

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24404026

研究課題名(和文)バイカル湖ククイキャニオンのメタンハイドレート密集生成環境と機構の解明

研究課題名(英文) Investigation on the gas hydrate formation at Kukuy Canyon in Lake Baikal

研究代表者

南 尚嗣 (Minami, Hirotugu)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：40241426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：バイカル湖ククイキャニオンおよび比較サイトにおいて、4年間に計4回の調査を行った。物理探査で明らかになったマウンドもしくは泥火山と思われる湖底の高まり等において、重力コアラを用いて湖底表層堆積物コアを採取し、新たに17カ所のガスハイドレートを産するサイトを発見した。採取したコア試料は、調査船内で直ちに測定およびサブサンプリングに供した。堆積物コアのガス、間隙水、ガスハイドレート解離水そして堆積物の解析結果より、ククイキャニオンにおける湖底表層ガスハイドレート生成環境の特徴が示された。

研究成果の概要(英文)：Four field investigations were conducted using research vessels to study subsurface gas hydrate formation at Kukuy canyon in Lake Baikal during four years of the present study. Subsurface sediment cores were retrieved by using gravity corers from characteristic areas such as mounds and mud volcanoes. Total seventeen subsurface gas hydrate-bearing sites were discovered in the studied areas. The experimental results from chemical analyses using gas, sediment pore water and dissociated gas hydrate water samples as well as geotechnical analyses of the retrieved sediment cores show characteristic environments for the formation of gas hydrates in the studied areas.

研究分野：メタンハイドレート

キーワード：メタンハイドレート バイカル湖 ククイキャニオン 化学・物理解析 国際研究者交流

## 1. 研究開始当初の背景

ロシア連邦バイカル湖では 1997 年に南湖盆の湖底面下の深さ 121 m と 161 m でガスハイドレート (GH) が発見され (深層型 GH)、2000 年に南湖盆マレンキー泥火山域で湖底面直下に GH が発見された (表層型 GH)。

北見工業大学環境・エネルギー研究推進センターは、バイカル湖における GH 研究を 2002 年から開始した。2009 年度から 2012 年度は、主として科学研究費補助金 (代表: 高橋信夫教授) の支援のもとに活動をおこなった。調査は、ロシアの研究機関およびベルギーの大学と共同で実施された。GH は湖全体に一樣に分布しているのではなく、密集生成域が見られることが明らかにされた。エネルギー資源の観点では、GH 密集生成環境および生成機構の解明は非常に重要である。南湖盆のマレンキー等の GH サイトは断層に沿って存在するが、他の約 20 カ所の GH サイト全てに共通する特徴は見られない。特にクワイキャニオンは 10 カ所の GH サイトが密集生成する特異な場所であることがわかった。

バイカル湖 GH の結晶構造は、その多くが微生物起源メタンを主成分とするクラスレート構造 I 型であるが、クワイキャニオンの一部では熱分解起源と考えられるエタンを包有ガスの 10% 以上含む II 型 GH が発見されており (連携研究者: Hachikubo et al., 2009 など)、深部から湖底表層に向かう湧昇ガスが 2 タイプ (微生物起源ガスと熱分解起源ガス) 共存し混合する特異な地域との解釈が可能である。こうしたクワイキャニオンの特異性が、GH 密集生成の機構と深く関係している可能性が示唆された。

### 「引用文献」

・Hachikubo, A., O. Khlystov, A. Manakov, M. Kida, A. Krylov, H. Sakagami, H. Minami, N. Takahashi, H. Shoji, G. Kalmychkov, J. Poort: Model of formation of double structure gas hydrates in Lake Baikal based on isotopic data, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L18504 (2009).

## 2. 研究の目的

クワイキャニオンの GH サイトの共通点は、ガスフレア (音響探査による) の存在よりもむしろマウンドもしくは泥火山と思われる湖底の高まりである。そこでは深部から湖底面に向かってガス・水・泥が輸送・混合されていると考えられるが、不明な点が多い。

本研究ではクワイキャニオンを対象に、

(1) 物理探査 (マルチビーム) 三次元マップで明らかになった湖底の高まりでのコア採取、(2) コアの化学分析 (ガス・水の化学成分、同位体比) と土質試験 (間隙率、強度、含水比)、(3) バイカル湖の他地域のコア解析結果との比較をおこない、ガス・水の起源と移動および混合を調べることによって、クワイキャニオンの GH 密集生成環境お

よび生成機構に関する知見を得ることを目指した。

## 3. 研究の方法

本研究は、下記の 3 研究機関が実施する「日本・ロシア・ベルギーの国際共同研究」として行われた。調査には、ロシア科学アカデミーシベリア支部陸水学研究所 (LIN) が運営管理する調査船ヴェルシャーギン号を用いた。取得データと採取コアは全て 3 研究機関が共有し、研究成果は共同発表した。

・日本 (北見): 北見工業大学 環境・エネルギー研究推進センター (KIT: 代表、南教授・センター長 (本研究申請代表者))

・ロシア (イルクーツク): ロシア科学アカデミーシベリア支部陸水学研究所 (LIN: 代表、クリストフ室長)

・ベルギー (ゲント): ゲント大学レナード海洋地質学研究所 (RCMG: 代表、デバティスト教授)

LIN は、ロシア政府からの調査許可申請・取得および調査船運用や堆積物コア採取用コアラー操作を含むロジスティクスを担当し、研究面では、音響探査、地震探査、堆積物コアの層序解析等を担当した。RCMG は、主として湖底地形解析を含む物理探査解析および過去のデータ収集解析を担当した。経費負担は、コストシェアを基本とした。各研究機関代表によるステアリング委員会を設けて、運営をした。

## 4. 研究成果

### (1) コア解析の総括

#### ① ガス分析

クワイキャニオンでは、本研究開始以前に結晶構造 II 型の GH がクワイ K-2、K-4、K-10 と命名された 3 箇所各泥火山で発見されている (連携研究者: Hachikubo et al., 2009 など)。本研究期間内には上記の 3 箇所他にクワイ K-3 泥火山および K-P と命名されたポックマーク形状の湖底からも結晶構造 II 型の GH が採取された。これら計 5 箇所のサイトでは、GH 中に包接されている炭化水素ガスのメタン (C1)、エタン (C2)、プロパン (C3) 濃度のモル比 (C1 / (C2 + C3)) が約 6 でほぼ同じであることが明らかになった。人工的に生成した C1・C2 混合ガスハイドレートにおいても、このガス組成では結晶構造 II 型が生成することが知られている。

クワイキャニオンでこれまでに得られた GH 結晶中のメタン分子の炭素安定同位体組成は、 $\delta^{13}\text{C}$  が -70‰ から -44‰ の広範囲におよび、微生物起源メタン、熱分解起源メタンおよびこれらの混合ガスで構成されているとの解釈が可能である。一方エタンは大半の地点で  $\delta^{13}\text{C}$  が -30‰ から -22‰ の範囲であり、熱分解起源と考えられる。従って本研究結果からは、クワイキャニオン湖底表層の結晶構造 II 型 GH はエタンに富む熱分解起源ガスが堆積物深部から湧昇したことが主たる生成要

因との解釈が可能である。

## ② 土質試験

採取した堆積物コアを直ちに縦に（深度方向に）二分し、調査船内にてコア半割面に対して小型のベーンを用いたせん断試験とコーンを用いた貫入試験を実施し、堆積物コアの力学特性を調べた。GH を含有する堆積物コアでは、GH が存在していない部分で上述の試験を実施した。

ククイキャニオンで採取した堆積物コアは、これまでにノボシビルスク泥火山で採取したコア解析報告（連携研究者：山下ら、2012 など）と同様に、湖底表層部で含水比が高く、深度とともに含水比が低くなることがわかった。ベーンせん断強さおよびコーン貫入抵抗も、堆積物コアの深部に向けてともに高くなることがわかった。GH が採取できたコアの含水比は、GH が採取できなかったコアに比べて低いことがわかった。一方、強度にはコア中の GH の有無による明確な相違は見られず、ノボシビルスク泥火山での特性（連携研究者：山下ら、2012 など）と異なることはククイキャニオンでの特徴といえる。

## ③ 水分析

間隙水中の硫酸イオン濃度は、湖水中濃度とほぼ等しい濃度から深度とともに急激に低下する現象が、測定に用いたほぼ全ての湖底表層堆積物コアで見られた。特に GH 含有コアでは、湖底面下深度 0.5m より浅い深度で硫酸イオン濃度が検出下限値未満になった。硫酸イオン濃度の低下は、堆積物中のメタンがバクテリアによって酸化分解される際に間隙水中の硫酸イオンを消費したためとの解釈が可能である。硫酸イオンが枯渇する湖底面下深度が浅いほど堆積物深部からのメタンフラックスが強いと考えられるので、ククイキャニオンでは極めて強いメタンフラックスがあることが示唆された。

一方間隙水中の塩化物イオン濃度は、堆積物コア中の GH の有無（目視観察による）に関わらず、基本的に湖水中濃度を保っていることを明らかにした。海底表層型 GH 産出域においては（例えばサハリン島北東沖）、海底表層堆積物の間隙水中に海水中濃度より高濃度の塩化物イオンが観察され、この現象は GH の急速な生成に伴うイオンの排斥（すなわち間隙水への供給）が間隙水中での拡散等によるイオン除去を上回ることが主たる要因として説明されている。ククイキャニオンで採取した湖底表層堆積物コア間隙水中の塩化物イオン濃度が基本的に湖水中濃度を保つ事実は、ククイキャニオンの GH 産出サイトでは極めて強いメタンフラックスが存在しているものの、現在も急速に GH が生成中とはいえないことを示唆する。

ククイキャニオン K-9 泥火山から重力コアラで採取した湖底表層堆積物コア中の GH を分取して分離させ、得られた水試料の化学

組成および水素と酸素それぞれの同位体組成を調べた結果、この GH の水分子は湖底水よりもむしろ堆積物深部からの湧水を起源としている可能性が示唆された（研究代表者：Minami et al., 2014）。一方、ククイキャニオンにおいて K-9 泥火山以外の複数の泥火山サイトから湖底表層堆積物コアを採取してそれらの間隙水を分析した結果、湖水とは異なる化学組成の水が存在することがわかった。この結果は、K-9 泥火山における堆積物深部からの湧水が深く関わる GH の生成機構と整合的であり、ククイキャニオン泥火山域において GH が密集生成する環境には共通の GH 生成機構が存在する可能性が示唆された。

## 「引用文献」

- Hachikubo, A., O. Khlystov, A. Manakov, M. Kida, A. Krylov, H. Sakagami, H. Minami, N. Takahashi, H. Shoji, G. Kalmychkov, J. Poort: Model of formation of double structure gas hydrates in Lake Baikal based on isotopic data, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L18504 (2009).
- Minami, H., A. Hachikubo, H. Sakagami, S. Yamashita, Y. Soramoto, T. Kotake, N. Takahashi, H. Shoji, T. Pogodaeva, O. Khlystov, A. Khabuev, L. Naudts, M. De Batist: Sequentially sampled gas hydrate water, coupled with pore water and bottom water isotopic and ionic signatures at the Kukuy mud volcano, Lake Baikal: ambiguous deep-rooted source of hydrate-forming water, *Geo-Marine Letters*, **34** (2-3), 241-251 (2014).
- 山下聡, 出羽寛信, 八久保晶弘, 南尚嗣, 片岡沙都紀, 川口貴之, 坂上寛敏, 高橋信夫, 庄子仁: 表層型ガスハイドレート賦存海底・湖底地盤から採取した堆積土の土質特性 ―間隙水溶存ガスの気泡化に伴う堆積土の試料乱れ評価―, *地盤工学ジャーナル*, **7**, 503-516 (2012).

## (2) 2012 年度の調査成果:

2012年7月14日から7月28日の期間中に、ロシア調査船ヴェルシャーギン号 (VER-12-03 航海) を用いて調査をおこなった。物理探査で選択された4カ所のサイトにおいて、重力コアラを用いて湖底表層堆積物コア試料の採取を試みた。その結果、ククイキャニオンにおいて新たに2カ所の GH を産するサイトを発見し、合計6本の GH 含有堆積物コアの採取に成功した。

## (3) 2013 年度の調査成果:

2013年8月18日から8月28日の期間中に、ロシア調査船ヴェルシャーギン号 (VER-13-03 航海) を用いて調査をおこなった。物理探査で選択されたサイトにおいて、

重力コアラーを用いて湖底表層堆積物コア試料の採取を試みた。その結果、ククイキャニオンにおいて新たに2カ所のGHを産するサイトを発見し、合計4本のGH含有堆積物コアの採取に成功した。

(4) 2014年度の調査成果：

2014年8月17日から8月26日の期間中に、ロシア調査船ヴェルシャーギン号(VER-14-03 航海)を用いて調査をおこなった。物理探査で選択されたサイトにおいて、重力コアラーを用いて湖底表層堆積物コア試料の採取を試みた。その結果、ククイキャニオンにおいて新たに1カ所のGHを産するサイトを発見し、合計3本のGH含有堆積物コアの採取に成功した。比較のための調査域においても、新たに4箇所GHサイトを発見した。

(5) 2015年度の調査成果：

2015年8月16日から8月25日の期間中に、ロシア調査船ヴェルシャーギン号(VER-15-03 航海)を用いて調査をおこなった。物理探査で選択されたサイトにおいて、重力コアラーを用いて湖底表層堆積物コア試料の採取を試みた。その結果、比較のための調査域において新たに5箇所GHサイトを発見した。

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11件)

- ① Kida M., H. Sakagami, M. Watanabe, Y. Jin, N. Takahashi, J. Nagao: Structural properties of methane and butane mixed-gas hydrates, *Chemical Engineering Science*, **140**, 10-15, DOI: 10.1016/j.ces.2015.08.047 (2016). 査読有
- ② Ogino T., T. Kawaguchi, S. Yamashita, S. Kawajiri: Measurement deviations for shear wave velocity of bender element test using time domain, cross-correlation, and frequency domain approaches, *Soils and Foundations*, **55** (2), 329-342, DOI: 10.1016/j.sandf.2015.02.009 (2015). 査読有
- ③ Takeya, S., H. Fujihisa, A. Hachikubo, H. Sakagami, Y. Gotoh: Distribution of butane in the host water cage of structure II clathrate hydrates, *Chemistry A European Journal*, **20** (51), 17207-17213, DOI: 10.1002/chem.201403575 (2014). 査読有
- ④ Khlystov, O., M. De Batist, H. Shoji, A. Khabuev, O. Belousov, G. Kalmychkov, A. Manakov, H. Minami, A. Hachikubo, S. Nishio, L. Naudts: Location and characterization of gas hydrates in Lake Baikal, *Proceedings of*

*the 8th International Conference on Gas Hydrates*, 28 July - 1 August, 2014, Beijing, China (2014). 査読無

- ⑤ Minami, H., A. Hachikubo, H. Sakagami, S. Yamashita, Y. Soramoto, T. Kotake, N. Takahashi, H. Shoji, T. Pogodaeva, O. Khlystov, A. Khabuev, L. Naudts, M. De Batist: Sequentially sampled gas hydrate water, coupled with pore water and bottom water isotopic and ionic signatures at the Kukuy mud volcano, Lake Baikal: ambiguous deep-rooted source of hydrate-forming water, *Geo-Marine Letters*, **34** (2-3), 241-251, DOI: 10.1007/s00367-014-0364-4 (2014). 査読有
- ⑥ Takeya, S., H. Fujihisa, Y. Gotoh, V. Istomin, E. Chuvilin, H. Sakagami, A. Hachikubo: Methane clathrate hydrates formed within hydrophilic and hydrophobic media: kinetics of dissociation and distortion of host structure, *Journal of Physical Chemistry C*, **117**, 7081-7085, DOI: 10.1021/jp312297h (2013). 査読有
- ⑦ Manakov, A. Yu., O.M. Khlystov, A. Hachikubo, A.G. Ogienko: A physicochemical model for the formation of gas hydrates of different structural types in K-2 mud volcano (Kukui Canyon, Lake Baikal), *Russian Geology and Geophysics*, **54**, 475-482, DOI: 10.1016/j.rgg.2013.03.009 (2013). 査読有
- ⑧ Kida M., H. Sakagami, N. Takahashi, J. Nagao: Chemical Shift Changes and Line Narrowing in <sup>13</sup>C NMR Spectra of Hydrocarbon Clathrate Hydrates, *Journal of Physical Chemistry A*, **117** (20), 4108 - 4114, DOI: 10.1021/jp312130c (2013). 査読有

[学会発表] (計52件)

- ① 佐々木浩祐, 笠島陵, 菊地秀一, 押切望, 八久保晶弘, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, T. Pogodaeva, O. Khlystov, L. Naudts, M. De Batist, M. Grachev: バイカル湖ククイキャニオン湖底表層堆積物コア間隙水のイオン濃度の比較, *化学系学協会北海道支部2016年冬季研究発表会*, 北海道大学(北海道・札幌市), 2016年1月.
- ② 笠島陵, 押切望, 佐々木浩祐, 菊地秀一, 八久保晶弘, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, Tatyana Pogodaeva, Oleg Khlystov, Lieven Naudts, Marc De Batist, Mikhail Grachev: バイカル湖南湖盆南岸沖湖底表層ガスハイドレート含有堆積物コア間隙水の測定, *化学系学協会北海道支部2016年冬季研究発表会*, 札幌, 北海道大学(北海道・札幌市), 2016年1月.

- ③ 八久保晶弘, 太田有香, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 庄子仁, 高橋信夫, O. Khlystov, G. Kalmychkov, M. De Batist: ロシア・バイカル湖天然ガスハイドレートの結晶特性および包接ガスの多様性, 第7回メタンハイドレート総合シンポジウム, 産総研臨海副都心センター(東京都・江東区), 2015年12月.
- ④ 八久保晶弘, 太田有香, G. Kalmychkov, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, O. Khlystov, M. De Batist: バイカル湖南湖盆・中央湖盆の天然ガスハイドレートに含まれるエタンの起源, 雪氷研究大会2015・松本 信州大学(長野県・松本市), 2015年9月.
- ⑤ Khlystov, O. M., A. V. Khabuev, O. V. Belousov, H. Minami, A. Hachikubo, H. Sakagami, S. Yamashita, S. S. Vorobyova, G. V. Kalmychkov: Geological characterization of hydrate-bearing structures from the accommodation zone of Lake Baikal (Akademicheskyy Ridge), *The 6th Vereshchagin Baikal Conference*, 7-12 September, 2015, Irkutsk (Russia).
- ⑥ Krylov, A. A., O. M. Khlystov, H. Sakagami, A. Hachikubo, H. Minami, T. I. Zemskaya, T. V. Pogodaeva, E. A. Logvina, P. B. Semenov, G. V. Kalmychkov: Authigenic carbonates in the gas-hydrates structures of the Lake Baikal: distribution and mechanisms of crystallization, *The 6th Vereshchagin Baikal Conference*, 7-12 September, 2015, Irkutsk (Russia).
- ⑦ Kasashima, R., H. Minami, A. Hachikubo, S. Yamashita, H. Sakagami, N. Oshikiri, K. Sasaki, N. Takahashi, H. Shoji, O. Khlystov, T. Pogodaeva, A. Khabuev, O. Belousov, L. Naudts, M. De Batist, M. Grachev: Subsurface sediment pore waters containing high concentration of ions at the Kukuy canyon in Lake Baikal, *The 6th Vereshchagin Baikal Conference*, 7-12 September, 2015, Irkutsk (Russia).
- ⑧ Minami, H., A. Hachikubo, S. Yamashita, H. Sakagami, R. Kasashima, N. Oshikiri, N. Takahashi, H. Shoji, O. Khlystov, T. Pogodaeva, A. Khabuev, O. Belousov, L. Naudts, M. De Batist, M. Grachev: Chemical analysis of pore waters from gas hydrate-bearing sediment cores retrieved at the Kukuy canyon mud volcanoes and the other seep sites in Lake Baikal, *The 6th Vereshchagin Baikal Conference*, 7-12 September, 2015, Irkutsk (Russia).
- ⑨ Hachikubo, A., Y. Oota, Y. Shimizu, S. Takeya, H. Sakagami, H. Minami, S. Yamashita, N. Takahashi, H. Shoji, O. Khlystov, M. De Batist: Effect of water depth on hydration number of methane hydrate, *The 6th Vereshchagin Baikal Conference*, 7-12 September, 2015, Irkutsk (Russia).
- ⑩ Hachikubo, A., Y. Oota, Y. Shimizu, S. Takeya, H. Sakagami, H. Minami, S. Yamashita, N. Takahashi, H. Shoji, O. Khlystov, M. De Batist: Regional characteristics of hydrate-bound hydrocarbons in Lake Baikal, *The 6th Vereshchagin Baikal Conference*, 7-12 September, 2015, Irkutsk (Russia).
- ⑪ Khabuev, A. V., O. M. Khlystov, O. V. Belousov, D. A. Chenskiy, M. A. Soloviova, G. G. Akhmanov, H. Minami, A. Hachikubo, H. Sakagami, S. Yamashita: Geological and Geophysical Characteristics of Seep “KRASNY YAR” (South Lake Baikal), *The 6th Vereshchagin Baikal Conference*, 7-12 September, 2015, Irkutsk (Russia).
- ⑫ 八久保晶弘, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, O. Khlystov, G. Kalmychkov, M. De Batist: バイカル湖中央湖盆北部の天然ガスハイドレートの特徴, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉県・千葉市), 2015年5月.
- ⑬ 佐々木浩祐, 佐々木陽太, 平野拓馬, 菊地秀一, 八久保晶弘, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, T. Pogodaeva, O. Khlystov, L. Naudts, M. De Batist, M. Grachev: バイカル湖クイキヤニオン湖底表層堆積物コアの高イオン濃度間隙水, 化学系学協会北海道支部2015年冬季研究発表会, 北海道大学(北海道・札幌市), 2015年1月.
- ⑭ 菊地秀一, 佐々木陽太, 平野拓馬, 佐々木浩祐, 八久保晶弘, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, T. Pogodaeva, O. Khlystov, L. Naudts, M. De Batist, M. Grachev: 各種方法で採取したバイカル湖底表層堆積物コア間隙水成分の比較, 化学系学協会北海道支部2015年冬季研究発表会, 北海道大学(北海道・札幌市), 2015年1月.
- ⑮ 南尚嗣: サハリン沖海底およびバイカル湖底表層型メタンハイドレート-北見工業大学の挑戦-, 平成26年度資源・素材学会北海道支部フォーラム, 北海道大学(北海道・札幌市), 2014年12月.
- ⑯ 八久保晶弘, 清水勇希, G. Kalmychkov, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, O. Khlystov, M. De Batist: バイカル湖天然ガスハイドレートのゲストガスの地域的特徴, 雪氷研究大会2014・八戸, 八戸工業大学(青森県・八戸市), 2014年9月.
- ⑰ 大島弘己, 三浦竜司, 小川恵介, 山下聡, 川口貴之, 片岡沙都紀: 塩分濃度が深海底・湖底堆積土の圧密・強度特性に及ぼす影響, 第49回地盤工学研究発表会, 北九州国際会議場(福岡県・北九

州市), 2014年7月.

- ⑱ Khlystov, O., M. De Batist, H. Shoji, A. Khabuev, O. Belousov, G. Kalmychkov, A. Manakov, H. Minami, A. Hachikubo, S. Nishio, L. Naudts: Location and characterization of gas hydrates in Lake Baikal, *8th International Conference on Gas Hydrates*, 28 July - 1 August, 2014, Beijing (China).
- ⑲ 八久保晶弘, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, O. Khlystov, G. Kalmychkov, M. De Batist: バイカル湖ガスハイドレートに含まれる炭化水素ガスの水素同位体比, *日本地球惑星科学連合2014年大会, パシフィコ横浜会議センター (神奈川県・横浜市)*, 2014年4月.
- ⑳ 南尚嗣, 小竹毅, 佐々木陽太, 平野拓馬, 坂上寛敏, 八久保晶弘, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, T. Pogodaeva, O. Khlystov, L. Naudts, M. De Batist, M. Grachev: バイカル湖クイキャニオンで採取された湖底表層型ガスハイドレートおよび堆積物コア間隙水の化学分析, *化学系学協会北海道支部2014年冬季研究発表会, 北海道大学 (北海道・札幌市)*, 2014年1月.
- ㉑ Yamashita, S., R. Miura, S. Kataoka: Evaluation of sample disturbance due to the exsolution of dissolved gas in the pore water of deep lake bottom sediments, *The 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2-6 September 2013, Paris (France).
- ㉒ 八久保晶弘, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, O. Khlystov, G. Kalmychkov, M. De Batist, O. Vereshchagina, Y.K. Jin, A. Obzhirov: 天然ガスハイドレートのゲストガス起源, *雪氷研究大会2013・北見, 北見工業大学 (北海道・北見市)*, 2013年9月.
- ㉓ 佐々木陽太, 小竹毅, 久保圭佑, 空本悠輔, 八久保晶弘, 坂上寛敏, 山下聡, 南尚嗣, 高橋信夫, 庄子仁, T. Pogodaeva, O. Khlystov, L. Naudts, M. De Batist, M. Grachev: バイカル湖中央湖盆泥火山堆積物コアの高イオン濃度間隙水, *日本化学会北海道支部2013年夏季研究発表会, 北見工業大学 (北海道・北見市)*, 2013年7月.
- ㉔ 三浦竜司, 山下聡, 南尚嗣, 八久保晶弘, 坂上寛敏, 松本良, 庄子仁, 高橋信夫, Y. K. Jin, A. Obzhirov, O. Khlystov: 大水深海底・湖底地盤から採取した堆積土の土質特性, *第48回地盤工学研究発表会, 富山国際会議場 (富山県・富山市)*, 2013年7月.
- ㉕ 八久保晶弘, 小竹毅, 坂上寛敏, 南尚嗣, 山下聡, 高橋信夫, 庄子仁, O. Khlystov, G. Kalmychkov, M. De Batist: バイカル湖における結晶構造 II 型ガスハイドレートの分布, *日本地球惑星科学連合2013年大会, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県・千葉市)*, 2013年5月.

[図書] (計4件)

- ① Operation Report of Multi-phase Gas Hydrate Project II 2015 (MHP II-15), R/V G.U. Vereschagin Cruise, VER-15-03, Environmental and Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology, Kitami, Minami, H., H. Shoji, O. Khlystov, M. De Batist, N. Takahashi and M. Grachev, 2016, 157 pages.
- ② Operation Report of Multi-phase Gas Hydrate Project II 2014 (MHP II-14), R/V G.U. Vereschagin Cruise, VER-14-03, Environmental and Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology, Kitami, Minami, H., H. Shoji, O. Khlystov, M. De Batist, N. Takahashi and M. Grachev, 2015, 164 pages.
- ③ Operation Report of Multi-phase Gas Hydrate Project II 2013 (MHP II-13), R/V G.U. Vereschagin Cruise, VER-13-03, Environmental and Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology, Kitami, Minami, H., H. Shoji, O. Khlystov, M. De Batist, N. Takahashi and M. Grachev, 2014, 166 pages.
- ④ Operation Report of Multi-phase Gas Hydrate Project 2012 (MHP-12), R/V G. U. Vereschagin Cruise, VER-12-03, Environmental and Energy Resources Research Center, Kitami Institute of Technology, Kitami, Minami, H., H. Shoji, O. Khlystov, M. De Batist, N. Takahashi and M. Grachev, 2013, 150 pages.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

南 尚嗣 (MINAMI HIROTSUGU)  
北見工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 40241426

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

庄子 仁 (SHOJI HITOSHI)  
北見工業大学・工学部・特任教授  
研究者番号: 50201562  
高橋 信夫 (TAKAHASHI NOBUO)  
北見工業大学・学長  
研究者番号: 20108187  
山下 聡 (YAMASHITA SATOSHI)  
北見工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 00174673  
八久保 晶弘 (HACHIKUBO AKIHIRO)  
北見工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 50312450  
坂上 寛敏 (SAKAGAMI HIROTOSHI)  
北見工業大学・工学部・助教  
研究者番号: 70271757