

種子島海底泥火山から採取した間隙水中のホウ素同位体比 Boron isotope ratios in pore fluids from mud volcanoes off Tanegashima

*土岐 知弘¹、安慶名 昂¹、井尻 暁²、芦 寿一郎³

*Tomohiro Toki¹, Ko Akena¹, Akira Ijiri², Juichiro Ashi³

1. 琉球大学理学部、2. 海洋研究開発機構、3. 東京大学大気海洋研究所

1. Faculty of Science, University of the Ryukyus, 2. JAMSTEC, 3. AORI

泥火山とは、泥の中に貯まったガスによって噴出した高さ数100 mほどの円錐状の地形的高まりである。こういった場所は、地下深部からの物質の供給路として、地球化学的な物質循環において重要な役割を果たしている。表層堆積物中の間隙水の化学組成や同位体組成を調べることは、地下深部からの物質循環を把握する上で有用なツールの一つである。種子島沖の海底泥火山は、これまでに高精度な地形調査が行われており、新たな泥流地形などが報告されている。本研究では、種子島沖の泥火山から採取した間隙水の化学組成及び同位体組成を調べることで、種子島沖の泥火山における流体の起源や移動過程について考察した。

2015年8月19日から9月1日にかけて、白鳳丸によるKH-15-2次航海において、種子島沖の二つの泥火山（MV1及びMV14）の頂部から、ピストンコアを用いて海底下約350 cmの堆積物を採取した。採取した堆積物から、船上で直ちに間隙水を抽出し、ポリ瓶に分取して持ち帰った。試料は、陸上のクリーンルームにおいて3N硝酸を1 wt%添加し、分析に供されるまで冷暗所に保管した。

間隙水試料は、マイクロ昇華法を用いてホウ素を分離し、マルチコレクター誘導結合プラズマ質量分析装置を用いてホウ素同位体比を測定した。ホウ素同位体比は、国際標準試料（NBS SRM 951）からの千分率偏差として $\delta^{11}\text{B}$ (‰) で表記した。精度は0.9‰以下であった。塩化物イオン濃度はイオンクロマトグラフィーにより、水の酸素及び水素同位体比はキャピタリーリングダウン分光法により高知コアセンターで測定した。

塩化物イオンの濃度は、いずれの泥火山についても深くなるにつれて海水の値よりも減少した。水の同位体比は、酸素は深くなるにつれて高くなり、水素同位体比は低くなった。また、これらの変化幅は、いずれもMV1の方が大きかった。一方、ホウ素同位体比は、深くなるにつれて、MV1では海水よりも低くなり、MV14では海水よりも高くなった。

いずれの泥火山においても、塩化物イオン濃度が低く、水の酸素同位体比が高く、水素同位体比が低い流体が、深部から供給されていることが示唆された。また、これらの変化幅の違いは、深部流体のフラックスの違いを表していると考えられ、変化幅の大きなMV1の方が変化幅の小さなMV14よりも深部からの流体のフラックスが大きいことが示唆された。水の酸素及び水素同位体比の組み合わせから、流体の起源はいずれの泥火山においても粘土鉱物の脱水起源であると考えられ、粘土鉱物の脱水反応が起こる60~160℃といった温度環境から来た流体であることが示唆された。通常、地温勾配であれば、海底下数km程度の温度環境であると推定される。異なるホウ素同位体比を示したことは、同じ温度環境で粘土鉱物から放出されたホウ素が、堆積物中を上昇する際に受けた二次的な反応の違いによる影響と考えられる。

本研究では、種子島沖海底における二つの泥火山から採取した間隙水の化学組成及び同位体組成を調べた。これらの泥火山には、深部からの流体のフラックスの違いがあることが示唆された。このうち、流体フラックスの小さい泥火山では、流体の上昇過程における二次的な反応の影響が示唆された。

キーワード：ホウ素同位体比、間隙水、泥火山、種子島沖

Keywords: Boron isotope, pore fluid, mud volcano, off Tanegashima

自動速度解析を三次元反射法地震探査データへの適用して明らかになってきた南海トラフ前弧域にみられるガス貯留層と泥火山の関係

Hydrocarbon gas accumulation and mud volcanoes in the Nankai subduction margin: Insight from 3D seismic velocity analysis using automatic picking algorithm

Chhun Chanmaly¹、喜岡 新²、*辻 健¹

Chanmaly Chhun¹, Arata Kioka², *Takeshi Tsuji¹

1. 九州大学、2. インスブルック大学

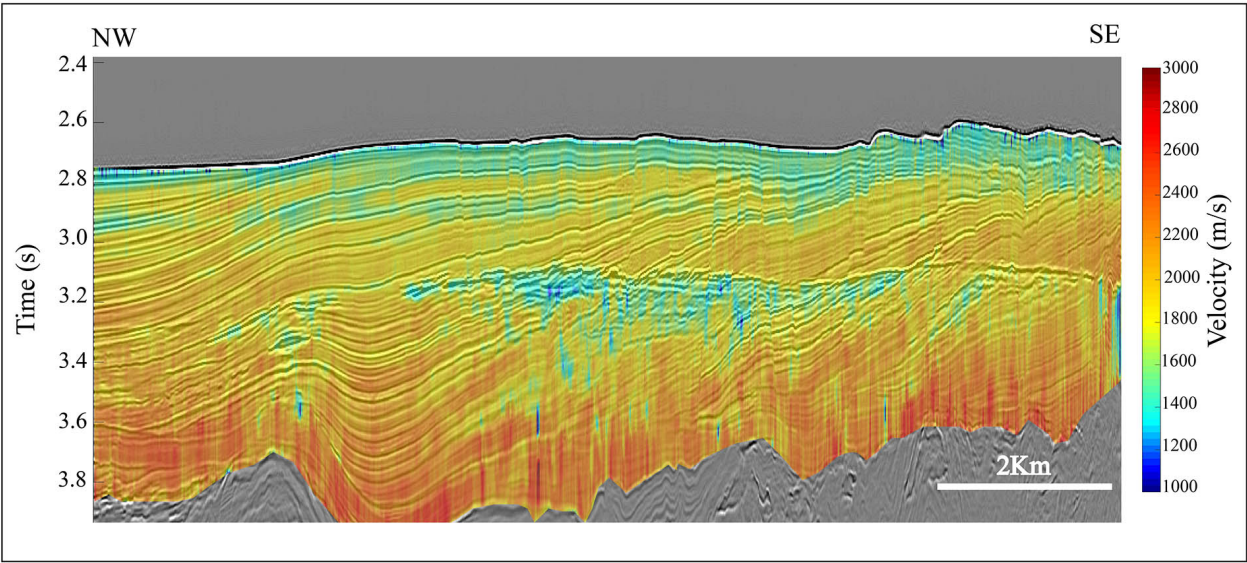
1. Kyushu Univ., 2. Univ. Innsbruck

Numerous studies of submarine mud volcano (MV) deposits disclosed subduction-related liquid and gaseous fluids which form and discharge due to the overpressured deep subsurface caused by the overburden of overlying sediments at active continental margins. A variety of MVs have been investigated and known in the Kumano Forearc Basin, which is situated above the Nankai accretionary prism off the Kii peninsula, Japan. When we apply seismic velocity analysis to the 3D seismic data via automatic velocity picking, the results reveal the presence of gas hydrates widespread in this region. The Bottom-Simulating Reflector (BSR) at the base of the gas hydrate stability zone has imaged as a strong acoustic impedance contrast on the seismic profiles. The high accumulation of gas hydrates above BSR and free gas beneath BSR was identified due to high and low velocity anomalies respectively. Based on the results, we suggest that the gas hydrates concentrated due to the free gas influx which migrated upward through the steeply dipping strata and faults or fractures cutting through the basin. The gas (or hydrates) accumulated area is further controlled by the gas charged mud conduits deep rooted in the MVs, and large faults in the accretionary prism. Therefore these factors generated by intensive tectonic movement control the distribution and saturation pattern of gas hydrate and free gas formation, and major sources of these gases may be derived from the deep MVs. When we characterize the features of gas hydrate (i.e., double BSR caused by variation in temperature and pressure within the required duration of thermal equilibrium), we could discuss the history of tectonic and faulting activity in the accretionary prism and specifically the dynamics of the hydrocarbon origin and MVs phenomena.

キーワード：南海トラフ、泥火山、ガス貯留層、自動速度解析

Keywords: Nankai Trough, Mud volcano, Gas reservoir, Automatic velocity analysis

Seismic velocity overlapping with a stack data IL2528



Preliminary Results of the RV SONNE cruise SO251b in the Kumano Basin (Nankai Trough subduction zone, Japan)

Menapace Walter¹、Rösner Alexander¹、*浅田 美穂^{2,3}、Ferreira Christian Dos Santos¹、Kaul Norbert⁴、Kopf Achim¹、SO251b onboard scientific party
Walter Menapace¹, Alexander Rösner¹, *Miho Asada^{2,3}, Christian Dos Santos Ferreira¹, Norbert Kaul⁴, Achim Kopf¹, SO251b onboard scientific party

1. MARUM、2. 日本学術振興会、3. 国立研究法人海洋研究開発機構、4. ブレーメン大学

1. MARUM, Center for Marine and Environmental Science, 2. Japan Society for the Promotion of Science, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4. Department of Geosciences, University of Bremen

Mud volcanoes are topographic highs on the ocean seafloor related to expulsion of sediments and fluids from depth. The characterization of the ejecta is helping to constrain the source origin of mud volcanoes and, at the same time, provides important mineralogical, geochemical and rheological information at depths not reachable through scientific drilling. Off the Kii-peninsula, on the Kumano Basin seafloor, 13 mud volcanoes have been identified from previous scientific investigations in the area (Kuramoto et al., 2001; Morita et al., 2004; Pape et al., 2014). The mud volcanoes' ejecta have been suggested to originate both in the inner accretionary prism and below it, on the plate interface between the Philippine and Eurasian plates (Pape et al., 2014; Toki et al., 2014; Nishio et al., 2015). The Kumano region is known to be subject to large earthquakes, with last occurrences in 1944 (Tonankai, $M_w=8.2$) and 1946 (Nankai, $M_w=8.3$) (Ando et al., 1975; Cummins et al., 2002; Linde and Sacks, 2002; Kodaira et al., 2004). Multiple evidences from other regions affected by mud volcanism suggest that mud volcanoes activity is linked with earthquake (Mellors et al., 2007; Kopf et al., 2010; Rudolph and Manga., 2012). Tsunogai et al. (2012) hypothesized such link could also exist for the Kumano Basin mud volcanoes. However, full understanding of this relationship needs to be supported by detailed studies on mud volcanoes to understand their evolution both in time and space, as well as to link them with the seismogenic zone at depth.

Two scientific cruises with the RV SONNE were held on the Kumano Basin in 2012 (SO222) and 2016 (SO251b). The main purposes of the SO251b cruise were (1) to recover the long-term monitoring devices installed in 2012 on 3 mud volcanoes (MV#2, MV#3, MV#4) and (2) to monitor heat flow, pore water geochemistry, bathymetric and subbottom variations on the Kumano Basin seafloor in order to compare the newly acquired data to the SO222 ones.

Four long-term observatories, measuring pressure and temperature in MeBo boreholes, were recovered during multiple dives with the ROV PHOCA from Geomar and are currently under analysis. The long-term data series, together with records from the DONET network, will allow to define the link between mud volcanoes and earthquakes. At the same time, the multibeam echosounder survey (Kongsberg EM122, 12 kHz) was expanded from 2012 to cover most of the Kumano Basin, from 136°10' to 137°30' East. The recently acquired data unraveled a new mud volcano (MV#14, which was also groundtruthed with the recovery of mud breccia) and interesting bathymetric changes in correspondence of some of the most active mud volcanoes (MV#2, MV#13). The differential bathymetry provides constraints on mud flows occurrence between 2012 and 2016. Several loci of possible gas emission (>40) were discovered on the basin seafloor, often situated on top of mud volcanoes or near suspected ones, characterized by strong acoustic signals within the water column. Geochemistry results from sediment cores scattered through the research area showed, according to preliminary analyses conducted onboard, slight freshening with increasing depth, pointing towards a possible deep-seated fluid source. Heat flow measurements with a

violin-bow probe through the basin and the active mud volcanoes (identified in 2012) revealed marked differences from the SO222 measurements, supporting ongoing fluid/mud emissions especially on MV#2 and MV#13.

キーワード：泥火山、熊野海盆、長期観測

Keywords: Mud Volcano, Kumano Basin, Long-term observation

熊野海盆泥火山における活動拘条件を探る

Why and where submarine mud volcanoes existing? A case study of the Kumano Basin, Naikai Trough subduction zone

*浅田 美穂^{1,2}

*Miho Asada^{1,2}

1. 日本学術振興会特別研究員、2. 国立研究開発法人海洋研究開発機構

1. Japan Society for the Promotion of Science, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

泥火山は、マグマを噴出する火山とは異なり、地下深部に静置される堆積物が地表に至って形成する地形的特徴である。地下の性状を地表に伝える可能性がある泥火山は、世界中からその存在が報告されている（Kopf et al., 2002）。特に油田地帯や、堆積物の供給が多い河川流入口やプレート収束境界に分布がある。このことは泥火山の形成が、何か外部からの大きな圧力が定常的に掛かり、かつ噴出する材料を十分に供給する機構を必要とすることを示唆する。泥火山からは、堆積物や流体（ガス、水、油、溶存塩）が、噴出する或いは流れ出す（Milkov, 2005）。泥火山から排出される堆積物と流体が、地下深部から地表に至る理由は、それらが地下にあって浮力を獲得したからに他ならない。地下に静置されている物質が浮力を獲得する理由としては、熱を持つこと（火山性）や密度差が生じること（堆積物の脱水・脱ガス、マントルウェッジにおける加水による蛇紋岩化など）が考えられる。さらに物質の上昇が浮力依存だけでなく、断層など地下に存在する弱線を利用する例もあることを考慮する必要がある。泥火山研究についてはその定義が「『泥』による『地形的特徴』」でしかないために、対象となる事象を支える地質学的背景が多様性に富み、結果として「泥火山活動」を概観することが困難な状況にあると思われる。私たちが、少なくとも我が日本国の周辺に存在する泥火山活動を把握し、地下の物質と性状を私たちに伝えるものとして利活用するためには、日本周辺とそれに類似する地質環境に対象を絞った泥火山活動の観察と考察が求められる。

日本列島はプレート収束境界にある。陸上各所から泥火山や泥噴出活動が報告され（新潟県十日町市、北海道新冠町、各地泥温泉など）、海洋環境下にある熊野海盆においては既に14の泥火山が群生していることが確認されている（Kuramoto et al., 1998, 2001; Morita et al., 2004; Pape et al., 2014; Asada et al., submitted）。フィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込み形成する熊野海盆の付加体は、プレート境界から海底面へ続く巨大断層で切られている（Moore et al., 2009; Kimura et al., 2011）。熊野海盆に知られる泥火山から採取された流体の一部は、プレート境界沿いに最大15kmもの深さからもたらされた可能性が示唆されている（Nishio et al., 2015）。熊野海盆北部の地震波探査記録は泥火山の下に大規模なダイアピルが存在することを示唆する（Morita et al., 2004; Moore et al., in this session）。熊野海盆外縁隆起帯に近年確認された泥火山（Asada et al., submitted; Walter et al., in this session）は北部同様に大規模な泥ダイアピルによる地形的高まりを至近に擁すると考えている。この泥火山はしかし、噴出の最終段階には既存断層に沿う物質移動があった可能性がある（Asada et al., submitted）。これら熊野海盆における泥火山形成の条件を概観すると、①泥火山起源としては海洋プレート付加によりもたらされた物質が見込まれ、②堆積層下部における流体が滞留しやすい環境が泥ダイアピルの存否とおよその泥火山分布を決め、③表層付近の断層など構造的弱線の存在が泥火山活動を規制する、という可能性を考える。他の海域泥火山研究からも同様の情報を集積し比較検討することで、熊野海域の特徴を洗い出したい。同時に熊野海盆泥火山を構成する物質の起源深度、活動度や頻度、地域毎の差異などについて情報を集めつつ、日本近海にまだ未発見の泥火山群が存在する可能性を、熊野海域の特徴を基盤にして海域を拡張して考えたい。さらには日本周辺泥火山と地震活動の関係に考察を拡げたい。

キーワード：泥火山、プレート収束境界、泥貫入体/ダイアピル

Keywords: mud volcano, plate convergent margin, mud intrusion/dirpir