

# プマユムツォ湖柱状堆積物中のバイオマーカーを用いた チベット高原南東部における気候・環境変動解析

松中哲也<sup>1</sup>・西村弥重<sup>1</sup>・中村俊夫<sup>2</sup>・渡邊隆広<sup>3</sup>・寺井久慈<sup>4</sup>・中野志穂<sup>4</sup>・Liping Zhu<sup>5</sup>

1)東海大学連合大学院理工学研究科 〒424-0902 静岡市清水区折戸 3-20-1

Tell: 0543-34-0411 E-mail: [nisimura@scc.u-tokai.ac.jp](mailto:nisimura@scc.u-tokai.ac.jp)

2)名古屋大学年代測定総合研究センター

3)東北大学大学院理学研究科

4)中部大学大学院応用生物学研究科

5)Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Science, China

## 1. はじめに

近年、南西モンスーンの影響下である、アラビア海の堆積物や中国南東部の洞窟堆積物を用いて、その歴史的変動を明らかにする研究が盛んに行われている(Sirocko et al., 1996, Yuan et al., 2004, Dykoski et al., 2005)。これらの研究から、過去 16 万年間の南西モンスーン変動が夏季の日射量変動に応答し、北半球の気候変動とも密接に連動している事が解ってきた。南西モンスーンの発生源である、チベット高原において、主として中央部から北部かけて湖沼堆積物やアイスコアを用いて同様な研究が進められているが、高原上における南西モンスーンの発達過程の歴史を、全域に亘って明らかにするには、未だ古環境情報が乏しい(Thompson et al., 1997; Wei and Gasse, 1999; Ji et al., 2005)。我々は、チベット高原の中でも研究例がほとんど知られていない、最南端に位置するプマユムツォ湖(28°34.79'N, 90°23.80'E; Fig.1)の堆積物を用いて、最終氷期最寒冷期(21,000~19,000 年前)以降の南東部における、南西モンスーンの盛衰に深い関わりがある、水循環(降水と融氷水)の変動史を明らかにする試みを行っている。

2001 年に採取した柱状堆積物(PY104PC)の解析結果から、最終氷期最寒冷期の湖水面は、現在より 40m 程度低下していた事、流出河川付近の湖岸段丘の地形・地質調査から、過去のある時代に現在より湖水面が 10m 上昇していた事が示唆されている(西村ら, 2007; 高田ら, 2003)。この湖水面(湖水域)変動は、各時代の気候条件(主に陸水の流入量)と密接に関連し、湖周辺から運ばれる陸起源物質の堆積量を大きく変えると考えられる。

今回、同報告書に報告されている(渡邊ら, 2008)、“Old carbon”の影響を除いた <sup>14</sup>C 年代が決定された堆積物(PY409PC, PY409G)を対象に、そこに記録されている陸起源有機物の堆積量の変化から推定した、過去 11,000 年間の水循環変動史について報告する。

## 2. 試料と方法

### 1)試料

2001 年以来、東海大学と中国科学院との共同で行ってきた、チベット・プマユムツォ湖学術調査によって、湖の湖盆形態が明らかになっている(Fig.1 寺井ら, 2007, Zhu et al., 2007)。

プマユムツォ湖の西側から、南側のヒマラヤ山脈の氷河を起源とする最大流入河川(Jidqu River)と北西の山稜に端を発する Kongaqu River が流れ込み、河口域に湿地帯を有する広大な扇状地が広がっている。南側にも幾つかの流入河川が存在するが、全流入量の 80%は西側の主要流入河川から流れ込む。また、東側に唯一流出河川がある(Murakami et al., 2007)。

第 2 次学術調査(2004 年 9 月)において、湖中央部に近い水深 62.2m 地点(28°34.79'N, 90°23.80'E)から、柱状堆積物(PY409PC ; 388cm)と表層堆積物(PY409G ; 44cm)を採取した(Fig.1)。また、湖周辺と湖内の様々な地点から、それぞれ、土壌や現世の表層堆積物も採取した。

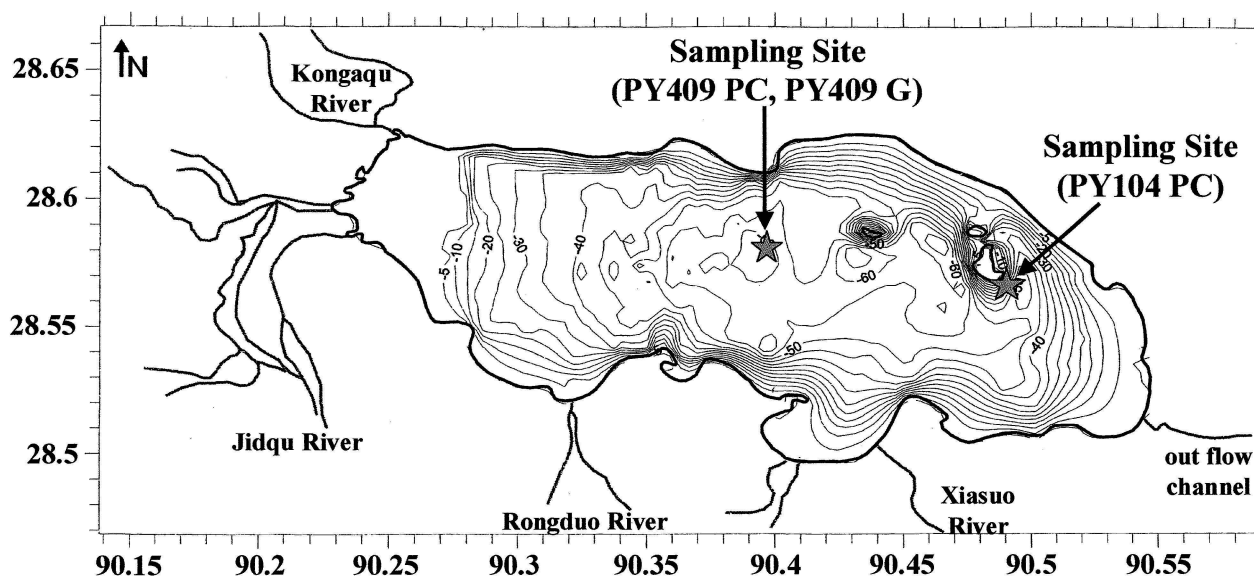


Fig.1 The sampling sites for PY409PC, PY409G and PY104PC in Lake Pumayum Co.

## 2)方法

### ①Dry Bulk Density の測定

半割にした堆積物試料について、Multi-Sensor Core Logger (MSCL ; GEOTEK)を用いてガンマ線密度を測定した。得られたガンマ線密度に含土率を掛ける事によって、Dry Bulk Density (DBD)を算出した。ガンマ線密度の補正は、キューブで採取した堆積物試料の真密度を Penta Pycnometer (Yuasa Ionics)で測定することによって行った。

### ②Sand contents の測定

堆積物試料を、Wet-sieving 法で 63 $\mu$ m の篩にかけた。篩上に残った無機粒子を Sand とし、処理前の試料に対する Sand の含有率を求めた。

### ③Alkanes と Fatty acids の分離・同定・定量

63 $\mu$ m 以下の堆積物から Dichloromethane と Me-OH の混合溶媒で脂質を抽出した。脂質に含まれる各種脂質化合物の内、ここでは Alkanes と Fatty acids について分析を行った。これらの分離・精製は、基本的に Nishimura et al. (2006)に従った。各脂質化合物は、GC/MS (JEOL Automass II)で分離・同定を、GC (Shimadzu GC-17A ver.3)によって定量を行った。GC 用カラムは、J&W 社の DB-5MS (Stationary phase : 0.25 $\mu$ m, 0.32mm x 30m)を使用した。

### \* Mass Accumlation Rate の算出

Sand、Alkanes、および Fatty acids の Mass Accumulation Rate は、以下の式から算出した。

$$\text{MAR}(\text{mg or ng / cm}^2 \text{ / yr}) = \text{Amount}(\text{mg or ng / g dry sed.}) \times \text{DBD}(\text{g / cm}^3) \times \text{Accumulation rate}(\text{cm / yr})$$

### 3. 結果と考察

#### 1) 陸起源有機物の堆積量の変化

Fig.2 に堆積物中の Fatty acids の代表的なガスクロマトグラムを示した。一般に、炭素数 25 以上の Fatty acids の供給源は、陸上植物と水生植物である事が知られている (Eglinton and Hamilton, 1963)。プマユムツォ湖の堆積有機物の供給源に関する研究から、PY409PC のこれらの成分の供給源は、水生植物でなく、主に陸上植物を母材とした、土壌有機物である事が明らかにされている (西村ら, 2007; 松中ら, 2007)。

Fig.3 に Fatty acids(C<sub>25~34</sub>)の MAR の年代分布を示した。最下部(10,300 年前)で 200ng/cm<sup>2</sup>/yr と高く、10,000 年前に急速に減少した後、5,500 年前まで低い値(20~30ng/cm<sup>2</sup>/yr)を維持した。その後、現在に向けて増加傾向を示し、約 1,400 年前には、130ng/cm<sup>2</sup>/yr に達した。他の陸起源有機物である Alkanes(C<sub>20~33</sub>)の MAR も同様な変動傾向を示した。特に MAR 値が低い 10,000~5,500 年前を灰色で示し、陸起源有機物の堆積量の変化を支配する、気候・環境要因について考察した。

#### 2) 陸起源有機物の堆積量を定める気候・環境要因

一般に、湖水域が一定であると仮定した場合、陸起源有機物の堆積量を支配する要因は、主に周辺の陸上植物の生産力とそれを湖に運ぶ運搬力である (西村 & 三田村, 1995)。従って、灰色で示した時代における陸起源有機物の MAR の低い値は、陸上植物の生産力が低く、陸水の流入量が少ない環境、つまり乾燥的な環境を反映している可能性が考えられる。

しかしながら、PY104PC の花粉分析結果から、約 10,000 年前にそれ迄の Artemisia(ヨモギ科)を中心としたステップから、より湿潤な環境を示す Cyperaceae(カヤツリグサ科)の高山草原に植生が移行した事、更に、約 10,000~5,500 年前に、現在より湖水域が拡大してい

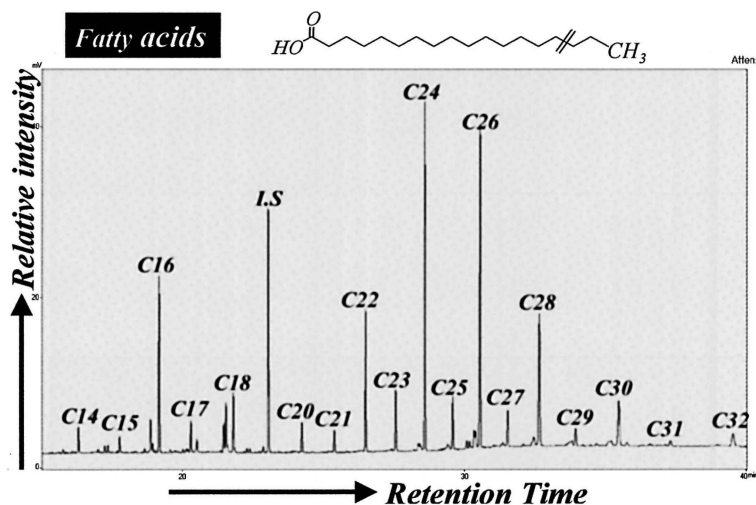


Fig.2 Gas chromatogram of Fatty acid fraction from PY409PC.

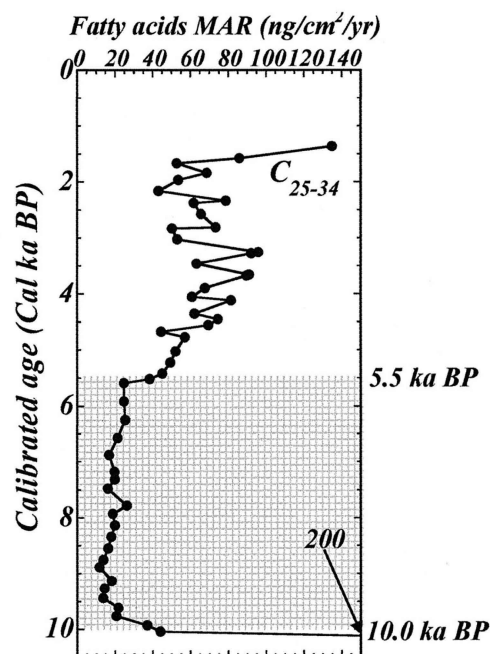


Fig.3 Mass accumulation rate profile of Fatty acid in PY409PC.

た事が示唆されている(守田, 2007)。従って、灰色で示した時代は乾燥的でなく、むしろ極めて湿潤的で、現在より湖水域が拡大していた環境であったと考えられる。

現在より湖水域が拡大した場合、西側の流入河川周辺に発達している広大な湿地帯は水没し、その面積が急速に減少すると考えられる。また、一般に陸起源有機物の堆積量は岸に近いほど多く、湖中央部では少なくなる。これらの2つの要因を基に、湖水域の変化と陸起源有機物の堆積量との関係について述べる。

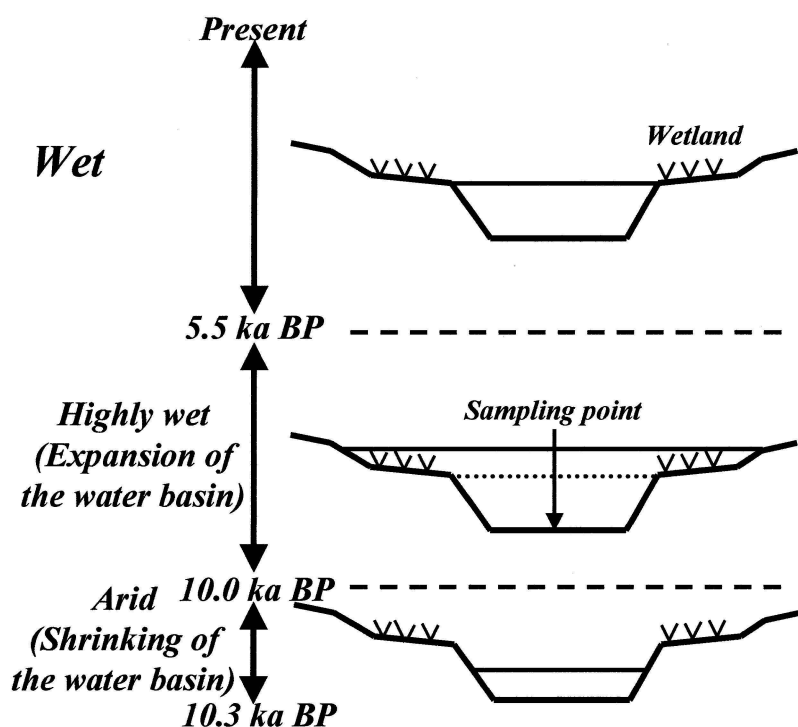


Fig.4 Proposed schematic model of lake level change of Lake Pumayum Co.

した。10,000～5,500年前では、気候が極めて湿潤化し、湖水の蒸発量より陸水の流入量が高くなる事によって、現在よりも湖水域が拡大した。その結果、陸起源有機物の主な供給源の一つである、湿地帯が水没する事と同時に、湖岸から試料採取地点までの距離が遠くなる事によって、試料採取地点に運搬されて堆積する陸起源有機物量が急速に減少したと考えられる。5,500年前から現在にかけて、乾燥化が進み、湖水域が現在の大きさまで徐々に縮小すると共に、湿地帯が復活し、且つ岸からの距離が近くなる事によって、陸起源有機物の堆積量が増加したと考えられる。また、最下部の10,300年前では、最も乾燥化が進み、現在より湖水域が縮小する事によって、湿地帯の面積が広がり、湖岸からの距離がさらに近くなった。その結果、陸起源有機物の堆積量が最も高くなったと考えられる。

この事は、Fig.5に示したSandのMARの年代分布からも矛盾なく説明できる。一般に、湖岸からの距離が近い程、Sandの堆積量は高く、遠くなる程減少する。従って、10,300年前から10,000年前に認められた、SandのMARの急速な減少傾向は、湖水域が縮小していた状態から、急速に拡大した事を示唆していると考えられる。

以上の議論から、プマユムツォ湖における陸起源有機物の堆積量を支配した主な要因は、

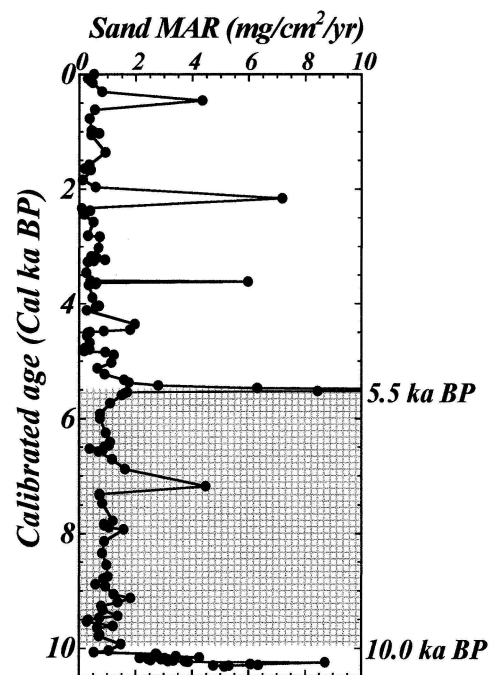


Fig.5 Mass accumulation rate profile of Sand in PY409PC.

Fig.4に各時代において考えられる湖水域の変化を模式的に表

湖水域の変化に伴う、湿地帯の面積と湖岸から試料採取地点までの距離の変化である可能性が示唆された。従って、Fatty acids の MAR は、湖水域の変化の主要因である、陸水の流入量の変化(水循環の活発度)を反映していると考えられる。

### 3)チベット高原南東部における水循環変動史

Fig.6 にプマユムツォ湖柱状堆積物中の Fatty acids MAR の X 軸を反転した図を示した。チベット高原南東部では、10,300 年前において、水循環が弱かったが、10,000 年前から 5,500 年前に極めて活発化し、その後現在にかけて、徐々に弱まる傾向を示し、Climatic optimum(気候最適期)を中心とした水循環の活発化と、その後の弱体化傾向が認められた。

PY104PC の古環境研究から、これらの時代の水循環は、融氷水より降水が中心である事が示唆されている(西村ら, 2007)事から、10,000 年前から 5,500 年前の水循環の活発化は、南西モンスーンの活発化による降水量の増加によって引き起こされたと考えられる。

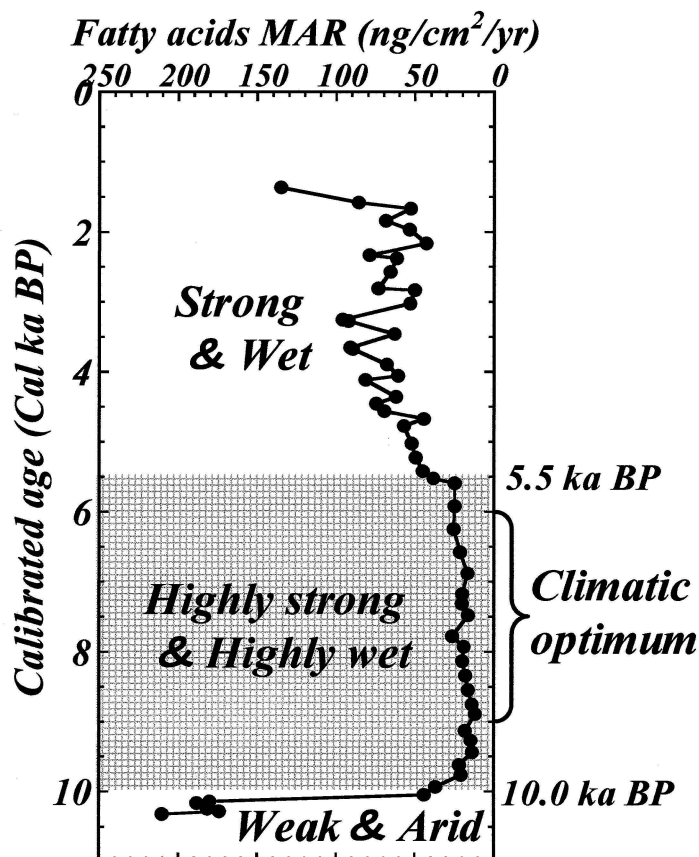


Fig.6 Mass accumulation rate profile of Fatty acid in PY409PC from Lake Pumayum Co.

### 4. 結論

以上の議論から、次の事が結論された。

- ①10,300 年前、チベット高原南東部では水循環が弱く、プマユムツォ湖の湖水域が現在より縮小していた。
- ②10,000 年前から 5,500 年前、水循環が極めて活発化し、湖水域が現在よりも拡大した。
- ③5,500 年前から現在にかけて、徐々に水循環が弱まり、湖水域が現在と同じ大きさまで縮小した。

### 5. 謝辞

ガンマ線密度の測定にあたって、東海大学の楠本成寿准教授と佐柳敬造准教授に、大変お世話になりました。ここに記して感謝致します。

## 引用文献

- Dykoski, D. A., Edwards, R. L., Cheng, H., Yuan, D., Cai, Y., Zhang, M., Lin, Y., Qing, J., An, Z. and Revenaugh, J (2005) : A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China, *Earth and Planetary Science Letters*, 233, 71-86
- Eglinton, G. and Hamilton, J. (1967) : Leaf Epicuticular Waxes The waxy outer surface of most plants display a wide diversity of fine structure and chemical constituents, *Science*, 156, 1322-1335
- Ji, J., Shen, J., Balsam, W., Chen, J., Liu, L. and Liu, X. (2005) : Asian monsoon oscillations in the northeastern Qinghai-Tibet Plateau since the late glacial as interpreted from visible reflectance of Qinghai Lake sediments, *Earth and Planetary Science Letters*, 233, 61-70
- 松中哲也, 西村弥重, 中村俊夫, 渡邊隆広, 寺井久慈, 中野志穂, Liping Zhu (2007) : プマユムツォ湖柱状堆積物に記録された、チベット高原南東部における最終氷期最寒冷期以降の気候・環境変動に関する研究 -Part-II -PY409 コアに記録された年代逆転と古環境変動の考察-, 2004 チベット・プマユムツォ湖学術調査・研究報告書, 159-180
- 守田益宗 (2007) : プマユムツォ湖の花分析, 2004 チベット・プマユムツォ湖学術調査・研究報告書, 73-109
- Murakami, T., Terai, H., Yoshiyama, Y., Tezuka, T., Zhu, L., Matsunaka, T and Nishimura M. (2007) : Secondary investigation of Lake Puma Yum Co located in the Southern Tibetan Plateau, China, *Limnology*, 28, 31-39
- 西村弥重&三田村緒佐武 (1995) : 有機分子が記録する環境変動を読む, *文明と環境* 1, 162-181
- Nishimura, M., Shimokawara, M., Watanabe, T. and Mizuno, K. (2006) : Efficient GC/MS analysis of hydroxyl lipid compounds from geochemical samples using tertiary - butyldimethylsilyl etherification. *Organic Geochemistry*, 37, 1019-1035
- 西村弥重, 松中哲也, 北川浩之, Liping Zhu, 蓮池一哉 (2007) : プマユムツォ湖柱状堆積物に記録された、チベット高原南東部における最終氷期最寒冷期以降の気候・環境変動に関する研究 -Part-I -PY104 コアからの新たな結果を基に-, 2004 チベット・プマユムツォ湖学術調査・研究報告書, 127-158
- Sirocko, F., Garbe-Schonberg, D, McIntyre, and Molfino, B. (1996) : Teleconnection Between the Subtropical Monsoons and High-Latitude Climates During the Last Deglaciation, *Science*, 272, 526-529
- 高田将志& Liping Zhu (2003) : チベット高原プマユムツォ湖周辺における地形と第四紀後期の環境変化, 2001 チベット・プマユムツォ湖学術調査・研究報告書, 75-90
- 寺井久慈, 芳山陽子, 村上哲生, 手塚修文, Liping Zhu, 松中哲也, 西村弥重 (2007) : チベット高原プマユムツォ湖における陸水学的調査, 2004 チベット・プマユムツォ湖学術調査・研究報告書, 13-19
- Thompson, L. G., Yao, T., Davis, M. E., Henderson, K. A., Mosley-Thompson, E., Lin, P. -N., Beer, J., Synal, H. -A., Cole-Dai, J., and Bolzan, J. F. (1997) : Torropical Climate Instability : The Last Glacial Cycle from a Qinghai-Tibetan Ice Core, *Science*, 276, 1821-1825
- 渡邊隆広, 中村俊夫, 西村弥重, 松中哲也, 掛川武, Liping Zhu (2008) : シベリア・チベット地域から採取した湖底柱状堆積物の放射性炭素年代測定-2:PY104, PY409 コア試料(チベット・プマユムツォ湖)の年代決定, (同報告書)
- Wei, K. and Gasse, F. (1999) : Oxigen isotopes in lacustrine carbonates of Weat China revisited : implications for post glacial changes in summer monsoon circulation, *Quaternary Science Reviews*, 18, 1315-1334
- Yuan, D., Chng, H., Edwards, R. L., Dykoski, C. A., Kelly, M. J., Zhang, M., Qing, J., Lin, Y., Wang, Y., Wu, J., Dorale, J. A., An, Z., and Cai, Y. (2004) : Timing, Duration, and Transitions of the Last Interglacial Asian Monsoon, *Science*, 304, 575-578
- Zhu, L., Wang, J., Nishimura, M., Lin, X. and Xie, M. (2007) : Environmental changes reflected by core sediments since last deglacial period in Pumayum Co, southern Tibet, Report on the Sino-Japan Scientific Research Expedition to Lake Pumayum Co on the Tibetan Plateau, 2004, 119-125

## **Climatic and environmental changes on southeastern Tibetan Plateau based on biomarker record in a sediment core from Lake Pumayum Co.**

Tetsuya Matsunaka<sup>1</sup>, Mitsugu Nishimura<sup>1</sup>, Toshio Nakamura<sup>2</sup>, Takahiro Watanabe<sup>3</sup>,  
Hisayoshi Terai<sup>4</sup>, Shiho Nakano<sup>4</sup>, Liping Zhu<sup>5</sup>

1, Graduate School of Science & Engineering, Tokai University  
([nisimura@scc.u-tokai.ac.jp](mailto:nisimura@scc.u-tokai.ac.jp))

2, Center for Chronological Research, Nagoya University

3, Graduate School of Science, Tohoku University

4, Graduate School of Applied Biological Science, Chubu University

5, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Science, China

Since 2001, six sediment cores have been collected from Lake Pumayum Co which is located in the southeastern region of the Tibetan Plateau, in order to reconstruct the paleoenvironment after Last Glacial Maximum (19-21 kyr B.P). In the present study, we aimed at organic-geochemically describing in detail the change of the lake water basin and the controlling factors using PY409 core (ca. 4m in length) which in preserving the paleoenvironmental record with the highest time resolution in the six cores from ca. 11,000 yr B.P to the present.

For the purpose, a special attention was paid for calculating the mass accumulation rate (MAR) of terrigenous organic matter throughout the core. The vertical profile of the MAR, together with other various environment information, suggested the following.

- 1) The water basin of Lake Pumayum Co around 10,300 yr B.P reduced compared to that of present due to the much lower activity of water circulation in the southeastern region of the Tibetan Plateau.
- 2) For ca. 4,500 years from 10,000 yr B.P to 5,500 yr B.P, the water basin rapidly and more widely expanded than the present and kept constant by the wet and warm climate after Younger Dryas.
- 3) After 5,500 yr B.P, the water basin reduced to the dimension equivalent to the present level. This was caused by a decreasing water circulation.