

## ロシア・バイカル湖から採取された湖底柱状堆積物 (Ver98-1 St.5 Core) の放射性炭素年代測定

渡邊隆広<sup>1)</sup>, 中村俊夫<sup>1)</sup>, 仙田量子<sup>2)</sup>, 西村弥重<sup>3)</sup>, 河合崇欣<sup>4)</sup>

1) 名古屋大学年代測定総合研究センター, 2) 名古屋大学大学院理学研究科, 3) 東海大学海洋学部, 4) 名古屋大学大学院環境学研究科

ロシア・バイカル湖の北湖盆・中央湖盆間に位置するアカデミシャンリッジから約 10m の湖底柱状堆積物 (Ver98-1, St5) が採取された。Ver98-1, St5 Pilot Core 試料の平均堆積速度は 4.7 cm/kyr であった。堆積速度は一定ではなく、特に約 13 kyrBP において極めて速い堆積速度 (最大 9 mm/10yr) を示した。堆積速度の増大を引き起こした要因として、最終氷期から完新世への気候の温暖・湿潤化により降水量が増加し、その結果、湖内へ供給される粒子の量が増大した可能性が考えられる。また、今回報告する結果は堆積物中の全有機炭素の放射性炭素年代値である。従って、気候・環境変動により、古い炭素を含む陸起源有機物の湖内への供給量が変化し、 $^{14}\text{C}$  年代値に影響を与えていることも考えられる。

### [はじめに]

1990 年代以降、国際共同研究として BICER 研究グループによるロシア・バイカル湖の湖底柱状堆積物の採取が開始され、過去 1500 万年間のユーラシア大陸内部における環境変動・生物活動の解析を目的とした様々な研究が進められている (Kashiwaya et al., 2001; BDP-99 Baikal Drilling Project members, 2005)。同時に、数千年から数十万年間程度の環境変動を、より高い時間解像度で復元する研究も進められている (Watanabe et al., 2003a)。堆積物を用いた環境変動解析を行うにあたり、加速器質量分析法(AMS)による放射性炭素年代測定は必要不可欠である。今回は、1998 年にロシア・バイカル湖から採取された長さ約 10m の柱状堆積物試料(Ver98-1St5)の放射性炭素年代測定結果を報告する。

Watanabe et al. (2003a, 2003b, 2004, 2005)により、Ver98-1St5 柱状堆積物試料を用いたシベリア地域における、過去約 25 万年間の生物活動・環境変動に関する研究が報告されている。特に重要な研究成果として、バイカル湖堆積物中の硫黄含有量、黄

鉄・硫黄の安定同位体比測定を行い、寒冷期から温暖期への移行期において湖水循環が停滞し、湖内において硫酸還元細菌活動が活発化（貧酸素環境の発達）していた可能性を示した。さらに、細菌・古細菌起源有機分子の安定炭素同位体比を測定し、気候変動にตอบสนองして、湖内においてメタン生成が活発化していたことを示唆した（Watanabe et al. 2003b）。しかしながら、これらの報告において用いられた放射性炭素年代は4点のみであり（Watanabe et al. 2005）、比較的短期間（100-1000 年スケール）での気候変動と湖内環境変動・生物活動との関連について十分な議論を行うためには、さらに時間解像度を高くする必要がある。

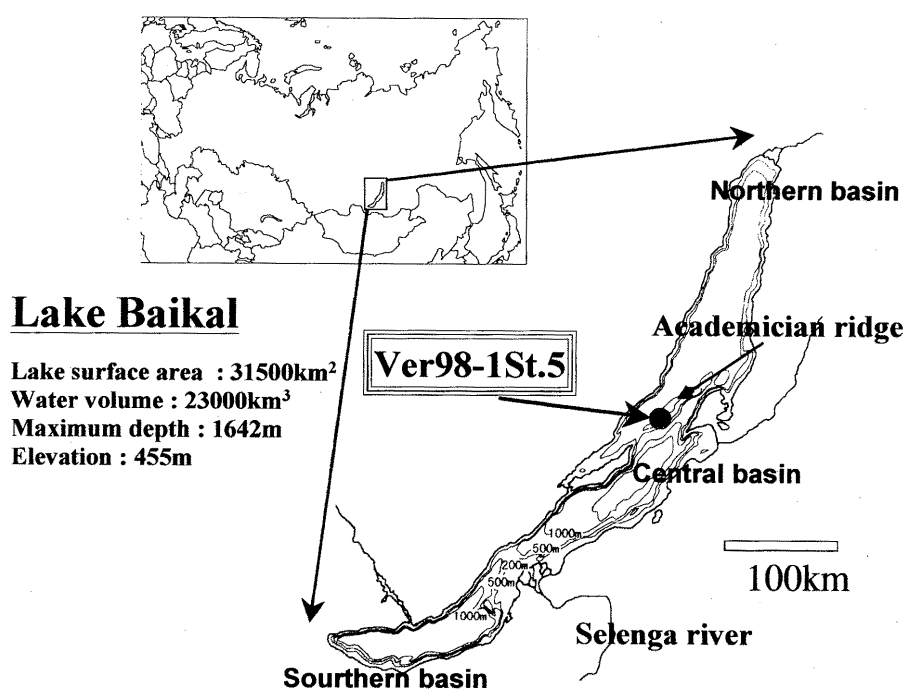


Figure 1. Map showing the location of Lake Baikal and coring site (Ver98-1 St.5) in the lakes.

#### [試料と分析法]

1998 年 8 月、バイカル湖の北湖盆と中央湖盆の境に位置するアカデミシャンリッジ（53°44'33"N, 108°24'35"W; 水深 325m）において約 10m および約 2m の柱状堆積物試料が採取された（Figure 1, Ver98-1 St.5 Piston Core および Pilot Core、酸素同位体ステージ；OIS1～8、約 25 万年間に相当、Watanabe et al., 2003a）。Ver98-1 St.5 試料は採取後、約 1m ごとに切断され、日本に輸入後半割し、クリーンベンチ内において

1cm 間隔で細分した。試料は凍結乾燥後粉碎し、 $-20^{\circ}\text{C}$  で冷凍保存した。既に報告されている 4 点の  $^{14}\text{C}$  年代値、堆積物密度、および全有機炭素濃度等の情報から、最終氷期以降の堆積物と考えられる表層 160cm の試料を研究に用いた。このうち 32 試料について、堆積物中の全有機炭素の放射性炭素年代測定を行った (Ver98-1 St.5 Piston Core、19 点、および Ver98-1 St.5 Pilot Core、13 点)。まず、1.2M-HCl を用いて脱炭酸塩処理を行った ( $60^{\circ}\text{C}$ , 3h)。脱炭酸塩処理後の試料は、酸化銅とともに  $850^{\circ}\text{C}$  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、鉄を触媒として水素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成した。 $^{14}\text{C}$  測定は名古屋大学タンデトロロン加速器質量分析計 (HVEE 社製, Model-4130 AMS) を用いて行われた。

### [結果と考察]

Ver98-1 St.5 Pilot core (Depth, 18-160cm) の放射性炭素年代を Table1 および Figure2 に示す。深さ 18-19cm で約 4.8 kyrBP、深さ 159-160cm で約 27.8 kyrBP であった。深度 82-85cm で深さ方向に対する年代値の逆転が認められた。Pilot core は深度 85cm で堆積物試料を 2 つに切断し、上部 1m を Section PA、下部 1m を Section PB としている。従って、年代値の逆転が認められた位置は、Pilot core 試料の Section A と Section B の境であり、コア切断時もしくは保管時に Section PA の底部が攪乱されてしまったか、もしくは外部から汚染をうけたことが考えられる。深度 82-85cm では全有機炭素濃度も高く (15 mg/g dry sed.)、上下の層と比較して極端に異なり、連続的な試料として不適当であると考えられることから、今回の報告では除外して考察を行う。

Pilot core の平均堆積速度は深さ 19-81cm (5-18 kyrBP) で 4.7 cm/kyr であった。また、温暖期 (10 kyrBP 以降) の平均堆積速度は 5.7 cm/kyr、寒冷期 (12-18 kyrBP) で 3.9 cm/kyr であり、寒冷期の方が比較的遅い平均堆積速度を示した。18-28 kyrBP の堆積速度は 8.1 cm/kyr であり比較的速い値を示したが、深さ 80-160cm 間の年代値が充分数得られていないので今回は参考値程度に報告する。今後、80-160cm 間の試料について年代測定を行う予定である。

アカデミシャンリッジにおいて採取された他の試料では 4-9 cm/kyr の平均堆積速度が報告されており (Horiuchi et al., 2000; 中村ら, 2003)、今回測定した結果と一致している。セレンガ沖 (ブグルジェイカ鞍部) では最大流入河川であるセレンガ川の影響を強く受け、平均 18 cm/kyr の比較的速い堆積速度 (2-25 kyrBP) が報告されている (Watanabe et al., submitted)。

Table 1.  $^{14}\text{C}$  ages for total organic materials in the Ver98-1 St.5 Pilot core

Sample No.	Depth (cm)	$^{14}\text{C}$ age (year BP)	Lab. code
PA-19	18-19	4796 $\pm$ 34	NUTA2-6895
PA-31	30-31	7311 $\pm$ 35	NUTA2-5719
PA-49	48-49	10100 $\pm$ 48	NUTA2-6896
PA-57	56-57	11772 $\pm$ 40	NUTA2-7721
PA-59	58-59	12152 $\pm$ 47	NUTA2-5720
PA-61	60-61	12869 $\pm$ 40	NUTA2-7722
PA-63	62-63	12718 $\pm$ 38	NUTA2-7723
PA-67	66-67	12930 $\pm$ 48	NUTA2-6899
PA-74	73-74	13009 $\pm$ 49	NUTA2-5721
PA-81	80-81	17980 $\pm$ 51	NUTA2-7724
PA-83	82-83	9555 $\pm$ 41	NUTA2-6900
PA-85	84-85	8613 $\pm$ 33	NUTA2-7725
PB-75	159-160	27838 $\pm$ 121	NUTA2-5724

Pilot core の深さ 60-74cm ( $\sim 13$  kyrBP) で極めて速い堆積速度 (最大 9mm/10yr) が認められた。この間では年代値の逆転もあり、おおよそ  $\pm 150$  年の年代幅をもつ堆積層がこの 14cm 間に存在しているといえる。速い堆積速度を示す層の直下 (深さ 73-81cm) では逆に堆積速度は遅い値 (1.4 cm/kyr) であった。堆積速度が増加する時期はおおよそ 13 kyrBP であり、寒冷な気候から温暖な気候へと遷移する期間に相当する。Ver98-1 St.5 Pilot core 試料における全有機炭素濃度も、13-10kyrBP 間でおおよそ 5 から 20 mg/g dry sed.まで 4 倍の増加を示しており、湖周囲および湖内における生物生産量が急激に増大するとともに、有機物および栄養塩を湖内へ運搬する原動力となる降水量の増大があったことが示唆される。従って、約 13 kyrBP における堆積速度の急激な増大を引き起こした要因として、気候の温暖化により湖内へ供給される粒子の量が増加した可能性が考えられる。

Table2 および Figure3 に Ver98-1 St.5 Piston core (Depth, 2-49cm) の  $^{14}\text{C}$  年代を示す。Piston core の表層 2-3cm における  $^{14}\text{C}$  年代値は約 4 kyrBP と古く、2-49cm における平均堆積速度は 2.2 cm/kyr であり、Pilot core や報告されている堆積速度 (6.7-8.3 cm/kyr、中村ら、2003) と比較して遅い値を示した。Piston core は 10m コアであり、

Table 2.  $^{14}\text{C}$  ages for total organic materials in the Ver98-1 St.5 Piston core

Sample No.	Depth (cm)	$^{14}\text{C}$ age (year BP)	Lab. code
1B-3	2-3	3877 $\pm$ 30	NUTA2-5722
1B-10	9-10	4853 $\pm$ 34	NUTA2-6903
1B-20	19-20	8095 $\pm$ 57	NUTA2-6906
1B-22	21-22	9130 $\pm$ 29	NUTA2-8448
1B-26	25-26	11362 $\pm$ 33	NUTA2-8450
1B-28	27-28	12097 $\pm$ 43	NUTA2-9576
1B-29	28-29	13413 $\pm$ 46	NUTA2-9577
1B-30	29-30	13765 $\pm$ 47	NUTA2-9578
1B-31	30-31	13920 $\pm$ 47	NUTA2-9579
1B-32	31-32	14141 $\pm$ 47	NUTA2-9580
1B-33	32-33	15002 $\pm$ 50	NUTA2-9581
1B-34	33-34	17471 $\pm$ 56	NUTA2-9583
1B-35	34-35	18772 $\pm$ 62	NUTA2-9584
1B-36	35-36	19511 $\pm$ 53	NUTA2-8451
1B-40	39-40	20720 $\pm$ 58	NUTA2-8452
1B-41	40-41	19259 $\pm$ 79	NUTA2-7950
1B-45	44-45	22668 $\pm$ 92	NUTA2-7951
1B-47	46-47	23146 $\pm$ 91	NUTA2-5723
1B-49	48-49	23063 $\pm$ 95	NUTA2-7952

コア採取時に表層の一部が欠損してしまったことが考えられる。比較的遅い堆積速度を示した要因として、Ver98-1 St.5 Piston core 試料はコア採取時に上下に圧縮されてしまった可能性が強い。堆積速度に関する議論については Pilot core を用いて行うべきである。しかしながら、堆積速度の変化は Pilot core と Piston core とにおいて同様の傾向を示している。15-14 kyrBP において堆積速度が 0.4 cm/kyr まで減少し、その後 14-13 kyrBP 間において増加傾向（最大 6.5 cm/kyr）を示した。

気候環境の変遷期間（14-13 kyrBP）において、堆積速度が変動する要因として、バイカル湖の湖底に供給される有機物の構成成分が変化した可能性も考えられる。例えば、降水量の増加により陸から古い炭素を持った有機物が供給される割合が

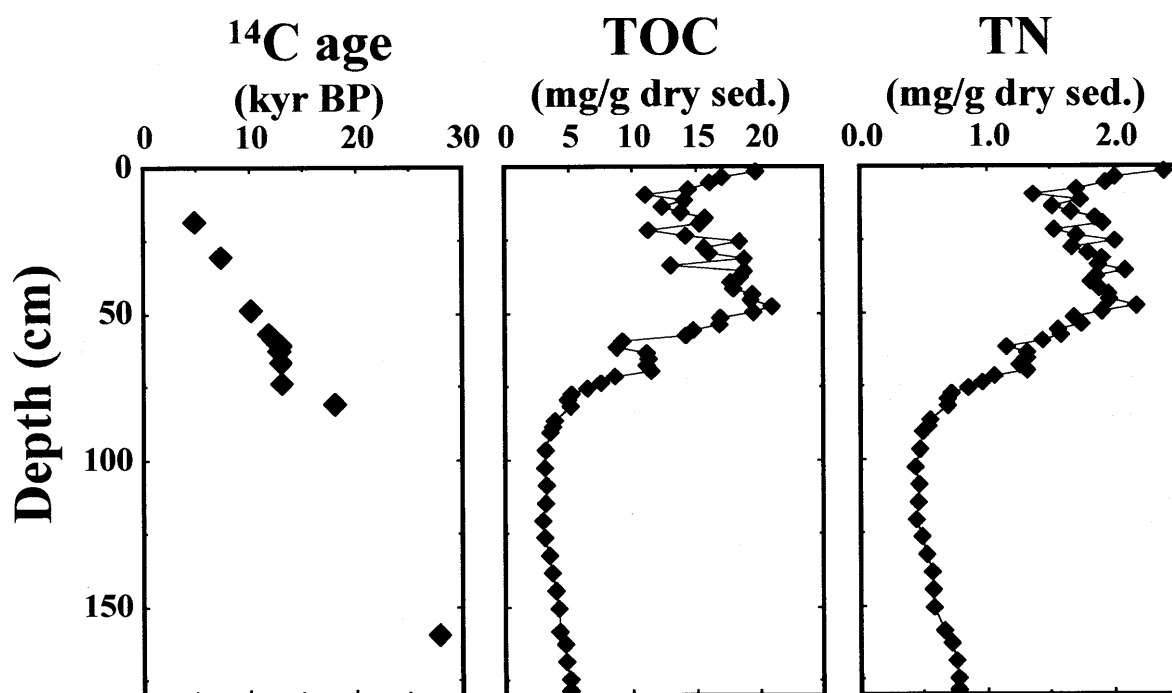


Figure 2. Down core variations for  $^{14}\text{C}$  ages of TOC, total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) in the Ver98-1 St.5 Pilot core from Academician ridge, Lake Baikal.

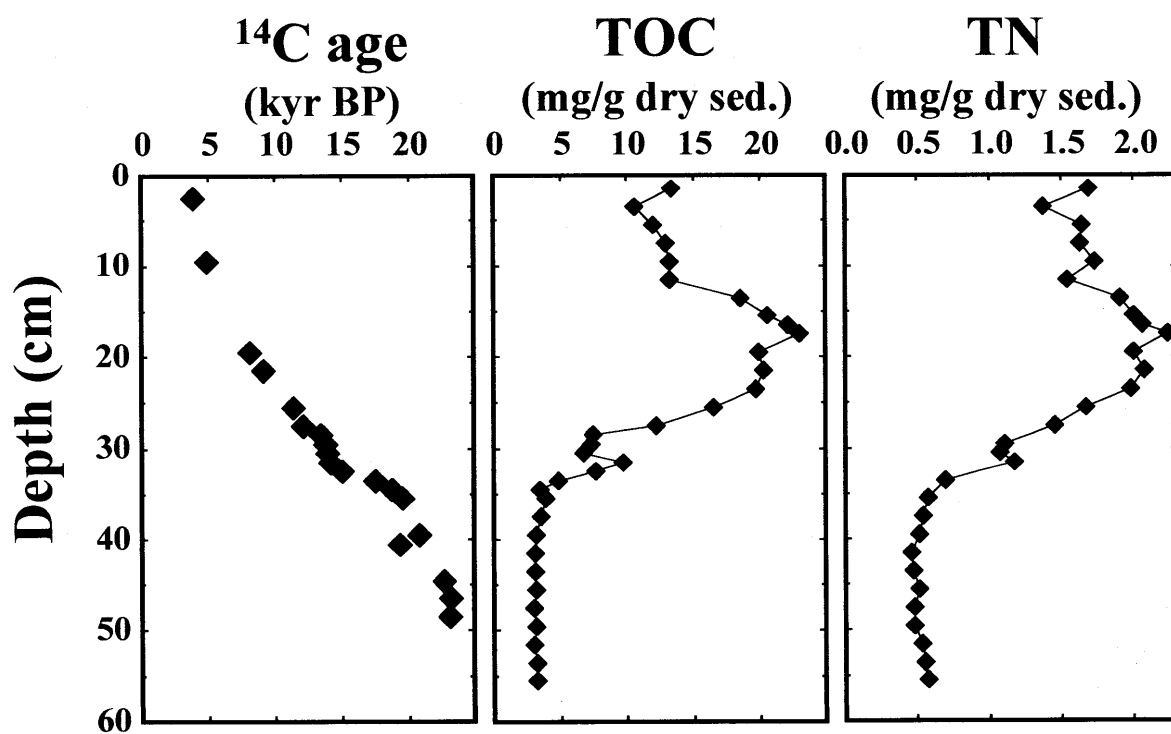


Figure 3. Down core variations for  $^{14}\text{C}$  ages of TOC, total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) in the Ver98-1 St.5 Piston core from Academician ridge, Lake Baikal.

増加したことが推察される。今後の課題として、特に環境変動解析に関する研究で多く報告されている Younger Dryas 期 (10-11 kyrBP) 等との関連を議論するために、高時間解像度での測定と、堆積物中の有機物の供給源、続生作用による変質・分解 (時間とともに脂質等の分解されにくい成分の割合が高くなる)、および湖における リザーバー効果等を把握する必要がある。

[引用文献]

- 1) K. Kashiwaya, S. Ochiai, H. Sakai and T. Kawai, Orbit-related long-term climate cycles revealed in a 12-Myr continental record from Lake Baikal. *Nature* **410** 71-73, 2001.
- 2) BDP-99 Baikal Drilling Project members, A new Quaternary record of regional tectonic, sedimentation and paleoclimate changes from drill core BDP-99 at Posolskaya Bank, Lake Baikal. *Quat. Int.* **136**, 105-121, 2005.
- 3) T. Watanabe, H. Naraoka, M. Nishimura, M. Kinoshita, T. Kawai, Glacial-interglacial changes in organic carbon, nitrogen and sulfur accumulation in Lake Baikal sediment over the past 250 kyr. *Geochem. J.* **37**, 493-502, 2003.
- 4) T. Watanabe, H. Naraoka, M. Nishimura, T. Kawai, Bacterial activity in Lake Baikal during Late Quaternary as revealed by carbon isotope composition of biomarkers. *Geochim. Cosmochim. Acta* **61**, pp A527, 2003.
- 5) T. Watanabe, H. Naraoka, M. Nishimura and T. Kawai, Biological and environmental changes in Lake Baikal during the late Quaternary inferred from carbon, nitrogen and sulfur isotopes. *Earth Planet. Sci. Lett.* **222** 285-299, 2004.
- 6) T. Watanabe, A. Tanaka, F. Nara, T. Nakamura, R. Senda, M. Nishimura, T. Kawai, Paleoproductivity changes in Lake Baikal over the past 250000 years. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **29**, 903-906, 2005.
- 7) K. Horiuchi, K. Minoura, K. Hoshino, T. Oda, T. Nakamura, T. kawai, Paleoenvironmental history of Lake Baikal during the last 23000 years. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **157**, 95-108.
- 8) 中村俊夫、尾田武文、田中敦、堀内一穂、バイカル湖およびフブスグル湖の湖底堆積物の AMS による高精度  $^{14}\text{C}$  年代測定、月刊地球号外 バイカル湖から長期環境変動を探る、pp. 20-31、2003.
- 9) T. Watanabe, T. Nakamura, T. Kawai, Radiocarbon dating of sediments from large continental lakes (Lakes Baikal, Hovsgol and Erhel). *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B*, Submitted.

## **$^{14}\text{C}$ dating for the Ver98-1St.5 sediment core from Lake Baikal, Russia**

**Takahiro WATANABE<sup>1)</sup>, Toshio NAKAMURA<sup>1)</sup>, Ryoko SENDA<sup>2)</sup>,**

**Mitsugu NISHIMURA<sup>3)</sup>, Takayoshi KAWAI<sup>4)</sup>**

- 1) Center for Chronological Research, Nagoya University. Furo-cho, Chikusa, Nagoya 464-8602 JAPAN. Tel: +81-52-789-2579,3082 / Fax: +81-52-789-3092  
e-mail: t-wata@nendai.nagoya-u.ac.jp, nakamura@nendai.nagoya-u.ac.jp
- 2) Graduate School of Science, Nagoya University. Furo-cho, Chikusa, Nagoya 464-8602 JAPAN.
- 3) School of Marine Sciences and Technology, Tokai University, 3-20-1 Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8610, JAPAN.
- 4) Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University. Furo-cho, Chikusa, Nagoya 464-8602 JAPAN.

Lake Baikal (Russia) is ancient large freshwater lake in east Eurasia. The sediment core samples were collected from Academician ridge in Lake Baikal (VER98-1 St. 5 piston core and pilot core, 53°44'33"N, 108°24'35"W; water depth, 325m). Radiocarbon dating was performed for total organic materials in the upper part of the VER 98-1 St.5 piston and pilot cores (from 3 to 49 cm and from 19 to 160 cm in depth, respectively) by an accelerator mass spectrometer at the Center for Chronological Research, Nagoya University. In this study, radiocarbon dating reveals that the VER 98-1 St.5 sediment cores contain a record from last glacial period to present, over the past 28 kyrBP. The linear sedimentation rate is estimated to be 2.3 cm/kyr for the VER 98-1 St.5 piston core from Lake Baikal, based on the conventional  $^{14}\text{C}$  ages. A high sedimentation rate (9 mm/10yr) is observed at ca. 13-14 kyrBP. This result could be caused by climate humidification with warming.