

日本海の表層ガスハイドレート調査：過去、現在、未来 Shallow gas hydrate exploration in Japan Sea: Past, Present and Future

松本 良^{1*}

Ryo Matsumoto^{1*}

¹ 明治大学・研究知財戦略機構ガスハイドレート研究所

¹Meiji University OSRI-Gas Hydrate Laboratory

2011年と2012年に日本海とオホーツク海の広い範囲で表層ガスハイドレートおよび関連する現象が発見されたことにより、表層ガスハイドレートの調査研究は新しいフェーズに入った。日本海ガスハイドレートの学術調査は、2013年に表層ガスハイドレートが偶然発見回収された上越海盆に集中していた。上越海丘と海鷹海脚およびその周辺域を集中的に調査することにより、表層ガスハイドレートはガスチムニーの上部に発達し、ハイドレートマウンドを作り、稀にメタンブルームをともなうことが分かってきた。ガスハイドレートを作るガスは殆どが熱分解起源ガスで微生物分解起源はごく僅かであることも明らかとなった。最近の日本海東縁およびオホーツク海での調査で、これら海域の表層ガスハイドレートは微生物分解が卓越した熱分解と混合ガスという点で上越沖とは異なるが、ガスチムニーをともなう事、マウンドを形成することなど、産状では上越沖と酷似することが分かった。つまりこれら2つの特徴は、表層ガスハイドレートが存在することを判断する重要な判定基準ということが出来る。実際、この特徴により、上越海盆の南西域などで多くの表層ガスハイドレートを発見することができた。今後、この手がかりを用いて、日本海とオホーツク海に多くの表層ガスハイドレートを発見することが期待される。

キーワード: 表層ガスハイドレート, 日本海東縁, ガスチムニー, ハイドレートマウンド

Keywords: Shallow gas hydrates, Eastern margin of Japan Sea, Gas chimney, Hydrate mound

上越沖堆積物コア (MD179-3296, 3304, 3312) の含水率・有機炭素量変動と第四紀後期における日本海の古環境変動 Environment changes of the Japan Sea viewed from the water and TOC contents of the cored sediments off Joetsu City

公文 富士夫^{1*}, 卜部 輔², 栗山 学人³, 松本 良⁴
Fujio Kumon^{1*}, Tasuku Urabe², Manato Kuriyama³, Ryo Matsumoto⁴

¹ 信州大学理学部, ² 信州大学大学院理工学系研究科, ³ 名古屋大学大学院環境科学研究科, ⁴ 明治大学研究知財戦略機構
¹Faculty of Science, Shinshu University, ²Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, ³Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ⁴Organization for the Strategic Laboratory of Research and Intellectual Properties, Meiji University

上越沖の日本海で採取された3つのコア試料 (MD179-3296, 3304, 3312) は、約10数万年前までをカバーするシルト質粘土の堆積物である。MD179-3296はガスハイドレート活動の有る上越海脚の基部 (大陸斜面寄り)、3304コアは同海脚中央部のポックマークの縁で、MD179-3312コアはガスハイドレートの活動がない尾根の上で採取されたものである。いずれのコアの岩相層序はよく似ており、明暗の交互層がよく発達する。始良丹沢 (AT) Aso-4、三瓶木次 (SK) といった指標テフラが確認されており、正確な対比ができる。

乾燥作業の一環として含水率を1cm毎に測定した。粒子密度を2.65と仮定して含水率から見かけ密度 (単位体積あたりの粒子重量) を計算した。含水率は表層においては65~60%であるが、深度3~4mで50%、深度10m程で45%程度まで、それ以深では徐々に減少して深度30mで40%程度となる。これは圧密の進行による指数関数的な減少として理解される。一方、深度にして数10cmのオーダー含水率の増減が重なっており、その増加と減少の傾向は3つのコアで酷似している。指数関数的な減少を取り除いた短周期の含水率変動を有機炭素量の変動と比較すると、両者には有意な正の相関があり、含水率の高い層準はTOC濃度も高くなっている。高い生物生産性の時期には、生物遺骸や殻が多くて隙間の多い堆積物ができて (高含水率)、有機物の濃度も高くなったと考えられる。

MD179-3304コアと3312コアでは有機炭素量および窒素量を1cm~3cmおきにはあるが、ほぼ連続的に測定した。両者の層序的変動はよく似ており、指標テフラを基準として作成した年代モデルに基づいて経年的変動に直すとほぼ一致する。また、3304コアにおいてスランプや地滑りの可能性が指摘されているが、TOC変動の連続性を壊すほどの大きなズレは見いだされていない。

資料の時間分解能が高く、かつ長い時間をカバーする3312コアで代表させて、その有機炭素量 (TOC) の変動を海洋酸素同位体比 (LR04) やグリーンランド氷床の酸素同位体比 (NGRIP) と比較した。TOC量の増減は全体としてLR04曲線の変動と同調しており、氷床の拡大期には減少し、縮小期に増加する。また、MIS2~4期においては、グリーンランド氷床の酸素同位体比の変動と、数百年~数千年の寒暖変動 (D-O サイクル) においてもよく一致する。日本海堆積物のTOC量変動が北大西洋の気温変動と同調しており、いわゆる「テレコネクション」があることは確かである。この関係は、極域の寒冷な気団の南下や北上が、平均的にみれば北大西洋域でも極東アジア域でも同時期に起きる、と考えることで説明できる。堆積物中の有機炭素量が水域における生物生産性を反映してものであることは多くの研究者の見解が一致するところであり (Meyers, 1997)、そのことは日本海においても大場・赤坂 (1990) により指摘されている。問題は、どの気候要素がどのような仕組みで、日本海における生物生産性を支配したのか、ということである。

また、有機炭素が多い層準はほぼ例外なく暗色層をなしていることが判明した。これは表層における高い生物生産性が、海洋底深層への有機物フラックスを増やし、その分解が深層における酸素を増やして、還元的な海底環境を形成したことを示唆する。還元的な環境を有機物の保存ポテンシャルを高めるので、ハイドレートを作るメタンの生成条件にも影響を与えるはずである。ただし、暗色層すべてにおいて有機炭素量が多いわけではないことに注意を要する。

なお、MD179航海とその後の室内での分析はコンソーシアムMH21の支援をうけて実施された。研究の機会をいただいたことと研究費の支援とに深く感謝する。

キーワード: 有機炭素量, 日本海, 含水率, ガスハイドレート, 環境変動, 気候変動

Keywords: total organic carbon, Japan Sea, water content, gas hydrate, environment change, climate change

日本海東縁海底下堆積物の堆積環境と孔隙特性

Sedimentary environments and pore properties of subseafloor sediments in the eastern margin of Japan Sea

内田 隆^{1*}, 加藤有希¹, 松本 良²Takashi Uchida^{1*}, Yuuki Kato¹, Ryo Matsumoto²¹ 秋田大学大学院, ² 東京大学¹Akita University, ²University of Tokyo

日本列島の太平洋側に北東から南西方向に走る南海トラフ地域では、震探反射記録からBSRも広く分布することが報告されてきている。それらの調査結果から、この地域には世界屈指のガスハイドレート胚胎堆積層が広域に分布することが確認されている。この地域の東域に実施されてきた高分解能地震探査によりガスハイドレートの分布が明瞭に示唆されているほか、2000および2004年に掘削された基礎試錐「南海トラフ」および「東海沖～熊野灘」によっても海底下に高い濃集度のガスハイドレート分布が確認され、2012および2013年には第2渥美海丘周辺において世界初の海洋生産試験の実施が予定されている。また、1998年と2002年にカナダ北極地域マッケンジーデルタにおいて掘削されたマリック坑井によって、永久凍土層下の深度890-1110m付近にガスハイドレートの卓越する砂層が確認され、ガスハイドレート含有砂層の地下状態での特性が明らかにされた。現場における掘削作業では連続的なLWDや物理検層データをはじめ、多くのガスハイドレート含有砂試料が回収され分析に供されたほか、2007年と2008年には深度1000m付近のガスハイドレート胚胎砂層からメタンガスの生産テストが実施され、大きな成功を収めた。

新潟県上越沖に位置する上越海盆は、その南縁には陸棚に連なる急斜面があり海鷹海脚が伸びる。さらに、海鷹海脚の北西部には上越海丘が南西-北東方向に分布する。日本海東縁深海底下の堆積物は泥質岩を主体とするものの、少量の砂層を伴うことが多い。これらの粗粒堆積物(砂層および凝灰質砂層)および泥質堆積物の堆積年代、堆積環境および初期埋没続成過程を調べるため、熱ルミネッセンス(TL)測定、粒度分析、孔径分布/孔隙率/浸透率測定、X線回折分析(XRD)、岩石薄片観察、走査型電子顕微鏡 反射電子像(SEM-BEI)観察などを実施した。これらの測定や観察から、粗粒堆積物粒子間孔隙の炭化水素ガスの移動への貢献度を検討することによって、チムニーやフラクチャーだけではなく砂堆積層中も移動経路となっていたことを示すことができる。また、初期続成作用における泥質堆積物の孔隙特性の変化を把握することによって、メタンの移動経路や流動挙動に関する知見が得られると考えられる。メタンハイドレートがチムニーやフラクチャーを充填する産状およびマウンドやノジュールなどの塊状の産状のみならず、南海トラフやマッケンジーデルタ地域と同様な粗粒堆積物の粒子間孔隙を充填する産状の可能性を検討することは重要である。

日本海東縁の上越地域海鷹海脚(#3296)、上越チャネル(#3308)、上越海丘北(#3320)、富山トラフ(#3325)、西津軽沖(#3326)、日本海盆(#3327)、奥尻海嶺(#3329)のサイトから得られた最長40m程度のコア試料を対象として、観察と諸分析を実施した。堆積物はいずれのサイトでもシルト～粘土サイズの泥質細粒碎屑物を主体とし、少量の極細粒～中粒サイズの砂層を伴うことが多い。厚い軟質の泥質層中には1mm単位の細かなラミナの発達認められ、わずかに厚さ数mm～数cm程度の薄い未固結の砂質ラミナやテフラが夾在する部分がある。また、しばしば砂質パローや泥質ペレットなどの生痕のほか生物擾乱が顕著な部分が認められ、ラミナが消失している。ところにより、Ice-rafted debris(IRD)や硫化物が認められる。

堆積物の孔隙率と孔径分布は、孔隙の毛管圧分布を測定し、それらのデータから変換して求めた。孔隙率は深度が増すに従い概ね減少傾向にあり、値は50%前後が多く、35～67%の範囲で変化する。孔径分布曲線も同様に深度が増すに従って概ね孔径減少の傾向がみられる。平均孔径はほとんどのサイトで数100nm程度であり、一部西津軽沖では淘汰が悪く1000nmを超える。これは初期続成作用における圧密作用によって泥質粒子の再配列が進んでいることを示唆する。孔隙率や孔径分布にばらつきが認められることから、粒度組成に差異があるが圧密作用が一樣に起こっていないことが考えられる。全般に凝灰質であり続成作用初期段階であるため、X線回折結果から、すべての試料はopal-Aを多く含み、石英および長石粒子のほかイライトおよびスメクタイトが随所に検出され、深度毎に大きな変化はみられなかった。偏光顕微鏡および電子顕微鏡による観察では、いずれのサイトでも珪藻が多数観察され、有孔虫やフランボイダル黄鉄鉱などの特徴的な粒子も観察される。珪藻は破片であることが普通であり、形が良く保存されているものもあり形状は様々であった。

キーワード: ハイドレート, 日本海, 孔隙

Keywords: hydrate, Japan Sea, pore

リチウム同位体から見る間隙水の起源と表層型ガスハイドレートの分布 Source of pore water and distribution of shallow gas hydrates inferred from dissolved Li isotopes

戸丸 仁^{1*}, 西尾 嘉朗², 村松 康行³, 松本 良⁴
Hitoshi Tomaru^{1*}, Yoshiro Nishio², Yasuyuki Muramatsu³, Ryo Matsumoto⁴

¹ 千葉大学理学部地球科学科, ² 海洋研究開発機構, ³ 学習院大学理学部科学科, ⁴ 明治大学研究知財戦略機構
¹Department of Earth Sciences, Chiba University, ²JAMSTEC, ³Department of Chemistry, Gakushuin University, ⁴Organization for Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University

Pore waters collected from the Umitaka Spur area in the Japan Sea, off Joetsu (MD179 cruise, MH21 Research Consortium), where active gas seepage accompanying massive gas hydrate formation near the seafloor have been observed particularly on the summit. Rapid decreases of sulfate concentration with alkalinity increases result from anaerobic methane oxidation in the shallow sediments both on the spur and basin sites, indicating methane flux is high over the research area. Contrary, pore water freshening and Li input due to clay mineral dehydration are dominant on the spur. Li isotopic analyses result that the dissolved Li in pore waters were released from clay minerals at >1100 mbsf over the area. Shallow biogeochemical processes significantly change pore water geochemistry, however, the focused delivery of deep-sourced materials like Li and thermogenic methane is a key to deposit massive gas hydrates near the seafloor.

キーワード: リチウム同位体, 間隙水, ガスハイドレート
Keywords: lithium isotope, pore water, gas hydrate

MD179 航海にて採取された日本海表層堆積物中の異常なリコパン分布 Unusual distribution of lycopane in the surface sediment from Japan Sea collected by the MD179 Cruise

荻原 成騎^{1*}Shigenori Ogihara^{1*}¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

MD179-3312 コアは、日本海東縁無名リッジの水深 1026m に打たれた長尺コアである。このコアの表層から深度 7m までの試料について、有機地球化学分析を行った。このコアは、上位と下位の二枚の暗色層を含む。上位の暗色層は TL-1 と呼ばれる暗色層であり、11600 年前に Younger Dryas が終了し、黒潮の勢力が強まるのに合わせて親潮が後退し、対馬暖流の日本海への流入が始まる過渡期に日本木の海水循環が一時的に停滞して底層が還元的になったために形成された暗色層である。下部暗色層は TL-2 および TL-3 層である。TL-2 は、LGM 時に日本海の海面が低下したことによって、日本海は閉鎖的になった。降水や周辺域からの河川水の流入によって、海水の成層構造が発達し深層水が酸素欠如状態となった。その結果、厚い暗色層 TL-2 が形成された。

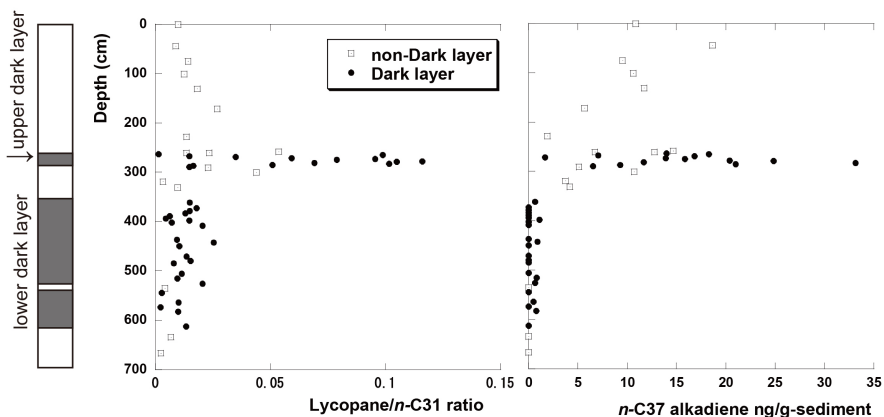
本研究では、GC/MS による分析の結果、リコパンと n-C35 アルカンが良く分離した。また、n-C37 ジエンが、リコパンを含む試料から特徴的に検出された。リコパン/n-C31 比および C37 ジエン濃度の深度分布を Figure に示した。リコパン/n-C31 比および C37 ジエン濃度ともに、上位の暗色層 (TL-1) で特異的に高い値を示した。

C37 ジエンの起源はその構造から、前駆体はアルケンノンであり、起源は円石藻であることが推定できる。リコパンについては、起源の詳細は明らかでないが、植物性プランクトンである可能性が高い。そもそも、環境指標としてのリコパンは、Sinninghe Damste et al. (2003) によって、ペルー沖試料の分析からリコパン/n-C31 比が、酸化還元指標となる可能性を指摘された。すなわち、還元環境においてリコパンが選択的に保存されることが指摘された。

本研究では、強還元環境であった下位暗色層で、リコパン/n-C31 比は低い値を示し、下位に比べて強い還元環境ではなかった上位暗色層で高い値を示した。この結果から、日本海堆積物において、酸化還元指標としては使用できない。これに対して、円石藻を起源とする C37 ジエンと似た深度分布をとることから、リコパン/n-C31 比は、ある種の植物性プランクトンの活動、表層における生産性を反映していると考えられる。上位暗色層 (TL-1) 堆積時の日本海の循環が停滞した時期に、特異な植物性プランクトンが繁茂したことが推定できる。

キーワード: 嫌氣的底層水, 暗色層, リコパン, 日本海

Keywords: anoxic bottom water, dark layer, lycopane, Japan Sea



温度構造モデルを利用した上越海盆の海底面-BSR間の堆積層の区間速度の推定 Estimate of interval velocity of sediment between the seafloor and BSR in Joetsu Basin, eastern margin of the Japan Sea

後藤 秀作^{1*}, 森田 澄人¹, 棚橋 学¹, 金松 敏也², 八久保 晶弘³, 片岡 沙都紀⁴, 町山 栄章², 木下 正高², 山野 誠⁵, 松林 修¹, 松本 良⁶

Shusaku Goto^{1*}, Sumito Morita¹, Manabu Tanahashi¹, Toshiya Kanamatsu², Akihiro Hachikubo³, Satsuki Kataoka⁴, Hideaki Machiyama², Masataka Kinoshita², Makoto Yamano⁵, Osamu Matsubayashi¹, Ryo Matsumoto⁶

¹産業技術総合研究所, ²海洋研究開発機構, ³北見工業大学, ⁴函館工業高等専門学校, ⁵東京大学地震研究所, ⁶明治大学
¹GSJ, AIST, ²JAMSTEC, ³Kitami Institute of Technology, ⁴Hakodate National College of Technology, ⁵ERI, Univ. Tokyo, ⁶Meiji University

日本海東縁の上越海盆西部はガスハイドレート研究が精力的に行われている海域の1つである。松本ほか(2009)や佐伯ほか(2009)は上越海盆の表層堆積物の地震波速度は海水の音波速度(約1500 m/s)よりも遅いことを示し、表層堆積物中にガスが存在している可能性を指摘した。本研究では、上越海盆における熱流量と2次元反射法地震探査プロファイル上の海底擬似反射面(bottom-simulating reflector, 以下、BSR)を使用して海底面?BSR間の堆積物の区間速度を推定した。

2010年6月に行われたMD179 Japan Sea Gas Hydrates cruiseにおいて、上越海盆の7地点で熱流量を計測した。計測した熱流量値の範囲は84-90 mW/m²であった。熱流量データがわずかに7地点のみであることから、この熱流量を拘束条件に温度構造モデルを計算し、さらにこの温度構造モデルの海底面での熱流量分布を計算した。一方、2次元反射法地震探査プロファイル上のBSR深度から熱流量(以下、BSR熱流量)を推定した。両者を比較すると、BSR熱流量は温度構造モデルの海底面での熱流量よりも有意に低い結果となった。

温度構造モデルの海底面での熱流量とBSR深度から海底面?BSR間の堆積物の区間速度を推定した。推定した区間速度の範囲は1100-1600 m/sであった。海水の音波速度よりも遅い区間速度は、松本ほか(2009)や佐伯ほか(2009)が指摘したように堆積物にガスが存在していることを強く示唆している。海底面?BSR間の堆積物のガスの存在は、高メタンフラックス環境下におけるガスハイドレートの生成と泥質堆積物の強い毛細管圧による水の枯渇(Clennell et al., 1999)によるものと考えられる。

本研究は、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21)の一環として実施した。

参考文献

Clennell, M.B., Hovland, M., Booth, J.S., Henry, P., Winters, W.J., 1999. Formation of natural gas hydrates in marine sediments 1. Conceptual model of gas hydrate growth conditioned by host sediment properties. *Journal of Geophysical Research* 104, 22985-23003.

松本良, 奥田義久, 蛭田明宏, 戸丸仁, 竹内瑛一, 山王梨紗, 鈴木麻希, 土永和博, 石田泰士, 石崎理, 武内里香, 小松原純子, Freire, A.F., 町山栄章, 青山千春, 上嶋正人, 弘松峰男, Synder, G., 沼波秀樹, 佐藤幹夫, 的場保望, 中川洋, 角和善隆, 荻原成騎, 柳川勝則, 砂村倫成, 後藤忠則, 廬海龍, 小林武志, 2009. 日本海東縁, 上越海盆の高メタンフラックス域におけるメタンハイドレートの成長と崩壊, *地学雑誌*, 118, 43-71.

佐伯龍男, 稲盛隆穂, 長久保定雄, Ward, P., 浅川栄一, 2009. 佐渡南西沖のマウンド・ポックマーク群下の三次元地震波速度構造, *地学雑誌*, 118, 93-110.

キーワード: 温度構造, 熱流量, BSR, 区間速度, 上越海盆

Keywords: thermal structure, heat flow, BSR, interval velocity, Joetsu Basin

映像観察と音響解析によるメタンの海中上昇に伴う相変化に関する研究 The phase transformation of methane caused by pressure change during its rising from seepage

青山 千春^{1*}

Chiharu Aoyama^{1*}

¹ 株式会社独立総合研究所

¹JAPANS INDEPENDENT INSTITUTE INC.

Recent studies found that, in the Sea of Japan, methane hydrate exists in crystal form on the surface of the seabed or in the shallow layer of about 100m from the seabed. To study the methane hydrate that exists at depth in the sediment, the Bottom Simulating Reflector (BSR) can be used as an indicator. On the other hand, methane hydrate near the sediment surface (surface-type) is scattered in crystal form, and thus the BSR cannot be used as an indicator.

The surface-type methane hydrate often exists with methane plumes. The methane plumes are the visualized image of the acoustic differences of the physical properties among solid phase, gas phase, and liquid phase that emerge when the methane hydrate or bubbles gush from the seabed. By sending ultrasonic waves from the transducer of a fish detector or sonar in the water and measuring the echo of the scattered ultrasonic waves that come back after they hit the methane hydrate or bubbles, we can see the visualized image of the methane plumes on the screen of the fish detector or sonar.

When piston coring is conducted at the root of the methane plumes, the collection of surface-type methane samples can be carried out efficiently. Furthermore, it is possible to guide an unmanned submersible to the gushing point or sampling site of the methane hydrate based on the location of the methane plumes. Thus, the methane plume is a good indicator for exploring the surface-type methane hydrate.

Quantification of the methane plumes is extremely important for the global environment as part of the carbon cycle. The authors have already conducted the rising experiments of methane hydrate in the nearby ocean area using a fish detector and computed the rising speed. The authors also measured and analyzed the bubble echo of the rising methane hydrate and estimated the quantity of the rising methane hydrate per bubble unit in the area. At that time, the gas phase of the methane hydrate bubble was computed for gas and solid substance, separately. The results of the above study were provisional. Thus, we enhanced the precision for this study.

For this study, in order to quantify the methane plumes, we observed the image of methane plumes using a submersible vessel (hyper dolphin, property of Japan Agency of Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)) as well as collected the methane bubble using a funnel.

The observation was carried out at Umitaka Kaikyaku in the Sea of Japan. In this area, the authors had been observing the methane plumes every year since 2004, and every year, the authors could observe the methane plumes in the same ocean area in a similar way. Thus, it was chosen as the observation site.

The experiment in the ocean revealed the followings. The methane hydrate particles that are gushing out from seabed are solid substances just above the seabed. In the studied ocean area, the volume of methane hydrate bubbles is gushing out every second per unit area.

キーワード: メタンプルーム, メタンハイドレート, 湧出量, 相

Keywords: methane plume, methane hydrate, volume of seepage, phase

北海道北東海域から初めて採集されたシロウリガイ類

Discovery of *Calyptogena ochotica* (Scarlato, 1981) from Abashiri Bay, Eastern Hokkaido (Bivalvia: Vesicomidae)

沼波 秀樹^{1*}, 奥谷喬司², 小島 茂明³

Hideki Numanami^{1*}, Takashi Okutani², Shigeaki Kojima³

¹ 東京家政学院大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 東京大学大気海洋研究所

¹Tokyo Kasei Gakuin University, ²JAMSTEC, ³Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

2012年7月に北海道北東海域(オホーツク海南東域)で東京海洋大学・海鷹丸によるガスハイドレート調査を実施し、メタンハイドレートを採取し、その存在を明らかにした。この調査で、化学合成生物群集に特異的に出現する二枚貝類であるシロウリガイ類を採集したので、報告する。

調査は2012年7月28~31日に北海道網走沖で実施された。底生生物の採集にはオケアン型グラブ採泥器を用いた。採集は3地点(水深731m~1003m)で行い、採取した堆積物を含むサンプルは、船上で重量を測定した後、目合い1mmの篩でふるい、残った生物を標本とした。さらに、2011年5月に実施された淡青丸KT11-08航海においても今回の調査域から約80km離れた海域からシロウリガイ類が採集されたので、検討に加えた。

海鷹丸の調査では、シロウリガイ類は、3地点の内、St. GB1201(水深731m)から1個体のみが採集された。採集地点の底質は泥質であった。採集された個体は、殻長53.5mm、殻高30.0mmの死殻であったが、両殻が揃い、殻皮も見られ良好な状態であった。淡青丸の調査では、水深1514~1554mと2154~2217mの2地点から複数の死殻が採集された。日本近海には13種のシロウリガイ類が分布しており、それらの内、北海道沿岸からは太平洋側の千島海溝の水深5000m超からナギナタシロウリガイ1種のみが報告されているにすぎない。今回採集されたシロウリガイ類は、北海道北東海域から初めて採集されたことになる。これまでオホーツク海北部から*Calyptogena ochotica* (Scarlato, 1981)が報告されているので、この種と今回得られた個体を分類学的に検討した結果、同種である可能性が示唆された。シロウリガイ類には種内変異が大きい種も知られているので、今後は生貝を採集しDNA解析などを行う必要がある。

前述したが、シロウリガイ類はメタン湧水域や熱水噴出域周辺の化学合成生物群集に特異的に出現する二枚貝類で、多くの個体が集まりパッチ状に分布する。今回、シロウリガイ類が採集されたSt. GB1201周辺で行ったピストンコアラーで、メタンハイドレートが採取されている。また、採集された個体は死殻であったが、殻皮も残り、死んでからあまり時間が経っていないと考えられた。これらのことは、網走沿岸のオホーツク海にはメタン湧水があり、シロウリガイ類のコロニーを含む化学合成生態系が存在することを強く示唆するものである。

キーワード: シロウリガイ類, メタンシープ, 化学合成生物, オホーツク海

Keywords: *Calyptogena*, Cold seep, Chemosynthetic community, Sea of Okhotsk

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 Distribution of the structure II gas hydrate in Lake Baikal

八久保 晶弘^{1*}, 小竹 毅¹, 坂上 寛敏¹, 南 尚嗣¹, 山下 聡¹, 高橋 信夫¹, 庄子 仁¹, Oleg Khlystov², Gennadiy Kalmychkov³, Marc De Batist⁴

Akihiro Hachikubo^{1*}, Tsuyoshi Kotake¹, Hirotohi Sakagami¹, Hirotsugu Minami¹, Satoshi Yamashita¹, Nobuo Takahashi¹, Hitoshi Shoji¹, Oleg Khlystov², Gennadiy Kalmychkov³, Marc De Batist⁴

¹ 北見工業大学, ² ロシア陸水学研究所, ³ ロシア地球化学研究所, ⁴ ゲント大学

¹Kitami Institute of Technology, ²Limnological Institute, SB RAS, ³Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS, ⁴Ghent University

Gas hydrates are crystalline clathrate compounds composed of water and gas molecules that are stable at low temperatures and high partial pressures of each gas component. Natural gas hydrates exist in sublacustrine sediments of Lake Baikal, Russia. In the framework of MHP (Multi-phase Gas Hydrate Project, 2009-2012), more than 15 new places where gas hydrates exist in the sub-bottom sediments were discovered. Gas hydrate crystals were retrieved onboard and stored in liquid nitrogen. We also measured molecular and isotopic compositions of hydrate-bound gas and dissolved gas in pore water. Kida et al. (2006) first reported coexistence of the structure I and II gas hydrates at the Kukuy K-2 mud volcano (MV) in the central Baikal basin. Granular sII hydrates appeared above the massive sI hydrates, and sometimes connected with each other by vein-like sI hydrates. sII hydrate layers contained about 14% of ethane; on the contrary, sI hydrate layers contained several % of ethane. In the MHP cruises, existence of sII hydrate was suggested by the high ethane concentration at the Kukuy K-10 MV in 2010. Granular sII hydrates were also discovered at the Kukuy K-4 MV in 2011 and the Kukuy K-3 MV in 2012. They exist not only in the Kukuy Canyon area (central Baikal basin), but also in the PosolBank area (southern Baikal basin). Concentration of ethane in sII hydrates ranged 13-15% in the total hydrocarbon gases, whereas that of propane was relatively small (several hundred ppms). Neopentane (2,2-dimethylpropane) was concentrated in the guest gas of sII hydrates. The concentration of neopentane was about 1% of the total hydrocarbon gases at the Kukuy-Pockmark, located between K-2 and K-3 MVs. These heavier hydrocarbons are the signal of thermogenic origin; however, some questions regarding selective enclathration (scarce propane, and enrichment of ethane and neopentane) remain unresolved. Concentration of hydrate-bound ethane widely ranged from several hundred ppms to 15%, and mixed-gas of microbial and thermogenic gases is dominant in Lake Baikal.

Kida M, Khlystov O, Zemskeya T, Takahashi N, Minami H, Sakagami H, Krylov A, Hachikubo A, Yamashita S, Shoji H, Poort J, Naudts L (2006) Coexistence of structure I and II gas hydrates in Lake Baikal suggesting gas sources from microbial and thermogenic origin. *Geophys Res Lett* **33**: L24603. doi:10.1029/2006GL028296

キーワード: ガスハイドレート, 結晶構造, バイカル湖, エタン, メタン

Keywords: gas hydrate, crystallographic structure, Lake Baikal, ethane, methane

東部南海トラフメタンハイドレート含有堆積物の包括的二次元ガスクロマトグラフ分析による脂質バイオマーカー分析 Analysis of lipid biomarkers of methane hydrate bearing sediments from the eastern Nankai Trough by two dimensional GC

天羽 美紀^{1*}, 井澤柳子¹, 真保恵美子¹, 吉岡秀佳², 片山泰樹², 坂田将²

Miki Amo^{1*}, IZAWA, Ryuko¹, SHINBO, Emiko¹, YOSHIOKA, Hideyoshi², KATAYAMA, Taiki², SAKATA, Susumu²

¹ (独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, ² (独) 産業技術総合研究所

¹JOGMEC, ²AIST

In order to investigate the microbial activities related to methane generation, we performed analyses of lipid biomarkers in the sediments from three wells (Alpha-1, Beta-1 and AT-1) in the eastern Nankai Trough by using the comprehensive two-dimensional gas chromatography (GC x GC). Previous geochemical studies have shown that the biogenic methane forms methane hydrate (MH) in the eastern Nankai Trough. Methanogens (methanogenic archaea) produce methane, which forms a vast quantity of methane hydrate in continental margin accretionary sediments. However, it is unclear at which depths methane was produced in the sediments. To address this issue, we attempted to identify and quantify the biomarkers of methanogens in the sediment cores by GC x GC equipped with qMS and FID.

The core samples at Alpha-1 and Beta-1 were collected from the eastern Nankai Trough by JOIDES Resolution during the multi-well drilling campaign "Tokai-oki to Kumano-nada" in 2004. Those at AT-1 was collected from Dai-ni Atsumi Knoll in the eastern Nankai Trough during site survey by the scientific drilling vessel CHIKYU in 2011. The lipids were extracted with methanol/dichloromethane, and the extract was saponified with 0.5 M KOH/methanol. The neutral fraction was converted to trimethylsilyl esters (TMS) by heating with BSTFA. The TMS-derivatives were analyzed using a ZOEEX KT2006 comprehensive GC x GC equipped with qMS and FID. The content of total organic carbon and its isotopic ratio were determined by the flow-injection method using a Thermo DELTA V mass spectrometer connected with a Flash EA.

The neutral lipids fractions of the all core samples mainly consisted of n-alkanes, acyclic isoprenoids, n-alcohols, sterols and hopanols. Hopanols such as 17,21-homohopanol, 17,21-bishomohopanol, trishomohopane-32,33-diol and anhydrobacteriohopanetetrol were detected in all sediment samples, which might reflect the activity of in situ bacteria. The concentrations of hopanols in clay layers were significantly higher than those in sand layers. The TOC values were also higher in the clay layers. 2,6,10,15,19-Pentamethylcosane (PMI), which is considered to be the biomarker for methanogens and methanotrophic archaea, was detected in all samples from the three sites. Most of the delta ¹³C values of PMI were higher than -50 permil, suggesting that methanogens are the likely source organisms. In the sediments from Alpha-1 and Beta-1, PMI concentrations were relatively high at the MH bearing zone and below the MH bearing zone, suggesting higher abundance of methanogen biomass. In the sediments from AT-1, the concentrations were relatively high at 42mbsf and 216 mbsf. Interestingly, the methane production rates through the carbonate reduction pathway measured by ¹⁴C-tracer experiments were also high at these depths, exceeding 10 pmol/cm³/d. Furthermore, hydrogenotrophic methanogens were also abundant at the same depths, as revealed by molecular analysis using deep rRNA gene sequencing. We therefore consider that PMI detected by GC x GC in this study is reliable as the indicator of methanogen biomass.

This study was carried out as a part of the research undertaken by the Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan (MH21).

南海トラフ付加体熊野沖海底堆積物中における炭化水素の分布:IODP Expedition 338 航海結果速報 Distribution of hydrocarbons in sediment in Nankai accretionary prism off Kumano: IODP Expedition 338 preliminary result

土岐 知弘^{1*}, 益田 晴恵², セバスチャン・ハンマーシュミット⁵, ハルヌール・ラシッド⁴, IODP Expedition 338 乗船研究者一同³

Tomohiro Toki^{1*}, Harue Masuda², Sebastian Hammerschmit⁵, Harunur Rashid⁴, IODP Expedition 338 Scientists³

¹ 琉球大学理学部, ² 大阪市立大学大学院理学研究科, ³ ブレーメン大学, ⁴ オハイオ州立大学, ⁵ IODP Expedition 338 乗船研究者一同

¹ Faculty of science, University of the Ryukyus, ² Graduate School of Science, Osaka City University, ³ University of Bremen,

⁴ The Ohio State University, ⁵ IODP Expedition 338 Scientists

2012年10月1日から2013年1月12日にかけて、南海トラフ付加体熊野沖海底を深部掘削船ちきゅうを用いて掘削した。前半では南部熊野海盆に位置するC0002孔を海底下875.5~2,005.5mに渡って掘削し、その間泥ガスモニタリング及びカッティングスのサンプリングが行われた。後半にはC0002孔を海底下200~505m, 900~920m及び1,100.5~1,120mの区間掘削し、回収したコアからヘッドスペースガスサンプリング及び間隙水サンプリングを行った。また、コアの回収時にガスポケットが見つかった場合は、コアライナーに直接シリンジを突き刺してボイドガスサンプリングも行った。

本航海中には、ガスハイドレートは観測されなかったが、赤外線カメラに低温度異常が観測されたり、間隙水の分析結果には塩濃度異常が検出されている。2007年に行われたIODP Exp. 314においてロギングデータ(LWD)にガスハイドレートを示唆する異常が観測されており、海底下200~400mの区間にはガスハイドレートが分布していたと考えられる。船上で測定された炭化水素の存在比($C_1/(C_2+C_3)$)及びメタンの炭素同位体比($^{13}C(CH_4)$)からは、ガスハイドレートを形成しているメタンの起源は微生物起源のガスであることが示唆された。

炭化水素の存在比及びメタンの炭素同位体比の鉛直分布は、IODP Exp. 315の際に掘削されなかった区間のデータを整合的に補完している。泥ガスモニタリングのデータもヘッドスペースガスデータと重複しているところでは互いに調和的であり、深部方向に整合的にデータが続いているように見受けられる。泥ガスモニタリングデータによると、海底下2,000m付近では、有機物の熱分解起源のメタンが半分程度は含まれるようになる。IODP Exp. 315の際に得られている地温勾配43°C/kmを考慮すると、海底下2,000m付近では80°Cを超えていることが推定されることから、有機物の熱分解が起こり始める温度環境だと言える。

本航海では、C0002孔以外にも付加体斜面に位置するC0022孔を海底下420mまで掘削した。このサイトには、事前に行われた地震波探査においても疑似海底反射面(BSR)は観測されておらず、回収されたコアにもハイドレートの痕跡は見受けられなかった。ただし、回収されたコアは非常に多くのガスポケットが形成されており、気化したガスによりコアライナーが破裂するなど、現場の温度圧力条件ではガスハイドレートを形成するには至らないとしても、極めて多くのガスを含んでいたことが示唆された。炭化水素の存在比及びメタンの炭素同位体比からは、メタンの起源は微生物起源であると考えられる。100m付近で横切った破砕帯に見られるメタン濃度のピークは、メタンの炭素同位体比には特に異常が見られないことから、同等深度のメタンが集積したに過ぎないと考えられる。

キーワード: 南海トラフ, 付加体, 炭化水素, IODP, Expedition 338

Keywords: Nankai Trough, accretionary prism, hydrocarbons, IODP, Expedition 338

アラスカにおけるメタンハイドレート CO₂/CH₄ ガス置換実証試験の定性的解釈 Qualitative interpretation of CO₂/CH₄ Gas Exchange Field Trial in Alaska

赤坂 千寿^{1*}, 大槻 敏¹, 吉澤 実¹

Chitoshi Akasaka^{1*}, OHTSUKI, Satoshi¹, YOSHIZAWA, Minoru¹

¹ 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

¹ Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

現在、海底下や永久凍土下に存在するメタンハイドレートからメタンガスを生産する手法として減圧法を主体とする手法が検討されているが、商業化の段階では減圧法を補完するための生産性の向上技術や二次回収手法の検討が重要になると考えられる。補完技術となり得る、メタンガス生産手法の有力な候補の一つに CO₂/CH₄ ガス置換法がある。これは、安定なメタンハイドレートに CO₂ を接触させると、メタンハイドレート中のメタン分子と CO₂ 分子が置き換わり、CO₂ ハイドレートが生成するとともにメタンガスが発生するという現象を利用したものである。

ConocoPhillips 社と米国 DOE/NETL が進めてきた計画に、JOGMEC が参加し、米国アラスカ州ノーススロープの永久凍土下においてメタンハイドレート胚胎層での CO₂/CH₄ ガス置換実証試験を実施した。この実証試験の目的は、実フィールドで CO₂/CH₄ ガス置換が生じることを実証し、メタンハイドレート胚胎層への CO₂ 圧入挙動やメタンガスの生産挙動に関する知見を得ることにある。実証試験では、1 坑の垂直試験井 (Ignik Sikumi#1:791.6mTD) を掘削し、確認されたメタンハイドレート胚胎層のうちの一つの約 10m のパーフォレーション区間から、CO₂ と N₂ の混合ガスを圧入し、メタンハイドレート格子中のメタンを CO₂ と置換した後、発生したメタンガスを同じ試験井から生産した。引き続き、徐々に圧力を低下し、減圧法によるメタンガス生産を実施した (Schoderbek *et al.*, 2012)。

圧入した混合ガス中の CO₂ と N₂ の比率をそれぞれ 23%、77% とした結果、圧入時に過剰な CO₂ ハイドレートが生成して圧入性が阻害されることなく、安定して目標量の混合ガスを圧入することができた。また、設置した DTS (光ファイバー温度計) により圧入時にパーフォレーション区間の地層温度の上昇が観測され、CO₂ ハイドレートの生成に伴う発熱反応が生じたことが示唆された。また、生産初期はメタンハイドレートの安定圧力範囲内で、メタンガスを生産しており、減圧法により分解したメタンガスではなくガス置換により置換されたメタンガスが生産されたと考えられる。

Schoderbek, David, Kenneth Lloyd Martin, James Howard, Suntichai Silpngarmert, and Keith Hester, 2012, North Slope Hydrate Fieldtrial: CO₂/CH₄ exchange. OTC-23725.

キーワード: メタンハイドレート, ガス置換, 二酸化炭素, 永久凍土, アラスカ

Keywords: methane hydrate, gas exchange, carbon dioxide, permafrost, Alaska

温暖化による全球メタンハイドレートインベントリー減少の見積もり Estimation of decrease in global methane hydrate inventory associated with global warming

山本 彬友^{1*}, 山中 康裕¹, 阿部 彩子¹, 岡 顕¹

Akitomo Yamamoto^{1*}, Yasuhiro Yamanaka¹, Ayako Abe-Ouchi¹, Akira Oka¹

¹ 東京大学 大気海洋研究所

¹ ATMOSPHERE AND OCEAN RESEARCH INSTITUTE THE UNIVERSITY OF TOKYO

大陸縁辺の海洋堆積層中には大量のメタンハイドレートが存在していることと、メタンハイドレートは水温上昇により分解することが知られている。そのため地球温暖化によりメタンハイドレートが分解し、その一部が海底から放出され、気候や海洋物質循環に影響を与える可能性が指摘されている。しかし、このような見積もりは現在までほとんど行われておらず、将来の温暖化予測では考慮されていない。

本研究では大気海洋結合モデル MIROC で計算された二酸化炭素 2 倍と 4 倍増実験の水温を用いて、全球のガスハイドレート安定領域 (GHSZ) の減少を求めた。更に Pinero et al(2013) のメタンハイドレートインベントリー推定方法を用いて、メタンハイドレートインベントリーの減少を計算した。

その結果、大気二酸化炭素が 4 (2) 倍時の定常の水温を与えた場合、大陸縁辺の GHSZ は現在から約 30(14)% 減少し、メタンハイドレートインベントリーは Pinero et al(2013) を用いて求められた現在の推定量約 550Pg C から 350(170)Pg C 減少すると推定された。

全球のメタンハイドレートインベントリーが 500-2,500Pg C と推定されていることを考慮すると、大気二酸化炭素 4(2) 倍になった場合、150-1,590(70-770)Pg C のメタンハイドレートが分解することが本研究から示唆された。

発表ではインベントリーの時系列変化や海盆別の特徴等についても紹介する予定である。

キーワード: メタンハイドレート, 地球温暖化

Keywords: methane hydrate, global warming