

## 南海トラフ泥火山の熱・物質輸送から地震発生帯の状態を推定する試み

## State of the Nankai Trough seismogenic zone inferred from thermal and hydrological regime of the mud volcanoes

\*木下 正高<sup>1</sup>、後藤 秀作<sup>2</sup>\*Masataka Kinoshita<sup>1</sup>, Shusaku Goto<sup>2</sup>

1.東京大学地震研究所、2.産業技術総合研究所

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.AIIST

泥火山は、海溝陸側斜面から前弧海盆にかけて見られる円錐状の構造体である。その頂部に泥が噴出したような形状が見られたり、地下にはdiapir状の構造が水平地層を切っている。深部からの水と、それに伴う堆積物が噴出している。世界の泥火山に関する調査は、地中海、北極海、黒海等中央アジア、バイカル湖、台湾・東シナ海・日本周辺、カスカディア～中米海溝・バルバドスまで多岐にわたる。いずれも、周囲の堆積層よりも密度の小さい泥が、何らかの力で押されることで海底に噴出する。その中で、大陸斜面からの海底地すべりや河川のデルタの外縁などにみられるものは、急激な堆積作用の結果として大量の有機物が非排水・非圧密状態となり、過剰間隙水圧が原動力であろう。一方、南海トラフや中米海溝・台湾などは、プレート沈み込みに伴い海溝陸側の堆積層が水平圧縮されることに加え、間隙水のみならず堆積物の脱水等による新たな自由水の発生により、地層中に過剰圧が生じることで、地中の泥質堆積物が海底に噴出していると考えられる。

南海トラフには、熊野海盆上にいくつか顕著な泥火山が存在する。地震探査記録によれば、diapir状の構造が地下深部から海底まで連続している。泥火山噴出物の起源を知る鍵は、ホウ素、リチウム、メタン中の炭素同位体などの化学的トレーサが有用である。中でもLiは岩石-水系の温度が250-300°Cに達すると流体中のLiの濃度が急激に上昇し、その後冷却しても沈殿せず流体相にとどまることが知られている。このことを利用した熊野泥火山堆積物中の間隙水のLi同位体異常から、その間隙水が経験した最高被熱温度が300°C程度だったと分かった(Nishio et al., 2015)。熊野海盆の平均地温勾配が40mK/m程度であるので、単純計算で300°Cの環境は地下7-8kmに対応するようだ。実際には深度とともに温度勾配は減少するし、そもそも温度分布はプレートの沈み込みやプレート境界面で発生する巨大地震、あるいは地質時間スケールで発達する付加体といった活動により時間とともに変動するであろう。地下温度の時空分布を推定するために、海底での熱流量分布(BSR深度からの推定や、海底での計測による)を知った上で、プレート沈み込みとそれに伴う堆積物の移動や圧密等を考慮に入れたモデル計算が必要となる。例えばHarris et al. (2011 G3)によると、300°Cに達するのは地下約20kmである。

一方、泥火山の成長に関わる流体排出速度の指標としては、コア試料中の間隙水化学組成(塩素や硫酸イオン濃度等)や熱流量プローブによる地温勾配の非線形分布、ハイドレート安定領域下限としてのBSR深度の異常、などが重要である。熊野沖の第4泥火山(KK4)における熱流量測定の結果、泥火山の頂部地形効果により頂部が泥火山の裾野(~70 mW/m<sup>2</sup>)に比べてかなり熱流量が低い(~20 mW/m<sup>2</sup>)ことが分かった。Goto et al. (2007 AGU)は、この異常を地形効果とdiapir内部の流体上昇の相乗効果で説明した。それに必要なだるしー速度は1mm/yearの程度であると推定した。なお黒海や北極海のHakon Mosby泥火山頂部では、10-40K/mという、極めて高い表層地温勾配が観測され、10-30cm/yearというダルシー速度が推定されている。おそらくは熊野泥火山でもある時期にはこのような活発な湧出活動はあり得るであろう。そのような上昇を生じるための原動力として、上述のような地下深部における間隙水圧異常を仮定することができる。もしそれが巨大地震の震源断層上で起きているならば、断層の有効強度が推定できることになり、南海トラフ地震発生帯の切迫度評価に重要な貢献をなすことが期待できる。

なお、最近、熊野海盆の南端、外縁隆起帯付近で、海底泥火山活動および巨大路頭が存在することが、AUV観測により確認された(浅田ほか、本大会)。この部分は地震断層深度が海底下3km程度と浅く、推定温度も100°C程度と低い。陸側の泥火山との関係など、今後さらに調査・考察が必要である。

キーワード：南海トラフ地震発生帯、泥火山、熱流量異常

Keywords: Nankai Trough seismogenic zone, mud volcano, heat flow anomaly

## 海底泥火山から水圏への海底下微生物群集の拡散

Dispersal of deep-biosphere communities from submarine mud volcanoes to the overlying hydrosphere

\*星野 辰彦<sup>1,2</sup>、土岐 知弘<sup>3</sup>、井尻 暁<sup>1,2</sup>、諸野 祐樹<sup>1,2</sup>、町山 栄章<sup>2</sup>、芦 寿一郎<sup>4</sup>、稲垣 史生<sup>2,1</sup>

\*Tatsuhiko Hoshino<sup>1,2</sup>, Tomohiro Toki<sup>3</sup>, Akira Ijiri<sup>1,2</sup>, Yuki Morono<sup>1,2</sup>, Hideaki Machiyama<sup>2</sup>, Juichiro Ashi<sup>4</sup>, Fumio Inagaki<sup>2,1</sup>

1.海洋研究開発機構高知コア研究所、2.海洋研究開発機構海底資源研究開発センター、3.琉球大学理学部、4.東京大学大気海洋研究所

1.Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine Science and Technology, 2.Research and Development Center for Submarine Resources, Japan Agency for Marine Science and Technology, 3.Faculty of Science, University of the Ryukyus, 4.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Submarine mud volcanoes along the plate convergent margins represent "natural pipelines" that vertically transport low density, deformable sediments and gaseous compounds from several kilometers below the seafloor to the overlying hydrosphere. For example, methane is supplied through upward fluid advection via the mud volcanism from the deeper hydrocarbon reservoir and microbial communities near the seafloor consume a large fraction of methane through their aerobic and anaerobic oxidation activities on the seafloor. However, the vertical dispersal of microbial components from the subseafloor habitat to the overlying seawater remains unknown.

Since 2012, using the AUV "Urashima" and ROV "Hyper-Dolphin", we performed an intensive seafloor survey of the submarine mud-volcanic structures off Tanegashima Island, showing well-preserved mud-flow channels suggestive of the recent mud-volcanic activities. During the KH-15-2 cruise in 2015, we obtained sediment core and water samples from the summit of MV#1 and MV#14 using a Navigable Sampling System (NSS). The profiles of methane concentrations in the water column showed a small peak (1-2 nM) at about 40 m and 60 m above the top of MV#1 and MV#14, respectively, indicating the existence of methane plume discharged from the submarine mud volcano. To study taxonomic composition of microbial communities in sediment and water-column habitats, we extracted DNA and then sequenced 16S rRNA genes using a next generation sequencer. The sequence analysis demonstrated that microbial community structures are overall very different above and below the seafloor. However, interestingly, we found some common species, such as "*Atribacteria*"-relatives, which are widely distributed in anaerobic subseafloor sedimentary habitats. Moreover, the distribution patterns of those common species correlate with the peaked methane profiles. Our geochemical and microbiological observations suggest that a small fraction of deep-biosphere microbial communities are geomechanically dispersed with methane from submarine mud volcanoes to the overlying hydrosphere.

キーワード：泥火山、微生物群集構造

Keywords: Mud Volcano, Microbial community structure

## 紀伊半島の中新統田辺層群にみられる浅海性泥火山

Shallow marine mud volcanoes in the Miocene Tanabe group, Kii Peninsula

\*宮田 雄一郎<sup>1</sup>\*Yuichiro Miyata<sup>1</sup>

1.山口大学 理工学研究科

1.Graduate School of Science and Engineering

The component material and intrusive structures of several mud diapirs in the Miocene Tanabe Group, southwest of the Kii peninsula were examined to reveal the fluid intrusion style and processes. To examine factors controlling the intrusive styles, tank experiments were also performed. Three types of intrusive structures such as cylinder, dome, and sill types were observed in ascending order in the Shirahama Formation overlying the muddy Asso Formation of the Tanabe Group. (1) Cylinder type: The Ichieminami mud diapir, the about 20m in diameter, intruded into bedded sand and siltstones almost vertically. The majority matrix is siltstone, with subordinate sand and quartzose sand in inner part. (2) Dome type: Ichiezaki mud diapir has a dome shape of about 150m in diameter including blocks and sand grains of host sediments by stoping. Many mud dykes radially intruding into hostrocks are clayey in the early stage and sandy in the later stage. (3) Sill type: The mud diapir of the Migusa represents the lens shaped lacolith with at least 200m in diameter, mainly consists of pebbly mudstone involving blocks of surrounding strata. There are small-scale mudstone sills and dykes around the diapir. As a result of tank experiments, it was observed that a series of lenticular intrusive slurry body with dome like upheaval, transforming into the mud chamber expanded involving blocks and particles of the host sediments. As it collapsed, a conduit of upward escaping muddy fluids, sill and dyke structures are formed above the chamber. Based on the correlation between the diapiric structures in the Tanabe Group and intrusive features in the tank, (1) Cylinder type intrusion is indicative of conduit of the fluid to the chamber. Such a vertical path shows a concentrated fluid flow cut through permeable sedimentary strata without any muddy impermeable intercalation. (2) Dome type diapir corresponds to a mud chamber or the upper most part of a cylinder type intrusive body where the stoping process is most predominant. (3) Sill type intrusive body is thought to represent the mud chamber intruded into layered sedimentary sequence with remarkable permeability contrast. These diapirs of the Tanabe Group show a variety of intrusion by a single event that a high-pressured fluid with small amount of mud injected through a narrow conduit to the level where a large mud chamber expands one after another, by which different types of intrusive structures are formed in accordance with permeability contrast and the degree of solidification of the host sediments. Subaqueous debris flow deposits erupted from a mud volcano (Nakaya and Hamada, 2009) more than 100m in thickness have been reported from middle to upper member of the Shirahama Formation. Small scale (less than 20m) fluid intrusion structures were also found in several horizons of the upper member of the Shirahama Formation. At least, some of those structures display characteristic deformation style suggesting the fluid as gas phase. Carbonate nodules and chimneys were found in from the uppermost Asso Formation. The carbon stable isotope ratios of calcite and dolomite in nodules and chimneys ranges from -22 to 7 permil. (PDB), and the oxygen stable isotope ratios ranges from -20 to 0 permil. (PDB). Pyrite nodules less than 10 cm in diameter are formed in the fluid intrusion structures in several horizons of the upper member of the Shirahama Formation. The sulfur stable isotope ratios of the pyrite nodules are ranging from -4.3 to +1.4 permil. (CDT), which are similar of those in carbonate nodules and chimneys. Thermal or deep-seated fluid with CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S gases might have been erupted to the shallow water area at the time of regression stage of the Tanabe Group.

キーワード：泥火山、泥ダイアピル

Keywords: mud volcano, mud diapirism

InSARによるアゼルバイジャンの泥火山の活動に伴う地殻変動の検出と地下圧力源の推定  
Ground deformation of mud volcanoes in Azerbaidzhan detected by InSAR and estimation of the pressure source

\*飯尾 研人<sup>1</sup>、古屋 正人<sup>1</sup>

\*Kento Iio<sup>1</sup>, Masato Furuya<sup>1</sup>

1.北海道大学大学院理学院

1.Graduate School of Science, Hokkaido University

地表面の変動を検出する方法の一つにInSAR (Interferometric SAR) がある。SAR (合成開口レーダー) は地上に観測点を設置すること無く、面的に地表データを取得することが可能であり、InSARを用いれば、数cmの感度で地表変位の観測をすることができる。本研究では、InSARにより泥火山の変動を検出し、そのデータを元に地下内部の状態を推定することを目的とした。

アゼルバイジャンはカスピ海西岸に位置し、世界でも有数の泥火山を有する中央アジアの国である。JAXAが打ち上げたALOS/PALSARとALOS-2/PALSAR-2(だいち一号, 二号)の2007年から2010年と2014年以降のデータを解析した。結果、十数の泥火山の活動に伴う変動を検出することができた。また、そのほとんどが衛星視線方向に近づく山体の隆起を示す変動であり、この地域一帯の泥火山は活発であることが裏付けられる。その中でも特に大きいAyaz-Akhtarma泥火山 とAkhtarma-Pashali泥火山に特に注目する。Benedetta et al. (2014)では、Cバンド衛星であるENVISAT/ASARの2003~2005年のDescendingデータを用いて、噴火前の変動を捉えることを目的とし、Ayaz-Akhtarma泥火山では二年間で20cm視線方向に近づく結果が得られている。またAkhtarma-Pashali泥火山では二年間で4.5cm視線方向に近づく結果が得られている。しかし、これらに続く研究報告は無く、その後の挙動は分かっていなかった。本研究では、これらの泥火山に対し、Lバンド衛星であるALOS/PALSARのAscendingデータ及びALOS-2/PALSAR-2のAscending, Descendingデータを用いたInSAR解析結果を報告する。その結果、最大で13cm/yrほど衛星視線方向に近づく変位が得られた。また、検出した変動から茂木モデルを用いて地下圧力源の推定を行った。推定の結果、Ayaz-Akhtarma泥火山では圧力源の深さは400m、体積変動量は $1.0 \times 10^5 \text{m}^3$ となった。

キーワード：InSAR、茂木モデル、アゼルバイジャン

Keywords: InSAR, Mogi model, Azerbaidzhan

## 火星のシレヌム大陸の小丘群に関する地形学的特徴と成因の検討

Distribution and geomorphology of well-preserved pitted mounds in Terra Sirenum, Mars:  
Implications for possible mud volcanism

\*逸見 良道<sup>1</sup>、宮本 英昭<sup>1</sup>、Dohm James<sup>1</sup>

\*Ryodo Hemmi<sup>1</sup>, Hideaki Miyamoto<sup>1</sup>, James Dohm<sup>1</sup>

1.東京大学総合研究博物館

1.The University Museum, The University of Tokyo

On early Mars (Noachian to Hesperian Periods with approximate absolute age ranging from 4.1 to 3.1 Gyr [1]), groundwater/hydrothermal systems, estimated from the presence of clay minerals on a global scale [e.g., 2], may have occurred, with diverse evidence including a number of putative mud volcanoes being reported in both the northern lowlands [e.g., 3] and relatively old, southern highlands [e.g., 4, 5]. However, the spatial extent of potential mud volcanism on Mars has yet to be fully understood. Moreover, criteria for distinguishing between mud volcanoes and other analogs (e.g., cinder cones, tuff cones, rootless cones, pingos) has yet to be established.

Here we focus on clusters of mounds within an elongated basin floor (~181 km x ~47 km, centered at 203.4°E, 27°S) in the northern Terra Sirenum region (mapped as early to middle Noachian terrain [1]) of the southern highlands, and analyze their spatial distribution, morphological characteristics, and morphometric parameters using high-resolution images recently acquired by NASA's High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE; 25 or 50 cm/pixel spatial scale [7]) and Context (CTX; ~5 to 6 m/pixel [8]) cameras onboard the Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), and high-resolution (2 m/post) digital elevation models (DEMs) created from HiRISE stereo pairs.

Mapping of more than 600 mounds, based on a mosaic of CTX images, reveals the alignment of mounds along regional structures, and spatial concentration of ~150/1000 km<sup>2</sup>. Using HiRISE images, geomorphological characteristics, such as summit pits, meter-size boulders and dune deposits on their flanks, and smoother surface textures relative to the surrounding terrains, can be commonly observed from most of the mounds. Preliminary morphometric analysis of four mounds, calculated from our DEM, show that they have basal widths ranging from ~300 m to 800 m, heights of up to ~40 m, height-to-width ratios of 0.04 to 0.07, and cross-sectional topographic profiles exhibiting convex-upward slopes.

The resultant values are comparable to those of some mud volcanoes on Earth [9], and the slope geometry is highly consistent with the emplacement of yield-strength fluids [10] (e.g., slurries of water and mud or lava flows) rather than deposition of pyroclastic fragments. Though a volcanic origin cannot be ruled out, the combination of their distribution and meter-scale morphology with their morphometry favor a mud volcano origin. If the mud volcano hypothesis is true, their relatively young surfaces suggest that the formation of source reservoirs and conduit openings along regional fissures for erupting mud and water might have occurred during more recent times than Noachian age. This is consistent with other post-Noachian features in the region such as valley networks and collapse depressions which are linked to faults [11]. Additional high-resolution spectral data coverage obtained by the MRO spacecraft in the future will improve mineralogical characterization of the mounds and further discussions of possible diagenetic processes and/or hydrothermal alteration.

References: [1] Tanaka K. L. et al. (2014) *U. S. Geol. Survey Sci. Invest. Map 3292*. [2] Ehlmann B. L. et al. (2013) *Space Sci. Rev.*, 174, 329-364. [3] Tanaka K. L. et al. (2005) *U. S. Geol. Survey Sci. Invest. Map 2888*. [4] Pondrelli M. et al. (2011) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 304, 511-519. [5] Okubo C. H. (2016) *Icarus*, 269, 23-37. [6] Tanaka K. L. et al. (2014) *U. S. Geol. Survey Sci.*

*Invest. Map* 3292. [7] McEwen A. S. et al. (2007) *J. Geophys. Res.*, 112, E05S02. [8] Malin M. C. et al., (2007) *J. Geophys. Res.*, 112, E05S04. [9] Kioka A. and Ashi J. (2015) *Geophys. Res. Lett.*, 42, 8406-8414. [10] Hulme G. (1974) *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 39, 361-383. [11] Anderson, R. C., et al, (2016) *J. Geophys. Res.*, in review.

キーワード：泥火山、火星、リモートセンシング

Keywords: mud volcanism, Mars, remote sensing



## 熊野海盆外縁隆起帯における泥火山活動報告

## Mud Volcano Activity Confirmed at the Kumano Basin Edge Fault Zone

\*浅田 美穂<sup>1</sup>、木村 俊則<sup>1</sup>、野口 拓郎<sup>2</sup>、Moore G.F.<sup>3</sup>\*Miho Asada<sup>1</sup>, Toshinori Kimura<sup>1</sup>, Takuroh Noguchi<sup>2</sup>, Gregory F Moore<sup>3</sup>

1.国立研究法人海洋研究開発機構、2.高知大学、3.ハワイ大学

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Kochi University, 3.University of Hawaii

南海トラフ地震発生帯掘削プロジェクト (NanTroSEIZE) の事前調査として実施された3D地震波探査結果に基づいて十年来存在が指摘されてきた、水深2000m程度の熊野海盆外縁隆起帯における泥火山活動を、2015年6月に調査船「よこすか」(海洋研究開発機構)およびAUV「うらしま」(同)による音響観測で確認した。熊野海盆外縁隆起帯は、ごく平坦な海底地形を呈する熊野海盆の南端を縁取る、深く切れ込む沢と尾根を持つ帯状構造であり、天竜海底谷から潮岬海底谷を経て室戸沖あたりまで連続する (Moore et al., 2009; Martin et al., 2010)。泥火山活動は、熊野海盆南端付近に存在する南西側スウェルの南東部分、かつ熊野海盆外縁隆起帯のすぐ北側(熊野海盆側)に発現している。

## 【観測結果】

AUV「うらしま」は海底からおよそ100m程度の高度を2.0~2.5ノット程度で航行した。AUVで使用した音響観測装置は、マルチビーム測深機 (MBES, Seabat7125, 400kHz)、サイドスキャンソナー (SSS, EdgeTech2200, 120kHz)、サブボトムプロファイラー (SBP, EdgeTech2200, 1~6 kHzチャープ式) である。AUV尾部に搭載したpHセンサは1分間隔でデータを取得した。調査船「よこすか」搭載のMBES (KongsbergEM122, 12 kHz) は地形と同時に音波の後方散乱強度分布を取得した。

潜航の結果、AUV「うらしま」搭載のMBESでは、直径約500m、比高約80mの山体と、その山体西側斜面にカルデラ状の地形を確認した。同搭載のサイドスキャンソナーにてカルデラ状地形の中にはドーム状の高まりとメガリップルマーク様のパターンを確認し、「うらしま」尾部に取り付けたpHセンサによりカルデラ状地形直上水塊にpH異常を確認した。また、同搭載のサブボトムプロファイラーにより、山体直下に音響的不透明bodyが存在し、堆積層を上方にドラッグする様子を確認した。この特徴を以降「山体(泥火山)」と呼ぶ。山体(泥火山)の北西側の断層面とそれに連続する上盤側海底面には、周囲の堆積物よりも明らかに音波後方散乱強度が高い領域が存在し、海底面を覆う何らかの「平坦かつ相対的に堅い」物質の存在がある。山体(泥火山)の南西およそ5.5 kmの地点には、高さ数mのチムニー様構造を伴う露頭の存在を、音響観測にて確認した。

さらに船舶搭載のマルチビーム測深機を用いて広域に音響調査を行ったところ、地形図は、直径がおよそ12kmにも及ぶ熊野海盆南西の地形的高まりと(以降「南西スウェル」と呼ぶ)、それを切る構造群を描き出した。南西スウェルを切る構造線の走向は、山体(泥火山)北側でN30E程度、より西側ではN10E程度で、地形的には連続しているように見え、南西スウェル付近でN30E~N40Eを示す熊野海盆外縁隆起帯の走向に斜交する。音波の後方散乱強度分布は、山体(泥火山)を東端にしてチムニー様構造を伴う露頭周辺を含む一連の、かつ南西スウェルからN10E構造線により切り離された南側の高まりに相当する位置に、平面規模にして最大で3 kmx 7 kmに及ぶ異常な地質構造体の存在を示唆する。

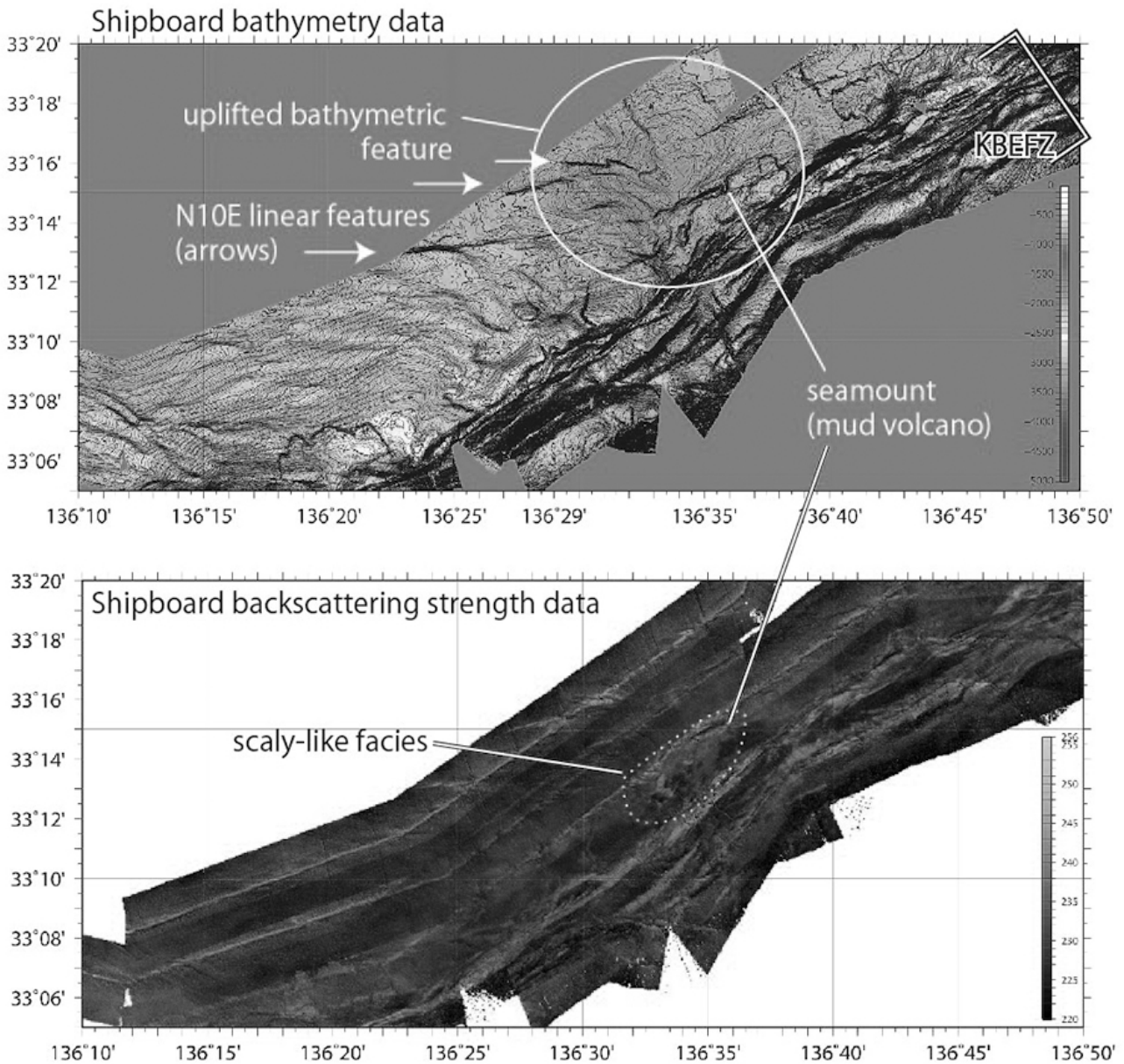
## 【解釈】

南西スウェルは2D地震波探査記録 (CDEX Technical Report., 2005) によれば、音響的透明層に下支えされた堆積層である可能性がある。山体(泥火山)は南西スウェルがN10E構造線の東側延長と交差する一部に、近隣のチムニー群は南西スウェルがN10E構造線で切り離された南方の地形的高まりに存在して、これらが後方散乱強度分布異常域(船舶搭載MBESによる)に入る。Moore et al. (2013)はN10E構造線群の存在を認め、正断層であると解釈した。我々の観測事実と周辺地質を考慮すると、山体(泥火山)は、N10E構造線とKBEFZに挟まれたくさび形の海域東端に、南西スウェルが関与して海底面に現れた、地下深部物質(あるいは流体)に依存して形成された特異な地質体の一部であると解釈する。さらに、N10E構造群から地形図上で連続して見える、山体(泥火山)の北側断層面には崖面と直上の海底面に高い後方散乱強度分布が示された(AUV搭載SSSによる)ので、この断層面は接続する海底面に「海底を局部的に堅くする何らかの要因」を、言い換えれば地下由来流体

を、運搬しうる役割を担う可能性がある。今後はこれら特異な地質体からサンプリングを行って特徴を抽出すること、近隣に設置されているDONET観測網の情報から特異な地質体の活動を捉える試みを、目標にする。同時に陸上に観測される泥火山活動などを例にして、熊野海盆外縁隆起帯における泥火山活動の詳細を推測したい。

キーワード：熊野海盆外縁隆起帯、泥火山、音響観測

Keywords: Kumano Basin Edge Fault Zone, Mud Volcano, Acoustic Observation



## 種子島沖海底泥火山における水とメタンの起源

## Origins of water and methane in submarine mud volcanoes off Tanegashima

\*井尻 暁<sup>1,2</sup>、土岐 知弘<sup>3</sup>、安慶名 昂<sup>3</sup>、星野 辰彦<sup>1,2</sup>、町山 栄章<sup>2</sup>、芦 寿一郎<sup>4</sup>、稲垣 史生<sup>1,2</sup>

\*Akira Ijiri<sup>1,2</sup>, Tomohiro Toki<sup>3</sup>, Ko Agena<sup>3</sup>, Tatsuhiko Hoshino<sup>1,2</sup>, Hideaki Machiyama<sup>2</sup>, Juichiro Ashi<sup>4</sup>, Fumio Inagaki<sup>1,2</sup>

1.海洋研究開発機構高知コア研究所、2.海洋研究開発機構海底資源研究開発センター、3.琉球大学理学部、4.東京大学大気海洋研究所

1.Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine Science and Technology (JAMSTEC), 2. Research and Development Center for Submarine Resources, JAMSTEC, 3.Faculty of Science, University of the Ryukyus, 4.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

海底泥火山は、高間隙水圧をもった堆積物が泥ダイアピルとして上昇し海底に噴出した小丘（直径：数十m~数km、海底面からの比高：数m~数百m）で世界各地の大陸縁辺域で発見されている。種子島沖には、比較的陸沿岸に近い場所に、数多くの泥火山様マウンドが密集している。海洋研究開発機構・海底資源研究開発センターでは、2012年度より同海域において詳細な地形調査を行い、サイドスキャンソナーイメージによりMV#1 (30°53'N, 131°46'E; water depth: 1540 m), MV#14 (30°11'N, 131°23'E; water depth: 1700 m)にて、比較的最近のものと考えられる山頂付近から流れ出ている泥質流体の噴出痕を確認している。2015年、我々は白鳳丸によるKH-15-2航海において、自航式サンプル採取システム(NSS)を用いてMV#1とMV#14の山頂で柱状堆積物試料を採取した(MV#1 コア長: 361cm; MV#14 コア長: 311cm)。MV#1では、間隙水の塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)濃度が、海底近くの550 mMから250 cmbsfの220 mMまで下がり、250cmからコア最深部まではおよそ220 mMと一定の値を示した。間隙水の酸素・水素安定同位体比は、Cl<sup>-</sup>濃度の低下と共に、酸素同位体比は高く、水素同位体比は低くなる傾向を示した。これは、60°Cから160°Cで起こるとされる粘土鉱物の脱水反応により排出された水が間隙水に加わったことを示唆する。低いメタン/エタン濃度比(C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>: 約30)とメタンの炭素同位体比(δ<sup>13</sup>C: -45‰)と水素同位体比(δD: -120‰)は、メタンが海底下深部の高温下(>80°C)で有機物の熱分解により生成されたことを示す。一方、MV#4では、Cl<sup>-</sup>濃度の低下は海底付近の556 mMからコア最深部の490 mMと小さく、MV#14はMV#1に比べて深部からの水の移流が小さく泥火山としての活動が活発でないことを示唆する。高いC<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>比(400-4000)とメタンのδ<sup>13</sup>C (-75‰)とδD (-150‰)は、MV#14のメタンの大部分が微生物による水素酸化型(二酸化炭素還元型)メタン生成代謝によって生成されたことを示唆する。

キーワード：粘土鉱物の脱水、メタン、種子島沖

Keywords: dehydration from clay mineral, methane, off Tanegashima

## 海水中のメタン濃度分布を利用した東シナ海における泥火山の分布調査

Investigation of distribution of mud volcanoes in East China Sea using distribution of methane concentrations in seawater

\*土岐 知弘<sup>1</sup>、知花 英貴<sup>1</sup>、島袋 鉄平<sup>1</sup>、山川 陽<sup>1</sup>

\*Tomohiro Toki<sup>1</sup>, Hideki Chibana<sup>1</sup>, Teppei Shimabukuro<sup>1</sup>, You Yamakawa<sup>1</sup>

1.琉球大学理学部

1.Faculty of Science, University of the Ryukyus

大気中のメタンは、二酸化炭素の約20倍の温暖化係数を持つ強力な温室効果ガスの一つである

(IPCC, 2007)。海洋の大陸棚や沿岸部は、大気中のメタンの供給源として知られている (Bange et al., 1994; Bange, 2006; Holmes et al., 2000)。東シナ海においても、夏の間蓄積された大陸棚域における海水中のメタンが、冬の混合層の発達に伴って大気に放出されることが指摘されている (Tsurushima et al., 1996)。さらに、東シナ海では、大陸棚と大陸斜面において泥火山状あるいはポックマーク状の地形が報告されており (Yin et al., 2003)、大陸斜面域において化学合成生物群集の存在が確認されている (Kuhara et al., 2014)。こういった比較的浅い海域におけるメタンの放出源の存在は、大気中のメタンへの影響も考えられることから、その分布を明らかにする必要がある。本研究では、東シナ海における大陸棚から黒潮流入域にかけて、海水中のメタン濃度を調べ、本海域における海底からのメタンの供給源の分布について明らかにすることを目的としている。

2011年から2015年にかけて、5~6月にかけて行われる長崎丸による乗船実習において、東シナ海の複数の地点において海水試料を採取した。海水試料は、ニスキン採水器を用いて採取し、船上において直ちにバイアル瓶に分取した後、飽和水銀溶液を添加して生物活動を固定した。バイアル瓶は密栓後、陸上に持ち帰ってメタンの濃度測定を行うまで、冷暗所において保管した。また、採水器にはCTDも搭載されており、採水と同時に、温度、圧力、電気伝導度なども記録した。

海水サンプル中のメタン濃度は、溶存ガス抽出装置でメタンを抽出し、水素炎イオン化型検出器を搭載したガスクロマトグラフ (島津 GC-2014A) を用いて測定した。標準ガスはメタン濃度が10 ppmに調整されているボンベを用いて、検量線を作成して濃度計算を行った。測定精度は8%以内であった。

CTDデータから、大陸棚混合水の影響を受けている海域と黒潮の流域とに分けることができ、それらの影響の大きさから、海域を大陸棚域、大陸斜面域、黒潮域の三つに分けて考えることとした。まず、大陸棚域の海水は、表層から深層にかけて全層を通して比較的高いメタンの濃度を示した。これらは、大陸からの有機物の豊富な水塊の流入や、堆積物からのメタンの供給の影響であると考えられる。次に、大陸斜面域においては、水深100~200 m付近においてメタン濃度が高い。一方、黒潮の流域では、表層海水において大気平衡前後の値を示し、水深600 m付近までは1~2 nmol/kg程度の値を示す。水深600 m以深ではメタン濃度は1 nmol/kgを下回り、検出限界付近まで減少する。大陸斜面域の水深100~200 m付近のメタン濃度の異常は、大陸棚混合水の影響も伴っており、大陸棚域に分布する高濃度メタンの漏出であると考えられる。

大陸斜面域には、水深数100 mにおいてもメタンの濃度異常が検出される地点もあった。こういった地点は、これまでのところ泥火山も含めた冷湧水や海底熱水系などの存在が報告されていない地点もあり、メタンの供給源としては特定できていない。テクトニックセッティングを考慮すれば、海底熱水系の存在は考えにくく、周囲に見つかっている泥火山や冷湧水といったメタンの供給源が妥当性は高い。海底下には、有機物の豊富な島尻層群あるいは八重山層群が分布していることが考えられ、背弧海盆のリフト活動に伴う正断層などが、海底下からのメタンの供給路になっている可能性が考えられる。そういった場所では、一定の条件が整えば泥火山が、時にはポックマークが、そして最もベーシックな現象としては、冷湧水が発現すると考えられる。これらの規模や普遍性、あるいは地域性によっては、大気中のメタンへの大きな供給源として働いている可能性が考えられる。このことから、今後、さらに海水中のメタン濃度分布の詳細や潜水調査を行い、海底におけるメタン湧出現象の詳細を明らかにする必要がある。

キーワード：海水、メタン、東シナ海、泥火山

Keywords: seawater, methane, East China Sea, mud volcano

## 背斜軸および断層に沿った泥火山から噴出する流体の上昇過程

## The Ascension Process of the Fluid from the Mud Volcanoes along Anticline and Fault Zones

\*浅野 慶治<sup>1</sup>、田中 和広<sup>1</sup>、鈴木 浩一<sup>2</sup>\*Keiji Asano<sup>1</sup>, Kazuhiro Tanaka<sup>1</sup>, Koichi Suzuki<sup>2</sup>

1.山口大学、2.電力中央研究所

1.Yamaguchi Univ., 2.Central Research Institute of Electric Power Industry

泥火山の噴出箇所や流体の上昇過程に地質・地質構造の与える影響について一般化することを目的として、台湾南西部の古亭坑背斜軸沿いの泥火山(KMV)と旗山断層沿いの泥火山(CMV)において地表踏査及び噴出する水、ガスの地化学的検討を行った。また、旗山断層沿いにおいて、CSAMT法を用いて地下の比抵抗分布を求めた。

台湾南西部燕巢地域には、中新世の泥岩、砂岩、鮮新世のシルト岩が分布する。また、NE-SW方向に南東傾斜の逆断層(旗山断層)が分布し、NNW-SSE方向に褶曲軸をもつ背斜構造が認められる。そして台湾南西部の泥火山を形態的特徴によって4つのタイプに分けた。コーン型は1 m以上の比高を持つ円錐状の高い高まりであり、プリン型は1 m以下の比高を持つ円錐状の高まりである。クレーター型は内部に壁面が見られること、プール型は高まりを持たないプールでそれぞれ特徴付けられる。その中でもコーン型はCMVのみで見られることが明らかとなった。断層沿いでは流体が上昇する過程で、泥や粘土を取り込むことで含水比が低くなっていると考えられる。CMVから噴出する地下水の酸素同位体比はKMVのものに比べて重い。このことは、断層沿いではより深部の地温の高い領域で十分に同位体交換が起こったことを示唆する。CMVから噴出するガスの起源は、熱分解起源である。KMVのガスの起源は、微生物起源と熱分解起源が混合したものであり、微生物起源ガスが地下浅部で生成され、より深部から上昇してきた熱分解起源ガスと混合していると考えられる。さらに台湾南西部の泥火山から噴出するガスは全体的に微生物分解を受けており、CMVではその程度に差がみられる。一方、KMVでは一様に微生物分解を受けている。また、台湾南西部の泥火山から噴出する泥に含まれる、ビトリナイトの反射率による古地温から推定される最大埋没深度は、CMVのものは約3,500 mであり、約2,500 mのKMVのものよりも深い。CSAMT法により得られた比抵抗分布からは、台湾南西部燕巢地域では、旗山断層沿いに低比抵抗帯が分布していることが明らかとなり、断層沿いに流体が上昇していることが明らかとなった。

台湾における検討結果と我が国における既往の研究成果をもとに、泥火山での流体の上昇過程を以下のように推定した。まず、流体の生成深度は断層沿いの泥火山が背斜軸沿いの泥火山よりも深いことが明らかとなった。背斜軸沿いに分布する泥火山では、流体は地下浅部の泥チャンバーで一旦滞留し、その後、脱ガスによるガス圧により、流体は多くの割れ目を作りながら上昇する。そして流体は地表で激しく噴出し、泥火山を形成する。また、流体の噴出後に陥没構造が形成される。一方、断層沿いに分布する泥火山では、流体は粘土質の断層ガウジを含む断層破碎帯に沿って粘土や泥を取り込みながら上昇する。そして断層破碎帯の中をさまざまな経路で上昇し、ほとんどの流体は断層沿いに地表で穏やかに噴出すると考えられる。

キーワード：泥火山、台湾、流体、背斜、断層帯、CSAMT法

Keywords: mud volcano, Taiwan, fluid, anticline, fault zone, CSAMT method

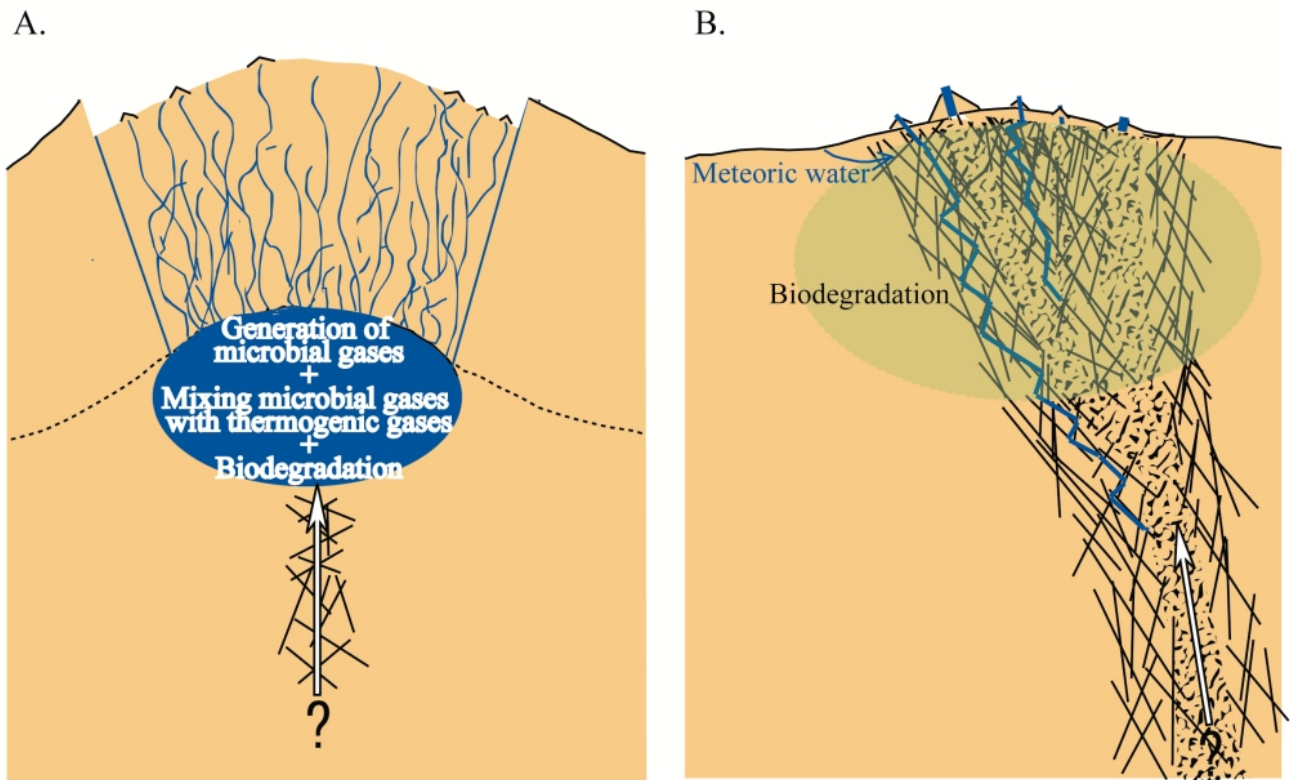


Fig. 1. The ascending model of the fluid erupted from the mud volcano in shallow underground. A: Anticline axis, B: Fault zone

## 南紀四万十帯の泥ダイアピルメランジュ

Diapiric melange of the Shimanto belt in south Kii peninsula

\*潮崎 翔一<sup>1</sup>、宮田 雄一郎<sup>1</sup>\*Shoichi Shiozaki<sup>1</sup>, Yuichiro Miyata<sup>1</sup>

1.山口大学

1.Yamaguchi University

Pebbly mudstone melange, called "Sarashikubi beds", locally constitute the upper member of the Oligocene to Lower Miocene Shimanto belt in southern Kii peninsula. It is lithologically subdivided into three units, A, B and C in ascending order (Hisatomi et al. 1980). Unit A and C show of block-in-matrix texture in which clasts sandstone and conglomerate are in muddy matrix. Crusts size widely varies, and contains a large amount of mudstone fragments other than larger (~10m) the sandstone blocks, mud matrix is very few in amount. Although Unit A is a massive without any layering, while in Unit C shows stratification due to both size and amount of clasts. Unit B consists of layered sandstone and conglomerate beds with evidence of shallow-marine normal sediments. Conglomerates shows grain supported texture with sandy matrix. That melange has been interpreted as olistostrome formed by large-scale subaqueous slope failure. However, the involvement of mud diapirism is suggested by the following reasons, 1) Distribution of Unit A is discordant with the peripheral surrounding strata. 2) Preferred orientation of the blocks long axis in Unit A is predominant than in the debris flow deposits of the Unit C, which suggests the possibility of clast rotation due to shear at the time of intrusion. 3) Unit A and Unit C includes characteristic disaggregated sandstone block which characterize the Tako mud diapir (Lewis & Byrne, 1996). 4) The elastic-wave velocity and density of sandstone clasts included in melange is larger in sthan those surrounding strata. 5) Near the "Sarashikubi beds" there is often a clastics injections. In particular, the 30m scale mud diapir was found at the Tanosaki, 1km east from the "Sarashikubi beds". 6) Carbonate nodule were found from the "Sarashikubi beds" as well as surrounding strata. They are several centimeters to 0.5m in diameter. In cross-section, they show concentric structure of dark gray calcite, with euhedral pyrite crystals (~1mm).

キーワード：泥ダイアピル、メランジュ、四万十帯、紀伊半島、炭酸塩ノジュール

Keywords: mud diapir, melange, Shimanto Belt, Kii Pninsula, carbonate nodule