

## 第242回地質調査所研究発表会講演要旨\*

### 特集 メタンハイドレート—海底に眠る次世代天然ガス資源を求めて—

近年、非在来型エネルギー資源として「メタンハイドレート」が注目を浴びるようになってきました。メタンハイドレートとは、水とメタンガス分子からなる固体の液晶で、最近の調査、研究により日本周辺地域に大量に存在することが明らかになりつつあります。地質調査所では、所内に「メタンハイドレートプロジェクト推進チーム」を組織し、調査研究を推進しています。

本講演会では、これまでに地質調査所が中心となって取り組んできたメタンハイドレートの合成実験、メタンハイドレートの分布および資源量推定、探査手法開発などを中心に研究成果の発表を行ないました。また、産官学共同で進めている基礎研究から応用研究結果を紹介し、次世代の天然ガス資源としてのメタンハイドレートの見通しについて解説しました。さらに、天然のメタンハイドレート層の学術ボーリング（国際深海掘削計画／ODP）結果について最新の成果を報告するとともに、メタンハイドレートとグローバルな地球環境変遷との関係や、巨大海底地すべりや古海洋学などの地質・地球科学現象との関係、さらに今後のメタンハイドレート研究の展望についても解説しました。

#### 地質調査所におけるメタンハイドレート研究

奥田義久

メタンハイドレートは、水分子がつくる籠の中にメタン分子が取込まれた水和物で、見掛け上シャーベット状の水状固体物質である。メタンハイドレートは、低温高圧下で存在し、常温常圧でメタンと水に分解する。分解したメタンは、エネルギー資源（天然ガス）として利用が可能である。地質調査所では、様々な条件のもとでのメタンハイドレートの合成実験を通じ、民間会社とも協力しながら、自然界におけるメタンハイドレートの正確な相平衡を求める実験的な研究を行っている。

メタンハイドレートの存在には低温高圧の条件が必要であるため、天然のメタンハイドレートは陸では極地方、海域では水深の深い海域に分布が限られている。地質調査所では、1970年代から白嶺丸による日本周辺海域の音波探査を実施しており、それらの記録等を用いて、我が国の経済水域におけるメタンハイドレート分布を推定した。その結果、南海トラフやオホーツク海等の海域で、おおむね水深が500mより深い海底の地下200-500m付近までに数多くの分布が予測されている。また、その資源ポテンシャルを天然ガス換算で約6兆 $m^3$ （現在の国内年間天然ガス消費量の100倍以上）と試算した。

しかし、現在資源的な視点での実際のサンプル確認、及びそれを用いた資源評価の例は国内にはなく、このような視点でのサンプル確認のための掘削探査は、1999年に通産省より初めて実施される予定である。このため、現在、国際深海掘削計画によるハイドレート研究航海への参加等を通じ、基礎データの収集に務めている。

今後、地質調査所では、1999年の掘削に向けて、探査地質学的な各種の技術開発研究を実施する予定である。

（燃料資源部）

#### 合成実験によるメタンハイドレートの安定条件の検討

前川竜男

海底堆積物中のメタンハイドレートがどのような温度・圧力条件の下で安定に存在しているかを知ることは、メタンハイドレートの海洋探査や資源量の評価に重要なデータを提供する。地質調査所では、様々な海底環境を模した条件下でメタンハイドレートの合成実験を行い、その安定条件を検討している。そのうち、海水相当の塩分濃度をもつ塩化ナトリウム水溶液中でメタンハイドレートの安定条件を決定したのでその結果を報告する。

実験は反応容器内に塩化ナトリウム水溶液とメタンガスを密封し、温度を低下させてメタンハイドレートを合

\*平成8年6月10日東京、石垣記念ホールにおいて開催

成した。塩化ナトリウム水溶液の濃度は、海水相当の塩分濃度の3.5%NaCl水溶液と、更に高濃度の10%, 20%, 及び塩類の混合していない純水を用いた。実験結果より、塩化ナトリウムの濃度が増加するにつれてメタンハイドレートの安定条件は低温・高圧側にシフトすることが分かった。これはメタンハイドレートの安定領域が小さくなることから、塩分濃度が増加するとメタンハイドレートが生成しにくくなることを示している。更にNaCl濃度に対するメタンハイドレートの温度・圧力条件の経験式を最小二乗法により算出し、海水相当の3.5%NaCl水溶液中のメタンハイドレート生成条件は純水中に比較して1.1°C低温側にシフトしていることを示した。天然に産出する海底堆積物中のメタンハイドレートは、海水相当の塩分濃度をもつ堆積物間隙水と共存していることから、天然のメタンハイドレートの安定条件とは異なっている可能性があることを示唆している。(地殻化学部)

[特別講演] コンピュータ・シミュレーションによるメタンハイドレートの物性値推算

中村和夫

メタンハイドレートは常温常圧では不安定である上、高純度の合成結晶サンプルを得るのが難しいので、天然・合成サンプルによる測定値を補完し、ハイドレート中のメタンの充填率や、混合ガス組成によるハイドレートの物性値(応力-歪み線図、ヤング率等の力学的特性や比熱、膨張率の熱的特性)の変化を推定するために計算化学の手法を検討した。使用したソフトはMolecular Simulation社のPolyGrafで、分子動力学法(MD法)と分子力場法(MM法)を周期的境界条件のもとで扱うことができる。周期的境界条件下では、モデルは自身のコピーがその周囲に三次元的に無限に連なっているものとして扱われ、最小の構造単位から物質物性を求めることができる。

酸素と水素による水素結合距離をもとにメタンハイドレートのI型構造を組み立て、各ケージの中にメタン分子を配置することによってモデリングを行った。このモデルをもとにMD計算を行ったが、計算の途中で結晶構造が大きく崩れ、計算が発散した。そのために、氷を用いてパラメータの最適化を行った。氷の電荷は計算値が実測値に近づくように条件を絞って、氷の六方晶の結晶を周期的境界条件においた上で量子化学計算を行って決

定した。次に酸素-水素の結合長関数、結合角度関数及びファン・デア・ワールズ関数のすべての組み合わせについてMM計算を行い、計算密度が実測値と最もよく合うものを選んだ。この条件で、273Kにおける氷の比熱と線膨張率を計算した。比熱は0.50cal/g・k、また線膨張率は $5.2 \times 10^{-5}/K$ の実測値に対して $3.9 \times 10^{-5}/K$ であった。

(大阪ガス(株)基盤研究所)

Keywords: hydrate, computer simulation, molecular dynamics

[特別講演] メタンハイドレート開発技術の研究開発について

國友宏俊

資源エネルギー庁は、国内石油・天然ガス開発第8次5ヵ年計画に基づき、非在来型天然ガス資源として国内での存在が期待されているメタンハイドレートの、国内地質調査及びその開発に必要な技術開発を推進している。我が国のメタンハイドレートに対するエネルギー資源としての開発計画は、世界をリードするもので、エネルギー分野での国際的貢献にも寄与する。

(通商産業省資源エネルギー庁石油部)

メタンハイドレートの分布と資源量の推定

佐藤幹夫

低温高圧の条件下で安定なメタンハイドレートは、現在までに陸域ではロシア連邦北部、アラスカ、カナダ北部などの永久凍土域の堆積盆で、また海域では陸源有機物に関連する大量のメタンガスの供給が期待される大陸縁辺域で、その存在が確認または推定されている。海域では主として地震探査記録上のBSRと呼ばれる特徴的な反射面からその存在が推定されているが、掘削及び柱状試料採取により実際にサンプルが回収された場所もある。日本周辺には永久凍土はないので、メタンハイドレートが存在する可能性があるのは海域に限られ、現在までに南西諸島海溝陸側斜面域、南海トラフ陸側斜面域、銚子海脚、十勝沖-日高沖海域、日本海東縁の西津軽海盆、奥尻海盆、後志トラフ、奥尻海嶺、日本海北部のタートルトラフ、オホーツク海の網走沖等の海域で、メタンハイドレートの分布が確認または推定されている。

メタンハイドレート鉱床の資源量の計算には容積法が用いられることが多く、ハイドレートガスとハイドレート層直下のフリーガスに分けて試算されているが、実測値を用いた試算は非常に少ない。世界のメタンハイドレートの原始資源量は1970年代以降いくつかの値が試算されているが、最近では $10^{16}\text{m}^3$ のオーダーに収束している。この量は在来型のメタンガス可採資源量と比べて2桁大きく、石油、石炭など含めた化石燃料資源量の約2倍である。日本周辺海域の資源量としては、ハイドレートガス $6 \times 10^{12}\text{m}^3$ 、メタンハイドレート層直下のフリーガス $2.7 \times 10^{12}\text{m}^3$ という値が試算されている。

(海洋地質部)

Keywords: methane hydrate, natural gas hydrate, hydrocarbon resources, BSR, permafrost, Nankai Trough, Sea of Japan, Sea of Okhotsk

## メタンハイドレート探査とBSRの持つ意味

倉本真一

メタンハイドレートとは水分子とメタンガス分子とから成る氷状の結晶、包接化合物(クラスレート)であり、近年このメタンハイドレートが非在来型エネルギー資源として注目を集めつつある。多岐にわたる研究アプローチによりメタンハイドレートの本質的な様相が明らかにされてきている。このメタンハイドレート研究のうち多少マクロ的な立場からリモートセンシング(特に物理探査)で観察されるメタンハイドレートに焦点を絞り、その基本となる技術と科学について概観し議論した。

まずメタンハイドレートの広域探査技術として有用な物理探査技術について最近の技術を含めて概観し、今後の探査技術動向についても述べた。またその際に中心的探査技術として弾性波探査(特に反射法音波探査)が挙げられるが、それはその記録上にハイドレート層の存在を示唆すると考えられているBSR(Bottom Simulating Reflector: 海底面疑似反射面)が観察されるからである。

このBSRの持つ意味は、その直下にフリーガスの存在を示唆する可能性があることを指摘し、またBSRから導き出される他の地球科学的情報についても整理し、議論した。

(海洋地質部)

## コア温度測定によるメタンハイドレートの産状と分布

### —ODP Leg164米国東方ブレークリッジ海域での例—

渡部芳夫

1995年末に行われたODP第164節航海では、ブレークリッジ海域を対象にガスハイドレートの回収と、海底下におけるハイドレートの産状の確認を主要な目的として計画され、ハイドレートの分布と産状やハイドレートそのものの定量、BSRの成因などに関する多くの成果が得られた。この航海において、回収されたコア試料の温度異常を検知することにより、試料中の微細なハイドレート結晶の分布を解析する手法を開発・検証した。ハイドレートは温度と圧力条件が不安定となると分解し、その際必要な解離熱は周囲の堆積物から吸収する。したがって、コア試料回収時の気温等による堆積物の昇温中に堆積物試料内に低温異常域が発生する。これを検知するために、今回は10mmグリッドに配置した熱電対プローブによる高分解能温度測定と、1サイトからのコアの全長にわたり30cm毎の連続温度測定を行った。コア試料の低温異常と間隙水塩素濃度異常には非常に良い相関が確認され、低温異常はハイドレート結晶の分解を起源とすることが確認された。その結果、数cm以下の強い低温異常域を生じさせるノジュールないし小結晶、10cm程度の弱い低温異常を均一に生じさせる分散した小結晶、そして1m程度の非常に弱い低温帯を生じさせる微細な分散結晶の産状でハイドレートが分布していると結論された。更に、従来想定されていた均質な塊状ハイドレート層は深度200mと450-500mの2層準にごく限られていると考えられること、そして量的にはこれらの分散状のハイドレートが大部分を占めると考えざるを得ないことなどが明らかになった。

(燃料資源部)

## [特別講演] 海底下にメタンハイドレートを探る —ODP Leg164の成果とメタンハイドレート 研究の展望—

松本 良

地震探査記録に現われる海底疑似反射面(BSR)などの証拠から、深海底堆積物中には固体状のガス、メタンハイドレートが広く分布すると考えられている。国際深

海掘削計画では、1996年秋-冬、アメリカ東岸沖約300 km、水深約3000mのブレークリッジにおいて、メタンハイドレート分布層の掘削を行った。掘削は7地点で行われたが、特に重要な掘削は、ブレークリッジの頂部付近を横断する地点994, 995, 997の3本である。講演では、これらの掘削点で得られたデータを基に、深海底メタンハイドレートの産状、水平的広がり、メタン存在量について報告した。

従来メタンハイドレートは、海底疑似反射面の直上に固い層を作って存在すると想定されていたが、実際は、海底から一定の深度の堆積物中にごく小さな結晶として広範囲に分散して存在することが分かった。これ以外に、厚さ数cm-数10cmのレンズ状、不連続な層状のメタンハイドレートも見られたが、これらは量的には分散タイプのものより少ない。メタンハイドレート安定領域内であ

りながら、海底からの深度200mまでの堆積物中にはメタンハイドレートは存在しない。メタン移動経路としての断層系の発達状況が関係しているかもしれない。船上で堆積物から絞り出した“間隙水”の塩素濃度の異常から、堆積物中のメタンハイドレート存在量は1-14%、平均2-3%と見積もる事が出来た。更に音波速度の異常と、加圧コア試料の解析から、海底疑似反射面の下位には厚さ200-300mのフリーガス帯が存在することも分かった。これらの見積もりから、ブレークリッジにおけるメタンハイドレート及びフリーガスの総量は、炭素に換算して約35ギガトンである事が分かった。実験的に決められたメタンハイドレートの安定条件と実際の分布下限深度の不一致が今後の重要検討課題として残された。

(東京大学大学院理学系研究科)

本年投稿論文の査読を、次の方々をお願いいたしました。記して厚くお礼申し上げます。

寺島美南子・磯部一洋・杉原光彦・金井 豊・西村 昭・石井武政・横倉隆伸・中塚 正・池田国昭  
加藤碩一・村尾 智・栗原保人・栗本史雄・中尾征三・青木正博・安原正也・斎藤文紀・川邊禎久・  
玉生志郎・胡 雄偉・寺島 滋・宮崎光旗・今井 登・吉岡敏和・木村克己・月村勝宏・矢野雄策・  
Charles W. Mandeville・長 秋雄・山本正伸