

チベット高原南東部プマユムツォ湖大島から採取した
土壌（陸成堆積物）の ^{14}C 年代測定

**Radiocarbon dating of Holocene soils from an island in Lake Pumoyum Co
(southeastern Tibetan Plateau)**

渡邊隆広^{1*}・中村俊夫²・西村弥重³・松中哲也³・酒井貴悠⁴・

堀内一穂⁴・Xiao LIN⁵・奈良郁子¹・掛川 武¹・Liping ZHU⁵

Takahiro WATANABE^{1*}, Toshio NAKAMURA², Mitsugu NISHIMURA³, Tetsuya MATSUNAKA³,

Takahiro SAKAI⁴, Kazuho HORIUCHI⁴, Xiao LIN⁵, Fumiko Watanabe NARA¹,

Takeshi KAKEGAWA¹, Liping ZHU⁵

¹ 東北大学大学院理学研究科・² 名古屋大学年代測定総合研究センター・³ 東海大学海洋学部・

⁴ 弘前大学理工学部・⁵ Chinese Academy of Science, People's Republic of China

¹ Graduate School of Science, Tohoku University, 6-3 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan.

² Center for Chronological Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa, Nagoya 464-8602, Japan.

³ School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8610, Japan.

⁴ Faculty of Science and Technology, Hirosaki University, Bunkyo-cho, Hirosaki 036-8561, Japan.

⁵ Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, No.18 Shuangqing Road, Haidian District, Beijing 100085, People's Republic of China.

* Corresponding author. E-mail: t-watanabe@m.tains.tohoku.ac.jp.

Abstract

Soil samples from an 85-cm-long continuous section (PY608ES, OS09-B) were collected from an island in Lake Pumoyum Co (southeastern Tibetan Plateau, ~5020 m asl). To estimate past environmental conditions of Lake Pumoyum Co during the Holocene, we analyzed ^{14}C ages, stable carbon isotope compositions, and total organic carbon/total nitrogen (TOC/TN) atomic ratios of the soil samples. The ^{14}C measurements were performed with the Tandemtron accelerator mass spectrometry system at the Center for Chronological Research, Nagoya University. The ^{14}C concentration in the surface layer (101 percent modern carbon; 5–10 cm soil depth) was nearly modern. A ^{14}C chronology of sequence indicated that continuous soil development began on the island in Lake Pumoyum Co at ca. 5000-6000 cal BP (at 63 cm soil depth, the top of a gravel layer). These results may reflect a decrease in the lake level in the middle Holocene. The age of the obvious lithologic boundary (ca. 5000-6000 cal BP) corresponds to the end of Holocene climate optimum.

Keywords: Tibetan Plateau; radiocarbon dating, soil, Lake Pumoyum Co, Asian monsoon, climate change

1. はじめに

アジア地域における環境変動メカニズムの解明を目的として、湖底堆積物等を用いたチベット高原における環境変動解析が進められている (Lister et al., 1991; Wang et al., 2002; Ji et al., 2005; Morill et al., 2006; Juyal et al., 2009)。しかしながら、チベット高原は標高が極めて高く (平均 ~4500m)、厳しい環境下にあるため、最終氷期を含む連続的な環境変動解析に関する研究は数件の報告例に限定される (Thompson et al., 1997)。特にチベット高原南東部における古環境変動記録は極めて少ない。チベット高原南東部に位置するプマユムツォ湖 (28°34'N, 90°24'E) は、湖面標高 5020m、表面積 281km²、最大水深約 65m の高山湖であり、この規模の湖としては世界で最高の高度に位置する (Mitamura et al., 2003; Murakami et al., 2007)。現在、チベット高原南東部はモンスーン活動の影響下にあることから (Wang et al., 2002; Zhang et al., 2006)、プマユムツォ湖およびその周辺域は過去のモンスーン活動の消長を復元するための重要な研究フィールドであると考えられる。2001 年、2004 年および 2006 年に湖底から約 4m の柱状堆積物 (PY104PC, PY409PC, PY608E-PC) が採取され、過去約 19000 年間に亘る環境変動および生物活動の復元が西村ら (2003, 2007) により進められている。PY104PC・PY409PC の放射性炭素年代測定結果については、Watanabe et al. (2008) および渡邊ら (2008) により報告されている。過去の環境変動を高精度で定量的に復元するためには、1 点のみではなく、異なる地点で採取した試料を用いて総合的に環境解析を進めることが重要である。

現在のプマユムツォ湖の最大水深は約 65m であるが、モンスーン活動の変遷、温暖化に起因する山岳氷河の融氷、もしくは地殻変動等により過去のプマユムツォ湖における湖水面は大きく増減してきた可能性が考えられる。プマユムツォ湖北東部の大島には、最低でも 60cm 以上の土壌層 (陸成堆積層) が存在しており、これらの土壌層の発達過程および形成年代を知ることにより、過去の湖水面変動を復元することが可能である。本稿では、2006 年 8 月および 2009 年 7 月にプマユムツォ湖の大島において採取した土壌試料 (PY608ES, OS090630-B) の放射性炭素年代値について初期的な結果を報告する。

2. 試料と分析法

2009 年 7 月、プマユムツォ湖・大島の湖岸付近 (28°34'52"N, 90°28'55"E; altitude, ~5020 m asl) において土壌断面から試料 (PY608E, OS090630-B; Figures 1 and 2) を採取した。礫および植物の根を除去するため、採取した土壌試料はクリーンベンチ内において篩い分けを行い、20μm 以下の粒子を回収した。回収した 20μm 以下の粒子に 1.2N-HCl を加え、炭酸塩除去作業を行った。

塩酸処理後の試料は、CuO、Ag とともに 850°C で燃焼し、真空ラインを用いて CO₂ ガスを精製した。次に CO₂ ガスを、Fe を触媒として H₂ により還元させグラファイトとし、¹⁴C 測定用ターゲットを作製した。¹⁴C 測定は名古屋大学タンデントロン加速器質量分析計 (HVEE, Model-4130) を用いて行われた。得られた ¹⁴C 年代を IntCal04 (Reimer et al., 2004) により暦年代に校正した。また、安定同位体比質量分析計 (Finnigan, MAT-252) を用いて、塩酸処理後の土壌試料の安定炭素同位体比 (δ¹³C) を測定した。

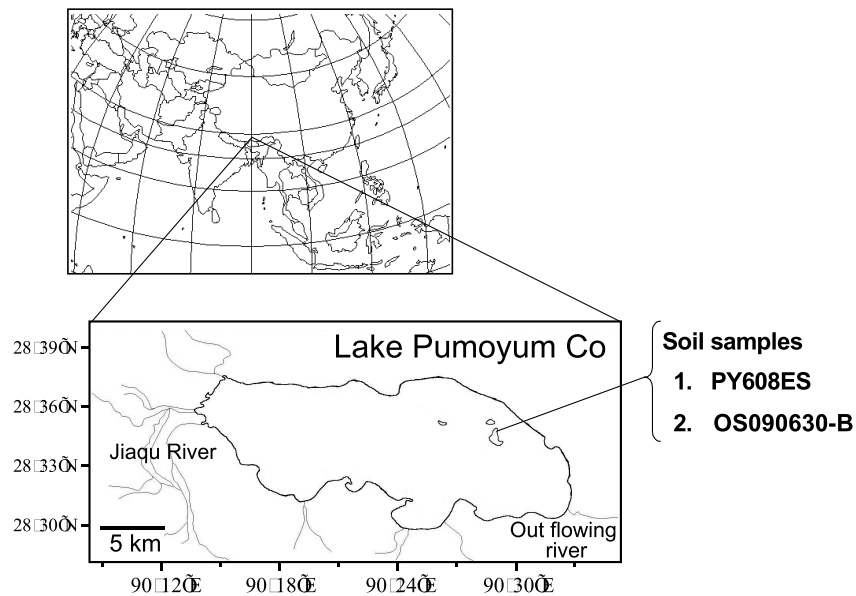


Figure 1. Map showing the location of Lake Pumoyum Co on the southeastern Tibetan Plateau, and the sampling site of soils (PY608ES and OS090630-B) on the Big Island (Island No.1, 28°34'52"N, 90°28'55"E) in the lake.



Figure 2. Photograph of the stratigraphy of the natural exposure on the Big Island (Island No.1) in Lake Pumoyum Co.

3. 結果と考察

PY608ES および OS090630-B 土壌試料における粒径 20 μm 以下の粒子中に含まれる全有機態炭素 (TOC) の較正年代の鉛直分布を Figure 3 および Figure 4 に示す。PY608ES における土壌表層 (深度 5-10 cm) の年代測定結果は、101 percent modern carbon (pMC) であり、現代の大気中二酸化炭素の放射性炭素濃度 (~ 108 pMC, Morril et al., 2006) に近い値を示した (Figure 3)。PY608ES の土壌層下部、深度 45-50 cm における 1σ 較正年代範囲は 4000-4150 cal BP であった (Figure 3)。また、OS090630-B の礫層と土壌層の境界 (深度 ~ 50 cm) における 1σ 較正年代範囲は 4850-4950 cal BP であった (Figure 4)。較正年代に基づいて算出した PY608ES および OS090630-B における堆積速度はおおよそ 10 cm/kyr であることが明らかになった。両試料において、礫層中の粒径 20 μm 以下粒子の較正年代 (1100-2850 cal BP) は上層 (土壌層) の値と比較し 3700 年以上若い年代を示した (Figure 4 および 5)。礫層は間隙が多く、上層もしくは側面から 2 次的に粒子が混入し、より新しい年代値を持つ有機炭素によって試料が汚染された可能性が考えられる。

PY608ES 土壌試料における粒径 20 μm 以下粒子中 TOC 含有量、TOC/TN atomic ratio および全有機態炭素の安定炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の鉛直分布を Figure 5 に示す。土壌表層の TOC 含有量 (深度 5-10 cm, 37.5 mg/g dry soil) は下層の値 (深度 25-50 cm, 12.5-12.8 mg/g dry soil) より高い値を示した。PY608ES 土壌試料の TOC/TN atomic ratio (9.4 から 11) および $\delta^{13}\text{C}$ 値 (-23.5‰ から -24.7‰) は、全土壌層にわたり大きな変動はみられなかった (Figure 5)。また、これらの値はプマユムツォ湖周辺における土壌試料の TOC/TN および $\delta^{13}\text{C}$ 値 (TOC/TN, $\sim 8-9$; $\delta^{13}\text{C}$, $\sim -23\text{‰}$, 西村ら, 2007) とよく一致した。

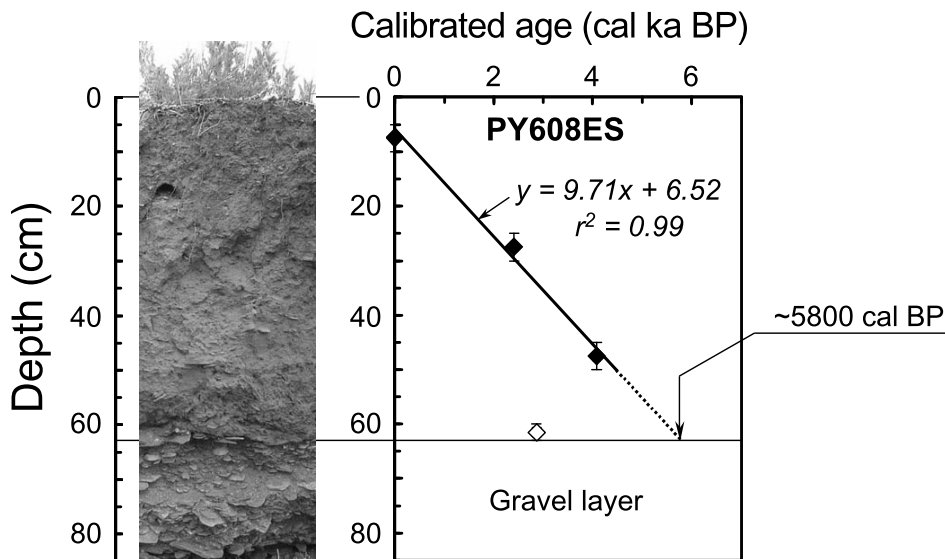


Figure 3. Calibrated ages of TOC (<20 μm) from the PY608ES section. The solid line is the regression line for the calibrated ages of TOC (filled diamonds) from the soil samples from 5–50 cm depth. The open diamond indicates the age obtained from the sample at the lithologic boundary (60–63 cm depth).

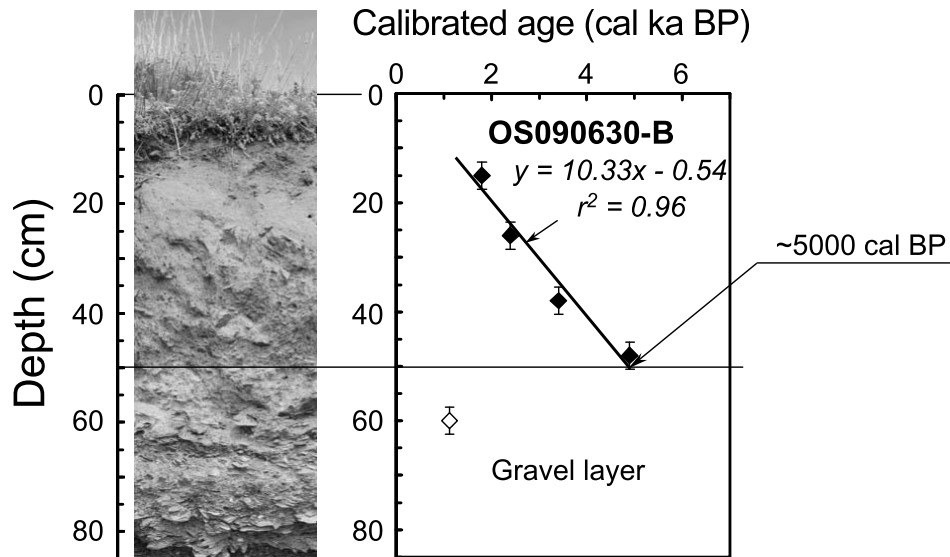


Figure 4. Calibrated ages of TOC (<20 μm) from the OS090630-B section. The solid line is the regression line for the calibrated ages of TOC (filled diamonds) from the soil samples from 15–50 cm depth. The open diamond indicates the age obtained from the sample at the gravel layer (60 cm depth).

PY608ES 試料における礫層と土壌層の境界（深度 63 cm）の年代に関しては、上層 3 点の年代測定結果に基づく堆積速度から、およそ 5800 cal BP であると推察した（Figure 3）。PY608ES および OS090630-B の年代測定結果から、少なくともプマユムツォ湖大島の土壌はおよそ 6000-5000 cal BP 以降に形成された可能性が高い。しかしながら、土壌に含まれる有機成分を放射性炭素年代測定に使用するには、その生成・分解過程および有機炭素の滞留時間を考慮する必要がある（Wang et al., 1996; Fröberg et al., 2009）。本研究で放射性炭素年代測定に用いた土壌中の有機成分は、生成・分解過程の途中であることが否定できず、礫層と土壌層の境界年代として得られた結果（6000-5000 cal BP）は最も小さな数値（minimum age）であるとして解釈を進める必要がある。さらに、土壌に含まれる有機成分の供給源に関する考察を進めることも必要である。

プマユムツォ湖大島における礫層は、現在の大島湖岸付近が水面下であった時代に形成された湖成層である可能性が高い。約 6000-5000 cal BP は完新世の気候最適期（ヒプシサーマル期）の終末年代（Wang et al., 2008）に相当する。インドモンスーンの活動低下は約 8000 cal BP 以降であることが報告されている（Fleitmann et al., 2003）。チベット高原西部においても、約 7000-5000 cal BP 以降における降水量の減少が報告されている（Gasse and van Campo, 1994）。従って、約 6000-5000 cal BP 以降において、モンスーン活動の低下によりプマユムツォ湖における湖水面が低下し、その結果、現在の大島湖岸付近に土壌（陸成堆積層）が形成された可能性が考えられる。本研究により得られた土壌（陸成堆積層）形成開始年代は、プマユムツォ湖の湖底堆積物コア試料の放射性炭素・安定炭素同位体分析結果に基づく有機物供給源の変化時期（陸上由来有機物の湖内への供給割合が増加した時期）とも良く一致する（渡邊ら、2008）。今後は、プマユムツォ湖大島から採取した土壌試料の OSL 年代測定等を実施し、その結果と放射性炭素年代値とを比較することにより、詳細な解析へと繋げていくことが期待される。

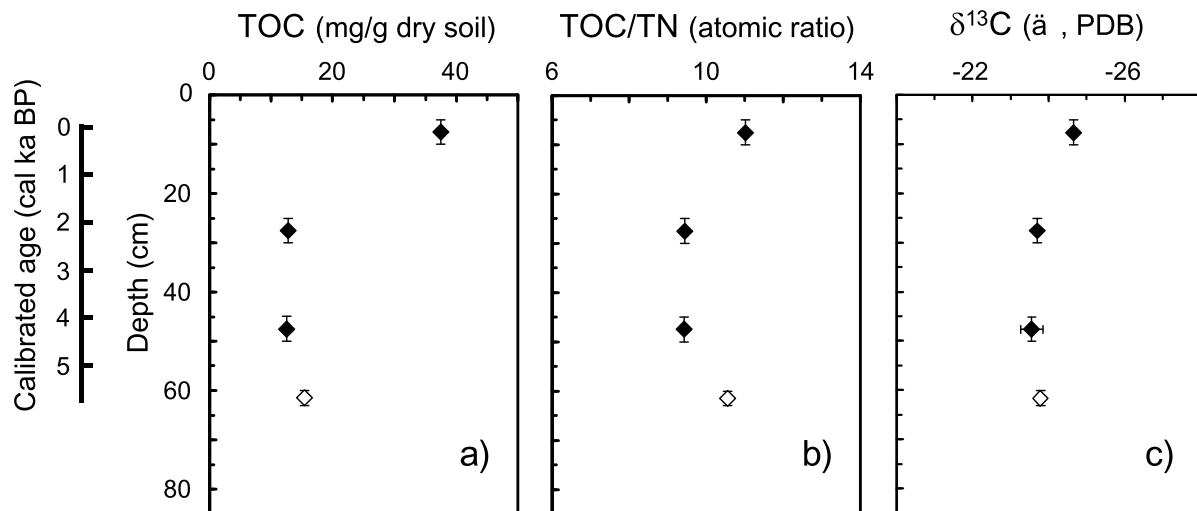


Figure 5. TOC concentrations, TOC/TN atomic ratios, and stable carbon isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$) of TOC in the PY608ES soil samples. The filled diamonds show the results from 5–50 cm soil depth, and the open diamonds show the results from the lithologic boundary (60–63 cm soil depth).

4. 結論

- (1) 現在のプマユムツォ湖・大島湖岸に見られる土壌層（陸成堆積層）は約 6 ～ 5 千年前以降に形成された可能性が高い。
- (2) 約 6 ～ 5 千年前以降における湖水深の低下により湖底面が露出し、土壌（陸成堆積物）が発達した可能性が考えられる。

謝辞

名古屋大学年代測定総合研究センターのスタッフの皆様には、試料調製に際して大変お世話になりました。試料採取に関しては東海大学および中国科学院チベット高原研究所を中心とするチベット・プマユムツォ学術調査隊の皆様には深く感謝申し上げます。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（特別研究員奨励費 No.20-4967、研究代表者：渡邊隆広）の援助により行われました。

引用文献

- 1) G.S. Lister et al., *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **84**, 141 (1991).
- 2) R.L. Wang et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* **203**, 461 (2002).
- 3) J. Ji et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* **233**, 61 (2005).
- 4) C. Morrill et al., *Quat. Res.* **65**, 232 (2006).
- 5) N. Juyal et al., *J. Asian Earth Sci.* **34**, 437 (2009).
- 6) L.G. Thompson et al., *Science* **276**, 1821 (1997).
- 7) O. Mitamura et al., *Limnology* **4**, 167 (2003).

- 8) T. Murakami et al., *Limnology* **8**, 331 (2007).
- 9) W. Zhang et al., *Quat. Int.* **154-155**, 32 (2006).
- 10) 西村ら, 2001 日中共同チベット・プマユムツォ湖学術調査・研究報告書. pp157 (2003).
- 11) 西村ら, 2004 日中共同チベット・プマユムツォ湖学術調査・研究報告書. pp127 (2007).
- 12) T. Watanabe et al. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **30**, 611 (2008).
- 13) 渡邊ら、名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 XIX, pp51 (2008).
- 14) P.J. Reimer et al., *Radiocarbon* **46**, 1029 (2004).
- 15) Y. Wang et al., *Quat. Res.* **45**, 282 (1996).
- 16) M. Fröberg et al., *Geoderma* **149**, 181 (2009).
- 17) Y. Wang et al., *Nature* **451**, 1090 (2008).
- 18) D. Fleitmann et al., *Science* **300**, 1737 (2003).
- 19) F. Gasse and E. van Campo, *Earth Planet. Sci. Lett.* **126**, 435 (1994).

要旨

アジア地域における過去のモンスーン活動を復元するため、2006 年および 2009 年にチベット高原南東部に位置するプマユムツォ湖の大島 (28°34'52"N, 90°28'55"E; altitude, ~5020 m asl) において、土壌（陸成堆積層）形成に関する現地調査および土壌試料採取を行った。現在の大島湖岸付近に、礫層と土壌層の明瞭な境界が見られる露頭を発見し、名古屋大学年代測定総合研究センターにおいて、大島から採取した土壌試料の放射性炭素年代測定を行った。本研究により、プマユムツォ湖・大島の湖岸付近における礫層と土壌層の境界年代は約 6000-5000 cal BP であることが推察された。礫層は、現在の大島湖岸付近が水面下であった時代に形成された可能性が高い。約 6000-5000 cal BP は完新世の気候最適期（ヒブシサーマル期）の終末年代に相当する。従って、約 6000-5000 cal BP 以降におけるモンスーン活動の低下により、プマユムツォ湖の湖水面が低下し、現在の大島湖岸付近に土壌が形成された可能性が考えられる。