

シベリア・チベット地域の湖沼から採取した湖底柱状堆積物の
放射性炭素年代測定-4 : PY608E-PC コア試料 (チベット・プマユムツォ湖)

Radiocarbon dating of sediment cores from Siberian and Tibetan lakes (4):

**Radiocarbon chronology of the PY608E piston core
from Lake Pumoyum Co (south Tibetan plateau)**

渡邊隆広^{1*}・中村俊夫²・西村弥重³・松中哲也³・奈良郁子¹・

掛川 武¹・Junbo WANG⁴・Liping ZHU⁴

Takahiro WATANABE^{1*}, Toshio NAKAMURA², Mitsugu NISHIMURA³, Tetsuya MATSUNAKA³,
Fumiko Watanabe NARA¹, Takeshi KAKEGAWA¹, Junbo WANG⁴, Liping ZHU⁴

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 Chinese Academy of Science, 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 Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, No.18 Shuangqing Road, Haidian District, Beijing 100085, China.

* *Corresponding author. E-mail: Takahiro.Watanabe@ulg.ac.be, twatanabe@y-mail.tohoku-university.jp*

Abstract

The Tibetan plateau (area, $\sim 2.5 \times 10^6$ km²; altitude, ~ 4500 m on average) plays an important role in global climatic and environmental changes, especially Quaternary monsoon circulation, because of its topographic features. Summer monsoon activity is under the control of a strong latitudinal temperature gradient between land and sea, reflecting insolation and environmental conditions in the area. Therefore, paleoclimatic and environmental records from the Tibetan plateau provide important clues for understanding the Asian climate system. We obtained a PY608E piston core from a high-altitude lake (Lake Pumoyum Co; altitude, ~ 5020 m asl) on the southern Tibetan plateau for reconstruction of environmental changes during Holocene. In this study, ¹⁴C ages of total organic carbon (TOC) in the core were measured by the accelerator mass spectrometry system (Model 4130-AMS, High Voltage Engineering Europe) at the Center for Chronological Research (CCR), Nagoya University, which represented the chronology from ca. 10 cal ka BP to present.

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

1. はじめに

過去におけるアジアモンスーンの長期的な変動解析は、日本を含むアジア地域の気候・環境変動を理解するうえで重要な役割を果たす (Wang et al., 2002; Zhang et al., 2006)。現在のチベット高原は、アジアモンスーンの影響下にあることから過去のモンスーン活動を復元し、その変動メカニズムを解明するための重要な研究フィールドとして注目されている (Lister et al., 1991; Wang et al., 2002; Ji et al., 2005; Morill et al., 2006; Juyal et al., 2009)。チベット高原南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; Nishimura et al., 2007)。2001 年、2004 年および 2006 年に湖底から約 4m の柱状堆積物 (PY104PC, PY409PC, PY608W-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 Nishimura et al. (2003, 2007) により進められている。PY104PC, PY409PC および PY608W-PC の放射性炭素年代測定結果については、Watanabe et al. (2010a) により報告されている。

本報告書では、2006 年にプマユムツォ湖から採取された PY608E-PC 柱状堆積物試料の放射性炭素年代測定結果について議論する。湖底堆積物の正確な年代決定を行うためには、大気中二酸化炭素濃度を直接反映する堆積物中の陸上植物遺体を抽出する必要がある (Watanabe et al., 2010b)。しかしながら、PY608E-PC 試料中の植物片含有量は極めて少なく、年代測定に必要な植物遺体を確保することは困難である。従って、今回は堆積物中の全有機炭素の放射性炭素年代測定を報告する。全有機炭素の放射性炭素年代を解釈するためには、湖外から供給される古い有機物の影響 (Old carbon effect) と湖内生物由来の有機物に含まれる淡水リザーバー効果 (Fresh water reservoir effect) の影響を把握する必要がある。既に報告されている PY104PC および PY409PC 試料に含まれる植物片および全有機炭素の放射性炭素年代測定を基に、PY608E-PC 試料の Old carbon effect および Fresh water reservoir effect を評価することが可能である。本研究では、既存のデータベースを基に、PY608E-PC 試料中の全有機炭素の放射性炭素年代測定結果を解釈し、年代軸の決定を試みる。

2. 試料と分析法

2006 年 8 月、プマユムツォ湖東部 (28°33'14"N; 90°28'17"E; altitude, ~5020 m asl) において湖底堆積物試料 (PY608E-PC, Figure 1) をピストンコアラーを用いて採取した。採取した湖底堆積物試料はクリーンベンチ内において篩いがけを行い、63 μ m 以下の粒子を回収した。回収した 63 μ m 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ム加速器質量分析計 (HVEE, Model-4130) を用いて行われた。得られた ¹⁴C 年代を IntCal09 (Reimer et al., 2009) 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 PY608E 試料の安定炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を測定した。

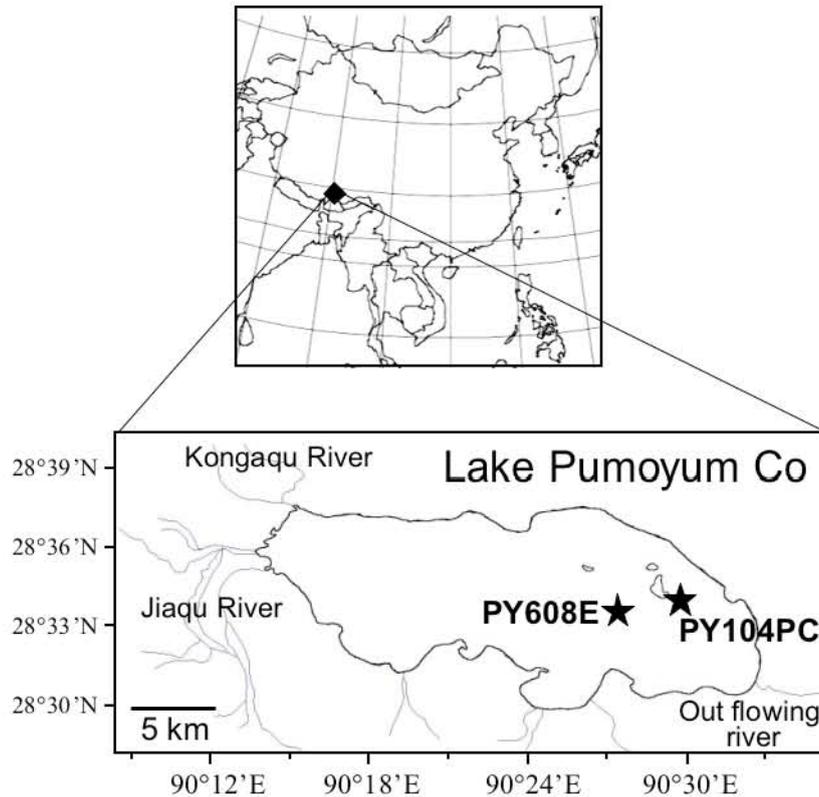


Figure 1. Map showing the location of Lake Pumoyum Co in the southeastern Tibetan plateau, and the coring site of PY608E-PC and PY104PC.

3. 結果と考察

PY608E-PC 試料に含まれる全有機態炭素 (TOC) の放射性炭素年代測定結果 (較正年代) を Table 1 および Figure 2a に示す。試料表層付近 (コア深度 11 cm) の年代値は 5.5 cal ka BP を示した。表層の年代が極端に古い値を示す要因として、試料採取時における表層部欠損、リザーバー効果 (Reservoir effect) もしくは湖外から供給される古い有機物の影響 (Old carbon effect) を受けていることが考えられる。試料底部 (コア深度 369 cm) の年代値は 15.5 cal ka BP を示したが、コア深度約 3 m から 2m にかけて、おおよそ 3500 年の年代逆転が見られた (Table 1; Figure 2a)。湖底堆積物中の TOC の年代測定結果が実際の年代よりも古い値を示すことは良く知られている (Watanabe et al., 2009)。また、プマユムツォ湖から採取された PY409PC 試料 (Figure 1; Watanabe et al., 2010b) の年代測定結果から、プマユムツォ湖に含まれる TOC の年代値は Old carbon effect の影響を受けていることが報告されている。PY409PC 試料中の植物残査と TOC との年代値の差は最大 10,000 年以上である (Figure 2b)。本研究で報告する PY608E-PC 試料中 TOC の年代値の深度分布 (Figure 2a) は、PY409PC の年代値の変動パターン (Figure 2b) と良く一致していることが明らかとなった。年代値が大きく逆転する約 9.5-5.5 cal ka BP の期間は、完新世の気候最適期と一致する。気候最適期における集水域の拡大が、湖外からの古い有機物の供給を促進させた可能性が考えられる。

Table 1. Calibrated ages of total organic carbon (TOC) in the PY608E-PC from Lake Pumoyum Co, south Tibet

Sample No.	Depth (cm)	Conventional ^{14}C age (BP, $\pm 1\sigma$)	Calibrated age ^a (cal BP)	Lab. Code (NUTA2-)
4S-86	10.1-11.2	4731 \pm 32	5332-5579	14867
4S-47	49.7-50.7	6417 \pm 35	7315-7417	14866
4S-8	89.3-90.3	8660 \pm 38	9547-9654	14865
3R-76	119.9-120.9	9828 \pm 40	11209-11250	14864
3R-46	150.5-151.5	12079 \pm 46	13849-13993	14863
3R-19	178.1-179.1	14074 \pm 50	16943-17219	14860
2Q-87	207.8-208.8	14889 \pm 51	17966-18476	14859
2Q-57	238.6-239.6	14072 \pm 50	16943-17217	14858
2Q-27	269.4-270.5	15306 \pm 54	18537-18648	14857
1P-72	303.4-304.4	13266 \pm 47	15977-16612	14856
1P-39	337.2-338.2	12559 \pm 46	14598-15007	14855
1P-27	349.5-350.5	12919 \pm 47	15140-15608	14852
1P-18	358.7-359.8	13102 \pm 47	15569-16282	14851
1P-9	368.0-369.0	12937 \pm 48	15145-15821	14850

(a) These ages were obtained by calibrating the conventional ^{14}C ages based on the IntCal09 calibration data set (Reimer et al., 2009).

比較的解像度が低い結果ではあるが、湖中心部から採取された PY104PC 柱状堆積物試料の年代測定結果も同様の変動パターンを示している (Watanabe et al., 2010b)。湖底堆積物に含まれる TOC の放射性炭素年代値の深度プロットは、湖中心部 (最大水深域) 付近では一定の変動パターンを示す可能性が高い。従って、これまで蓄積したプマユムツォ湖堆積物の年代測定結果をもとに PY608E-PC 試料における Old carbon effect の影響を評価することにより、TOC の放射性炭素測定結果に基づく年代軸の構築が可能であると考えられる。PY104PC との年代値の比較から、PY608E-PC 試料のコア底部年代は 10 cal ka BP であると推察される。堆積物中 TOC に含まれる放射性炭素の濃度は、環境変動と生物活動の影響を強く受ける。従って、より精度の高い年代軸決定には、堆積物中の植物残査および TOC の放射性炭素年代測定結果の蓄積と、プマユムツォ湖域における有機物の供給源および挙動を把握するための、他の地球化学、古生物学、地質学的な各種データとの比較が必要である。今後、より正確な年代値を得るために、地球化学的な考察 (有機物供給源および環境中における挙動の解析) に加え、堆積物に含まれる植物残査および陸上植物由来有機物の効率的な濃縮・単離・回収手法、および微量炭素量での年代測定を進めていく必要があると考えられる。

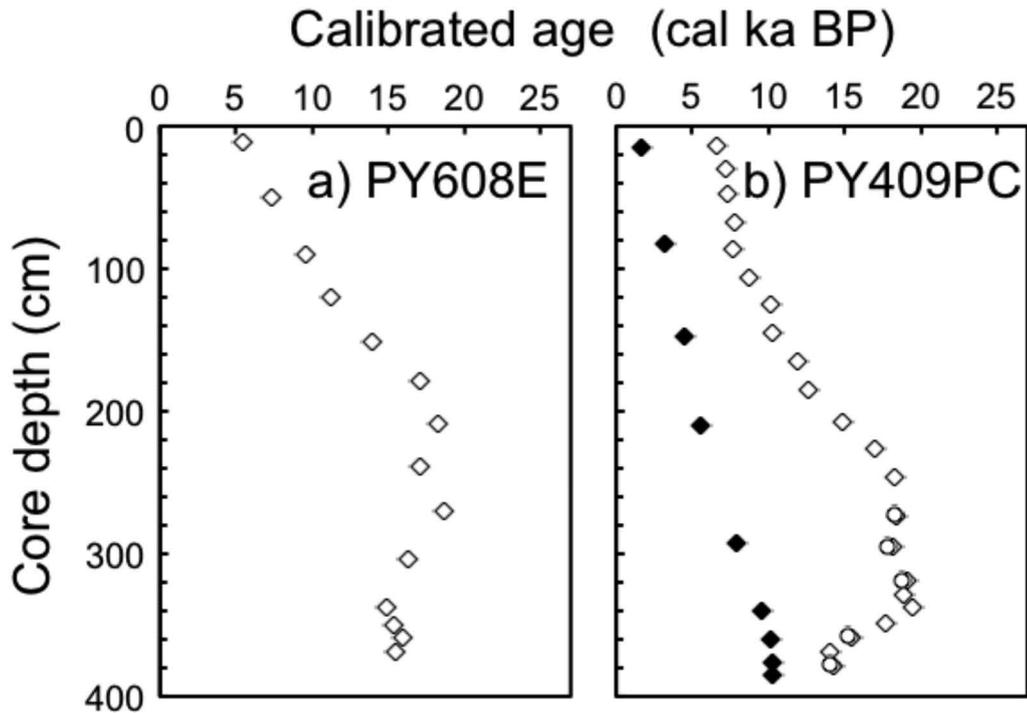


Figure 2. a) Calibrated ages of the total organic carbon in PY608E-PC. b) Calibrated ages of the total organic carbon and plant residue concentrate fraction in PY409PC (Watanabe et al., 2010b). The ages of the total organic carbon and of the plant residue concentrate fraction are shown with open diamonds and filled diamonds, respectively.

4. 結論

チベット高原プマユムツォ湖から採取した湖底堆積物試料 (PY608E-PC) に含まれる TOC の放射性炭素年代測定結果が得られた。異なる2つの湖底堆積物試料 (PY608E-PC と PY104PC) に含まれるそれぞれの TOC の年代値の変動パターンが良く一致した。従って、古い有機物の供給割合は時間とともに変動するが、場所 (堆積採取地点) による変化は少ない可能性が高いと考えられる。今回得られた PY608E-PC 試料に含まれる TOC の年代値の深度分布を、過去のデータ (PY104PC 試料) と比較することにより、古い有機物の供給割合を把握することが可能である。従って、TOC の年代値から正確な年代軸を作成することが可能であると考えられる。

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) R.L. Wang et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* **203**, 461 (2002).
- 2) W. Zhang et al., *Quat. Int.* **154-155**, 32 (2006).
- 3) G.S. Lister et al., *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **84**, 141 (1991).
- 4) J. Ji et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* **233**, 61 (2005).
- 5) C. Morrill et al., *Quat. Res.* **65**, 232 (2006).
- 6) N. Juyal et al., *J. Asian Earth Sci.* **34**, 437 (2009).
- 7) O. Mitamura et al., *Limnology* **4**, 167 (2003).
- 8) T. Murakami et al., *Limnology* **8**, 331 (2007).
- 9) 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).
- 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) T. Watanabe et al., *Chem. Geol.* **277**, 21 (2010).
- 12) T. Watanabe et al., *Nucl. Instrum. Methods B* **268**, 1070 (2010).
- 13) T. Watanabe et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* **286**, 347 (2009).

要旨

アジアモンスーンの変動解析は、日本を含む東アジア地域の環境変動メカニズム解明のために必要不可欠な研究課題である。そのためには、過去における環境変動の復元が重要な役割を果たす。過去の環境変動、特に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8月にチベット高原南東部に位置するプマユムツォ湖(28°33'14"N; 90°28'17"E; altitude, ~5020 m asl)において、湖底柱状堆積物試料(PY608E-PC)を採取した。堆積物を用いた古環境変動復元のためには、湖底堆積層の形成年代の決定が必要である。本研究において、堆積物中に含まれる全有機炭素(TOC)の放射性炭素年代測定を行い、PY608E-PC試料の年代決定を試みた。PY608E-PC試料底部の年代値は~16 cal ka BPを示した。しかしながら、TOCの年代値は湖外から供給される古い有機物の影響(Old carbon effect)を受けていると推察される。Old carbon effectを評価するため、堆積物中の植物片の年代値が得られているPY104PC試料の年代測定結果と比較した。その結果、年代値の深度分布は、過去に報告されているPY104PC試料の年代値深度分布と良く一致した。PY104PC試料の年代値との比較から、PY608E-PC試料の底部年代は約10 cal ka BPであると推定した。今後、堆積物中に僅かに含まれる植物遺体を抽出し放射性炭素年代測定を行うことにより、正確な堆積層形成年代年代を確定する必要がある。

発表論文リスト (平成21年度-22年度)

1. T. Watanabe, T. Matsunaka, T. Nakamura, M. Nishimura, Y. Izutsu, M. Minami, F.W. Nara, T. Kakegawa, J. Wang, L. Zhu, Last glacial – Holocene geochronology of sediment cores from a high-altitude Tibetan lake based on AMS ^{14}C dating of plant fossils: Implications for paleoenvironmental reconstructions. *Chemical Geology* 277, 21-29, 2010, doi:10.1016/j.chemgeo.2010.07.004.
2. F.W. Nara, T. Watanabe, T. Kakegawa, H. Seyama, K. Horiuchi, T. Nakamura, A. Imai, N. Kawasaki, T. Kawai, Climate control of sulfate influx to Lake Hovsgol, northwest Mongolia, during the last glacial-postglacial transition: Constraints from sulfur geochemistry. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 298, 278-285, 2010, doi:10.1016/j.palaeo.2010.10.001.
3. F.W. Nara, T. Watanabe, T. Nakamura, T. Kakegawa, F. Katamura, K. Shichi, H. Takahara, A. Imai, T. Kawai, Radiocarbon and stable carbon isotope ratio data from a 4.7-m-long sediment core of Lake Baikal (southern Siberia, Russia). *Radiocarbon* 52, 1449-1457, 2010.
4. G.I. Matsumoto, Y. Tani, K. Seto, T. Tazawa, M. Yamamuro, T. Watanabe, T. Nakamura, T. Takemura, S. Imura, H. Kanda, Holocene paleolimnological changes in Lake Skallen O-ike of the Syowa station area in Antarctica estimated from organic components in a sediment core (Sk4C-02). *Journal of Paleolimnology* 44, 677-693, 2010, doi:10.1007/s10933-010-9448-y.
5. T. Watanabe, T. Matsunaka, T. Nakamura, M. Nishimura, T. Sakai, X. Lin, K. Horiuchi, F.W. Nara, T. Kakegawa, L. Zhu, ^{14}C dating of Holocene soils from an island in Lake Pumoyum Co (southeastern Tibetan Plateau). *Radiocarbon* 52, 1435-1442, 2010.
6. T. Watanabe, T. Matsunaka, T. Nakamura, M. Nishimura, Y. Izutsu, M. Minami, F.W. Nara, T. Kakegawa, L. Zhu, A new ^{14}C dataset of the PY608W-PC sediment core from Lake Pumoyum Co (southeastern Tibetan Plateau) over the last 19 kyr. *Radiocarbon* 52, 1443-1448, 2010.
7. K. Kashiwaya, S. Ochiai, G. Sumino, T. Tsukamoto, A. Szyniszewska, M. Yamamoto, A. Sakaguchi, N. Hasebe, H. Sakai, T. Watanabe, T. Kawai, Climato-hydrological fluctuations printed in long lacustrine records in Lake Hövsgöl, Mongolia. *Quaternary International* 219, 178-187, 2010, doi:10.1016/j.quaint.2010.02.007.
8. T. Watanabe, T. Matsunaka, T. Nakamura, M. Nishimura, F.W. Nara, T. Kakegawa, L. Zhu, Changes of organic matter sources in sediment cores from a high-altitude lake (Pumoyum Co, southeastern Tibetan plateau) over the last 19,000 years. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research B* 268, 1070-1072, 2010, doi:10.1016/j.nimb.2009.10.100.
9. T. Watanabe, T. Nakamura, F.W. Nara, T. Kakegawa, M. Nishimura, M. Shimokawara, T. Matsunaka, R. Senda, T. Kawai, A new age model for the sediment cores from Academician ridge (Lake Baikal) based on high-time-resolution AMS ^{14}C data sets over the last 30 kyr: paleoclimatic and environmental implications. *Earth and Planetary Science Letters* 286, 347-354, 2009, doi:10.1016/j.epsl.2009.06.046.

10. T. Watanabe, T. Nakamura, F.W. Nara, T. Kakegawa, K. Horiuchi, R. Senda, T. Oda, M. Nishimura, G. I. Matsumoto, T. Kawai, High-time resolution AMS ^{14}C data sets for Lake Baikal and Lake Hovsgol sediment cores: changes in radiocarbon age and sedimentation rates during the transition from the last glacial to the Holocene. *Quaternary International* 205, 12-20, 2009, doi:10.1016/j.quaint.2009.02.002.
11. Hovsgol Drilling Project Members (A.A. Abzaeva, E.V. Bezrukova, V.A. Bychinsky, S.A. Fedenya, K. Fukishi, V.F. Gelety, A.V. Goreglyad, E.V. Ivanov, G.V. Kalmychkov, K. Kashiwaya, T. Kawai, E.V. Kerber, M.Yu. Khomutova, G.K. Khursevich, J-Y. Kim, M.A. Krainov, N.V. Kulagina, M.I. Kuzmin, P.P. Letunova, K. Minoura, W-H. Nahm, Ts. Narantsetseg, Ts. Oyunchimeg, A.A. Prokopenko, H. Sakai, E.P. Solotchina, Y. Tani, L. L. Tkachenko, D. Tomurhuu, T. Watanabe), Lacustrine sediment record from Lake Hovsgol, NW Mongolia: results from the HDP-04 and HDP-06 drill cores. *Quaternary International* 205, 21-37, 2009, doi:10.1016/j.quaint.2009.02.008.

学会・シンポジウム・セミナー講演（平成21年度-22年度）

1. T. Watanabe, F. W. Nara, Climate change impacts on bacterial and archaeal activities in Lake Baikal, southern Siberia, during the last deglacial period inferred from stable isotopes and organic geochemical studies of a sediment core. Biogeochemical seminar, December 3, 2010, Umea, Sweden.
2. T. Watanabe, T. Matsunaka, T. Nakamura, M. Nishimura, F.W. Nara, Y. Izutsu, M. Minami, T. Kakegawa, L. Zhu, Last glacial – Holocene chronology of sediment cores from a high-altitude Tibetan lake based on AMS ^{14}C dating of plant fossils. BELQUA 2010 Annual Scientific Workshop, March 2, 2010, Brussels, Belgium.
3. F.W. Nara, T. Watanabe, T. Kakegawa, H. Seyama, K. Horiuchi, T. Nakamura, A. Imai, N. Kawasaki, T. Kawai, Climate control of sulfate flux into Lake Hovsgol, Mongolia, during the last glacial-postglacial transition: Constraints from sulfur geochemistry. BELQUA 2010 Annual Scientific Workshop, March 2, 2010, Brussels, Belgium.