

Stable isotope proxy records ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{34}\text{S}$) for environmental changes in Lake Hovsgol sediments (cores X104 and X106) during the last 23,000 years
 Fumiko Watanabe Nara^{1*}, Takahiro Watanabe², Kazuho Horiuchi³, Toshio Nakamura² and Takayoshi Kawai⁴

¹*National Institute for Environmental Studies, 16-2, Onogawa, Tsukuba, Japan 305-8506*

²*Center for Chronological Research, Nagoya University, Japan*

³*Department of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University, Japan*

⁴*Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan*

Author's address, Tel: +81-29-850-2527, E-mail: nara.fumiko@nies.go.jp

To reconstruct the past environmental changes in Lake Hovsgol, we have measured total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) and total sulfur (TS), and its stable isotopes of Lake Hovsgol sediments (cores X104 and X106). The AMS ^{14}C ages showed that cores X104 and X106 span the past 23 kyr.

The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in cores X104 and X106 shifted from -23 ‰ to -27 ‰ and from 5 ‰ to 3 ‰, respectively, during the last glacial period (23~15 kyr BP), and were nearly constant after last glacial/post-glacial transition period (after 15 kyr BP). The fairly constant $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values after the last glacial/post-glacial transition periods, indicate that no significant changes in the source of organic matter to Lake Hovsgol sediments have occurred during the past 15 kyr BP. Before 15 kyr BP, TOC negatively correlated with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ ($R = 0.944, 0.889$, respectively, $n = 38$). Thus, the increase of TOC during the later stage of the last glacial period would result in the negative shift in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in Lake Hovsgol.

The gradual TS accumulations during glacial/post-glacial transition period (from 18 to 15 kyr BP) up to 0.7 and 0.4 % were observed in cores X104 and X106, respectively. These TS accumulations are accompanied with the onset of the gradual TOC increase in cores X104 and X106, and similar sulfur accumulation during same period in core X105 was also observed (Fedotov et al., 2004). On the other hand, the high TS accumulation layers, which are observed at around 5 kyr BP in core X104, did not appear in core X106, and similar high TS accumulation at around 5 kyr BP in core X105 are also observed (Fedotov et al., 2004). The $\delta^{34}\text{S}$ measurements were carried out for TS accumulation layers in core X106. The $\delta^{34}\text{S}$ values are ranged from +3.6 ‰ to +30.1 ‰. There is Cambrian evaporate, which is composed by mainly gypsum, and has high $\delta^{34}\text{S}$ value (up to +32‰), on the west coast in Lake Hovsgol. It indicates that inflow of underground water with ^{34}S -rich sulfate to Lake Hovsgol might begin to increase significantly in climatic transition period.

炭素、窒素及び硫黄安定同位体比測定を用いた ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{34}\text{S}$) モンゴル国フブスグル湖における環境変動解析

奈良郁子¹⁾、渡邊隆広²⁾、堀内一穂³⁾、中村俊夫²⁾、河合崇欣⁴⁾

1) 国立環境研究所、2) 名古屋大学年代測定総合研究センター、3) 弘前大学工学部地球環境科学科、4) 名古屋大学大学院環境学研究科

大陸内部における環境変動を詳細に解析するために、フブスグル湖堆積物 (X106) を用いて、元素分析 (全有機態炭素 ; TOC、全窒素 ; TN、全硫黄 ; TS) 及びこれらの元素安定同位体分析 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{TS}}$) の測定を行った。本試料は、名古屋大学年代測定センターにて、加速器質量分析計 (AMS) を用いて放射性炭素年代測定が行われ、堆積年代は約 23,000kyr BP である。X106 堆積物試料における TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 、及び $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ の変動から、フブスグル湖における炭素、窒素の循環は、地球規模の変動よりも、むしろ湖内生物活動に起因することが示唆された。また、最終氷期から間氷期への気候遷移期 (18~10kyr BP) において、TS、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{TS}}$ の急激な増加が認められ、この時期における、硫酸イオンの急激な湖水への流入が示唆された。

はじめに

大陸内部における気候、環境変動、およびそれに対応した生物活動の変化を詳細に把握することは、地球環境の現状を正しく理解し、正確な将来予測を行う上でも必要不可欠な課題と言える。フブスグル湖はバイカル湖の南西に位置し、世界で最も古い湖の一つであり (Goulden et al., 2006)、典型的な内陸性気候を持つため、夏と冬の気温差が世界で最も大きい (Short et al., 1991)。そのため、氷期-間氷期といった地球規模の環境変動に強い影響を受けていることが予想される。また、フブスグル湖は、バイカル湖と比べ高い標高 (フブスグル湖 ; 1627.8m、バイカル湖 ; 454m)、小さい容積 (フブスグル湖 ; 381m³、バイカル湖 ; 23,000m³)、を持つため、シベリア地域の環境変動に対して、より鋭敏な応答性を持つと言える。よって、フブスグル湖に保存されている堆積物から、気候変動に対応した生物活動を詳細に復元することが期待できる。

本研究では、2001年フブスグル湖において採取された堆積物試料 (X106、試料長さ 130cm) を用いて、元素分析 (全有機態炭素 ; TOC、全窒素 ; TN、全硫黄 ; TS) 及び元素安定同位体分析 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ 、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{TS}}$) の測定を行い、最終氷期から現在まで、約 23,000年に渡るフブスグル湖における、環境変動の解析を行う。

方法

採取された X106 試料は、1.5cm 間隔に細分し、元素分析計 (FISON NA-1500) を用いて TOC、TN、TS の測定を、また元素分析-安定同位体質量分析計 (EA-IRMS; Finnigan MAT delta-s) を用いて $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ の測定を行った。TOC、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ の測定には、6N-HCl を用いて無機炭酸塩を除去した試料を分析に供与した。 $\delta^{34}\text{S}_{\text{TS}}$ の測定においては、元素分析計で試料をガス化 (CO_2 、 N_2 、 H_2O 、 SO_2) させた後、真空ラインを用いて SO_2 ガスの分離、精製を行い、Dual-Inlet システムを用いて同位体質量分析計に導入し、測定を行った。

結果及び考察

・ ^{14}C 堆積年代

本研究で使用された、X106 試料は、名古屋大学年代測定センターにて、加速器質

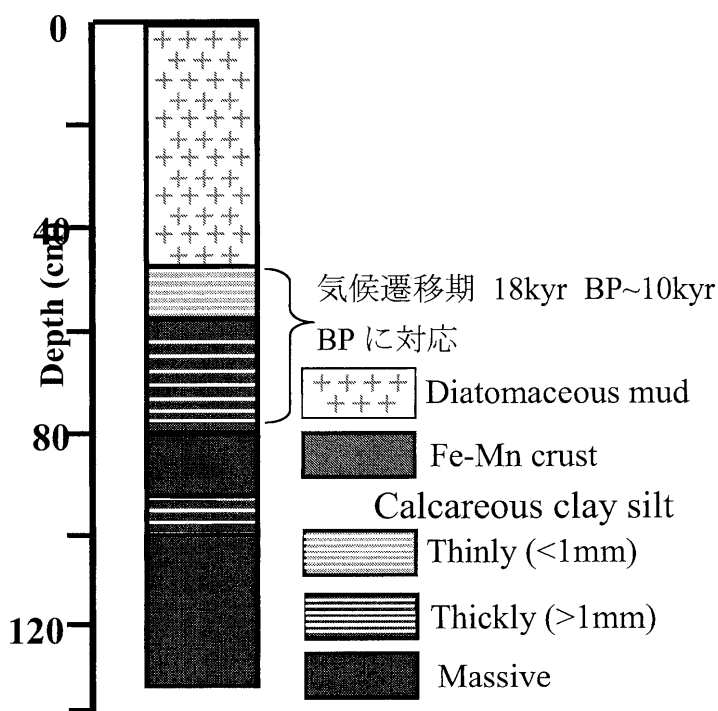


図 1. X106 の記載図

量分析計 (AMS) を用いて放射性炭素年代測定が行われ、堆積年代は約 23,000kyr BP である (Nara et al., 2005)。X106 試料のサンプリング地点、水深などに関しては、Nara et al. (2005) を参照されたい。気候遷移期から現在まで (15~0 kyr BP) の堆積速度は、平均 4.45 cm/kyr BP であるのに対し、最終氷期 (15kyr BP 以前) においては 7.10 cm/kyr BP を示し、最終氷期のほうが速い堆積速度を示した (Nara et al., 2005)。また、記載の結果より、気候遷移期に対応してラミナ層が発達していることから (図 1)、気候遷移期における湖水—堆積物境界層が還元的であったことが予測

される。

・フブスグル湖における生物活動変化

図 2 に TOC、TN、Total chlorophyll-a、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ 、TS、及び $\delta^{34}\text{S}_{\text{TS}}$ のグラフを示す。Total chlorophyll-a はクロロフィル誘導体の合計濃度から算出した。TOC、TN

および Total chlorophyll-a は、約 18kyr BP より、約 10 倍の急激な増加を示した (TOC ;

約 0.6%から 6%。TN;約 0.06% から 0.6% 。

Total chlorophyll-a ; 約 0.1 μ g/g dry sed.から約 8 μ g/g dry sed.)。これは、最終氷期が終了し、地球規模の温暖化に伴い、湖内、および周辺植生の生物活動が活発化したことを示している。

また、TOC、TN、Total chlorophyll-a において、約 11kyr BP 付近に僅かな減少が見られる。これは、この時期に発生した地球規模の寒冷化である、Younger Dryas 期の生物活動減少を表している。

フスグル湖内、および周辺域の生物活動が、地球規模の気候変動に対して敏感に反応し、且つ、その変動が、堆積物に克明に記録されていることを示している。

$\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ は 25kyr BP から 15kyr BP において、それぞれ -23‰から -27‰、5‰から 3‰へ緩やかな変動を示した

(図 2)。この期間において、

TOC、TN、Total chlorophyll-a

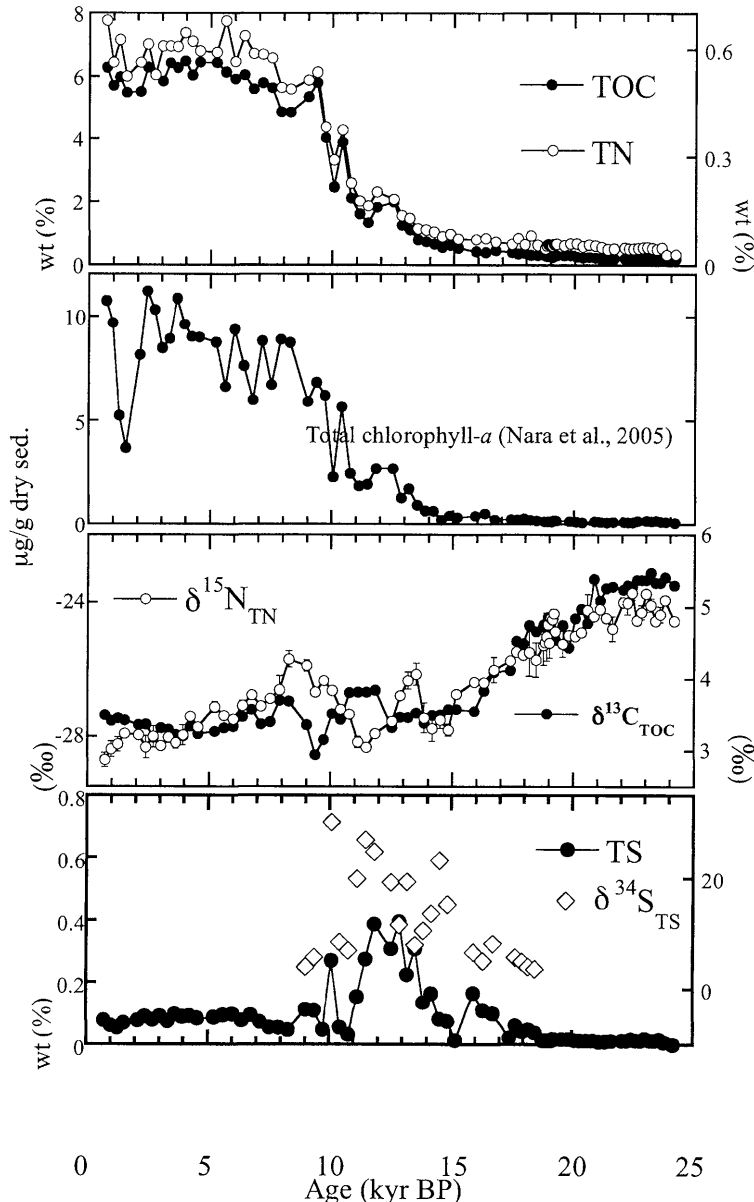


図 2. フスグル湖堆積物試料 X106 における鉛直分布図

の顕著な変動は見られず、最終氷期の期間に対応することからも、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ の変動は、陸-湖内の混合で説明することができない。おそらく湖内生物活動変化に起因し、同位体変動が起きていると考えられる。また、本研究で得られたフスグル湖堆積物における $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ の変動は、これまで報告されているバイカル湖堆積物試料の結果と異なる変動を示しており (Horiuchi et al., 2000; Watanabe et al., 2004)、フスグル湖が、バイカル湖とは異なる炭素・窒素の物質循環構造を持っていることが示唆される。

- ・ 気候遷移期におけるフブスグル湖の湖水流入経路の変化

18kyr BP から 10kyr BP にかけて、TS の濃縮層（最大 0.4%）が見られた（図 2）。この時期における硫黄の濃縮層は、その他のフブスグル堆積物試料からも確認されており（Fedotov et al., 2005; Nara, 2005）、この変動は、フブスグル湖において典型的に見られる変動であると考えられる。更に、TS の濃縮層は TOC の増加時期と非常に良く対応していること、この時期に対応して堆積物にラミナが形成されていることから、TS の堆積は、堆積物中での硫酸還元細菌による、硫酸還元によると示唆される（Berner, 1984）。通常、淡水における硫酸イオン濃度は非常に低く、フブスグル湖でも硫酸イオン濃度は 60 μ mM であると報告されている（Hayakawa et al.）。よって、気候遷移期における TS の濃縮層の形成は、この時期に湖水の硫酸イオン濃度が増加したことを示唆する。気候遷移期における硫酸イオンの増加は、バイカル湖堆積物においても報告されており（Watanabe et al.）、シベリア地域全体で、気候遷移期における硫黄循環の変化が示唆される。

$\delta^{34}\text{S}_{\text{TS}}$ の値は、+3.7%から+30%の間で変動を示した。フブスグル湖西岸には、カンブリア紀に形成された蒸発岩が発達している。この蒸発岩は、非常に重い硫黄同位対比を持つことが知られており（約+32%、Strauss, 1997）、本研究で得られた硫黄同位対比と非常に近い値を示し、この蒸発岩がフブスグル湖へ流入した硫酸イオンの重要な供給源であったことが示唆される。以上のことから、温暖化に伴い氷河が融け、蒸発岩由来の硫酸イオンを多く含んだ融氷水が気候遷移期にフブスグル湖へ流入したことが考えられる。急激な湖水の硫酸イオン濃度の変化は、フブスグル湖内の生物活動にも大きく影響を与えたと予測され、気候遷移期におけるさらに詳細な解析が強く求められる。

参考文献

- Berner, R.A., 1984. Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 48, 605-615.
- Fedotov, A.P., Chebykin, E.P., Smenov, M.Yu., Vorobyova, S.S., Osipov, E.Yu., Golobokova, L.P., Pogodaeva, T.V., Zheleznyakova, T.O., Grachev, M.A., Tomurhuu, D., Oyunchimeg, T., Narantsetseg, T., Tomurtogoo, O., Dolgikh, P.T., Arsenyuk, M.I., De Batist, M., 2004. Changes in the volume and salinity of Lake Khubsugul (Mongolia) in response to global climate changes in the upper Pleistocene and the Holocene. *Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol.* 209, 245-257.
- Goulden, C.E., Tumurtogoo, O., Karabanov, E., Mongontsetseg, A., 2006. The geological history and geography of Lake Hövsgöl, Mongolia, in: Goulden, C.E., Sitnikova, T., Gelhaus, J., Boldgiv, B., (Eds.), *The Geology, Biodiversity and Ecology of Lake Hövsgöl (Mongolia)*. Backhuys, Leiden,

- Hayakawa, K., Sekino, T., Yoshioka, T., Maruo, M., Kumagai, M., 2003. Dissolved organic carbon and fluorescence in Lake Hovsgol: factors reducing humic content of the lake water. *Limnology*. 4, 25-33.
- Horiuchi, K., Minoura, K., Hoshino, K., Oda, T., Nakamura, T., Kawai, T., 2000, Paleoenvironmental history of Lake Baikal during the last 23000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **157**, 95-108.
- Nara, F., Tani, Y., Soma, Y., Soma, M., Naraoka, H., Watanabe, T., Horiuchi, K., Kawai, T., Oda, T., Nakamura, T., 2005. Response of phytoplankton productivity to climate change recorded by sedimentary photosynthetic pigments in Lake Hovsgol (Mongolia) for the last 23,000 years. *Quat. Int.* 136, 71-81.
- Short, D.A., Mengel, J.G., Growley, T.J., Hyde, W.T. and North, G.R. 1991. Filtering of Milankovitch cycles by Earth's geography. *Quaternary Research*. **35**. 157-171.
- Strauss. H. 1997. The isotopic composition of sedimentary sulfur through time. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **132**, 97-118.
- Watanabe, T., Naraoka, H., Nishimura, M., and Kawai, T., 2004. 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.