

バイカル湖堆積物コア BSS06-G2 の  $^{14}\text{C}$  年代決定  
-全岩化学組成変動パターンの解明に向けて-  
**AMS  $^{14}\text{C}$  dating of sediment core BSS06-G2 from Lake Baikal, Russia:  
Toward decoding the variation of bulk-chemical composition**

村上拓馬<sup>1\*</sup>・勝田長貴<sup>2</sup>・高野雅夫<sup>1</sup>・山本鋼志<sup>1</sup>・渡邊隆広<sup>3</sup>・中村俊夫<sup>4</sup>・河合崇欣<sup>5</sup>  
Takuma MURAKAMI<sup>1\*</sup>, Nagayoshi KATSUTA<sup>2</sup>, Masao TAKANO<sup>1</sup>, Koshi YAMAMOTO<sup>1</sup>, Takahiro  
WATANABE<sup>3</sup>, Toshio NAKAMURA<sup>4</sup>, Takayoshi KAWAI<sup>6</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究科・<sup>2</sup>岐阜大学教育学部・<sup>3</sup>東北大学大学院理学研究科

<sup>4</sup>名古屋大学年代測定総合研究センター・<sup>5</sup>(社)国際環境研究協会

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Fro-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan

<sup>2</sup>Faculty of Education, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193, Japan

<sup>3</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, Aramaki-aza-aoba, Sendai 980-8952, Japan

<sup>4</sup>Center for Chronological Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8602, Japan

<sup>5</sup>Association of International Research Initiatives for Environmental Studies, 3-1-13 Shibaken, Minato-ku, Tokyo 105-0011, Japan

\*Correspondence to: Takuma MURAKAMI; E-mail: takuma@nagoya-u.jp

*Keywords: Lake Baikal sediment; Uranium; Biogenic Silicate (Bio-Si); Holocene; Bond event 0-3*

### Abstract

Lake Baikal is one of the largest lakes in the world and located in the eastern Eurasia. The sediment has recorded various informations of paleoenvironmental changes in Eurasian continent. We measured AMS  $^{14}\text{C}$  dating of a BSS06-G2 (39.0 cm length) sediment core samples in Buguldeika Saddle of Lake Baikal. As a result, we found that variations of chemical abundances in BSS06-G2 core correlated with that of ice-rafted debris content in deep-sea sediments of the North Atlantic.

### 要旨

ロシア・バイカル湖はユーラシア大陸東部に位置する世界最大の淡水湖であり、その湖底堆積物には大陸内部で生じた環境変動の歴史が詳細に記録されている。今回、バイカル湖南部・ブグルジェイカ鞍部で採取されたグラビティコア（BSS06-G2、全長：39 cm）について、名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計により  $^{14}\text{C}$  年代測定した結果、BSS06-G2 コアの全岩化学組成含有量と北大西洋の深海堆積物中の漂流岩屑（Ice-Rafted Debris）含有量との間に、明瞭な変動パターンの対比が認められた。

## 1. コア試料

BSS06-G2 コア試料は、バイカル湖南部の水深 360 m の湖底 (52° 27' 21.7" N, 106° 07' 46.1" E) で採取されたものである (図 1)。この場所は、バイカル湖の中央湖盆と南湖盆との境界のブグルジェイカ鞍部にあたり、この対岸にはセレンガ川によって形成された三角州が発達する。セレンガ川はバイカル湖の最大流入河川であり、その流域面積はバイカル集水域全体 (540,000 km<sup>2</sup>) の約 83% を占める。よって、広大な後背地からの様々な破砕物がセレンガ川を通じてバイカル湖に供給される。一方、ブグルジェイカ鞍部とセレンガ三角州の間にはバイカル裂谷が走っている。このためセレンガ三角州で生じた乱泥流やセレンガ川から供給される破砕物が直接ブグルジェイカ鞍部に到達することはほとんどなく、ブグルジェイカ鞍部には、遠洋性の細粒物質から連続的に供給される。

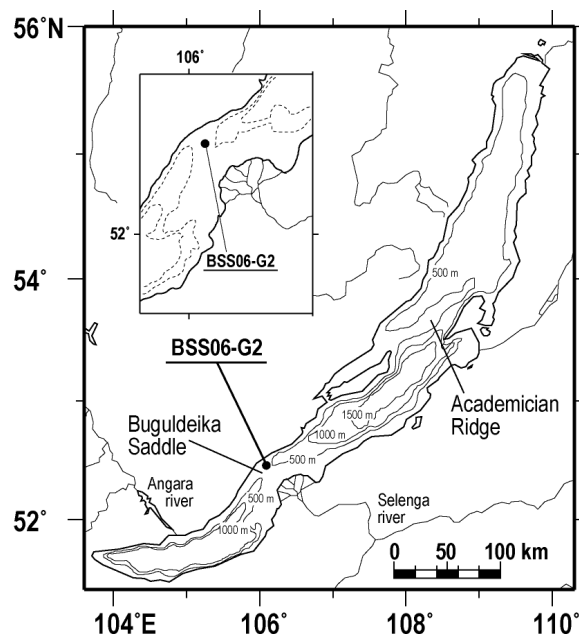


図 1 バイカル湖の等深図と試料採取地点  
Fig. 1 Bathymetric map of Lake Baikal and a sampling point of BSS06-G2 core.

## 2. 分析方法

### 2. 1 <sup>14</sup>C 年代

<sup>14</sup>C 年代測定は、名古屋大学年代測定総合センターの HVEE 社製 Model-4130 AMS タンデトロン加速器質量分析計を用いて行われた。BSS06-G2 コアには、植物片など直接に形成年代を求めることが可能な物質が含まれていなかったため、軟泥中の全有機物炭素の放射性炭素年代測定を行った。本研究では 1 cm 間隔で取り分けたコア試料のうちの 5 試料 (表 1) について分析した。分析試料の作成は次の手順に従って行われた。まず試料中の炭酸塩を 1.2M の塩酸により完全に除去する。その後、試料中の塩酸を蒸留水により洗浄し、約 60 ㎡ の乾燥器に 48 時間放置し試料を乾燥させる。次に、試料中の有機物を完全に酸化させるために、得られた乾燥試料を酸化銅 (CuO) と共に石英管に封入し、電気炉により 850°C 6 時間加熱する。その結果生じた CO<sub>2</sub> ガスから H<sub>2</sub>O や NO<sub>x</sub> を除去するために、発生ガスを真空ラインで精製する。最後に、CO<sub>2</sub> ガスを Fe 触媒と水素ガスと共に 650°C 6 時間加熱し還元化することで、<sup>14</sup>C 測定用試料のグライフアイトを作成する。

測定結果の BSS06-G2 コア堆積物の <sup>14</sup>C 年代値は、CALIB5.0.1 (Stuiver et al. 1998) と IntCal04 (Reimer et al. 2004) により、暦年代値に変換された。ブグルジェイカ鞍部の最表層の有機物は、集水域から供給された古い年代の有機物成分を多量に含むため、最表層の年代値は <sup>14</sup>C 年代で 1000 年以上の値を示すことが知られている (Colman et al. 1996)。そこで本研究では、予め元の年代値から最表層の年代値を差し引いた後、それぞれの値を暦年代に校正した。

表 1 に BSS06-G2 コア堆積物の <sup>14</sup>C 年代測定結果を示す。今回の測定により、コア試料 BSS06-G2 は、過去 5,118 cal kyr (calibrated thousand year)、<sup>14</sup>C 年代値で過去 5,934 年間の堆積記録を保持していることが明らかとなった。また、堆積速度は、49 年～1,448 年にかけて 7.0 cm/kyr、1,448 年

~2,211 年にかけて 13.8 cm/kyr、2,211 年~2,902 年にかけて 14.5 cm/kyr、2,902 年~5,118 年にかけて 4.0 cm/kyr であり、1,448 年~2,902 年にかけて一時的に堆積速度が増したことが明らかとなった。本研究では、これらの堆積速度を用いて、コア試料 BSS06-G2 の深度を時間に変換した (図 2)。

表 1 BSS06-G2 コア試料の年代

Table 1 Ages of BSS06-G2 core sediments.

Core depth (cm)	Analytical $^{14}\text{C}$ age (yr BP)	Corrected $^{14}\text{C}$ age (yr BP)	Calibrated age (yr BP)
0.0	1,418 ± 36	0 ± 36	49 ± 8
10.0	2,960 ± 31	1,542 ± 31	1,448 ± 27
20.0	3,654 ± 33	2,236 ± 33	2,211 ± 33
30.0	4,214 ± 40	2,796 ± 40	2,902 ± 48
39.0	5,934 ± 36	4,516 ± 36	5,118 ± 34

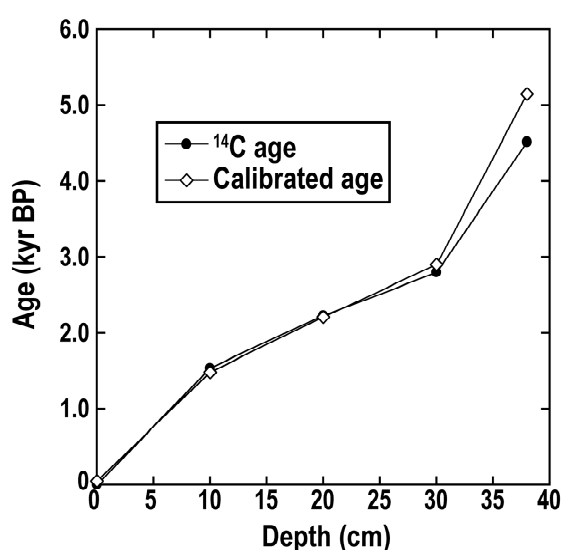


図2 BSS06-G2 コア試料のコア深度と年代。●は  $^{14}\text{C}$  年代値を、◇は暦年代値を示す。

Fig. 2 Plot of age against core depth, based on 5 AMS  $^{14}\text{C}$  dates for TOC in the BSS06-G2 sediment core. The  $^{14}\text{C}$  dates were calibrated with CALIB 5.0.1 (Stuiver et al., 1998) and IntCal04 (Reimer et al., 2004). Filled and blank dots indicate  $^{14}\text{C}$  dates and corresponding calibrated dates, respectively.

## 2. 2 化学組成分析

BSS06-G2 コアの全岩ウラン濃度は次の手順に従って決定された：堆積物試料を3種類 ( $\text{HNO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  と  $\text{HF}$ ) の強酸性溶液に混合する。マイクロウェーブ装置で混合を完全に分解する。作成した溶出液を Yokogawa Analytical Systems 製の HP4500 誘導結合プラズマ質量分析装置を用いて定量分析する。一方、生物起源シリカ (Bio-Si) の含有量については、次のようにして決定した (Swan 2009)：堆積物試料に  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  水溶液を加えて 85℃ で加熱する。Si 溶出液を Metertek 製の SP-830 吸光光度計により定量分析する。連続抽出法により Si 溶出液中の鉱物由来  $\text{SiO}_2$  成分を補正し、Bio-Si 含有量を見積もる。

## 3. 2 結果と考察

図3に過去5200年間のバイカル湖の湖底堆積物 BSS06-G2 のウラン濃度、Bio-Si 含有量と北大西洋深海堆積物中の碎屑物 (IRD) 量 (Bond et al. 2001) の変動曲線を示す。IRD は、高緯度~北極地域で発達した海氷により北大西洋の遠洋域に運搬された陸源破砕物であり、IRD 量が増加する時期は、北大西洋地域が寒冷化したこと示唆するものである。この北大西洋地域の寒冷化は、ボンダイイベントと名付けられている。ボンダイイベントは完新世で9回生じたとされており、現在から

過去に遡って 0~8 の番号付けがなされており、0 番は小氷期 (Little Ice Age) に対応するとされている。

バイカル湖の湖底堆積物 BSS06-G2 のウラン濃度は、300-800、1200-1800、2300-3200 と 3700-4300 年前の期間で、わずかな増加傾向を示し (図 3a の BK-0~3)、これらはボンダイイベント 0-3 の時期にそれぞれ対応する (図 3c)。バイカル湖のウランの多くは、後背地のウラン鉱床から供給される。このため通常の湖水に比べて、その濃度は 10 倍程度高いことが知られている。後背地から湖底に供給されるウランの形態には、物理的風化による鉱物粒子と化学的風化による溶存イオンの 2 つの可能性が考えられる。Edgington et al. (1996) は、湖水、河川水、堆積物中のウラン同位体比の比較から、湖底堆積物中のウランの大部分は水塊中の溶存ウラン起源であることを明らかにした。加えて、そうした後背地からの溶存ウランの供給量は河川流入量を反映することを示唆した。

一方で、ボンダイイベント 0-3 の時期にバイカル湖周辺地域の湿潤化は、バイカル湖の北湖盆の堆積物やセレンガ川流域の Gun Nuur 湖の湖底堆積物の研究から報告されている (Goldberg et al. 2005; Wang et al. 2004)。また、気候モデルの計算結果によって、セレンガ川流域の年間海面気圧は、小氷期 (ボンダイイベント 0) には温暖な時期に比べて低くなることが明らかにされている (Shindell et al. 2001)。したがって、BSS06-G2 の堆積物のウラン濃度の変動は後背地の乾湿の影響を反映するものとみなすことができる。

BSS06-G2 の Bio-Si 含有量は、2500-2800 年前に一時的な減少を示す (図 3b)。バイカル湖の湖底堆積物の珪藻量や Bio-Si 含有量は、気候モデルより復元された気温変化や夏の日射量変動との相関性から、バイカル湖地域周辺の気温を反映したものであると考えられている (Colman et al. 1995; Prokopenko et al. 2007)。したがって、2500-2800 年前の Bio-Si 含有量の減少は、バイカル湖地域の寒冷化を意味している。これと類似の変動はバイカル湖の南湖盆で採取された堆積物の珪藻量で確認されており、この原因はボンダイイベント 2 の寒冷化によるものとみなされている (Mackay 2007)。

今回、バイカル湖のブグルジェイカ鞍部で採取したグラビティコアの化学組成を分析した結果、北大西洋の気候変化に同調する変動パターンを発見することができた。こうしたバイカル湖地域と北大西洋地域と間の気候システムの関連性の議論は、タンデトロン加速器質量分析計によるコア試料の高精度  $^{14}\text{C}$  年代決定により可能となるものである。

## 謝辞

本研究は、研究拠点形成費補助金 (21 世紀 COE プログラム No.G-4「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」) の援助を受けて行われたものである。また、BSS06-G2 コア試料の採取に際しては、2006 年度バイカルサマースクールの参加者 (名古屋大学、金沢大学など) にご協力いただいた。以上の方々に、感謝いたします。

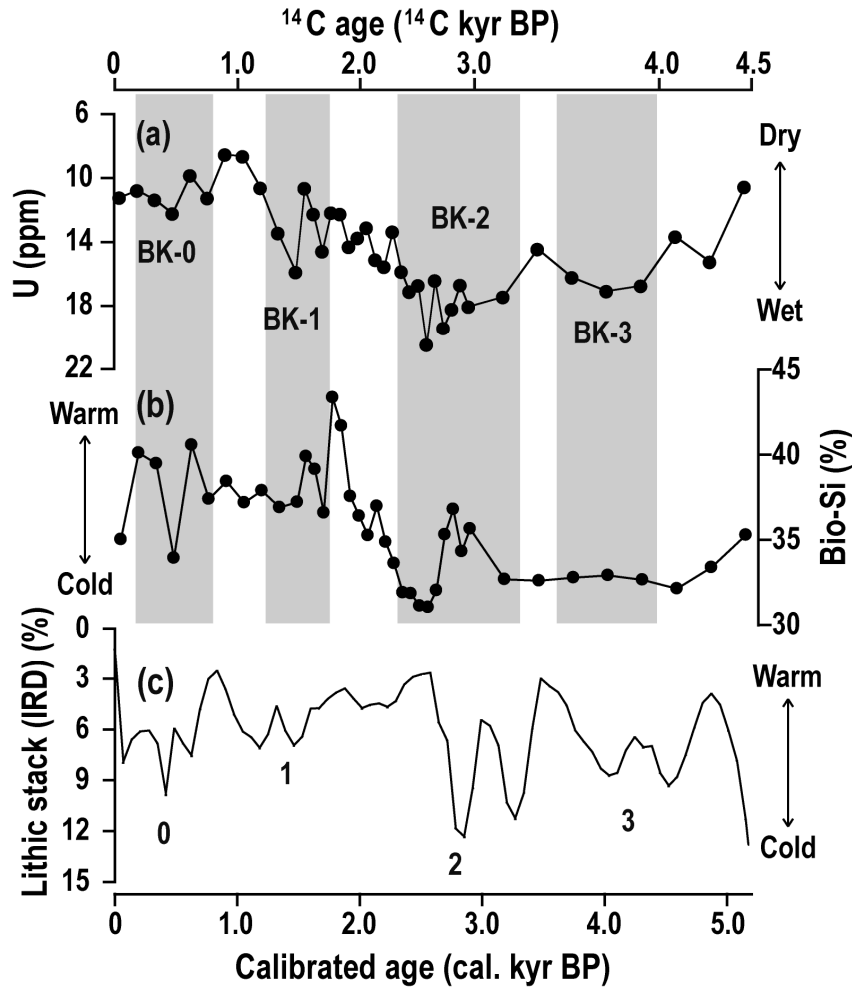


図3 ロシア・バイカル湖の湖底堆積物 (BSS06-G2) の(a) U 濃度、(b) Bio-Si 含有量と北大西洋深海堆積物中の(c) 碎屑物量 (IRD, Bond et al. 2001)。(a)と(b)の灰色部分 (BK-0~3) は、相対的に U 濃度の高い期間を示す。(c)の 0~3 は、ボンダイイベントの番号を示す。

Fig. 3 Comparison of (a) U concentration and (b) Bio-Si content in the BSS06-G2 core with (c) lithic stack (IRD) in North Atlantic Ocean sediments (Bond et al., 1997; 2001). The gray lines of BK0 to BK3 in (a) and (b) show sections with a relatively high U concentration. 0 to 3 in (c) denote the Bond events (Bond et al., 2001).

#### 引用文献

- Bond G et al. (2001) Solar Influence on North Atlantic Climate during the Holocene. *Science* 294:2130-2136.
- Colman SM et al. (1995) Continental climate response to orbital forcing from biogenic silica records in Lake Baikal. *Nature* 378:769-771
- Colman SM et al. (1996) AMS radiocarbon analyses from Lake Baikal, Siberia: Challenges of dating sediments from a large, oligotrophic lake. *Quat Sci Rev* 15:669-684
- Edgington DN et al. (1996) Uranium-series disequilibrium, sedimentation, diatom frustules, and paleoclimate change in Lake Baikal. *Earth Planet Sci Lett* 142:29-42
- Goldberg EL et al. (2005) Scanning SRXF analysis and isotopes of uranium series from bottom sediments of Siberian lakes for high-resolution climate reconstructions. *Nucl Instr Meth Phys Res A* 543:250-254
- Prokopenko AA et al. (2007) Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a

- synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed. *Quat Res* 68:2-17
- Reimer PJ et al. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46:1029–1058
- Shindell DT et al. (2001) Forcing of Regional Climate Change during the Maunder Minimum. *Science* 294: 2149-2152
- Stuiver M et al. (1998) INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000–0 cal BP. *Radiocarbon* 40:1041–1083
- Swan GEA (in press) A comparison of the Si/Al and Si/time wet-alkaline digestion methods for measurement of biogenic silica in lake sediments. *J Paleolimnol*
- Wang W et al. (2004) Holocene abrupt climate shifts recorded in Gun nuur lake core, northern Mongolia. *Chinese Sci Bull* 49:520-529