

7. バイカル湖のメタンハイドレート層からの ガス回収実験

西尾 伸也^{1*}・杉山 博一¹・安部 透¹
八久保 晶弘²・山下 聡²
田中 洋行³・Oleg Khlystov⁴

¹清水建設株式会社 技術研究所（〒135-8530東京都江東区越中島3-4-17）

²北見工業大学（〒090-8507北見市公園町165）

³北海道大学（〒060-8628札幌市北区北13条西8丁目）

⁴ロシア科学アカデミー 陸水学研究所（Ulan-Batorskaya 3, 664033, Irkutsk, Russia）

* E-mail: nishio@shimz.co.jp

メタンハイドレートの存在が確認されているバイカル湖南湖盆の水深約400mの湖底において、2008年8月、表層のメタンハイドレートからのガス回収実験を実施した。湖底に設置した解離チャンバー内で、メタンハイドレートと水を攪拌し、水に溶かしたメタンハイドレートを湖上へ運び、ガスを解離・回収した。回収した炭化水素ガス中のエタン濃度およびプロパン濃度は採取したメタンハイドレートの解離ガス組成と同一であること、また、回収ガスのメタン安定同位体比はメタンハイドレート解離ガスの安定同位体比に等しいことから、回収ガスの主成分はメタンハイドレートの解離ガスであることを確認した。

Key Words : gas recovery test, near-surface methane hydrate, Lake Baikal, chamber, water jet

1. はじめに

南海トラフの海底地盤深部（深度：100～300m）に存在するメタンハイドレートについては、経済産業省のメタンハイドレート開発促進事業として、その資源開発に向けた取組みが始まっており、2012年以降、日本近海での海洋産出試験が予定されている。一方、大水深域において堆積土中のメタン湧出が活発な場所では、海（湖）底地盤の表層にもメタンハイドレートが存在する。しかし、その産状や堆積地盤の特徴など未解明な課題が多く残されているのが現状である。

筆者らは、湖底表層部にメタンハイドレートが存在するバイカル湖において、重力式コアサンプラーで採取したコア試料の分析、湖底でのコーン貫入試験（CPT）を行い、堆積土に含まれるメタンハイドレートの性状について調査を進めてきた^{1)~4)}。その結果を踏まえ、2008年8月、バイカル湖の南湖盆の水深約400mの湖底で、表層のメタンハイドレートからのガス回収実験を行った。ここでは、その結果を報告する。

2. 湖底表層部のメタンハイドレートを対象とした回収方法

バイカル湖は淡水湖として唯一、メタンハイドレートが賦存する湖である。中央湖盆および南湖盆でBSR(Bottom Simulating Reflector)の存在が確認され^{5,6)}、その上部の湖底地盤表層にもメタンハイドレートが存在する。湖底表層では深部に比べ水温が低いいため、表層部のメタンハイドレートは、深部に比べ相平衡条件から離れた領域にある。すなわち、加熱や減圧により相平衡状態を変化させ、メタンハイドレートを解離させるためには大きなエネルギーが必要となる。また、ガス回収中に予期せぬメタン漏洩が発生するとバッフアとなる地盤が存在しないため、直接水中に放出される。湖底生態系や地球環境への影響が懸念されており、資源開発に際しては深部のメタンハイドレートとは異なる観点からの慎重な検討が必要である。

本研究では、湖底表層部のメタンハイドレートを対象とした新たな回収方法を検証した。メタンハイドレート

周辺の水の溶存メタン濃度は極めて高いため、これをメタンハイドレート周辺の水を溶存メタン濃度の低い水と置換し、メタンハイドレートと攪拌させる事ができれば、メタンハイドレートからメタンが解離するはずである。この回収方法の概念図を図-1に示す。この方法の特徴は以下のとおりである。

- 1) 温度・圧力の相平衡条件を変化させる必要はなく、効率的である。
- 2) 加熱する方法と異なり、湖底生態系に与える影響が少ない。
- 3) メタンハイドレート解離は湖底に設置する解離チャンバーの中でのみ限定的に生じる。したがって、予期せぬメタン漏洩が発生する可能性は低い。

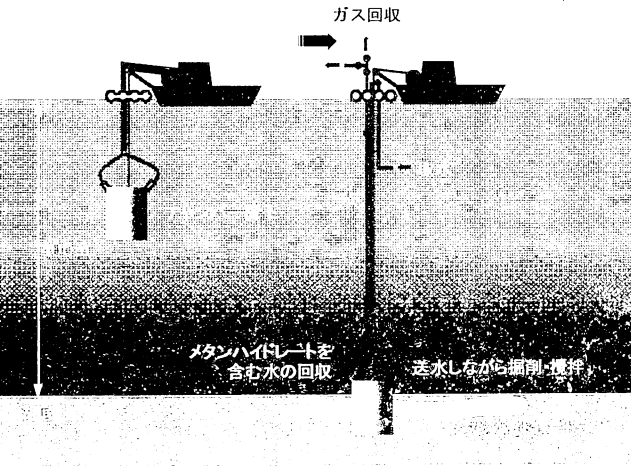


図-1 ガス回収実験の概要

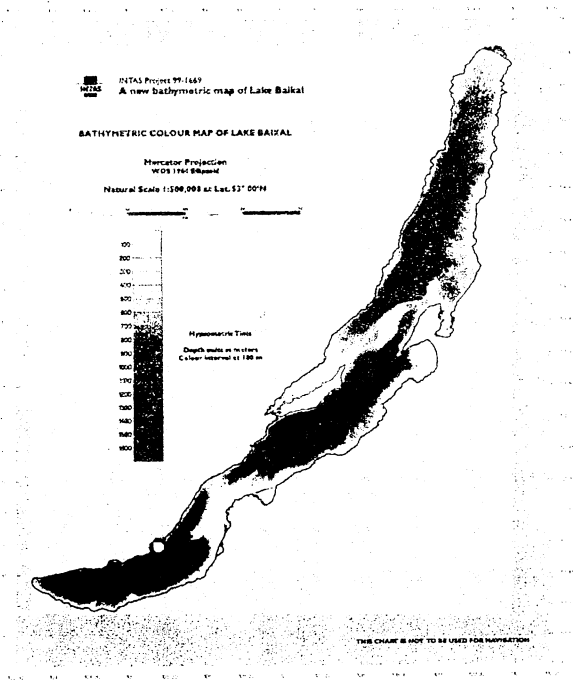


図-2 バイカル湖の等深図⁷⁾と実験サイト

3. ガス回収実験概要

提案するガス回収方法を検証するため、バイカル湖の南湖盆の水深約400mのGoloustnoye Flareサイトでガス回収実験を行った。実験サイトの位置を図-2に示す。このサイトで採取したコア試料の含水比およびせん断強度を図-3および図-4に示した。深度50cm以浅の湖底表層部は高含水比の軟弱層があるが、50cm以深では深度方向に含水比の変化は小さく、60%程度の値である。せん断強度の値は深度と共に増加し、深度200cmで20kPa程度である。

図-5にCPTの測定結果を示す。3地点 (St. 8w, St. 8wRおよびSt. 8wH) でのコーン先端抵抗は2,000kPa以上となり、他の1地点 (St. 8wF) の値と比較し極めて高い値が得られた。この3地点ではメタンハイドレート層の存在が示唆され、湖底表層付近の堆積土中に多量にメタンハイドレートが含有していることが期待できることから、ガス回収実験地点として選定した。

湖底に設置する解離チャンバーは、用いる調査船に装備されているウィンチの性能から、直径1,220mm、長さ2,000mmの鋼管を加工し、重量約850kgとした。チャンバーの先端にはチャンバー下の堆積土掘削用として16本、チャンバー内部の攪拌用として16本、計32本のウォータ

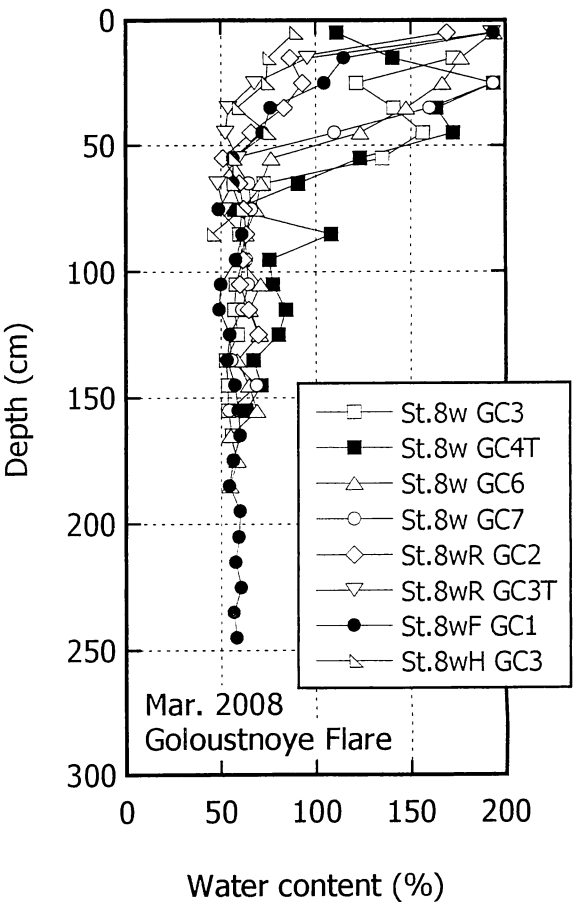


図-3 コア試料の含水比

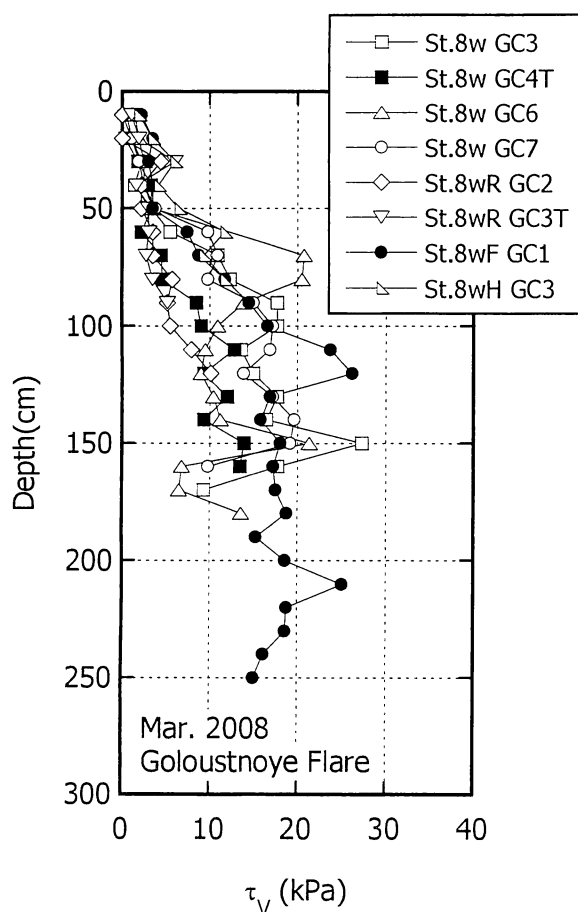


図4 コア試料のせん断強度

ージェット・ノズルを交互にチャンバー内壁に沿って配置した。

湖底堆積土のせん断強度を再現して行った模型実験より、堆積土掘削に必要なウォータージェット流速を設定し、これを確保するウォータージェット・ノズル径および必要流量を求め、送水ポンプを選定した。送水はメタン溶存度の低い湖面近くから取水し、チャンバー内でメタンハイドレートを溶解・混合させた水を揚水した。揚水過程の減圧によりガス化し、それを湖上で回収するシステムである。ポンプ近傍には圧力計、流量計を設置して送水・揚水状態を監視すると共に、ガス流量計により揚水中に含まれるガス体積を計測した。

チャンバーを所定の位置に着底させるため、水中位置検出装置のSSBL(Super Short Base Line)システムを用いた。船上から送るトリガー信号に対して水中のトランスポンダが信号音を返信し、それをトランスデューサーで受信する事で、まず水深、距離が計測される。次にトランスデューサーで受信した音波の位相差からトランスデューサーからの相対的方向を演算し、最終的に船上のGPS、方位計のデータからトランスポンダの位置(緯度、経度、深度)を算出できるシステムである。当該実験における精度は約1mである。

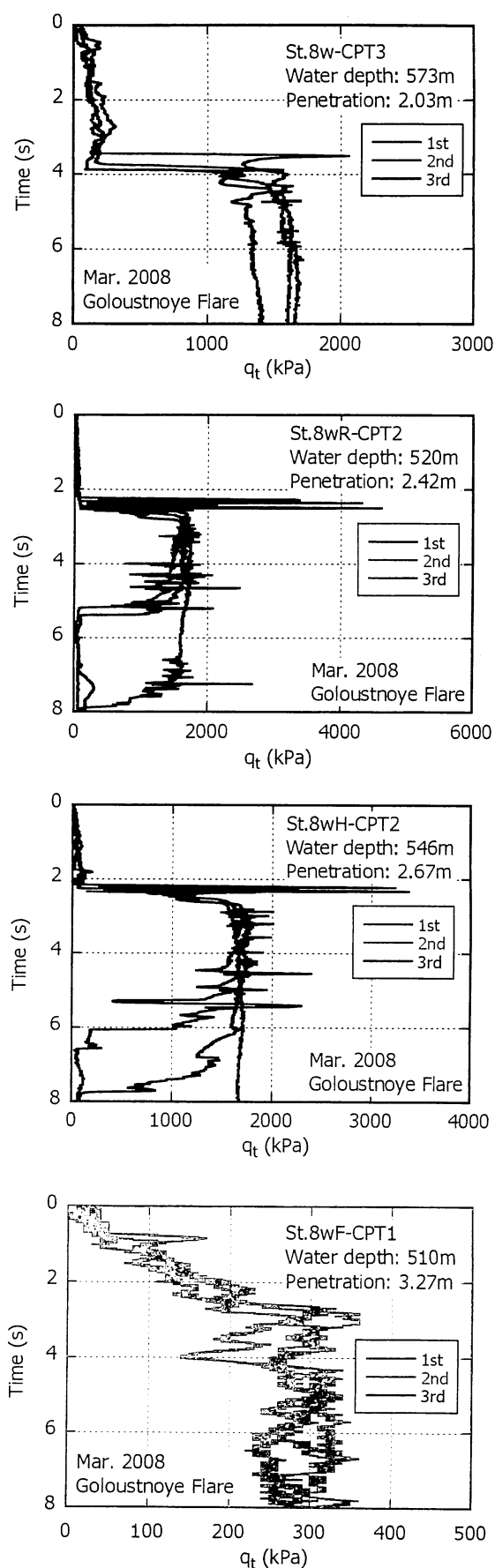


図5 CPT 測定結果

4. 実験結果

ガス回収実験中の送水ポンプおよび揚水ポンプの総水量を計測した結果、送水ポンプの流量は約15.5m³/h、送水圧力は0.23MPaと定常運転していた。この流量をウォータージェット噴射口の総面積（直径4mm×32本）で除したみかけの流速は10.7m/sであり、ほぼ計画通りの流速を確保できていた。一方、揚水ポンプの総水量は最終的には17.2m³に達する。流量は泥水密度の上昇に伴って流量が一旦低下したが、約10m³/hで安定運転していた。

図-6はガス流量計で計測した単位時間あたりのガス体積を水量で除したガス／水比（大気圧下）の変化を示したものである。40分経過頃から流体中のガス／水比が増加し、最終的には0.25に達する。

図-7は回収ガスを分析した結果であり、炭化水素濃度の時間変化を示す。ガス流量と同様、40分経過頃から急激に炭化水素濃度が上昇し、最終的には90%以上となる。

揚水ポンプの流量にガス／水比（図-6）、炭化水素ガス濃度（図-7）を乗じて積分すると炭化水素ガスの回収量が計算できる。図-8に回収速度、図-9に総回収量の時間変化を示す。その結果、回収速度は2.7m³/h、約100分間で約1.4m³の炭化水素ガスが回収できた事がわかった。

炭化水素ガス中のエタン濃度は1%程度、プロパン濃度は30ppm程度であり、当該サイトで採取されたメタンハイドレートの解離ガスの組成とほぼ同一であった。メタンハイドレート生成時のゲストガス同位体分別を定量的に明らかにした研究結果⁸⁾に基づき、当該サイトの採取コアに含まれていたメタンハイドレートの解離ガス、間隙水溶存ガスと、回収実験で回収されたガスについて、メタンの安定同位体（δ¹³C, δD）比を分析した。その結果、メタンハイドレートの母ガスが間隙水溶存ガスに一致すると見なす事ができた。すなわち、回収実験で回収されたガスは、実験当初、間隙水溶存ガスの同位体比に近いが、最終的にはメタンハイドレート解離ガスの同位体比に到達することが示された。

以上の結果から、回収ガスの主成分は堆積土中のメタンハイドレートの解離ガスであると結論できる。

5. 結論

2008年8月、バイカル湖の南湖盆の水深約400mの湖底で、表層のメタンハイドレートからのガス回収実験を行い、湖底表層部のメタンハイドレートを対象とした新たな回収方法を検証した。すなわち、湖底に設置した解離チャンバー内で、メタンハイドレートと水を攪拌し、メタンハイドレートを溶解・混合させた水を湖上へ運び、ガス

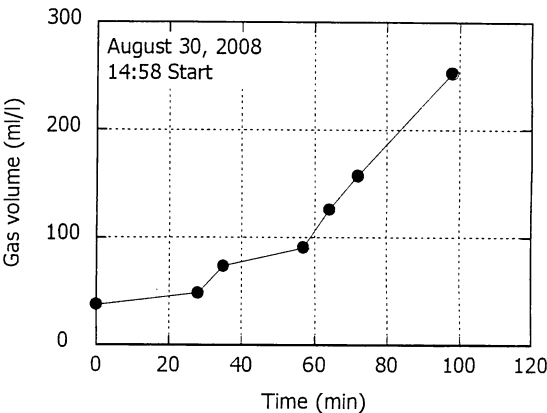


図-6 揚水に含まれるガス体積の変化

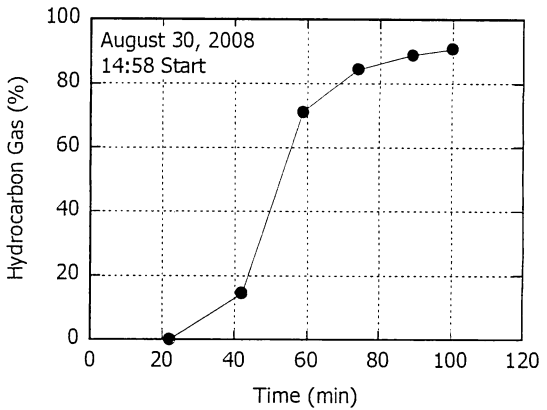


図-7 回収ガスに含まれる炭化水素ガス濃度の変化

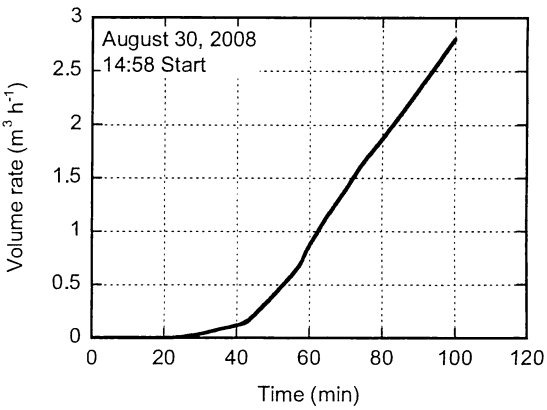


図-8 炭化水素ガスの回収速度

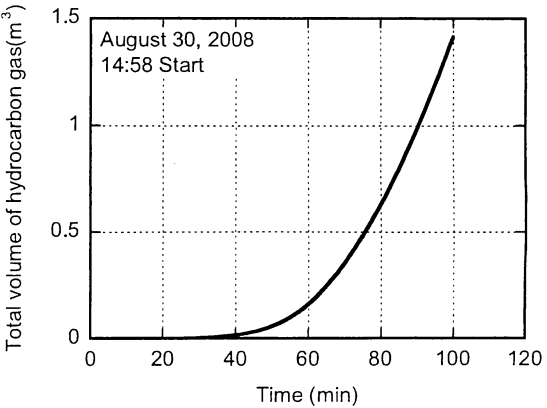


図-9 炭化水素ガスの総回収量

を解離・回収した。その結果、最終的にはガス／水比が0.25、炭化水素濃度90%、回収速度2.7m³/h、約100分間で約1.4m³の炭化水素ガスが回収できた事がわかった。さらに、回収したガス量、ガス組成および安定同位体比を考察した結果、回収ガスの主成分はメタンハイドレート由来の炭化水素ガスである事を確認し、本手法の有効性を確認した。

謝辞：本研究は独立行政法人・科学技術振興機構の平成18年度革新技術開発研究事業の補助を受けて実施したものである。また、吉田技術士事務所・吉田裕所長にはガス・湖水サンプリングについて、海洋電子（株）・村上康幸氏にはSSBL計測について、技術協力を頂いた。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 西尾伸也・荻迫栄治・南尚嗣・八久保晶弘・山下聡・片岡沙都紀・Krylov, Alexey・横山幸也・兵動正幸・Khlystov, Oleg・Zemskaya, Tamara：バイカル湖における表層型メタンハイドレート，土木学会第61回年次学術講演会概要集，pp.341-342，2006.
- 2) 片岡沙都紀・山下聡・南尚嗣・西尾伸也・安部透・横山幸也・兵動正幸・Mikhail Grachev：バイカル湖表層型メタンハイドレート賦存地盤の調査と堆積土の物理的性質，第42回地盤工学研究発表会講演集，pp.339-340，2007.
- 3) 西尾伸也・安部透・荻迫栄治・山下聡・兵動正幸・Mikhail Grachev：バイカル湖における表層型メタンハイドレート堆積地盤の力学的性質，第42回地盤工学研究発表会講演集，pp.343-344，2007.
- 4) 西尾伸也・安部透・山下聡・Oleg Krystov：バイカル湖メタンハイドレート堆積層におけるCPT，第43回地盤工学研究発表会講演集，pp.249-250，2008.
- 5) ten Brink, U.S. and Taylor, M.H. :Crustal structure of central Lake Baikal: Insights into intracontinental rifting, Journal of Geophysical Research, Vol.107, No.B7, pp.ETG2-1-15, 2002.
- 6) Hutchinson, D.R., Golmshtok, A.J., Zonenshain, L.P., Moore, T.C., Scholz, C.A. and Klitgord, K.D. :Depositional and tectonic framework of the rift basins of Lake Baikal from multichannel seismic data, Geology, Vol.20, No.7, pp.589-592, 1992.
- 7) De Batist, M., Canals, M., Sherstyankin, P., Alekseev, S. and the INTAS Project 99-1669 Team: A new bathymetric map of Lake Baikal. Open-File Report on CD-ROM., 2002.
- 8) Hachikubo, A., T. Kosaka, M. Kida, A. Krylov, H. Sakagami, H. Minami, N. Takahashi and H. Shoji: Isotopic fractionation of methane and ethane hydrates between gas and hydrate phases, Geophysical Research Letters, 34, L21502, doi:10.1029/2007GL030557, 2007.