

AUV「うらしま」によるガスハイドレート・マウンドの高精度イメージングから ガスハイドレートの集積とマウンドの発達に関する考察

○松本 良、弘松峰男、戸丸 仁、Emanuel Costa、Alfeus Kaban（東大理）、浦 環、中谷武志、
坂巻 隆、金岡秀（東大生研）、佐藤幹夫（産総研）、町山栄章（JAMSTEC）

はじめに

日本海東縁、上越海盆では熱分解起源および微生物分解起源メタンの生成と移動、浅部でのガスハイドレート集積が進行しており、海洋ガスハイドレート・システムの起源と発達を解明し理解する上で格好のフィールドを提供する。上越海盆の海鷹海脚と上越海丘には直径数百メートル高さ数十メートルのマウンド構造がほぼ同規模のポックマークを伴って多数発達する（松本他、2005；2009）。計量漁探やSEABATなどの音響探査によりマウンド周辺には高さ700メートルに達するメタンプルームが多数確認されている。ROV「ハイパードルフィン」によりマウンド上および周辺海底から塊状ガスハイドレートが発見・回収されており、ピストンコアリングはマウンドおよびその周辺の海底下10メートル付近まで塊状一層状のガスハイドレートが炭酸塩コンクリーションと伴って発達していることを明らかにした（松本他、2009）。2Dおよび3D地震探査は、海脚および海丘では海底下100～120メートル付近にBSRが広く発達していること、ガスハイドレート・マウンドとポックマークが発達する海底下にはBSRを貫いて海底にまで達するガスチムニー構造が発達することを明らかにした。このような観察事実から、ガスチムニーによってもたらされる大量のメタンが集積してマウンドが形成されたと考えられるが、マウンド発達過程の詳細は明らかになっていない。YK10-08航海ではガスハイドレート・マウンド周辺の海底微地形および海底下微構造の解明をめざし2つのAUV（「うらしま」と「Tuna-Sand」）を投入した。「Tuna-Sand」（東大生研）の成果については別に報告（浦他、本シンポジウム）することとし、ここでは「うらしま」調査で得られたマウンドの高精度イメージにもとづき、表層ガスチムニー型ガスハイドレートの集積過程とマウンドの進化について考察する。

深海巡航探査機「うらしま」による探査

リチウムイオン電池を主動力源とするAUV「うらしま」は全長約10メートル、幅1.5メートル、高さ2.4メートル、水中重量約10トンとAUVとしてはかなり大型であり、音響や磁気など様々物理探査を長時間実施する事が出来る。24連のニスキンボトルにより予め設定した時刻の採水も可能である。今回調査では、5回（それぞれ約8時間）の深海巡航でマルチビームエコーサウンダーMBES（SEABA T7125/400kHz/RESON社）による微地形測量、サイドスキャンソナーSSS（2200-M/120kHz/EdgeTech社）による地形および底質イメージング、サブボトムプロファイラーSBP（DT106/EdgeTech社）による海底下地質構造の高分解能探査を実施した。SBPは1～6kHzのチャープを発信源とする音響探査であり、今回調査では海底より35～50メートルまでの構造を極めて高い精度で明らかにした。5回のうち3回の巡航ではメタンプルーム狙いの採水も行った。海底からの高度80メートル～100メートルの間の特定の深度を測線間隔約90メートルで巡航する水深追従型巡航としたが海底地形が大きく変化するところではスワ幅の変化に対応して10～20メートルジャンプさせた。

MBESとSSSによる高分解能マウンド微地形とマウンドの進化

2004年以降、実習船「海鷹丸」や研究船「なつしま」「かいよう」等のMBESにより2～5メートル・コンターの詳細な海底地形図を作製し、海鷹海脚と上越海丘上に、ガスハイドレートの集積場としてのマウンドや大量のメタン噴出によると考えられるポックマークを多数確認した。ポックマークは円形～楕円形のすり鉢型凹地を呈する。マウンドはすり鉢を伏せたような凸地であるが、その頂点

は中心からずれるものが多く非対称的地形を呈する。今回の調査で得られた 1 メートル・コンターの微地形図により、ガスハイドレート・マウンドには、タイプ A: 中央付近に大きな凹地（クレーター）が発達しこれを小起伏が顕著なドーナツ状の高まりが囲むもの、タイプ B: 亀裂状の溝や小凹地を伴うこともあるが全体的にはなだらかな斜面で覆われるものの 2 タイプあることが分かった。

SBP による標準震探層序の解明およびマウンドの内部構造と海底下マウンドの発見

ガスチムニーの領域からはずれ、マウンドやポックマークの見られない平坦部では、海底から 35～50 メートルに上位から順に 3 つの層序ユニット、1) 塊状～成層不明瞭なユニット (5～8 メートル)、2) 強い反射面を上限として全体に良く成層するユニット (25～35 メートル)、3) やや強い反射面を上限として成層が発達するユニット (20 メートル以上) が認められた。R/V Marion Dufresne の超長尺ピストンコア CALYPSO で回収された 40 メートルコア (Matsumoto and Tanahashi, 2010) によると、ユニット 1 は生物擾乱の顕著な完新統にほぼ対応し、1/2 境界は LGM の薄層理暗色層 TL-2 に対比され、ユニット 2 と 3 は TL 層と生物擾乱層が頻繁に互層する最終氷期 MIS-3, 4, 5 に対比される。海底に突出するマウンドは強い反射を示し、マウンド直下は表層での強反射およびフリーガスのため音響的に“透明”となっている。しかし注意深く観察すると透明に抜けたチムニー内にも弱い成層反射がみとめられる。このことは、マウンドの下部構造としてのチムニーは泥火山のような深部物質の貫入ではなく、ガス流体が浸透し流動する通路であるとするモデル (松本他 2009 など) を支持する。海底から突出するマウンドには頂部に短波長の小起伏や陥没状凹地が見られるものと、比較的スムーズな外形をしめすものがある。これらはそれぞれ MBES/SSS で認定したタイプ A とタイプ B に対応する。SBP は海底下にもマウンド状構造が存在することを明らかにした。ガスチムニーの中には海底まで到達せず、音響層序ユニット 2 の上限あるいはユニット 3 の上限付近を天井とし、その付近に凸状の変形構造をつくるものがある。これを海底下に隠されたガスハイドレート・マウンド (タイプ C) とよぶ。タイプ C でも海底面に凸地形が反映される場合があるが、多くは海底面を変形させない。

ガスハイドレート・マウンドの地形発達と成長・崩壊モデル

海底下 2～3 キロメートルで生成した熱分解起源ガスはガスチムニー構造を通路として浅部に拡散移動し安定領域 (<BSR～110 メートル) に達してガスハイドレートを作るが、メタンの供給過剰によりチムニー内はやがて水欠乏となりメタンの一部は気泡として移動することになる。上昇するメタンガスは海底下数 10 メートルで海底から下部へ浸透する海水に接して再びガスハイドレートを作り始める。層序ユニット境界付近に“隠されたマウンド”が発達することは、岩相コントラストによる含水量や浸透率変化を反映すると思われる。この付近で再び溶存態となったメタンは海水中の硫酸イオンと反応して重炭酸イオンを作り炭酸塩アルカリ度を上昇させ、メタン由来炭酸塩コンクリーションを作る (タイプ C)。このように、海水浸透ゾーンに達したガスチムニーはガスハイドレートと炭酸塩を沈殿集積させながら上方へ成長しついに海底に達し、さらに成長速度を早めて比高数 10 メートルのマウンドを作る (タイプ B)。上越海盆の海底は温度圧力的にはガスハイドレート安定領域であるが海水はメタンに未飽和であるため、表層付近では一方でガスハイドレートを生成しながら他方でガスハイドレート溶解が始まる。露出した塊状ガスハイドレートの浮上もマウンドの崩壊を促進する (タイプ A)。上越海盆に見られるガスハイドレート・マウンドの様々な形態はこのような進化過程を示すものである。テフラ層序によると層序ユニット 1/2 境界は 2 万年、2/3 境界は約 10 万年とされる。上越海盆におけるガスハイドレートの集積＝マウンドの形成は過去 10 数万年活発に進行していると言えよう。

【引用文献】 Matsumoto, (2005) Proc. ICGH-5, Trondheim. 松本他 (2009) 地学雑誌, 118, 43-71.