と整合的な値を示した (図 2)。このことは、山中湖の湖底堆積物の年代測定には、全有機炭素の使用が適しており、炭素リザーバー効果 (大気-湖水間の ^{14}C の年代差; 図 2 中の両矢印) の補正により堆積物の年代推定が可能であることを示唆している。

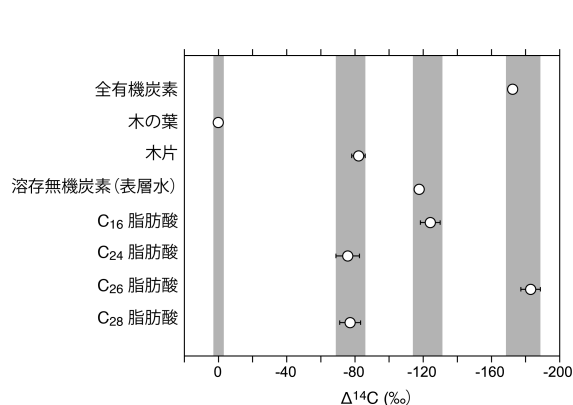


図 1 河口湖表層堆積物中の全有機炭素、植物化石 (木の葉・木片)、脂肪酸の $\Delta^{14}\text{C}$ 値と表層水中の溶存無機炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の比較

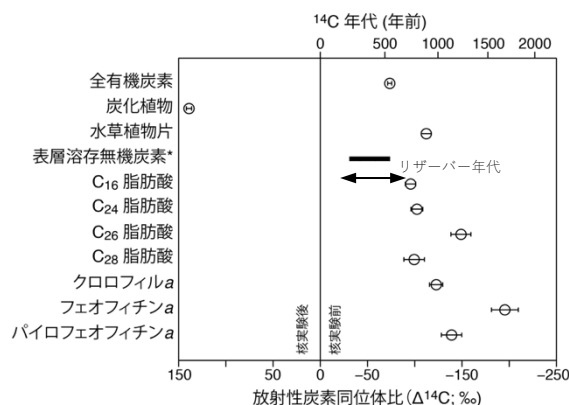


図 2 山中湖の表層堆積物中の全有機炭素・植物化石・有機化合物の ^{14}C 年代の比較

(2) 化合物レベル ^{14}C 年代法による湖底堆積物中のスコリア層の堆積年代推定

① 河口湖

河口湖の堆積物コア (KA-1) の 4 層準から単離した C_{16} 脂肪酸の ^{14}C 年代測定を行ったところ、表層試料中の C_{16} 脂肪酸の $\Delta^{14}\text{C}$ 値が、先行研究で得られた湖のリザーバー効果 (-124‰) とほぼ一致することが明らかとなった。そこで、本研究では表層試料中の C_{16} 脂肪酸の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を用いて各層準でのリザーバー効果を補正し、堆積物コア中の大室スコリアの堆積年代の推定を行った。その結果、 C_{16} 脂肪酸から推定される大室スコリアの堆積年代 (2837 ± 78 cal BP, 2σ) は、同コア中の植物化石から推定される年代 (2938 ± 29 cal BP) や既報の年代値 ($3072\text{--}2798$ cal BP; Obrochta et al., 2018) とよく一致しており、化合物レベル ^{14}C 年代法により湖底堆積物中の火山噴出物の年代推定が可能であることが示された (図 3)。

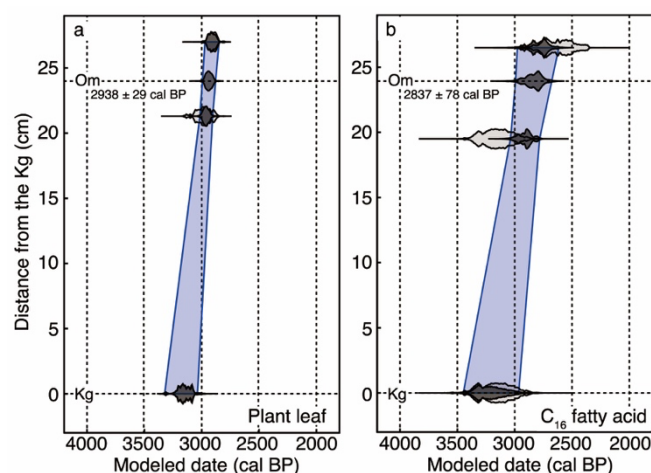


図 3 河口湖堆積物中の大室スコリア前後での年代-深度モデル (a) 植物化石、(b) C_{16} 脂肪酸による推定 (Yamamoto et al., 2021)

② 山中湖

本研究では、上記 (1) の研究で得られたリザーバー年代を基に全有機炭素の ^{14}C 年代を補正し、山中湖の堆積物コアの年代-深度モデルの作成を行った。その結果、各堆積物ユニット境界

の較正年代 (^{14}C 年代を暦年代に較正した年代) が、旧モデル (Yamamoto et al., 2018) と比較して最大で約 770 年更新されることが明らかとなった。また、この年代-深度モデルを山中湖の湖底堆積物中のテフラ層に適用したところ、過去 8000 年間に堆積した 29 層のテフラ層 (YT0~28) の堆積年代を平均誤差 ± 80 年で明らかにすることができた (図 4)。

(3) 湖底堆積物中のスコリア層の陸上との比較

① 大室スコリアの堆積年代

富士山北麓の重要な指標テフラである大室スコリアの堆積年代を、既報の年代値と比較した結果 (表 3)、陸上のトレンチ断面 (Kunugi) から採取された炭化木片の年代は、いずれも湖底堆積物に比べ 200~300 年も古いことが明らかとなった。このことは、火山噴出物中の炭化木片の ^{14}C 年代測定により推定された年代が、実際の噴火年代を必ずしも示してはいないことを示唆している。一方、土壌試料 (Oshi2) から推定される大室スコリアの噴火年代は、 2821 ± 32 年前 (cal BP) であり、湖底堆積物で推定された年代に比べ若干新しい年代を示した (表 3)。このことは、堆積後に付加される炭素の影響を示唆している。興味深いことに、泥炭試料 (FHZ-T3-1) からは、湖底堆積物とほぼ一致する年代が得られた (表 3)。これは、泥炭が主に現地性の植物遺骸で構成されており、土壌から流入する炭素の影響をほとんど受けていないことによるものと考えられる。

表 3 本研究で得られた大室スコリア (Om) の噴出年代の比較

サンプル名	測定対象	^{14}C age (yr BP)	Cal age (cal BP)	Reference
Kunugi	炭化木片	3010 ± 40	3200 ± 71	山元ほか (2005)
Kunugi	炭化木片	2960 ± 61	3121 ± 93	本研究
Oshi2	脂肪酸	3078 ± 53	3284 ± 67	本研究
Oshi2	土壌	2730 ± 30	2821 ± 32	本研究
FHZ-T3-1	泥炭	2820 ± 40	2926 ± 55	山梨県 (2002)
KA-1A	脂肪酸 (C_{16})	-	2835 ± 93	本研究
KA-1A	植物化石 (葉)	-	2931 ± 15	山本 (未公表データ)

一方、土壌試料 (Oshi2) から推定される大室スコリアの噴火年代は、 2821 ± 32 年前 (cal BP) であり、湖底堆積物で推定された年代に比べ若干新しい年代を示した (表 3)。このことは、堆積後に付加される炭素の影響を示唆している。興味深いことに、泥炭試料 (FHZ-T3-1) からは、湖底堆積物とほぼ一致する年代が得られた (表 3)。これは、泥炭が主に現地性の植物遺骸で構成されており、土壌から流入する炭素の影響をほとんど受けていないことによるものと考えられる。

② 山中湖湖畔のテフラ層序との比較

山中湖の湖底堆積物から得られたテフラ層 (YT0~28) の年代を山中湖畔で報告されている既存層序と比較した結果、YT0~YT20 が、山中湖畔における S-25~S-10 のテフラ層に相当する年代を示すことが明らかとなった (図 4)。一方、YT21 以前に堆積したテフラ層については、YT27 が約 5500 年前の S-5、S-6 に近い年代を示した他は対応する年代のテフラがなく、山中湖の堆積物コア中には従来陸上では報告のないテフラが少なくとも 7 層含まれていることが明らかとなった。今後、これらテフラの解析を進めることで、富士山北麓における噴火履歴の高精度化がより一層進むことが期待される。

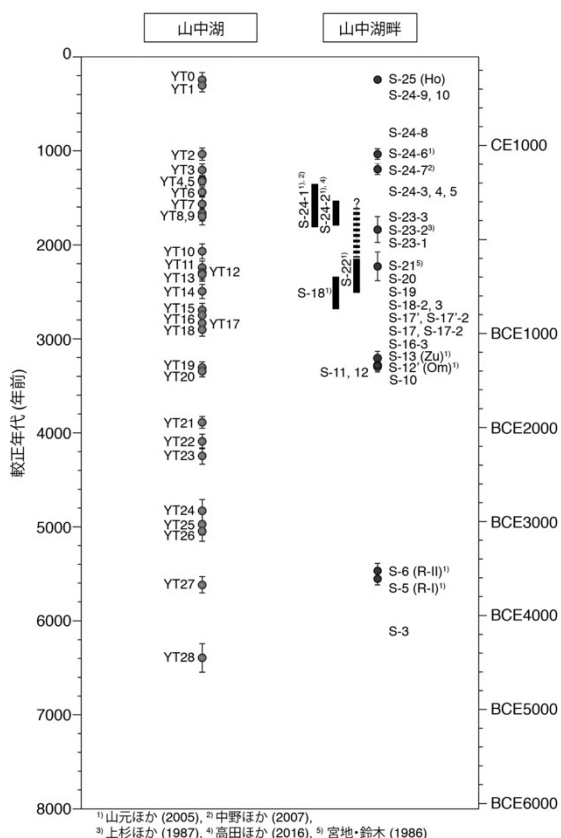


図 4 山中湖の堆積物コアと山中湖湖畔の陸上セクションから得られたテフラ層序の比較

引用文献 (引用順)

Ota et al. (2021) *Elementa: Science of the Anthropocene* 9, 1.
 Obrochta et al. (2018) *Quaternary Science Review* 2000, 395–405.
 Yamamoto et al. (2021) *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 22, e2020GC009544.
 Yamamoto et al. (2018) *Organic Geochemistry* 119, 50–58.
 山元ほか (2005) *火山* 50, 53–70.
 山梨県 (2002) 平成 13 年度富士山火山砂防基本計画検討業務委託報告書 (地質調査編)。
 中野ほか (2007) *地質調査研究報告* 57, 387–407。
 上杉ほか (1987) *第四紀研究* 26, 59–68。
 高田ほか (2016) *富士火山地質図 (第 2 版) 説明書*。
 宮地・鈴木 (1986) *第四紀研究* 25, 225–233。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yamamoto Shinya, Nishizawa Fumikatsu, Yoshimoto Mitsuhiro, Miyairi Yosuke, Yokoyama Yusuke, Suga Hisami, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 22
2. 論文標題 Dating Lake Sediments Using Compound Specific 14C Analysis of C16 Fatty Acid: A Case Study From the Mount Fuji Volcanic Region, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020GC009544	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Shinya, Miyairi Yosuke, Yokoyama Yusuke, Suga Hisami, Ogawa Nanako O, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 62
2. 論文標題 Compound-Specific Radiocarbon Analysis of Organic Compounds from Mount Fuji Proximal Lake (Lake Kawaguchi) Sediment, Central Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiocarbon	6. 最初と最後の頁 439-451
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/RDC.2019.158	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ota Kosuke, Yokoyama Yusuke, Miyairi Yosuke, Yamamoto Shinya, Miyajima Toshihiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Lake water dissolved inorganic carbon dynamics revealed from monthly measurements of radiocarbon in the Fuji Five Lakes, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Elementa: Science of the Anthropocene	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1525/elementa.2020.00149	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yamamoto, S., Nishizawa, F., Yoshimoto, M., Miyairi, Y., Yokoyama, Y., Suga, H., Ohkouchi, N.
2. 発表標題 Compound-specific 14C analyses of fatty acids as potential dating tools for lake sediments: A case study from Lake Kawaguchi, central Japan
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ota, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Yamamoto, Y.
2. 発表標題 High resolution carbon reservoir effect fluctuations derived from surface water dissolved inorganic radiocarbon of Fuji Five Lakes
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ota, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Yamamoto, Y., Miyajima, T.
2. 発表標題 Lake water distribution derived from surface water oxygen and hydrogen isotopes around Fuji Five Lakes
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田耕輔, 横山祐典, 宮入陽介, 山本真也
2. 発表標題 富士五湖における表層水中溶存有機炭素の放射性炭素年代の月毎変動と地下水の炭素リザーバー効果
3. 学会等名 日本第四紀学会2020年大会(オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinya Yamamoto, Yosuke Miyairi, Yusuke Yokoyama, Hisami Suga, Nanako Ogawa Naohiko Ohkouchi
2. 発表標題 Compound-specific radiocarbon analysis of lipid biomarkers in surface sediment from Lake Kawaguchi, central Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本真也・西澤文勝・吉本充宏・宮入陽介・横山祐典・菅寿美・大河内直彦
2. 発表標題 河口湖堆積物コア中の直鎖脂肪酸の化合物レベル放射性炭素年代
3. 学会等名 日本有機地球化学2019金沢シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本真也・西澤文勝・吉本充宏・宮入陽介・横山祐典・菅寿美・大河内直彦
2. 発表標題 化合物レベル14C年代法による富士山北麓・河口湖堆積物コア中の火山噴出物の年代推定
3. 学会等名 日本地球化学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 太田耕輔・横山祐典・宮入陽介・山本真也
2. 発表標題 富士五湖における表層水中溶存無機炭素の放射性炭素年代の月毎変動と炭素リザーバー効果
3. 学会等名 富士五湖における表層水中溶存無機炭素の放射性炭素年代の月毎変動と炭素リザーバー効果
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本真也・宮入陽介・横山祐典・菅寿美・大河内直彦
2. 発表標題 河口湖表層堆積物中の直鎖脂肪酸の化合物レベル放射性炭素年代
3. 学会等名 日本有機地球化学2018品川シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 太田耕輔・横山祐典・宮入陽介・山本真也・宮島利宏
2. 発表標題 Unveilling the black box: monthly measurements on dissolved inorganic radiocarbon in Fuji Five lakes water to understand the lake specific reservoir ages
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本真也・西澤文勝・吉本充宏・宮入陽介・横山祐典・菅寿美・大河内直彦
2. 発表標題 富士五湖の湖底堆積物を用いた富士山の噴火履歴の高精度化
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ota, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Yamamoto, Y., Miyajima, T.
2. 発表標題 Long term measurements on water dissolved inorganic radiocarbon to understand the seasonal radiocarbon changes in three of Fuji Five lakes, Japan
3. 学会等名 the 15th international conference on accelatated mass spectrometry (AMS-15) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	大河内 直彦 (Ohkouchi Naohiko) (00281832)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門・部門長 (82706)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	横山 祐典 (Yokoyama Yusuke) (10359648)	東京大学・大気海洋研究所・教授 (12601)	
研究分担者	吉本 充宏 (Yoshimoto Mitsuhiro) (20334287)	山梨県富士山科学研究所・その他部局等・研究員 (83501)	
研究分担者	宮入 陽介 (Miyairi Yosuke) (30451800)	東京大学・大気海洋研究所・特任研究員 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関