

## 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 - 2 :

### PY104, PY409 コア試料 (チベット・プマユムツォ湖) の年代決定

渡邊隆広<sup>1)</sup>, 中村俊夫<sup>2)</sup>, 西村弥重<sup>3)</sup>, 松中哲也<sup>3)</sup>, 掛川 武<sup>1)</sup>, Liping Zhu<sup>4)</sup>

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

#### [はじめに]

チベット高原 (平均標高 ~4500m) は、中国西部青海省からチベット自治区に位置する広大な高地 (2,500,000km<sup>2</sup>) で、北をクンルン山脈、南をヒマラヤ山脈、西をカラコルム山脈に囲まれる“世界の屋根”であり、アジアモンスーンおよび地球の気候システムを理解するために重要な地域として研究が進められている (Lister et al., 1991; Fontes et al., 1993; Lehmkühl and Haselein, 2000; Morrill et al., 2006; Yanhong et al., 2006)。チベット高原南東部のプマユムツォ (普莫雍錯) は、湖面標高 5070m、表面積 281km<sup>2</sup>、最大水深約 60m の典型的な高山湖沼であり、この規模の湖としては世界で最高の高度に位置する。これまでにチベット高原南東部の連続した古環境変動復元に関する報告例はなく、プマユムツォの湖底堆積物から得られる環境変動に関する情報は非常に貴重である。

チベット高原南東部の環境変動を復元するために、2001 年および 2004 年に湖底から約 4m の柱状堆積物 (PY104PC, PY409PC) が採取され、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 の下部 380-210cm (19-15 cal ka BP に相当する) からは、多量の水生植物の遺体 (1cm 以上の大型残査が多数であり、堆積物中で最大 46 dry wt%) が認められており、現在よりも 40m 以上浅い水深であったことが推察されている。PY104PC の <sup>14</sup>C 年代については、Watanabe et al. (in press) により一部報告されている。PY409PC については水生植物の遺体が存在せず、松中ら (2007) により堆積物中全有機態炭素 (TOC) の <sup>14</sup>C 年代が報告されている。しかしながら、TOC は様々な供給源を持つ有機物の混合体であり、その年代値は湖周辺の物質循環、生物活動の規模等の影響を受けるため実際の年代とは大きく異なるケースが多い。PY409PC の底部 390-340cm 間で 14.2 cal ka BP から 19.5 cal ka BP へ、5000 年以上もの年代逆転が報告されている (松中ら, 2007)。堆積物の年代決定には TOC ではなく、供給源の明確な植物残査や有機分子を単離して <sup>14</sup>C 測定を行う必要がある。本稿ではプマユムツォ堆積物から抽出した植物残査 (陸上植物および水生植物の遺体) の <sup>14</sup>C 年代測定結果について報告する。

#### [試料と分析法]

2001 年 4 月、プマユムツォ湖の水深 46.5m 地点 (28°34'47"N, 90°23'48"E; Fig.1) において、コア長 380cm のピストンコア (PY104PC) が採取された。2004 年 9 月には湖最深部付近 (水

深 62.2m; 28°33'56"N, 90°28'59"E; Fig.1) において、コア長 388cm のピストンコア (PY409PC) が採取された。PY409PC の上部を補完する目的で、コア長 44cm のグラビティコア (PY409G) も同地点において採取された。試料は約 1m ごとに切断・半割後、日本に輸送し、クリーンベンチ内において 1cm 間隔で細分し、-20°C で冷凍保存した。

堆積物中 TOC の  $^{14}\text{C}$  年代測定を行うため、1.2N-HCl による酸処理を行い堆積物中の炭酸塩を除去した(60°C, 3h を 3 回)。PY104PC の下部 380-210cm からは、植物残査 (水生植物の遺体) を採取した。PY104PC の上部、PY409PC および PY409G には、肉眼で確認できる植物残査は存在せず、篩いがけ (wet-sieving, opening; 125 $\mu\text{m}$ ) により陸上植物由来の微細な残査を堆積物中から回収した。堆積物中の植物残査については蒸留水による超音波洗浄後、1.2N-HCl・1.2N-NaOH・1.2N-HCl による AAA 処理を行った。

脱炭酸塩処理後の試料 (TOC) および AAA 処理後の試料 (植物残査) は、CuO、Ag とともに 850°C で燃焼し、真空ラインを用いて  $\text{CO}_2$  ガスを精製した。次に  $\text{CO}_2$  ガスを、Fe を触媒として  $\text{H}_2$  により還元させグラファイトとし、 $^{14}\text{C}$  測定用ターゲットを作製した。 $^{14}\text{C}$  測定は名古屋大学タンデ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  $^{14}\text{C}$  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、TOC および植物残査の安定炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) を測定した。本稿では植物残査の校正年代を堆積層の形成年代として議論を進める。

## [結果と考察]

### 1. PY104PC の $^{14}\text{C}$ 年代測定結果

PY104PC 底部 (深さ 379cm) から採取した植物残査の校正年代は、おおよそ 19-18 cal ka BP であった (Fig.2, Table 1)。堆積速度 (Linear sedimentation rate: LSR) は、コア下層 (深さ 380-211cm) で平均約 43 cm/kyr であり、気候遷移期である 208-181cm (14-11 cal ka BP) を除くコア上層 (181-52cm) で比較的遅く、平均約 27 cm/kyr を示した。深さ方向での大きな年代値逆転は認められず、PY104PC を用いて最終氷期から完新世への気候遷移期を含む環境変動の復元が可能であることが示された。

気候遷移期 (14-11 cal ka BP, Fig.2) における、平均 LSR は上下層と比較して遅く (7 cm/kyr)、2 度の年代逆転層 (300-400 年の逆転) を含んでいる。この層には、Bøllong-Allerød (B/A) 期、

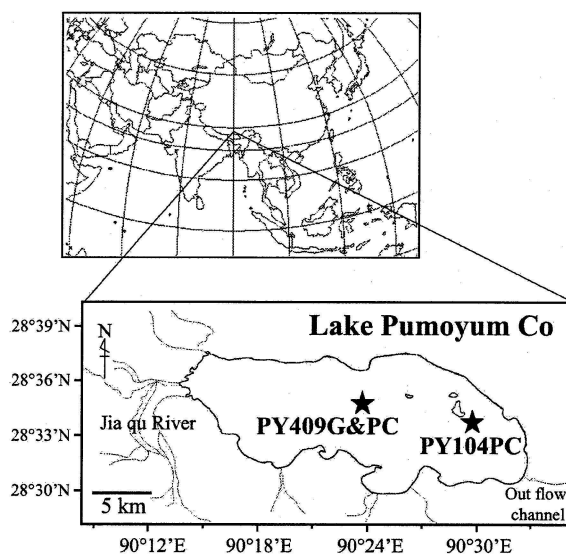


Figure 1. Map showing the location of Lake Pumoyum Co in the southeastern Tibetan plateau, and the coring sites (PY104 and PY409).

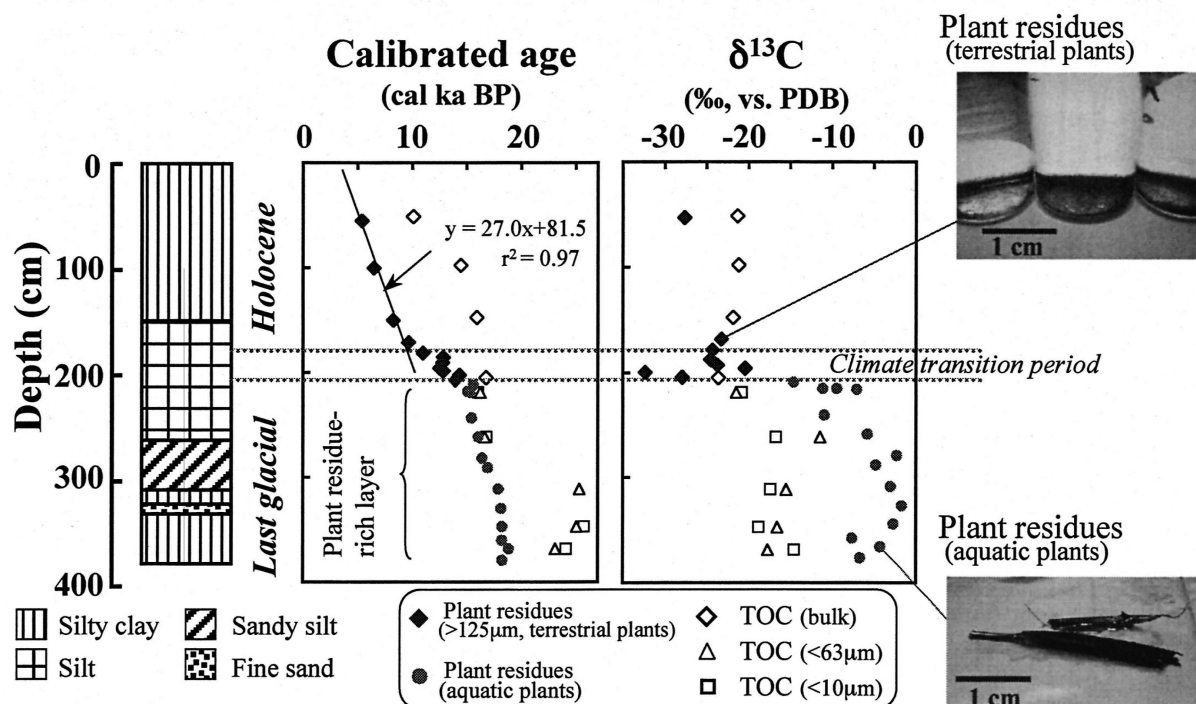


Figure 2. Sediment facies, and depth profiles of calibrated ages for TOC and plant residues in the PY104PC. Stable carbon isotope ratios ( $\delta^{13}\text{C}$ ) are also shown for comparison.

および Younger Dryas (YD) 期における環境変動が記録されていると考えられる。気候遷移期における LSR の大きな変動は、環境変動に起因する可能性が第一に考えられる。他の可能性として、YD 期における大気中放射性炭素濃度 ( $\Delta 14\text{C}$ ) の変動による影響が考えられ (Hughen et al., 1998; 2000)、僅かな有機物循環、生物攪乱の影響により  $^{14}\text{C}$  年代がずれ、校正の結果、見かけ上 LSR が変動していることも考えられる。

コア下層 (深さ 380-211cm) に含まれる植物残査の  $\delta^{13}\text{C}$  は、平均  $-6.6\text{‰}$  であり、上層の値 (平均  $-25.5\text{‰}$ ) と比較して、明瞭に重い値を示した (Fig.2)。この結果は、水生植物が閉鎖的な環境下で溶存無機炭素を濃縮した結果によるものと考えられる。既報の現世におけるアマノコ湖内水生植物の  $\delta^{13}\text{C}$  は、 $-5$  から  $-7\text{‰}$  であり (西村ら, 2007; Watanabe et al., in press)、PY104 下層の植物残査の  $\delta^{13}\text{C}$  とよく一致する。上層の植物残査の  $\delta^{13}\text{C}$  は平均  $-25.5\text{‰}$  であり、現世におけるアマノコ湖周辺の陸上植物の値 ( $-24$  から  $-29\text{‰}$ ) と一致する。水生植物遺体の年代に関しては、リザーバー効果 (Reservoir effect) を考慮しなくてはならない。陸域湖沼環境においては、湖水滞留時間に加え、氷河の融氷水、有機物再生産、周囲の炭酸塩岩の影響を受け、水生植物の年代が実際よりも古い値を示すケースが報告されている (Hall and Henderson, 2001; Moreton et al., 2004; Morrill et al., 2006)。中村ら (未発表) により、現世の湖水および水生植物の  $^{14}\text{C}$  濃度が測定されており、アマノコ湖におけるリザーバー効果の影響はこれまでに認められていない。しかしながら、過去の環境におけるリザーバー効果の評価はされておらず、堆積物中における水生植物遺体の年代値の取扱いに関しては、十分な注意が必要である。

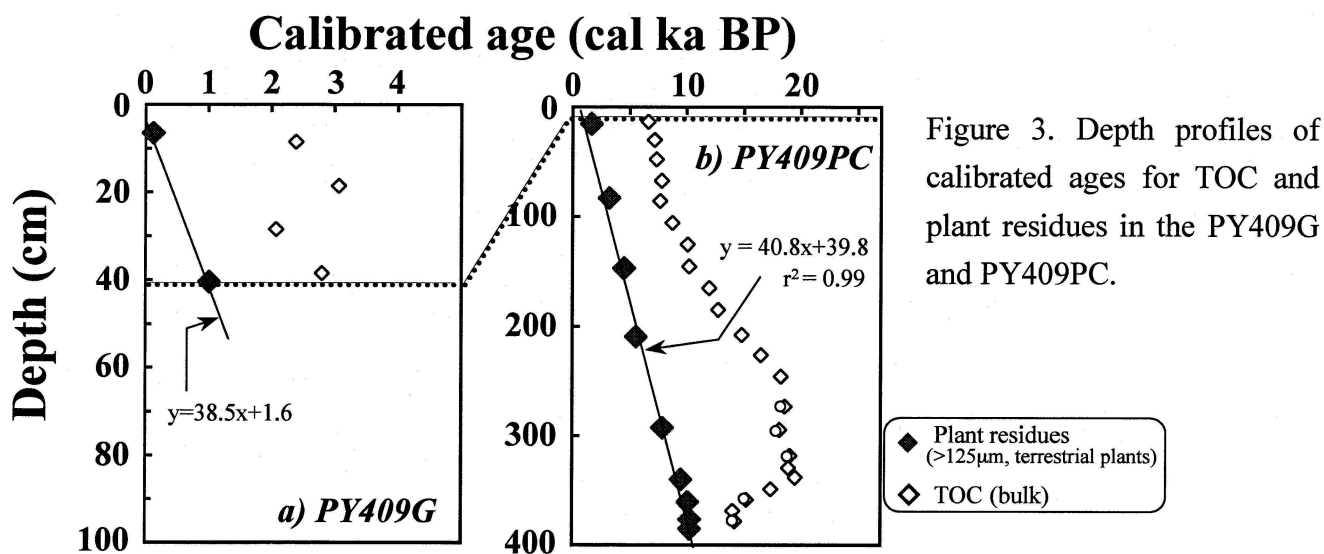


Figure 3. Depth profiles of calibrated ages for TOC and plant residues in the PY409G and PY409PC.

PY104PC における TOC の較正年代は、植物残査の年代に比べ古い値（最大 8000 年の差、Fig.2）を示した。この結果は、湖岸段丘、古土壌など、陸から供給される古い有機物の影響（Old carbon effect）であると考えられる。おおよそ 15 cal ka BP において、TOC と植物残査の年代値の差が 1000 年程度と小さくなっている。これは、堆積物中における植物残査（水生植物）の存在量が多いことから（最大 46 dry wt%、西村ら、2007）、水生植物由来の有機物が堆積物中に TOC として多く存在していることによるものと考えられる。

## 2. PY409G および PY409PC の $^{14}\text{C}$ 年代測定結果

PY409G における植物残査の較正年代は、表層付近（深さ 6.5cm）で 0.1 cal ka BP であり、底部（40.5cm）で 1.0 cal ka BP を示した（Fig.3a, Table 1）。一方、4m コアである PY409PC の上部 15.3cm 層の年代は 1.6 cal ka BP であり、試料採取時に表層部が欠損したと考えられる（Fig.3b）。年代測定の結果、ショートコアである PY409G を用いることにより、欠損した PY409PC 表層部を補完することが可能であることが明確になった。また、PY409PC 底部（385cm）の較正年代は 10.3 cal ka BP であり、LSR は 40.8 cm/kyr を示した。この結果は、前項で記述した PY104PC の 10 cal ka BP 以降の LSR と比較して、約 1.5 倍速い。従って PY409PC を用いることにより、さらに時間解像度の高い環境変動解析が可能であることが明らかになった。

PY409G および PY409PC における TOC の較正年代は、PY104PC と同様に植物残査の年代と比較して古い値を示した（Fig.3b）。植物残査の較正年代で、約 9-6 cal ka BP における年代値の差が最も大きく、最大 10000 年以上古い値を示した。この傾向は PY104PC においても同様に認められる（Fig.2）。9-6 cal ka BP における TOC 濃度は全層準を通して最も低く（4.4-6.4 mg/g dry sed.）、湖内生物起源有機物の湖底への供給量が相対的に少量であったか、その大部分が分解され、その結果、陸起源有機物の割合が大きくなり Old carbon effect の影響が強くなったことが考えられる。また、9-6 cal ka BP は比較的温暖な Hypsithermal 期が含

まれることから (Ran et al., 2006)、環境変動により有機物循環が変化し、その結果 Old carbon effect、reservoir effect の影響が強くなったことも推察されるが、今のところ詳細は不明である。今後、プマユムツォ堆積物を用いた環境変動に関する詳細な解析が必要である。

### [結論]

以上のことから下記4つの結論が得られた。

- (1) プマユムツォ湖の水深46.5m地点から採取した4mコア(PY104PC)の底部年代は19-18 cal ka BPであり、最終氷期最盛期以降の環境変動を記録している。
- (2) 湖最深部付近の水深62.2m地点から採取した4mコア(PY409PC)の底部年代は10.3 cal ka BPであり、PY104PCの上部175cmに相当する。LSRはPY104PCの約1.5倍であり、全層に亘りほぼLSRは一定(40.8 cm/kyr)であった。
- (3) コア長44cmのPY409Gは、PY409PCの欠損した表層部(過去約1000年に相当)を補完する試料として利用可能である。
- (4) TOCの較正年代は、植物残査の年代と比較して最大10000年以上古い値を示した。陸から供給される古い有機物の影響(Old carbon effect)によるものと考えられる。

### [謝辞]

名古屋大学年代測定総合研究センターのスタッフならびに学生の皆様には、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、東北大学21世紀COEプログラム「先端地球科学技術による地球の未来像創出」、および文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B)、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) J.Ch. Fontes et al., *Quat. Sci. Rev.* **12**, 875 (1993).
- 3) F. Lehmkuhl and F. Haselein, *Quat. Int.* **65/66**, 121 (2000).
- 4) C. Morrill et al., *Quat. Res.* **65**, 232 (2006).
- 5) W. Yanhong et al., *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **234**, 328 (2006).
- 8) 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).
- 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).
- 7) T. Watanabe et al., *Verh. Internat. Verein. Limnol.* (in press).
- 10) 松中ら, 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. pp159 (2007).
- 11) P.J.Reimer et al., *Radiocarbon* **46**, 1029 (2004).
- 12) K.A. Hughen et al., *Radiocarbon* **40**, 483 (1998).
- 13) K.A. Hughen et al., *Science* **290**, 1951 (2000).
- 14) B.L. Hall, G.M. Henderson, *Earth Planet. Sci. Lett.* **193**, 565 (1991).
- 15) S.G. Moreton et al., *Radiocarbon* **46**, 621 (2004).
- 16) L. Ran et al., *Mar. Micropaleontol.* **60**, 226 (2006).

Table 1. Calibrated ages for plant residues and total organic carbon (TOC) in the PY104PC, PY409GC and PY409PC sediment cores

Sample No.	Depth (cm)	Calibrated age (cal BP)	Lab. Code (NUTA2-)	Sample No.	Depth (cm)	Calibrated age (cal BP)	Lab. Code (NUTA2-)
<b>PY104PC, Plant residues, P.R.(S), &gt;125<math>\mu</math>m, terrestrial plants</b>				<b>PY104PC, TOC (bulk)</b>			
4-8,7,6	52.4-59.0	5378 $\pm$ 67	11626	4-9	51.3	10077 $\pm$ 130	11365
3E-53,52,51	98.5-102.5	6470 $\pm$ 67	11627	3E-54	97.8	14444 $\pm$ 184	11366
3E-16,15,14	148.4-152.5	8253 $\pm$ 90	12109	3E-17	147.7	15915 $\pm$ 183	11367
2C-98	171.0-172.0	9648 $\pm$ 88	12080	2C-65	204.9	16782 $\pm$ 198	11368
2C-88	181.1-182.1	10982 $\pm$ 155	11628	<b>PY104PC, TOC (grain size &lt;63<math>\mu</math>m)</b>			
2C-84	185.2-186.2	12848 $\pm$ 77	12113	2C-51	219.0	16255 $\pm$ 201	11152
2C-79	190.2-191.2	12751 $\pm$ 50	12081	2C-9	261.4	16647 $\pm$ 200	11372
2C-74	195.3-196.3	12507 $\pm$ 126	12110	1A-58	311.4	25312 $\pm$ 250	11373
2C-71	198.3-199.3	12835 $\pm$ 42	12095	1A-23	347.1	25040 $\pm$ 275	11374
2C-67	202.3-203.3	14335 $\pm$ 239	12112	1A-2	368.5	23107 $\pm$ 251	11154
2C-63,62	206.4-208.4	13943 $\pm$ 126	12118	<b>PY104PC, TOC (grain size &lt;10<math>\mu</math>m)</b>			
<b>PY104PC, Plant residues, P.R.(L), aquatic plants</b>				2C-51	219.0	16041 $\pm$ 198	11151
2C-58(S)	211.4-212.4	15613 $\pm$ 177	12096	2C-9	261.4	16825 $\pm$ 196	11378
2C-52(S)	217.5-218.5	15096 $\pm$ 115	12114	1A-58	311.4	>25000	11373
2C-52	217.5-218.5	15235 $\pm$ 138	12094	1A-23	347.1	25761 $\pm$ 146	11377
2C-51	218.5-219.5	15283 $\pm$ 145	11145	1A-2	368.5	24094 $\pm$ 149	11153
2C-27	242.7-243.7	15441 $\pm$ 167	12097	<b>PY409G, Plant residues, P.R.(S), &gt;125<math>\mu</math>m, terrestrial plants</b>			
2C-9	260.9-261.9	16044 $\pm$ 197	11146	S-6,7,8	6.5	126 $\pm$ 131	12119
1A-87	281.3-282.3	16404 $\pm$ 202	12115	S-40,41,42	40.5	1009 $\pm$ 46	12121
1A-78	290.5-291.5	16924 $\pm$ 207	12098	<b>PY409G, TOC (bulk)</b>			
1A-58	310.9-311.9	17910 $\pm$ 145	11148	S-9	8.5	2394 $\pm$ 58	10736
1A-40	329.2-330.2	18127 $\pm$ 312	12116	S-19	18.5	3069 $\pm$ 74	10737
1A-23	346.6-347.6	18243 $\pm$ 236	11149	S-29	28.5	2075 $\pm$ 61	10739
1A-10	359.8-360.8	18223 $\pm$ 255	12117	S-39	38.5	2807 $\pm$ 38	10740
1A-2	368.0-369.0	18848 $\pm$ 58	11150				
Bt-1	378.4-380.0	18258 $\pm$ 225	12100				

Table 1. (Continued)

Sample No.	Depth (cm)	Calibrated age (cal BP)	Lab. Code (NUTA2-)	Sample No.	Depth (cm)	Calibrated age (cal BP)	Lab. Code (NUTA2-)
<i>PY409PC, Plant residues, P.R.(S), &gt;125<math>\mu</math>m, terrestrial plants</i>				<i>PY409PC, TOC (bulk)</i>			
4M-90,89,88	15.3	1624 $\pm$ 67	12086	PY-R	165.2	11963 $\pm$ 131	10732
4M-17,16,15	82.9	3200 $\pm$ 119	12122	PY-T	185.1	12755 $\pm$ 48	10733
3L-52,51,50	147.4	4494 $\pm$ 74	12087	PY-V	207.8	14835 $\pm$ 146	10734
2K-91,90,89	209.7	5539 $\pm$ 61	12123	PY-X	226.3	16519 $\pm$ 203	10735
2K-6,5,4	292.8	7864 $\pm$ 70	12088	PY-Z	245.9	18248 $\pm$ 228	8910
1J-44,43,42	339.9	9509 $\pm$ 189	12089	PY-AC	273.3	18604 $\pm$ 69	9587
1J-23,22,21	360.5	10101 $\pm$ 143	12090	PY-AE	294.8	18130 $\pm$ 293	9588
1J-7,6,5	376.2	10296 $\pm$ 76	12092	PY-AH	318.3	19024 $\pm$ 67	9589
HC-4,3,2	385.1	10296 $\pm$ 75	12093	PY-AI	329.1	18920 $\pm$ 48	8913
<i>PY409PC, TOC (bulk)</i>				PY-AJ	337.9	19507 $\pm$ 54	9590
PY-B	13.4	6602 $\pm$ 54	10725	PY-AK	348.7	17378 $\pm$ 216	9593
PY-D	30.1	7140 $\pm$ 111	10741	PY-AL	358.5	15257 $\pm$ 134	8872
PY-F	47.7	7333 $\pm$ 75	8908	PY-AM	368.4	14077 $\pm$ 60	8873
PY-H	67.1	7777 $\pm$ 53	10726	PY-AN	378.2	14229 $\pm$ 131	8874
PY-J	85.6	7643 $\pm$ 30	10727	PY-15	273.0	18234 $\pm$ 237	9594
PY-L	105.6	8727 $\pm$ 120	10428	PY-16	295.5	17809 $\pm$ 161	9595
PY-N	125.5	10096 $\pm$ 133	10726	PY-18	318.6	18814 $\pm$ 56	9596
PY-P	145.4	10218 $\pm$ 17	8909	PY-20	357.3	15061 $\pm$ 113	9605
				PY-21	377.4	14052 $\pm$ 71	9606

**Radiocarbon dating of sediment cores from Siberian and Tibetan lakes (2) :  
chronology for the PY104 and PY409 sediment cores from  
Lake Pumoyum Co, southeastern Tibetan plateau**

**Takahiro WATANABE<sup>1)</sup>, Toshio NAKAMURA<sup>2)</sup>, Mitsugu NISHIMURA<sup>3)</sup>,  
Tetsuya MATSUNAKA<sup>3)</sup>, Takeshi KAKEGAWA<sup>1)</sup>, Liping ZHU<sup>4)</sup>**

- 1) Graduate School of Science, Tohoku University, 6-3 Aramaki Aza Aoba, Aoba, Sendai 980-8578 JAPAN. Tel: +81-22-795-5903,6668 / Fax: +81-22-795-6668  
e-mail: watanabe@ganko.tohoku.ac.jp
- 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, Chinese Academy of Science, No.18 Shuangqing Road, Haidian District, Beijing 100085, CHINA.

Paleo-climatic records from the Tibetan Plateau provide important clues for understanding the global climate system and the Asian monsoon variability. Paleo-climatic changes in the central, northern and western Tibet have been documented in previous studies of sediments from several lakes (Fontes et al. 1993, Morrill et al., 2006). However, details of the continuous environmental changes during the late Quaternary period, in the southern part on the plateau are still unknown. Lake Pumoyum Co is located in the southeastern Tibetan plateau. In 2001-2004, continuous sediment cores (PY104 and PY409) were taken from the Pumoyum Co for the reconstruction of climatic changes. In this study, we carried out <sup>14</sup>C dating and stable carbon isotope measurements of plant residues and TOC from the Pumoyum Co sediment, covering the period from the last glacial to the Holocene.

The upper part of the PY104 (180-0 cm depth) was dated as Holocene, using the <sup>14</sup>C measurement of the plant residues (after ca. 10 cal ka BP). In this study, the <sup>14</sup>C dating of the plant residues revealed that the PY104 contained a record from the end of the last glacial period to the present, over the past 18.9 cal ka BP. The calibrated ages for the plant residues of the PY104 became progressively older, with their depths ranging from 51 to 369 cm. The calibrated ages of the plant residues in the sediments were found to be younger than those of the TOC by ca. 600-7800 yr. This result could have been caused by the relatively large supply of terrestrial organic materials containing old carbon ("old carbon effects" from lake terrace, paleosol and/or stratum with dead <sup>14</sup>C).