

モンゴル・フブスグル湖湖沼堆積物の Post-IR IRSL 年代測定
Post-IR IRSL dating of sediments from Lake Hovsgol, Mongolia

伊藤一充^{1*}・Geoff Duller²・長谷部徳子³・荒井章司⁴・中村俊夫¹・柏谷健二³
Kazumi Ito^{1*}, Geoff Duller², Noriko Hasebe³, Shoji Arai⁴, Toshio Nakamura²,
Kenji Kashiwaya³

¹ 名古屋大学年代測定総合研究センター

² Institute of Geography and Earth Science, Aberystwyth University

³ 金沢大学環日本海域環境研究センター

⁴ 金沢大学理工学域自然システム学系

¹ Center for Chronological Research, Nagoya University

² Institute of Geography and Earth Science, Aberystwyth University

³ Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University

⁴ College of Science and Engineering, Kanazawa University

* Corresponding author: kazumi-i@nendai.nagoya-u.ac.jp

Abstract

In this study, the post-IR IRSL (pIRIR) procedure was applied to the polymineral fine grained sediments from Lake Khuvsgul (Hovsgol), Mongolia, and these ages were compared to ¹⁴C ages of bulk samples from the certain depths. The pIRIR ages are always younger than ¹⁴C ages from bulk samples, however, it was possible to construct the suitable age model based on luminescence and ¹⁴C ages. Therefore, pIRIR₂₂₅ protocol can be contributed to estimate the sedimentation age of lake sediments as well as ¹⁴C dating.

Keywords: post-IR IRSL dating, Bulk ¹⁴C, polymineral fine grain, Lake sediment, Lake Hovsgol

はじめに

モンゴル・フブスグル湖は、流出河川が一つという準閉塞湖であるため、堆積物の保存状況がよく、連続した気候変動の記録を追った研究が多くなされてきた (e.g., Kashiwaya et al., 2010). しかし、年代決定においては湖底堆積物に有機物が非常に少ないこともあり、¹⁴C 年代測定で用いるための植物遺体もほとんどなく、全有機炭素 (Bulk 試料) を用いた ¹⁴C 年代測定が一般的である (e.g., Nara et al., 2005). Bulk 試料を用いて出された ¹⁴C 年代は old carbon の効果があるため、植物遺体ほどの確度・精度を持っていない。そのため、他の方法による年代と組み合わせることで、適当な年代軸を構築することができる。本研究では、近年発展が著しいルミネッセンス年代測定法をこの試料に適用し、Bulk ¹⁴C 年代と比較・検討することで古環境復元のための年代軸を構築する足がかりとした。

分析試料

年代測定用試料は、2009 年にモンゴル北西部ロシア国境付近にあるフブスグル湖から得られたドリルコア HDP09 (61m) の上部 4m より数点得た (図 1)。環境変動解析については、1cm 間隔で

分取したコア試料を 2~4cm おきに粒度分析と塩酸可溶物量測定を行った。

分析方法 (処理・分析)

ルミネッセンス法においては、青色光で励起する従来の石英の OSL 法に比べて、長石の IRSL 法 (Infrared stimulated luminescence) の方がより古い試料の年代測定もできる方法であるとされてきた (e.g., Buylaert et al., 2007). しかし、長石においては *anomalous fading* と呼ばれる堆積中に年代が若返る現象が報告されたことにより、その現象の補正が可能である若い試料にしかこの方法は適用できないとされ、石英が含まれていて、かつ 10 万年よりも若い試料については石英の OSL 法を利用することが一般的であった。近年, Thomsen *et al.*

(2008) により長石の IRSL シグナルの中でもフェーディングしにくい成分 (Post-IR IRSL) が提案されたことで、再び長石の IRSL が注目されるようになり、石英の OSL 法では測定できなかったより古い年代域 (~数十万年) の年代測定へ向けた基礎研究がなされるようになってきた (e.g., Buylaert et al., 2009; Thiel et al., 2011a; 2011b). 本研究では、将来的には ^{14}C 法の測定限界である 5 万年を超えた年代を持つ試料の分析も考えているため、この Post-IR IRSL (pIRIR) 法によってルミネッセンス年代を求める。

ルミネッセンス法で用いる分析試料は、1cm×1cm×4cm のステンレスチューブを半割したコアに差し込むことで採取し、暗室内で光曝面を除去した。乾燥させ含水率を求めた後、塩酸・過酸化水素処理を行い、最後に水簸法により粒径を 4-11 μm に揃えた (polymineral fine grain method). 1mg/disc の試料をアセトン中で溶いた後にアルミニウムディスクに塗布し、Risø TL/OSL reader (DA-10) により分析を行った。なお、光学フィルターは Corning7-59, Schott BG39, GG400 の 3 つを組み合わせ用いた。Lowick *et al.* (2012) 等を参考にした Single-aliquot regenerative-dose (SAR) 法による本研究の pIRIR 測定手順は表に記す (表 1)。なお、Dose recovery test については、試料を Hönle SOL2 にて 1 時間人工光曝させた後、決まった量の β 線を照射し、分析した。年代測定試料と同じ深さから得られた光曝した試料については、乾燥させた後に Ito *et al.* (2009, 2011) に従い XRF と LA-ICP-MS 分析により ^{238}U ・ ^{234}U ・ ^{232}Th ・ ^{87}Rb ・K 濃度を求め、変換係数を用いて年間線量を算出した。

全有機炭素 ^{14}C 年代で用いる分析試料は、湿潤試料を 1.2N 塩酸で十分に洗浄して炭酸塩鉱物を完全に除去した後に蒸留水で洗浄し、乾燥させた。これを約 1000mg の CuO とともにガラス管内に封入・加熱 (850°C, 4h) し、 CO_2 に変換した。ガラス管内の気体を真空ラインに導入し、エタノール (-100°C)・n-ペンタン (-129°C)・液体窒素 (-196°C) などの冷媒を用いて CO_2 の精製を行った。その後、鉄触媒を用いた水素還元によって CO_2 からグラファイトを調製した (650°C, 6h)。得られたグラファイトについては、名古屋大学年代測定総合研究センタータンデム加速器質量分析計 (オランダ, HVEE 社製) によって ^{14}C 年代を測定した。同位体分別効果の補正には、加速器質量分析計によって測定された $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を用いた。最後に、校正曲線 IntCal (Reimer *et al.*, 2009) によって、 ^{14}C 年代を暦年代に換算し、pIRIR 年代と比較した。

表 1

Post-IR IRSL 測定手順

Step	Treatment	Observed
1	Given dose	
2	Preheat (250°C for 60s)	
3	IRSL for 100s at 50°C	Lx (IRSL ₅₀)
4	IRSL for 100s at 225°C	Lx (pIRIR ₂₂₅)
5	Given test dose	
6	Preheat (250°C for 60s)	
7	IRSL for 100s at 50°C	Tx (IRSL ₅₀)
8	IRSL for 100s at 225°C	Tx (pIRIR ₂₂₅)
9	Return to 1	

結果・考察

実験条件決定のため、表 1 で示したプレヒート 250°C, 測定 225°C (250/225°C) の他に 3 つの条件 (280/250°C・300/270°C・320/290°C) において、プレヒートテスト・dose recovery test・フェーディングテストを行った。実験の手順・結果の詳細はここでは省き、Ito *et al.* (in preparation) に載せる。本研究で利用する pIRIR₂₂₅ 法は、Buylaert *et al.* (2009) 等で示されたようなフェーディングしにくいシグナル安定性を示したため、補正なしで年代を出せることがわかった。

本研究の年代結果を図 1 に載せる。

Bulk ¹⁴C 年代については、表層から 230cm までと 246cm から 298cm は徐々に古くなっていく傾向だが、230~246cm 間と 298~378cm 間において逆転が見られる。1 セクション 3m のコアリングにおいて、約 2.5m 地点での若い試料の混入は考えにくいいため、246cm と 378cm の試料の年代が真の年代と離れていると言うより、むしろそれより浅部の試料がより old carbon の影響を強く受けていると考えるのが妥当である。一方、pIRIR₂₂₅ 年代についても 20~140cm 間に逆転が見られる。この試料についてはフェーディングの可能性がないため、深部の試料の年代がより若く算出されたと言うよりも Bulk ¹⁴C 年代と同様に浅部の試料の年代がより古く出たと考える。古く出る可能性としては、湖底に元々存在していた古い堆積物が光に曝されることなく再堆積したことが考えられる。また、Bulk ¹⁴C 年代においては、他の 9 点よりも適当な年代を示すと思われる 2 試料についても old carbon effect は存在するはずであり、pIRIR₂₂₅ 年代においては、浅部 2 試料に比べて適当な年代を示すと思われる 5 試料についても圧密による含水率の減少があるはずである。よって、真の年代が取りうる範囲は Bulk ¹⁴C 年代よりも若く、かつ pIRIR₂₂₅ 年代よりも古い、斜線部になる。

今回は ¹⁴C 年代との対比によって年代軸を構築したが、5 万年よりも古い地点においては他の年代測定法と比較するなどして適当な年代軸を決める必要がある。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金（特別研究員奨励費，課題番号：22-3600, 24-810, 伊藤一充；基盤研究（A），課題番号：21253002, 研究代表者：柏谷健二）の援助を受けて行われたものである。また、モンゴル・ロシア・韓国・日本におけるダラハド・フブスグル掘削メンバーには、DDP10-3・HDP09 両コア試料の掘削・分取において大変お世話になった。記して感謝する。

引用文献

- Buylaert J.P., Vandenberghe D., Murray A.S., Huot S., De Corte F. and Van den Haute P., 2007. Luminescence dating of old (>70ka) Chinese loess: A comparison of single-aliquot OSL and IRSL techniques. *Quaternary Geochronology* 2, 9-14.
- Buylaert J.P., Murray A.S., Thomsen K.J. and Jain M., 2009. Testing the potential of an elevated

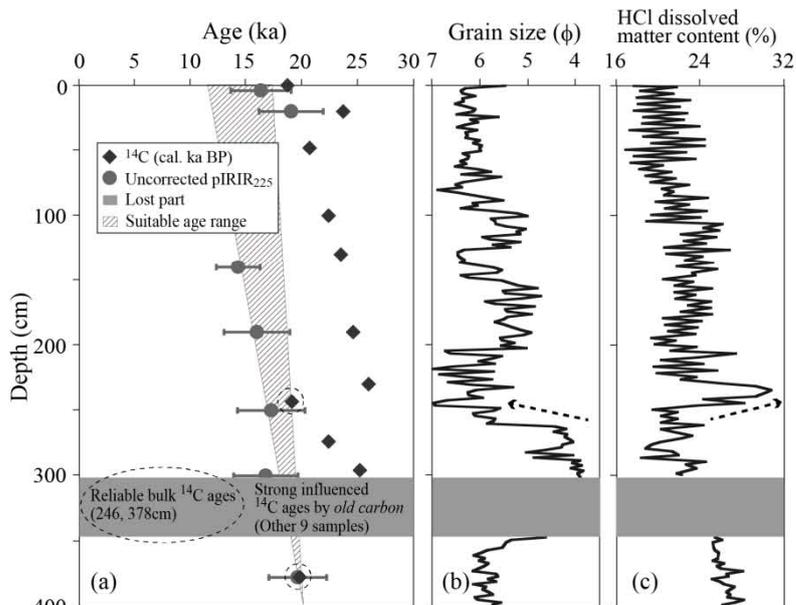


図 1 a) 年代 b) 粒径分布 c) 塩酸可溶物量

- temperature IRSL signal from K-feldspar. *Radiation Measurements* 44, 560-565.
- Ito K., Hasebe N., Sumita R., Arai S., Yamamoto M., Kashiwaya K. and Ganzawa Y., 2009. LA-ICP-MS analysis of pressed powder pellets to luminescence geochronology. *Chemical Geology* 262, 131-137.
- Ito K., Hasebe N., Hasebe A. and Arai S., 2011. The matrix effect on ^{238}U and ^{232}Th measurements using pressed powder pellets by LA-ICP-MS. *Geochemical Journal* 45, 375-385.
- Ito K., Duller G., Roberts H., Hasebe N., Nakamura T. and Kashiwaya K., in preparation. The post-IR IRSL characteristics of polymineral fine grained sediments from Darhad Basin and Lake Khuvsgul, Mongolia.
- Kashiwaya K., Ochiai S., Sumino G., Tsukamoto T., Szyniszewska A., Yamamoto M., Sakaguchi A., Hasebe N., Sakai H. Watanabe T. and Kawai T., 2010. Climate-hydrological fluctuations printed in long lacustrine records in Lake Hövsgöl, Mongolia. *Quaternary International* 219, 178-187.
- Lowick S.E., Trauerstein M. and Preusser F., 2012. Testing the application of post IR-IRSL dating to fine grain waterlain sediments. *Quaternary Geochronology* 8, 33-40.
- Nara F., Tani Y., Soma Y., Soma M., Naraoka H., Watanabe T., Horiuchi K., Kawai T., Oda T. and 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. *Quaternary International* 136, 71-81.
- Reimer P., Baillie M., Bard E., Bayliss A., Beck J., Blackwell P., Bronk Ramsey C., Buck C., Burr G., Edwards R., Friendrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen K., Kaiser K., Kromer B., McCormac Manning S., Reimer R., Richards D., Southon J., Talamo S., Turney C., van der Plicht J. and Weyhenmeyer C., 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51, 1111-1150.
- Thiel C., Buylaert J.P., Murray A., Terhorst B., Hofer I., Tsukamoto S. and Frechen M., 2011a. Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) - Testing the potential of an elevated temperature post-IR IRSL protocol. *Quaternary International* 234, 23-31.
- Thiel C., Buylaert J.P., Murray A.S. and Tsukamoto S., 2011b. On the applicability of post-IR IRSL dating to Japanese loess. *Geochronometria* 38, 369-378.
- Thomsen K.J., Murray A.S., Jain M. and Bøtter-Jensen L., 2008. Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts. *Radiation Measurements* 43, 1474-1486.

日本語要旨

モンゴル・フブスグル湖湖沼堆積物に Post-IR IRSL 年代測定を適用し、Bulk ^{14}C 年代と比較した。双方の年代値は一致することはなかったが、双方が潜在的に抱える問題点を考慮することで、困難な試料であっても適当な年代軸を構築できることが明らかとなった。