

機関番号：82706
研究種目：基盤研究（A）
研究期間：2008～2010
課題番号：20244084
研究課題名（和文） 光ルミネッセンス年代決定法を用いた極域寒冷圏の高分解能古海洋変動解析
研究課題名（英文） High resolution paleoceanographic change of cyrosphere by Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating
研究代表者
坂本 竜彦（SAKAMOTO TATSUHIKO）
独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・チームリーダー
研究者番号：90271709

研究成果の概要（和文）：

海底堆積物を用いた過去の環境変動の解析を高分解能にするためには、正確な年代決定が必要不可欠である。本研究では、光ルミネッセンス年代測定法を導入し、炭酸塩に乏しい極域寒冷圏の海底堆積物コアに適用した。オホーツク海南西部において 25,000 年前まで、オホーツク海中央部においては最終間氷期に相当する 130,000 年前までの年代測定に成功し、光ルミネッセンス年代は、炭素放射性年代、酸素同位体比層序の年代と整合的であり、年代測定の難しい海域での年代法確立に活路を見出した。

研究成果の概要（英文）：

Precious dating of marine sediment core is essential for high-resolution reconstruction of the past environmental change. In this study, we introduced a new method of optically stimulated luminescence (OSL) dating on marine sediment cores obtained from high latitude area where dating is relatively difficult because carbonate is rare or absent. The OSL dating during 25 kyrs of the core from south-western Okhotsk Sea is consistent with radiocarbon dating. The OSL dating during 130 kyrs including the last interglacial period for the central Okhotsk Sea is consistent with oxygen isotope stratigraphy. These results enable us to obtain precious dating for high resolution paleoceanography.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	24,000,000	7,200,000	31,200,000
2009 年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2010 年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
年度			
年度			
総計	36,800,000	11,040,000	47,840,000

研究分野：古海洋学・地質学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 層位・古生物学

キーワード：光ルミネッセンス 年代測定 極域寒冷圏 古海洋学 海底堆積物 オホーツク海 ベーリング海

1. 研究開始当初の背景

(1) 極域寒冷圏・季節海氷域の研究の重要性：オホーツク海，ベーリング海，チャクチ海は，北半球太平洋域や全球的な気候変動の様相および駆動メカニズムを考察する上で重要である。第一に，季節海氷域は，海氷の形成は大気と海洋の熱交換を遮断するため，寒冷化に関し正のフィードバック効果を強く持つ。逆に，温暖化した際の高緯度域の急激な温暖化に大きな影響を及ぼす可能性がある。第二に，海氷の形成は同時に高塩分・低温のブライン水の排出を伴い，この密度のブライン水は海洋中層まで沈み込み，中層水の起源となり，海洋の熱塩循環に大きな影響を及ぼす。オホーツク，ベーリング海域は，北太平洋中層水 (NPIW) の起源となる中層水の生成域と考えられており，両海域の中層水生成の評価は北太平洋の気候・海洋を考察する上で不可欠である。しかし，これらの海域は炭酸塩に乏しいことから，年代決定が困難であることがボトルネックとなっていた。

(2) 炭酸塩の少ない (またはない) 試料の年代決定の重要性：堆積物コアや地層を取り扱う古海洋学分野では，年代決定が重要である。気候や海洋の周期的変動や突発的なイベントを議論するためには，年代が不可欠である。海底堆積物の場合，これまで，炭酸塩の保存のよい大西洋域での研究を基軸に発展してきたため，有孔虫殻の酸素同位体比を用いた層序や加速器質量分析計を用いた放射性炭素の年代測定などの年代決定法が開発され，重要な役割を果たしてきた。一方で，炭酸塩の保存の悪い太平洋域，特に，高緯度の極域寒冷圏では，変動の発生源としてのポテンシャルが指摘されても，従来の炭酸塩を主体とした年代決定ができないため，正確な議論をできない状態が続いている。そこで，我々は，炭酸塩の少ない (もしくは，ない) 海域での年代測定法として，光ルミネッセンス法に着目した。光ルミネッセンスは，たいいてい海底堆積物や堆積岩に含まれる石英粒子を対象にする年代法である。

(3) 光ルミネッセンス年代決定法：ルミネッセンス年代決定法は，石英や長石が微弱な自然放射線や宇宙線をあびて鉱物中に捕獲電子を蓄積していくことを利用した年代測定法である。鉱物中に蓄えられる捕獲電子は，光を受けると再結合して発光する。この発光を光ルミネッセンス (optically stimulated luminescence; OSL) という。光ルミネッセンスは，光を受けるとリセット (ブリーチ) さ

れる。リセットされてから光から遮断されると，ルミネッセンスの強さは試料中の自然放射線をあびることにより増加するため，古い試料ほど強い光を放つことになる。

2. 研究の目的

本研究では，光ルミネッセンス年代測定法を，炭酸塩に乏しい極域寒冷圏の海底堆積物コアに適用し，時間分可能の高い古海洋変動を明らかにすることを主たる目的とする。具体的には，(a) チャクチ海，オホーツク海，ベーリング海で得られた海底堆積物コア試料，(b) 統合深海掘削計画第 323 次ベーリング航海で得られる掘削コア試料を材料として，以下の点を研究期間内に明らかにすることを目的とした。

- (1) 光ルミネッセンス法を用いた年代決定法を適用し，古地磁気層序，火山灰層序，微化石層序とも統合し，オホーツク海，ベーリング海，チャクチ海における高精度年代層序 (約 10 万年間) を確立すること
- (2) 極域寒冷圏，特に，季節海氷域における，海氷，海洋表層環境 (水温，塩分，生物生産)，および，中層水形成の変動を復元する，とともに，変動のメカニズムを考察すること
- (3) 特に，急激で突然の気候変動 (DO サイクル) について，グローバルな記録との位相関係 (前後関係) を把握し，北半球太平洋側の極域寒冷圏が，この変動発生の起源域であるかどうか，を明らかにする。

3. 研究の方法

以下のような研究手法で研究を遂行した。

- (1) 光ルミネッセンス年代測定装置の立ち上げ：光ルミネッセンス年代測定装置を購入し，装置の設置を行った。
- (2) これまでに得られた試料の OSL 年代測定の実施：これまでに得られた，チャクチ海，オホーツク海，ベーリング海からの海底堆積物コア試料について，光ルミネッセンス年代測定を行う。この場合，試験的測定を含め，最適解が得られるまで最善の方法を構築した。
- (3) 古海洋プロクシの分析：上記試料について，以下のような古海洋プロクシの分析を行った。(a) 有孔虫の酸素・炭素同位体比測定。(b) U-channel サンプルを使った，非破壊透過 X 線コアロガーによる内部構造解析，非破壊蛍光 X 線コアロガーによる元素マッピング，非破壊分光コアロガーによる連続分光スペクトル測定，(c) 古地磁気測定 (特に帯磁

率, ARM, IRM, 磁気強度測定, (d)陸上起源粒子の粒度分析, 粒度分析後の砂以上の粒子の岩石種, 数のカウント, IRD のフラックスを算出する, (e)珪藻化石の内, 海氷指標種の群集解析, (f)無機元素, 特に Ba 量, (g)有機化合物組成.

- (4) 統合国際深海掘削計画第 323 次ベーリング航海に乗船, サンプルリクエストを行い, 得られた試料の分析: OSL 年代測定を行う. また, 1 年次の堆積物コアの分析項目同様, 古海洋プロキシの分析を行った. OSL 年代, 古地磁気層序, 火山灰層序, 微化石層序を含めた, 統合された極域寒冷圏の年代層序の構築を行った.

4. 研究成果

本研究の成果は, 以下の点にまとめられる.

- (1) OSL 年代測定装置を立ち上げ, 国内および国際的な OSL 年代測定ラボを構築したこと.
- (2) OSL 年代測定に不可欠となる, 堆積物中の放射線量 (主にガンマ線) の年間線量を測定するために, Ge 検出器型ガンマ線測定装置を名古屋大学から移管し, 調整・立ち上げを行い, 年間線量測定を可能とした
- (3) 上記の装置の立ち上げにより, 様々な試料の OSL 年代測定を可能とした.
- (4) 本研究の主目的であった, 年代測定の難しい海域において OSL 年代法確立に活路を見出した. オホーツク海南西部からの堆積物コアについて, 25,000 年前までの光ルミネセンス年代は, 炭素放射性年代と非常に整合的であることを示した. また, オホーツク海中央部からの堆積物コアについて, 最終間氷期に相当する 130,000 年前までの年代測定に成功した. 光ルミネセンス年代は, 炭素放射性年代および酸素同位体比層序の年代と整合的であることをしめした.
- (5) 統合深海掘削計画 323 次ベーリング掘削航海において, 歴史上初めて, 光ルミネセンス測定用のサンプリング方法を構築し, 実際にサンプリングを行った. 長さ約 10 cm のホールラウンドコアを船上キャットワークにおいて, コア採集直後に光から遮蔽するようにしてサンプリングし, 光遮蔽袋にて冷蔵保存, ラボに運搬する手順を捕った. 採取された試料の外側部分を取り除き, 中央部分の OSL 信号を測定すると優位に,

その強度は高く, 光遮蔽サンプリングは成功していることを確認した.

- (6) 統合深海掘削計画 323 次ベーリング掘削航海における, U1341 地点, U1343 地点のコア上部の OSL 年代測定は, 酸素同位体比年代と非常に整合的であり, 有孔虫が非常に少ない層準における OSL 年代の重要性を示した.
- (7) 統合深海掘削計画 323 次ベーリング掘削航海で得られた過去 500 万年間の掘削コア, 特に U1341 地点のコアについて, 酸素同位体比層序, 光ルミネセンス年代測定, 非破壊コア TATSCAN 連続計測データによる地球軌道要素年代法などを統合し, 新生代後期約 500 万年間の年代モデルを構築した.
- (8) 同コアの非破壊コア TATSCAN 計測について, XRF コアスキャン (TATSCAN-F2), 透過 X 線コアイメージング (TATSCAN-X1), 拡散分光コア計測 (TATSCAN-S1), 物性計測 (GeoTek MSC L) を行い, 数百年間隔でのデータ取得を行った. この結果, 新生代後期に半世界的に見つかっている数百~千年スケールの変動は, ベーリング海では北半球氷河化 (約 2.7 Ma) 以前, 約 3.0 Ma から開始されていることがわかった.
- (9) ベーリング海コアの透過 X 線コアイメージング画像を解析し, 過去 400 万年間の海水変動の復元を行うことに成功した.
- (10) 同コアの航海に関わる国内チーム, 国際チームと共同で研究を推進し, ベーリング海では寒冷化は約 3.0 Ma に開始されること, 北半球氷河化に伴って北太平洋で認められていたような生物源オパール生産の激減は, ベーリング海では観察されず, むしろ生物生産が増加すること, などを明らかにした.
- (11) これらの成果は, 地球惑星連合大会, AGU, 2011 年 9 月中旬の国際ポストクルーズ会議で, 成果発表を行った.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 21 件)

- ①. Sakamoto T., Takahashi K., Iijima K., Kido Y., Yamamoto F., No T., Tsuru T., Suzuki U., Okada M., Okazaki Y.,

- Tokuyama H., and Taira A., 2010, Data report: site surveys in the Bering Sea for the Integrated Ocean Drilling Program Expedition 323 (as part of IODP Proposal 477). In *Takahashi, K., Ravelo, A. C., Alvarez Zarikian, C. A., and the Expedition 323 Scientists, Proc. IODP, 323, Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.)*. doi:10.2204/iodp.proc.323.111.2011, in press. (査読有)
- ②. 小栗一将, 杉崎彩子, 坂本竜彦, 北里洋, (2011) ガンマ線スペクトロメトリーにおける ^{210}Pb , ^{214}Pb の定量方法に関する検討. *JAMSTEC-R*, 12, 27-36(査読有)
- ③. Takahashi K., Ravelo A. C., Alvarez-Zarikian C.A., Ikehara M., Okada M., Okazaki Y., Sakamoto T. 他 29 名, 2010, IODP Expedition 323 Pliocene and Pleistocene paleoceanographic changes in the Bering Sea. *Scientific Drilling*, in press. (査読有)
- ④. Sugisaki S., Buylaert J.-P., Murray A., Tsukamoto S., Nogi Y., Miura H., Sakai S., Iijima K., and Sakamoto T., 2010, High resolution OSL dating back to MIS 5e in the central Sea of Okhotsk. *Quat. Geochronol.*, 5(2-3), 293-298. (査読有)
- ⑤. 青池 寛, 西 弘嗣, 坂本竜彦, 飯島耕一, 土屋正史, 平 朝彦, 倉本真一, 眞砂英樹, 下北コア微化石研究グループ, 2010, 地球深部探査船「ちきゅう」の下北半島沖慣熟航海コア試料一物性変動から予測される古環境変動, *化石* 87, 65-81. (査読有)
- ⑥. Sakamoto T., Sugisaki S., and Iijima K., 2009, Marine sediment coring in the dark side: a method of complete optical covered sampling onboard for the optically stimulated luminescence dating of deep sea-bottom sediment. *JAMSTEC-R, IFREE Special Issue*, 7-14. (査読有)
- ⑦. Seki O., Sakamoto T., Sakai S., Schouten S., Hopmans E. C., Sinninghe Damste J.S., Pancost R.D., 2009, Large changes in seasonal sea ice distribution and productivity in the Sea of Okhotsk during the deglaciations. *Geochem. Geophys. Geosys.*, 10, Q10007, doi:10.1029/2009GC002613 (査読有)
- ⑧. Takahashi K., Ravelo A. C., and Alvarez-Zarikian. C. A. (2009) Pliocene-Pleistocene paleoceanography and climate history of the Bering Sea. *IODP Sci. Prosp.*, 323, pp 111, doi:10.2204/iodp.sp.323.2009. (査読無)
- ⑨. Takahashi K., Onodera J., and Katsuki K. (2009) Significant populations of seven-sided *Distephanus* (Silicoflagellata) in the sea-ice covered environment of the central Arctic Ocean, summer 2004. *Micropaleontology*, 55(2-3), 313-325. (査読有)
- ⑩. Takahashi K., Onodera J., and Katsurada Y. (2009) Relationship between time-series diatom fluxes in the central and western equatorial Pacific and ENSO-associated migrations of the Western Pacific Warm Pool. *Deep-Sea Res. I*, 56, 1298-1318. doi:10.1016/j.dsr.2009.04.002. (査読有)
- ⑪. Ogawa Y., Takahashi K., Yamanaka T., and Onodera J. (2009) Significance of euxinic condition in the middle Eocene paleo-Arctic basin: A geochemical study on the IODP Arctic Coring Expedition 302 sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 285, 190-197. (査読有)
- ⑫. Jimenez-Espejo F.J, Martinez-Ruiz F., Rogerson M., González-Donoso J.M., Romero O.E., Linares D., Sakamoto T., Gallego-Torres D., Rueda Ruiz J.L., Ortega-Huertas M., and Perez Claros J.A., 2008, Detrital input, productivity fluctuations, and water mass circulation in the westernmost Mediterranean Sea since the Last Glacial Maximum. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9, 11, doi:10.1029/2008GC002096 (査読有)
- ⑬. Harada N., Sato M., and Sakamoto T., 2008, Freshwater impacts recorded in tetraunsaturated alkenones and alkenone-SSTs from the Okhotsk Sea across millennial-scale cycles. *Paleoceanography*, 23, PA3201, doi:10.1029/2006PA001410 (査読有)
- ⑭. Yamamoto M., Okino T., Sugisaki S., and Sakamoto T., 2008, Late Pleistocene changes in terrestrial biomarkers in sediments from the central Arctic Ocean. *Organic Geochem.*, 39, 754-763, doi:10.1016/j.orggeochem.2008.04.009 (査読有)
- ⑮. O' Regan M., King J., Backman J., Jakobsson M., Palike H., Moran K., Heil C., Sakamoto T., Cronin T.M., and Jordan R.W., 2008, Constraints on the Pleistocene chronology of

sediments from the Lomonosov Ridge. *Paleoceanography*, 23, PA1S19, doi:10.1029/2007PA001551 (査読有)

[学会発表] (計 106 件)

- ①. Sakamoto T., S Sakai, K Iijima, S Sugisaki, K Oguri, K Takahashi, H Asahi, M Ikehara, J Onodera, A Ijiri, Y Okazaki, K Horikawa, A C Mix, A C Ravelo, C A Alvarez Zarikian, Scientific party of IODP Expedition 323, The role of the Bering Sea in the global climate: Preliminary results of the IODP Expedition 323, Bering Sea paleoceanography (Invited), 2010 AGU Fall Meeting, 14 December 2010, Moscone Convention Center. San Francisco, California, USA. (招待講演)
- ②. Sugisaki S., Jan-Pieter Buylaert, Andrew Murray, Saburo Sakai, Naomi Harada, Yusuke Okazaki, Katsunori Kimoto, Sumiko Tsukamoto, Koichi Iijima, Hideki Miura, Yoshifumi Nogi, Tatsuhiko Sakamoto, Dating of deep sea sediments using fine grained quartz, Final Workshop of Leibniz Pakt Project, October 26, 2010, Leibniz Institute for Applied Geophysics Geochronology and Isotope Hydrology, Hannover
- ③. Sugisaki S., Jan-Pieter Buylaert, Andrew Murray, Katsunori Kimoto, Yusuke Okazaki, Saburo Sakai, Kazumasa Oguri, Koichi Iijima, Tatsuhiko Sakamoto, Optically stimulated luminescence dating for marine sediments from the North Pacific Ocean, 10th International Conference on Paleoceanography, September 1st, 2010, Scripps Institution of Oceanography University of California, San Diego La Jolla, California, USA
- ④. Jimenez-Espejo F., Sakamoto T., Sakai S., Maritinez-Ruiz F., Chang Q., Sato K., Iijima K., Suzuki K., and Amouroux A., Paleoenvironmental changes during Marine Isotopic stage 5e in the central Okhotsk Sea: High resolution multiproxy record, Goldschmidt Conference 2010, June 15, Knoxville, USA
- ⑤. 坂本竜彦, 加藤まなみ, 飯島耕一, 杉崎彩子, 香月興太, 岡田誠, ベーリング海における後期更新世の海氷変動と陸域・海洋相互作用, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 28 日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県
- ⑥. 坂本竜彦・佐藤亜希子・坂井三郎・木元克典・飯島耕一・黒柳あずみ・川幡穂高, オホーツク海における温暖期の海洋表層環境, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 23 日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県
- ⑦. Sugisaki S., Buylaert J P, Murray A, Nogi Y, Miura H, Sakai S., Iijima K., Sakamoto T., High-resolution OSL dating in the Sea of Okhotsk, The Second Asia Pacific Luminescence and Electron Spin Resonance Dating (APLED-2) Conference will be held at Physical Research Laboratory, Ahmedabad, November 14, 2009
- ⑧. Sugisaki S., Buylaert J P, Murray A, Nogi Y, Miura H, Sakai S., Iijima K., Sakamoto T. Optical stimulated luminescence dating for marine sediments from North Pacific Ocean. INVEST Conference, Univ. Bremen, Germany, 9/23, 2009
- ⑨. 杉崎彩子, Jan-Pieter Buylaert, Andrew Murray, 塚本すみ子, 野木義文, 三浦英樹, 坂井三郎, 飯島耕一, 坂本竜彦. OSL 年代測定のおホーツク海海底堆積物への適応. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 5/21 2009
- ⑩. 坂本竜彦, 坂井三郎, 飯島耕一, 杉崎彩子, 山崎俊嗣, 原田尚美. 堆積物コアから復元されたオホーツク海における海氷・海洋表層環境の長期変動. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 5/19, 2009
- ⑪. Sakamoto T., Sakai S., Sugisaki S., Iijima K., Jimenez-Espejo F. New age model by oxygen isotope stratigraphy with optically stimulated luminescence and its constraints for paleoceanography in the central part of Okhotsk Sea. Korea-Japan Jointed Workshop on Paleoceanography: Global Processes and Variability, Jeju National Univ., Korea, 4/24, 2009
- ⑫. Sugisaki S., Buylaert J-P, Murray A., Tsukamoto S., Nogi Y, Miura H, Sakai S., Iijima K., Sakamoto T. High-resolution Optical Dating back to MIS 5e in the central Okhotsk Sea. 2008 年度 ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会の研究発表会, 浜松アクトシティ研究交流センター,

3/3, 2009

- ⑬. Sakamoto T, Sugisaki S, Iijima K. Marine sediment coring in the dark side: a method of complete optical covered sampling onboard for the optically stimulated luminescence dating of deep sea-bottom sediment. 2008 年度 ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会の研究発表会, 浜松アクトシティ研究交流センター, 3/2, 2009
- ⑭. 杉崎彩子, Jan-Pieter Buylaert, Andrew Murray, 塚本すみ子, 野木義文, 三浦秀樹, 坂井三郎, 飯島耕一, 坂本竜彦. OSL 年代測定法のオホーツク海海底堆積物への適用-MIS5e の年代決定への挑戦. 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「2008 年度古海洋学シンポジウム」, 東大海洋研, 1/9, 2009
- ⑮. Sakamoto T, Sugisaki S, Iijima K. Marine sediment coring in the dark side: a method of complete optical covered sampling of deep sea-bottom sediment. 12th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, Beijing, China, 21 September 2008
- ⑯. Sugisaki S, Buylaert J-P, Murray A, Tsukamoto S, Nogi Y, Miura H, Sakar S, Iijima K, Sakamoto T. High-resolution Optical Dating of a Sediment Core from the central Okhotsk Sea. 12th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, Beijing, China, 19 September 2008.
- ⑰. 杉崎彩子, Buylaert J-P, Murray A, 塚本すみ子, 野木義文, 三浦英樹, 坂井三郎, 飯島耕一, 坂本竜彦. OSL 年代測定法のオホーツク海海底堆積物への適用~MIS5e の年代決定への挑戦. 2008 年度日本第四紀学会, 東京大学, 2008 年 8 月 24 日

[その他]

- ・氷期・間氷期サイクルのメカニズムをベアリング海が握る?! , 海と地球の情報誌 Blue Earth, 第 23 巻第 1 号, 通算 111 号, 2011 年 3 月, 独立行政法人海洋研究開発機構
- ・神奈川新聞「わが町の海と地球の研究所」 2010 年 9 月 8 日
- ・山形大学サイエンスカフェ, 2009 年 12 月 20 日, 山形県新庄市 最上広域交流センターゆめりあ
- ・サイエンスカフェ「北極を掘る」, 海洋研

究開発機構一般公開. 2009 年 5 月 16 日, 独立行政法人海洋研究開発機構

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 竜彦 (SAKAMOTO TATSUHIKO)
独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・チームリーダー
研究者番号: 90271709

(2) 研究分担者

坂井 三郎 (SAKAI SABURO)
独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・技術研究副主任
研究者番号: 90359175
小栗 一将 (OGURI KAZUMASA)
独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・技術研究主任
研究者番号: 10359177
飯島 耕一 (IIJIMA KOICHI)
独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・技術研究主事
研究者番号: 00392944
岡田 誠 (OKADA MAKOTO)
茨城大学・理学部・准教授
研究者番号: 00250978
高橋 孝三 (TAKAHASHI KOZO)
九州大学・理学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号: 30244875
池原実 (IKEHARA MINORU)
高知大学・教育研究部自然科学系
研究者番号: 90335919

(3) 研究協力者

塚本 すみ子 (TSUKAMOTO SUMIKO)
Leibniz Institute for Applied Geophysics Geochronology and Isotope Hydrology
ミュレイ アンドリュー (MURRAY ANDREW)
Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Department of Earth Sciences, Aarhus University, Risø DTU,
杉崎 彩子 (SUGISAKI SAIKO)
独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・ポストドクトラル研究員
エスペヨ フランシスコ (ESPEJO FRANCISCO)
独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・日本学術振興会外国人特別研究員