

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 9 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21253002

研究課題名（和文）ユーラシア東部の湖沼堆積物情報に基づく間氷期の推移に関する考察

研究課題名（英文）A study on transition of interglacial-glacial on the basis of lacustrine sediment information in East Eurasia

研究代表者

柏谷 健二（KASHIWAYA KENJI）

金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授

研究者番号：30161029

研究成果の概要（和文）：ダラハド湖湖底堆積物の採取と分析・フグスグル湖湖底堆積物の分析そしてその周辺の調査から、ユーラシア東部内陸部における間氷期・氷期の推移については以下のことが分かった。1）最終氷期（MIS2）から後氷期（完新世）にダラハド湖では氷河性堰き止め湖の形成とその決壊による大規模な洪水が発生した。2）フグスグル湖では融氷に伴う大規模な土砂移動が発生した。そして3）移行期はかなり不安定な水文地形環境であったこと示唆された。

研究成果の概要（英文）：Analytical results for lacustrine sediments in Paleolake Darkhad and Lake Hovsgol and their catchment survey reveal that: 1) gigantic floods (glacial lake outburst flood) happened in the transition interval from glacial to interglacial in Darkhad, 2) large sediment discharge into the lake was detected in Hovsgol sediments in nearly the same interval, suggesting that the transition interval was under unstable hydro-geomorphological conditions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	13,300,000	3,990,000	17,290,000
2010年度	12,700,000	3,810,000	16,510,000
2011年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
年度			
年度			
総計	32,500,000	9,750,000	42,250,000

研究分野：陸水地形学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動、気候変動、地球変動予測

## 1. 研究開始当初の背景

昨今の地球温暖化問題の急速な一般化は、長期環境変動の課題にも影響を与えてきている。時間スケールは多様であるが、温暖化に対する地球の応答あるいは地球生命の反応に関する資料は過去の記録以外には存在しないから、その対処法の手掛かりに過去の記録を追跡することはある意味で当然である。何らかの法則性を求めて環境変動の推移を議論する場合には、規則的な氷期・間氷期サイクルを基本とする現行の地球環境シス

テムの確立以降が対象となろう。この確立にも種々の議論がなされてきたが、二酸化炭素の減少とともに日射量変動が重要な要因として考えられるようになってきている。日射量変動と気候変動の基本的傾向は対応しているが、細部までそれほど明瞭ではない。さて、日射量の変動から数百年から数千年のオーダーで間氷期の終了（寒冷期の到来）が懸念されているが、現在の地球温暖化問題のなかで長期気候変動解析に課せられた宿題は、現在の間氷期の今後の推移（気候変動・地表

環境と生物活動の相互作用も含む)に関する知見・対応策を過去の情報に見出すことである。間氷期の終結には最終間氷期(MIS5e; 12.5万年前前後)から亜氷期(MIS5d)への“緩やかな”推移や40万年前後(MIS11問題)の亜氷期には至らず超間氷期を迎えるもの(現在の地球温暖化が超間氷期の契機となる?)がこれまでの議論の対象となってきた。しかしながら、申請者のグループが日射量の変動と陸域堆積物情報の解析を進めているうちに、後述する重要な問題に直面するようになった。ユーラシア大陸中緯度内陸部は日射量変動に関してきわめて敏感な地域であることが知られており、バイカル湖やフスグル湖(バイカル湖流域、モンゴル)がこの地域に位置している。1993年にわが国が参加するようになったバイカル掘削プロジェクトは1998年に最長のコア(600m, 約100万年)を採取した。以降わが国の研究グループが主導的役割を果たしながら調査・研究は進められている。バイカル湖湖底堆積物試料からはこれまで知られていたミランコヴィッチサイクルに加えて、新たな長周期サイクルが発見され。また、フスグル湖湖底堆積物の経時変動も日射量変動と対応していることが分かり、日射量変動と気候・環境変動の相関を検証するためには最適の調査地であることが立証されている。そして、氷期(MIS6)から間氷期(MIS5e)移行に関する課題とともに間氷期(MIS5e)から亜氷期(MIS5d)へは“緩やかな”推移か? MIS11は亜氷期には至らない超間氷期か? という疑問が新たに提起されてきたのである。これは地球温暖化を含む現在の間氷期の推移に関わる極めて重要な提起であり、早急な解明が必要とされる課題である。ヨーロッパの“QUEEN”研究グループはおよそ10万年前に北極海から拡大する巨大な氷床の出現そして最終間氷期最盛期と同様の最寒冷期の存在を推定しているが、この議論に使用された年代軸の精度を考えればこの出現は最寒冷期MIS5dに対応する可能性があり、MIS5dの急激な寒冷化を支持しているように思われる。つまりMIS5dからMIS5cへの移行期やMIS5aからMIS4への移行期も重要な対象と考えられる。

## 2. 研究の目的

バイカル湖湖底堆積物情報から漠然と示唆されていたこれらの問題が2004-2008年にかけて掘削されたフスグル湖湖底堆積物の分析結果からも改めて示されることになった。バイカル湖流域にあるフスグル湖の湖面標高(1650m)はバイカル湖(446m)よりも1200m以上高く、平均気温が低いため、氷期の全面結氷が遥かに長かった可能性がある。西隣にあるダルハド湖(湖面標高、1570m)は、成因はバイカルやフスグルと同様であ

るが、涵養域の大きさと山岳氷河の堰き止め作用により、間氷期には縮退、氷期には拡大を繰り返したものと考えられている。間氷期には水位の上昇、氷期には低下を繰り返したフスグル湖とは対照的であるが、両者とも高度が高いため日射量変動の影響をバイカル湖よりもより鋭敏に受けてきた可能性がある。例えば、バイカル湖でもMIS11期(40万年前)に対応する日射量曲線の極小時は僅かながら寒冷化を示すが、フスグル湖ではより明瞭であり、必ずしも海洋コアが示すような超間氷期ではない。つまり、この地域の湖底堆積物試料には日射量の影響に関する詳細な情報や氷期・間氷期の推移に関する重要な情報が含まれている可能性が高い。

そこで本研究では、モンゴル・ロシア・韓国との四カ国共同研究として平成21年度から平成23年度にかけて、湖面標高が1600mにあるダルハド湖(フスグル湖の西隣、バイカル湖の流域ではないが同様にエニセイ河の上流)とフスグル湖を対象とし、氷期-間氷期の推移の解明を狙いとして、複数の氷期-間氷期変動を含む数本(ダルハド湖では3本、フスグル湖では1本)のコアの採取を行い、その分析・解析を進める。また、流域での調査を併行し、環境が記録されるプロセスの検討を進める。同時にこれまでに採取された(2006-2008年)フスグル湖試料の詳細な分析・解析および本研究で得られる資料との比較検討を進める。また、バイカル湖や日本(琵琶湖)で得られた資料との系統的な対比を行い、氷期-間氷期の推移に関して有意な知見を集約する。そして氷期・間氷期の終結、その契機・要因やその推移に関する日射量の影響、地球温暖化問題に関連して議論が進行している現在の間氷期の終結や移行期に関する問題の解明に資することを主たる目的とする。

## 3. 研究の方法

日射量変動からは現行の間氷期が終結時に近づいていると考えられている現在、氷期・間氷期の推移に関する情報の集約、とりわけ人類をふくめた生命活動の主たる場である陸域情報の集約は推移期に多発する突発的な環境変動への対応のためには喫緊の課題である。従って、日射量変動に敏感な地域で氷期・間氷期の推移に関する詳細な情報が不可欠となる。長期陸域環境変動の解明に関してはバイカル湖の湖底堆積物情報が現在、一つの世界基準となっている。バイカル湖にあるダルハド湖・フスグル湖はモンゴル高原の北端域に属し、湖面標高(ダルハド湖; 1570m、フスグル湖; 1650m)もバイカル湖(446m)よりも1100m以上も高く、人為的な影響は極めて少ない地点である。フスグル湖の西隣にあるダルハド湖は、成因はバイカルやフスグルと同様であるが、涵養域

の大きさと山岳氷河の堰き止め作用により、間氷期には縮退、氷期には拡大を繰り返したものと考えられている。間氷期には水位の上昇、氷期には低下を繰り返したフブスグル湖とは対照的であるが、両者とも高度が高いために日射量変動の影響をバイカル湖よりもより鋭敏に受けてきた可能性がある。従って、氷期・間氷期の詳細な推移が湖底堆積物に刻まれている可能性が高く、水文環境の相違を含めた環境変動の実態が高い分解能で比較可能となり、氷期・間氷期の推移を推定するための重要な知見の入手が期待される。以下に計画を示す。

(1) 国際共同研究に関する調査・研究手法の調整 (日本・モンゴル・ロシア・韓国)

(2) フブスグル湖掘削 (1本の長尺コアの採取) (日本・モンゴル・ロシア・韓国) (平成21年度)

(3) ダラハド湖掘削地点の検討と掘削 (日本・モンゴル・ロシア・韓国)、3本の長尺コアの採取 (平成22年度)

(4) 掘削試料の分析

① 試料の分取と国際配分 (日本・モンゴル・ロシア・韓国)

② 分析項目の決定

- ・物理量 (粒度、密度、含水比等)
- ・磁気特性 (古地磁気、岩石磁気)
- ・年代測定 (FT, TL, C-14 等)
- ・同位体分析 (炭素、窒素等)
- ・化学分析 (主要元素、微量元素)
- ・鉱物分析
- ・生物化石分析 (花粉、珪藻等)

(5) 既存の資料の統合・整理の検討。

- ・古気候変動関連資料
- ・物理量・流域環境関連資料
- ・年代測定関連資料
- ・同位体分析関連資料
- ・化学分析関連資料
- ・鉱物分析関連資料
- ・生物化石分析関連資料

(6) 流域の調査と試料の検討

- ・流域の地形・水質調査 (ダラハド湖流域)
- ・流域堆積物・岩石試料の収集と分析 (ダラハド湖流域)
- ・地形・地質資料・水文・気象資料の収集と解析 (ダラハド湖・フブスグル湖)

#### 4. 研究成果

氷期・間氷期の移行期における突発的な環境変動は最終氷期におけるハインリッヒイベントのような海洋堆積物や氷床堆積物から明らかにされたものやミゾーラの洪水のような残された地形から明らかにされたもの等があるが、ダラハドでは移行期における大規模洪水の存在が推定されていた。時系列では先行するフブスグル湖の堆積物試料の解析結果からは最終氷期最寒冷期を

過ぎてやや暫らく経過した時期に (約17000-15000年前) 急速な土砂移動現象が発生することが明らかになった。おそらく融氷水が関係する土石流や乱泥流の発生が関係しているものと思われる (図-1)。

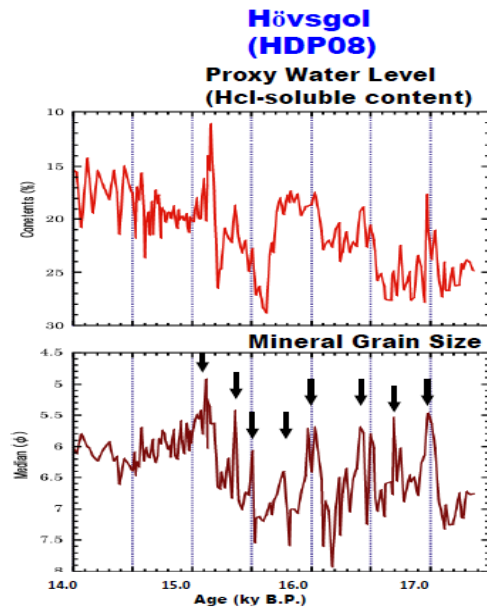


図-1 フブスグル湖における水位変動 (上) と粒度変動 (図中の矢印は突発的な土砂流入を示す)。

ダラハド湖で採取した3本の長尺コアで最も長い200mコアからは氷河湖決壊洪水に関係するものと思われる粗粒土砂の流入が認められ、決壊は下流部における大規模な洪水とともに湖沼内にも流域からの土砂流入があったことが明らかになった (図-2)。

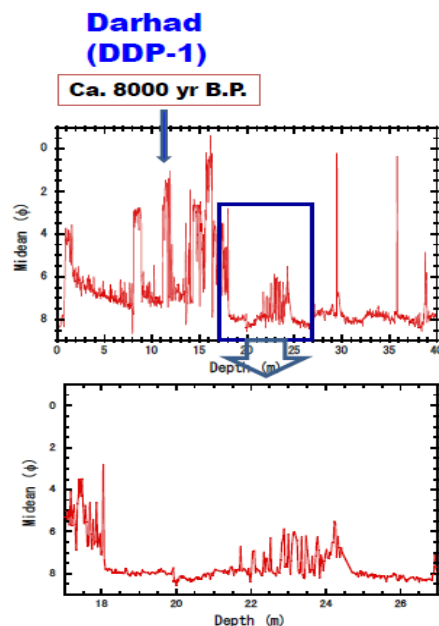


図-2 ダラハド湖における粒度変動 (上; 更新世後期から完新世、下; 約20000-10000年前)。

ダラハドにおける大規模洪水の発生は氷期・間氷期移行期における大規模な地球環境変動は大陸内部ではアルタイの洪水やミゾーラの洪水のような大規模な氷河湖決壊洪水の発生として表れていることを示唆している。

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 40 件)

1. Kashiwaya, K., Earth surface processes and environmental changes in lake-catchment systems, Transaction, Japanese Geomorphological Union 'Chikei' (TJGU), 33(2012), in press, 査読有
2. Kashiwaya, K., Ochiai, S., Okimura, T., Nahm, W.H., Yang, D.Y., Kim, J.Y.: Erosion and sedimentation in lake-catchment systems in Japan and Korea on the basis of an elementary process model, Transaction, Japanese Geomorphological Union 'Chikei' (TJGU), 33(2012), in press, 査読有
3. Shinnosuke Ohishi and Noriko Hasebe, Observations of Fission-tracks in Zircons by Atomic Force Microscope, Radiation Measurement, accepted (2012), 査読有
4. Noriko Hasebe, Ayako Inagaki, Noritaka Endo, Keisuke Fukushi, Kazumi Ito and Kenji Kashiwaya, Thermoluminescence color image analysis of sediments from Lake Khuvsgul, Mongolia, and its potential to investigate paleoenvironmental change, accepted to Quaternary Geochronology (2012), 査読有
5. Noriko Hasebe, Koji Aratake, Akihiro Tamura, Masayuki Okuno, Shoji Arai and Isamu Shinno, Raman spectroscopy of synthetic zircon: Effects of chemical composition, The Science Reports of Kanazawa University, vol., 55 (2012), 17-24, 査読有
6. Kashiwaya, K., Lake-catchment systems and sediment information in Baikal district (Siberia and Mongolia), Journal of Earth Environment, 2(2011), 417-425, 査読有
7. Ochiai, S., Kashiwaya, K., Quaternary terrestrial climatic response to orbital forcing printed in Lake Baikal Sediment, Journal of Earth Environment, 2 (2011), 442-449, 査読有
8. Orkhonselenge, A., Mino, K., Kashiwaya, K., Krivonogov, S., Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Nakamura, T., Holocene hydro-environmental changes in northern Mongolia inferred from lacustrine sediments in Borsog Bay of Lake Khuvsgul, Journal of Earth Environment, 2 (2011), 457-461, 査読有
9. Hisao Ando, Hitoshi Hasegawa, Takashi Hasegawa, Toru Ohta, Masanobu Yamamoto, Noriko Hasebe, Gang Li and Niiden Ichinnorovu, Jurassic-Cretaceous lacustrine deposits in the East Gobi Basin, southeast Mongolia, 地質学雑誌, 117 (2011), XI-XII, 査読有
10. Kazumi Ito, Noriko Hasebe, Akihiro Hasebe, Shoji Arai, The matrix effect on 238U and 232Th measurements using pressed powder pellets by LA-ICP-MS, Geochemical Journal, 45 (2011), 375-385, 査読有
11. Noriko Hasebe, Kazumi Ito, Akihiro Hasebe, Narantsetseg TS, Oyunchimeg TS, Egor V. Ivanov, Kenji Kashiwaya, K-Ar age of basement basalt of HDP09 core from Lake Khuvsgul, Mongolia: Implication to estimate the beginning of Baikal rift zone, Journal of Earth Environment, 2(2011), 462-466, 査読有
12. 川村泰士・長谷部徳子・安藤寿男・長谷川 精・長谷川卓・太田 亨・山本 正伸, FT 法によるモンゴル中部堆積物の堆積年代の推定, フィッショントラックニュースレター, 24 (2011), 73-74, 査読無
13. 竹下 徹・長谷部徳子・野村和良, 四国中央部三波川帯緑泥石帯砂質片岩中のジルコンのフィッショントラック年代: 2つの異なる年代とその意味, 地質学雑誌, 117 (2011), 53-56, 査読有
14. Kentaro ITO and Noriko HASEBE, Fission track dating of Quaternary volcanic glass by stepwise etching, Radiation Measurement, 46 (2011), 176-182, 査読有
15. Noritaka Endo, Norihiro Izumi, Takashi Murakami and Youki Ueno, Observation and linear stability analysis of formation of rhomboid rills. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM) (2011), 1763-1770, © 2011 Tsinghua University Press, Beijing (ISBN 978-7-89444-548-3; 2199 p) SHOA

- Xuejun, WANG Zhaoyin and WANG Guangqian eds., 査読有
16. Taro Suzuki and Noritaka Endo, Flume experiments of deposition rate on foreset of silty delta relative to hydrographic patterns. *Journal of Earth Environment*, 2(3) (2011), 450-456, (Institute of Earth Environment, Chinese Academy Science), 査読有
  17. Taro Suzuki and Noritaka Endo, Flume Experiments of response of a delta profile to temporary waxing discharge. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, 32(2) (2011), 159-166, (ISSN 0389-1755) 査読有
  18. Watanabe, Y. Kasama, T. Fukushi, K. Ikoma, T. Komatsu, Y. Tanaka, J. Moriyoshi, Y. and Yamada, H., Synthesis of nano-sized boehmites for optimum phosphate sorption. *Separation Science and Technology*, 45 (2011), 561-568, 査読有
  19. Kanematsu, M. Young T.M. Fukushi, K. Sverjensky, D. Green, P.G. and Darby, J.L., Quantification of the effects of organic and carbonate buffers on arsenate and phosphate adsorption on a goethite-based granular porous adsorbent. *Environmental Science and Technology*, 45 (2011), 561-568, 査読有
  20. Yagi, S. and Fukushi, K. Phosphate sorption on monohydrocalcite. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 106 (2011), 109-113, 査読有
  21. 矢部太章・福士圭介・伊藤弘志・窪田宗弘・榊谷優輔, 水溶液中における酸化マグネシウムの変質挙動, *粘土科学*, 49 (2011), 135-140, 査読有
  22. Kashiwaya, K., Ochiai, S., Hasebe, N., Yamamoto, M. et al., Climato-hydrological fluctuations recorded in long lacustrine records in Lake Hövsgöl, Mongolia, *Quaternary International*, 219 (2010), 178-187, 査読有
  23. Nahm WH, Lee GH, Yang DY, Kim JY, Kashiwaya K., Yamamoto M., Sakaguchi A., A 60-year record of rainfall from the sediments of Jinheung Pond, Jeongeup, Korea. *Journal of Paleolimnology*, 43 (2010), 489-498, 査読有
  24. 稲垣亜矢子, 長谷部徳子, 遠藤徳孝, 伊藤一充, 湯本仁亭, 柏谷健二, 湖沼堆積物の熱ルミネセンスデジタル写真撮影とその色特性, (Thermoluminescence digital images of lake sediments and their color characteristics) *地質学雑誌* 116 (2010), XIX-XX, 査読有
  25. 稲垣亜矢子, 長谷部徳子, 遠藤徳孝, 伊藤一充, 熱ルミネセンスのデジタル写真撮影と Java アプリケーションを用いた色の数値化方法 (Thermoluminescence digital color image and its evaluation using Java application), *地質学雑誌* 116 (2010), 690-693, 査読有
  26. 末岡 茂・田上高広・堤 浩之・長谷部徳子・田村明弘・荒井章司・山田隆二・松田達生・小村健太郎, フィッション・トラック熱年代に基づいた六甲地域の冷却・削剥史, *地学雑誌* 119 (2010), 84-101, 査読有
  27. 長谷部徳子・田村明弘, FT 年代と U-Pb 年代の同時測定について, *フィッショントラックニュースレター*, 23 (2010), 44-45, 査読無
  28. Sherif Mansour・Noriko Hasebe, Evolution and Thermo-Tectonic Development of The Basement complex, West-central Sinai, Egypt: Constraints from Uranium-Lead Dating and Apatite Fission Track Low-Temperature Thermochronology, *フィッショントラックニュースレター*, 23(2010), 8-9, 査読無
  29. 伊藤一充・長谷部徳子・柏谷健二・田村明弘, 炭酸塩鉱物を用いたルミネセンス年代測定—モンゴル・フブスグル湖堆積物の報告—, *フィッショントラックニュースレター*, 23(2010), 26-27, 査読無
  30. 稲垣亜矢子・長谷部徳子・伊藤一充・遠藤徳孝・柏谷健二, 湖沼堆積物を用いた東アジアにおける古環境推定のための熱ルミネセンスカラー画像解析, *フィッショントラックニュースレター*, 23(2010), 28-29, 査読無
  31. Kanematsu M., Young T., Fukushi K., Green P., and Darby J., Extended Triple Layer Modeling of Arsenate and Phosphate Adsorption on A Goethite-based Gracular Porous Adsorbent. *Environmental Science and Technology*, 44 (2010), 3388-3394, 査読有
  32. Fukushi, K. Sugiura, T. Morishita, T. Takahashi, Y. Hasebe, N. and Ito, H., Iron-bentonite interactions in the Kawasaki bentonite deposit, Zao area, Japan. *Applied Geochemistry*, 25 (2010), 1120-1132, 査読有

33. Nagata T and Fukushi, K., Prediction of iodate adsorption and surface speciation on oxides by surface complexation modeling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74 (2010), 6000-6013, 査読有
34. HDP Members (Kuzmin, I., Kashiwaya, K., Kim, JY et al.), Sedimentary record from Lake Hovsgol, NW Mongolia: Results from the HDP-04 and HDP-06 drill cores, *Quaternary International*, 205 (2009), 21-37, 査読有
35. Shichi, K., H. Takahara, K. Kashiwaya et al., Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal, *Quaternary International*, 205 (2009), 98-110, 査読有
36. Sakaguchi, A., M. Yamamoto, K. Kashiwaya et al., Uranium-series chronology for sediments of Lake Hovsgol, Mongolia, and the 1-Ma records of Uranium and Thorium isotopes from the HDP-04 drill core, *Quaternary International*, 205 (2009), 65-73, 査読有
37. Tamamura, S., T. Sato, K. Kashiwaya et al., Seasonal Deposition Fluxes of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Biwa, Japan, *Water, Air, and Soil Pollution*, 198 (2009), 297-306, 査読有
38. Ito, K., N. Hasebe, R. Sumita, S. Arai, M. Yamamoto, K. Kashiwaya, Y. Ganzawa, LA-ICP-MS analysis of pressed powder pellets to luminescence geochronology, *Chemical Geology*, 262 (2009), 131-137, 査読有
39. Noriko Hasebe, Andrew Carter, Anthony J. Hurford and Shoji Arai, The effect of chemical etching on LA-ICP-MS analysis in determining uranium concentration for fission-track chronometry. *Geological Society Special Publication*  
 "Thermochronological methods: from palaeotemperature constraints to landscape evolution models" 324 (2009), 37-46, 査読有
40. Nagata, T., Fukushi, K. and Takahashi Y., Prediction of iodide adsorption on oxides by surface complexation modeling with spectroscopic confirmation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 332 (2009), 309-316, 査読有

[学会発表] (計 109 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

柏谷 健二 (KASHIWAYA KENJI)  
 金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授  
 研究者番号：30161029

### (2) 研究分担者

山本 政儀 (YAMAMOTO MASAYOSHI)  
 金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授  
 研究者番号：10121295

長谷部 徳子 (HASEBE NORIKO)  
 金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授  
 研究者番号：60272944

青木 賢人 (AOKI TATSUTO)  
 金沢大学・人間科学系・准教授  
 研究者番号：30345649

高原 光 (TAKAHARA HIKARU)  
 京都府立大学・生命環境科学研究科・教授  
 研究者番号：30216775

谷 幸則 (TANI YUKINORI)  
 静岡県立大学・環境科学研究所・准教授  
 研究者番号：10285190

### (3) 連携研究者

井上(松本) 源喜 (INOUE MATSUMOTO GENKI)  
 大妻女子大学・社会情報学部・教授  
 研究者番号：80245357

箕浦 幸治 (MINOURA KOUJI)  
 東北大学・大学院理学研究科・教授  
 研究者番号：10133852

酒井 英男 (SAKAI HIDEO)  
 富山大学・理学部・教授  
 研究者番号：30134993

中村 俊夫 (NAKAMURA TOSHIO)  
 名古屋大学・年代測定総合研究センター・教授  
 研究者番号：10135387