

# メタンハイドレート特集にあたって

奥田 義久<sup>1)</sup>

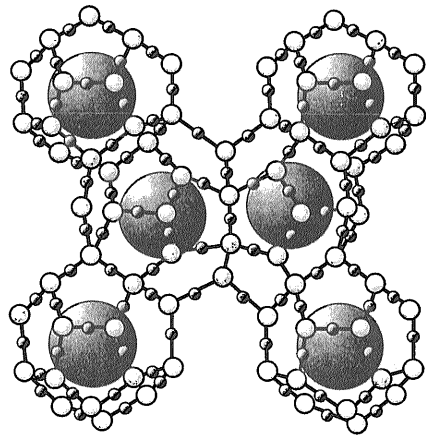
## 1. はじめに

最近, 天然ガスハイドレートという聞きなれない新資源が注目され始めています。天然ガスハイドレートは, メタンなどのガスが氷状物質の中にとじ込められたシャーベットに似た物質で, 北極圏等の凍土地帯や, 海の大陸斜面に広く分布し, また, 資源小国日本の周辺海域にもその分布が推定されています。このため, 天然ガスハイドレートは21世紀の新エネルギー資源として利用される可能性があります。地質調査所では, 昨年6月に第10回地質調査所研究講演会において, ガスハイドレートの性質や資源利用の可能性等に関する研究成果について発表を行いました。本特集号では, その内容を主としてとりまとめてみました。

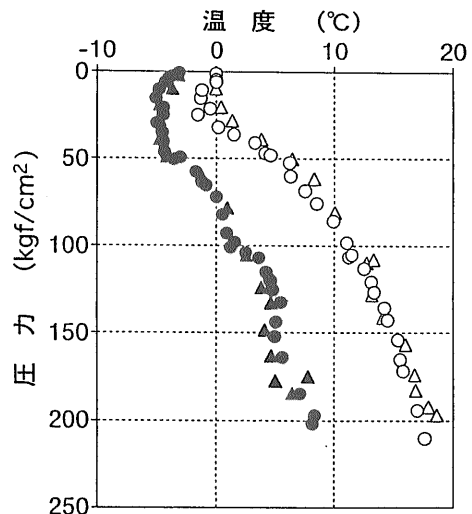
本特集号の序論にあたり, 本稿では天然ガスハイドレートへの入門に必要な概要説明と, 地質調査所における研究概要について述べることにします。

## 2. メタンハイドレートの概要と地質調査所におけるメタンハイドレート研究

ガスハイドレートは, 水分子が水素結合によってつくる籠の中にガス分子が取り込まれた水和物で, 籠の中にメタン分子が取り込まれた水和物をメタンハイドレートといいます(第1図)。メタンハイドレートは, 見掛け上シャーベットに似た氷状の固体物質で, 低温高压の環境条件下で安定に存在し, 常温常圧でメタンと水に分解します。例えば, メタンハイドレートが存在するためには, 0°Cで26気圧以上, 10°Cでは76気圧以上の温度圧力条件が必要です(第2図)。



第1図 メタンハイドレートの分子構造。大きな球はメタン分子, 籠の角にある球は酸素分子, 小さな球は水素分子を表す。



● ▲ メタンハイドレートの生成条件  
○ △ メタンハイドレートの分解条件  
第2図 メタンハイドレートの生成分解条件(伊藤, 1993; Maekawa et al., 1995)

1) 地質調査所 燃料資源部

キーワード: メタンハイドレート, ガスハイドレート, 天然ガス, 資源量, BSR, 水和物

自然界においても、低温高圧の条件を満たす永久凍土地帯の地下や、水深の深い海域の海底下に天然のガスハイドレートが存在し、通常、天然のガスハイドレートに含まれるガスの95%以上がメタンであるため、天然ガスハイドレートのことを、資源学的にメタンハイドレートと呼ぶ慣習があります。我が国周辺海域のような中緯度地帯の海底下で天然にメタンハイドレートが存在するためには、海底表面の海水の温度にもよりますが、50気圧程度以上の圧力を必要とします。海底の圧力は、水深が10m増大すると、海底における圧力が約1気圧増大するため、中緯度地帯の海底下でメタンハイドレートが存在するためには、概ね500m以上の水深が必要となります。

メタンハイドレートが分解して得られるメタンは、火をつけると燃える(写真1)ため、エネルギー資源(天然ガス)として利用が可能であると考えられています。地質調査所では、民間の石油開発会社やガス会社なども協力しながら、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、自然界におけるメタンハイドレートの正確な相平衡曲線を求める実験的な研究を行ってきました。

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上では極地方、海域では水深の深い海域に分布が限られています。地質調査所では、1970年代から地質調査船「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ました。その結果では、南海トラフや北海道周辺海域等の海域で、概ね水深が500mより深い海底の地下200~500m付近に数多くの分布が予測されています(第3図)。

また、地質調査所では、1992年に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資源量の100倍以上)と試算しました(奥田, 1993)。ただし、我が国周辺海域では、現在十分な探鉱が行われているとは言えないため、この数字は一応の目安として取り扱われるべきもので、さらに詳細な検討を今後加える必要があります。このため、現在でも、地質調査所では資源ポテンシャル評価法の改良研究を行っています(佐藤ほか, 1996)。

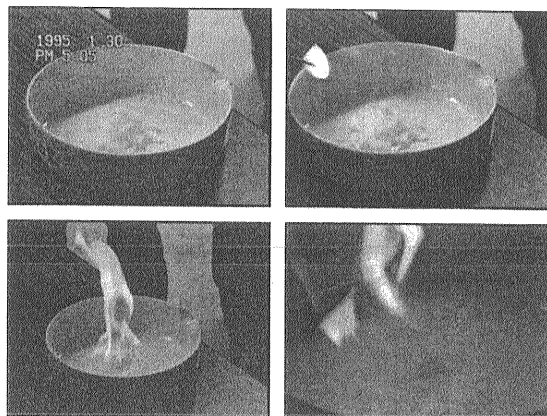
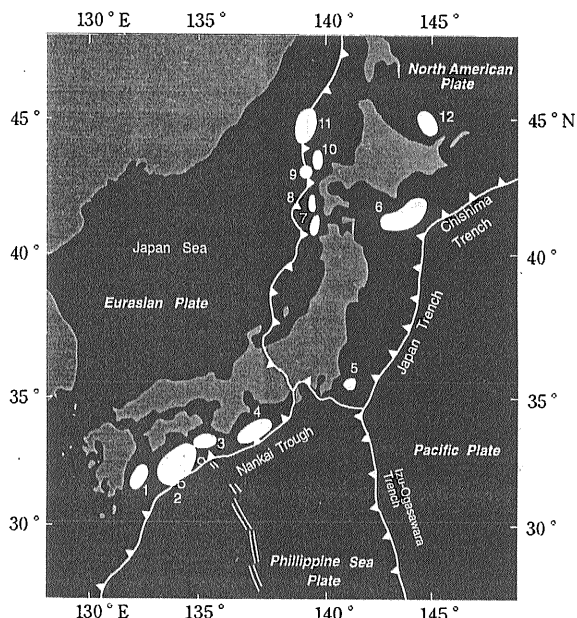


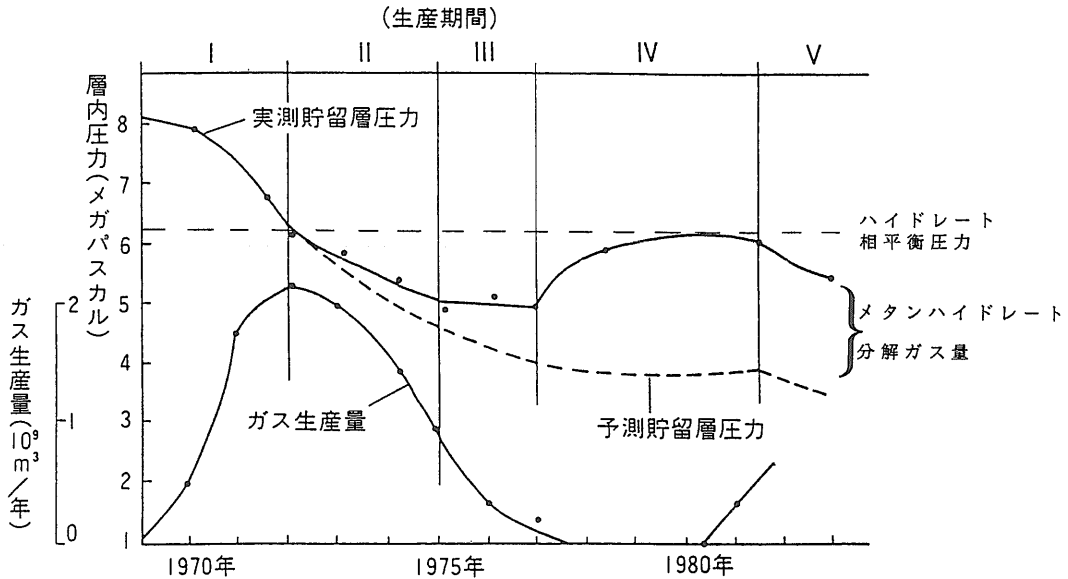
写真1 ハイドレートの燃焼実験。メタンハイドレートに火を近づけると燃える。燃えた後には水が発生して残る。



第3図 日本周辺海域におけるメタンハイドレート分布予測図

しかし、現在までのところ、我が国周辺海域において、実際のサンプルを確認し、それを用いた資源評価を行った例は国内にはありません。このため、現在地質調査所では、国際深海掘削計画による海外での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きました。

ところで、従来、日本周辺海域で実施された海洋石油掘削の水深は、昭和58~59年に掘削された国



第4図 メソヤハガス田のガス生産量と貯留層圧力の変化 (Makogon, 1984に加筆)

の基礎試錐「御前崎沖」の水深469mが最大でしたが、海外については、最近ブラジル沖のカンボス堆積盆等で水深1,000m級の油ガス田が開発されようとしています。このような状況の中で、近年我が国でも水深500mより深い海域の探鉱が課題となり、従来は探鉱対象とされていなかったメタンハイドレートが、最近新資源として注目を浴びるようになりました。このため、資源的な視点でのサンプル確認のための掘削探査は、1999年に通産省による国の基礎調査として初めて実施される予定です。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にしています。

### 3. 海外でのメタンハイドレートの発見例

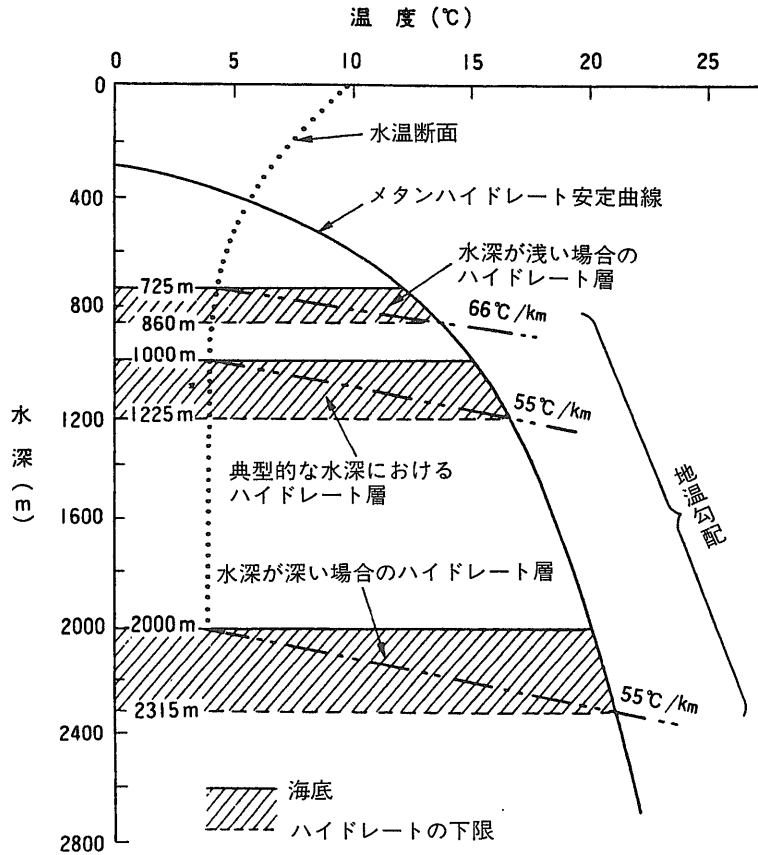
永久凍土地帯の陸上ではありますが、海外では資源探査の過程で、実際にメタンハイドレートが回収された例が多数あり、資源的に開発された例もあります。また、海域でも、メタンハイドレートが発見された例があります。以下にそのいくつかの例を説明します。

メタンハイドレートガス田は、1967年に旧ソ連の西シベリアで開発されたメソヤハガス田で最初に発見されました。メソヤハガス田では、メタンハイドレ

ートのサンプルこそ回収されませんでした。生産ガスの挙動曲線(第4図)から、メソヤハガス田が世界で初めてメタンハイドレートガス田であると決定されました。メソヤハガス田では、メタンハイドレート層の直下に、フリー(遊離)ガス層と呼ばれる通常のガス田で認められる貯留層と同様なガス貯留層が存在し、そのガス貯留層からのガスを採取することにより、ガス貯留層の圧力がメタンハイドレート安定相平衡曲線以下への低下が認められましたが、ハイドレート安定相平衡曲線上の圧力以下での層内圧力低下速度は、通常のガス田の圧力低下に比べ緩やかとなりました。また、坑井の生産を止めるとメタンハイドレート安定相平衡曲線上の圧力まで圧力が増加しました。これらの事実から、メソヤハガス田の生産ガスの一部は、メタンハイドレートからの分解ガスであると判断されました。

また、1972年に実施されたカナダ北部のマッケンジーデルタでの石油天然ガス探鉱のための掘削に際しては、圧力を維持したままサンプルを回収する装置である「圧力コアバレル」と呼ばれる装置を用いてメタンハイドレートを回収しました(Billy and Dick, 1974)。公表されている文献としては、このサンプル回収が世界で最初の地下からのメタンハイドレート回収と考えられています。

海域における最初のメタンハイドレートサンプル回

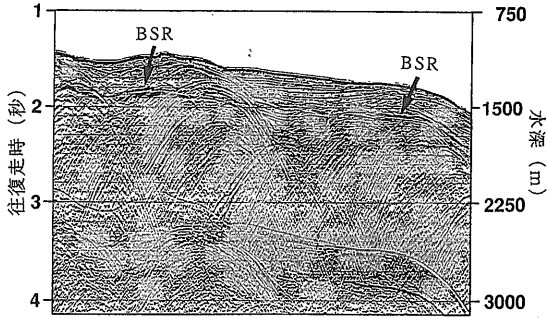


第5図 水深—地温勾配—メタンハイドレート層の厚さの関係。水深が大きく地温勾配が小さいほどメタンハイドレート層が厚く発達する。(Field and Kvenvolden, 1985)

収は、科学的調査である深海掘削計画のプログラムの一環として、1980年にフロリダ半島北東のブレイクアウターリッジと名付けられた地形の高まり(海嶺)において、水深約3,000m付近の海底下238m付近から圧力コアバレルによって回収されました(Kvenvolden and Barnard, 1983)。その後、中米海溝や南米海溝、カナダのバンクーバー沖、等世界の10数ヵ所から、国際深海掘削計画や、海洋地質調査等によりメタンハイドレートが回収されています。最近では、1995年10～12月に、東京大学大学院理学系研究科の松本 良教授をはじめ、地質調査所等からの日本人研究者が数名参加したブレイクアウターリッジにおける国際深海掘削計画第164次航海でもメタンハイドレートサンプル回収に成功しており、現在我が国国内においてもサンプルの研究等が精力的に行われています。

#### 4. 海域に分布するメタンハイドレートの物理探査

ところで、メタンハイドレート層には、周辺の地層に比べて相対的に弾性波速度が速く、また密度が小さいという物理的性質があり、さらに掘削等の結果から安定領域直下には弾性波速度が遅いフリーガスが存在していると推定されています。また、海底下のメタンハイドレート層下限すなわち安定領域下限は、地温勾配と呼ばれる地下の深度増加に伴う地層温度の増温率によって決定されます(第5図)が、堆積岩の分布する特定の狭い海域における地温勾配および地層圧の変化が小さいため、水深の変化の少ない地域の海底下のメタンハイドレート安定領域の下限は海底とほぼ平行となります。このようなメタンハイドレート層の物理的性質から、メタンハイ



第6図 南海トラフ海域におけるBSRの記録例

ドレート層下限直下にフリーガスが存在すれば、反射法地震探査記録上にしばしば海底にほぼ平行な海底擬似反射面 (Bottom Simulating Reflector: 通称BSR, 第6図) と呼ばれる位相が反転した強振幅の異常反射面が表われます。BSRは、地層の傾斜を切るように分布しており、このようなBSR分布から、メタンハイドレートの予想分布域が推定できます。

### 5. 天然ガスハイドレート鉱床のガスの起源

天然ガスハイドレート鉱床の形成には、地下における多量の天然ガスの存在が必要です。ハイドレート中のガスの起源については、海底の微生物の発酵により発生するメタンガスを起源とする生物発酵起源と、生物遺骸が埋没し地温・圧力の増加による統成作用を受けて発生する天然ガスを起源とする

熱分解起源があります。後者は、通常の石油・天然ガス鉱床の成因とほぼ同じと考えられます。生物の発酵作用には地中に存在する炭素の同位体分別作用があり、発生するメタン中では同位体的に重い炭素原子が少ないために、天然ガス中の炭素の同位体を測定すればこの成因を判別できます。この炭素同位体測定結果によれば、海底のハイドレートの多くは生物発酵起源を示しますが、メキシコ湾等で得られた塊状のものは熱分解起源を示しています。また、陸上の油・ガス田地帯のハイドレート層から得られるガスは、熱分解起源のハイドレートが多くあります。

### 6. 予想されるメタンハイドレートの資源量

ところで、天然ガスハイドレートの資源量はどの位あるのでしょうか。米国エネルギー省や米国地質調査所、日本の地質調査所に加えソ連の機関等の世界の各機関でメタンハイドレート資源量の試算を実施しており、概ね $10^{14} \sim 10^{18} \text{m}^3$ の値が得られています(第1表)。この値は世界の天然ガス確認埋蔵量(119兆 $\text{m}^3$ )の数十倍以上もあります。但し、現在までのところ資源量試算の手法が確立していないため、採用された試算方法も変化に富んでおり、その値にばらつきが多くあります。なお、最近、地質調査所では、世界の資源量を概ね $2 \sim 4 \times 10^{14} \text{m}^3$ と試算しています(佐藤ほか, 1996)。

第1表 世界の主要な資源量評価試算(奥田, 1993に加筆)

	Onshore	offshore	Total
Trofimuk et al. (1977)	$5.7 \times 10^{13}$	$(5-25) \times 10^{15}$	
Mclver(1981)	$3.1 \times 10^{13}$	$3.1 \times 10^{15}$	
Meyer(1981)	$1.4 \times 10^{13}$		
Dobrynin et al. (1981)	$3.4 \times 10^{16}$	$7.6 \times 10^{16}$	
Kvenvolden(1988)			$2.0 \times 10^{16}$
Kvenvolden and Claypool(1988)		$4.0 \times 10^{16}$	
Krason(1994)		$3.0 \times 10^{15}$	
GSJ/IAE(1992)		$(2.5-5) \times 10^{14}$	

また、地質調査所では、日本周辺海域の地下に存在するメタンハイドレート資源量については、およそ5～6兆 $m^3$ であると試算しており、その量は日本の年間天然ガス使用量の概ね100倍程度の量です(奥田, 1993; 佐藤ほか, 1996)。

## 7. メタンハイドレートの今後の開発についての展望

このような量のメタンハイドレートがすぐに資源として利用可能でしょうか。

前述のように、陸上の凍土地域に関しては、西シベリアのメソヤハガス田などロシアのいくつかのガス田で小規模な開発・生産が行われたものの、多くのガス田では、需要地までの長さが2,000km以上もあり、凍土地域のパイプラインの建設や、保温対策や地盤沈下対策等のコストが高いために、今すぐに開発とはいかないのが実状です。

海域のハイドレートの開発については、世界的に見ると多くの資源量が水深2,000m以上の大水深の海域に分布するので、大水深の掘削や生産の技術開発が必要です。また、開発には商業的な鉱床を見つける必要があります、生物発酵起源のものは当面経済的に有望でないため、塊状を示す熱分解起源のハイドレート層を探す技術開発が必要であると考えられます。さらに、ハイドレート層の直下にガス層が存在すると技術的に開発が容易であり、このような鉱床を探す物理探査技術開発も課題です。

メタンハイドレートから分解ガスを生産するためには、ハイドレート層直下のフリーガス生産による貯留層の減圧や、熱水や溶媒を注入したりする生産モデルが考えられています。しかし、現時点では、メソヤハガス田で実績のあるフリーガス生産による貯留層の減圧による方法以外は経済性がないと考えられています。

したがって、今後メタンハイドレートが資源として利用されるためには、メタンハイドレート層直下に十分な量のフリーガスが存在する地点を探査することが重要です。また、メタンハイドレート層を安全に掘削するためには、ハイドレート層の分解を制御しな

がら掘削する技術開発が必要です。

この他、我が国周辺海域のメタンハイドレート開発をめぐる条件としては、我が国で大水深の掘削リグを所有することや、大水深生産技術の開発が課題となると考えられます。

現在、通産省では、1999年に静岡県沖の南海トラフの陸側大陸斜面の水深800～1,000m程度の海域でメタンハイドレートを対象とした国の基礎試験を実施することを計画しており、我が国の石油天然ガス開発分野の技術者は、この計画に向けて産官学一体となってこれらの技術開発に取り組んでいるところです。

したがって、我が国周辺海域の天然ガスハイドレートの実際の商業的開発利用には、最も早いケースでもあと15～20年位はかかるであろうと考えられます。現在眠っている多くの資源は、100年位後にも開発が続くと予想され、天然ガスハイドレートは、21世紀の夢の天然ガス資源とも言えるでしょう。

### 参考文献

- Bily, C., and J.W.L. Dick (1974): Naturally Occurring Gas Hydrates in the Mckenzie Delta, N.W.T., Bull. Canadian Petroleum Geol., 22, 3, 340-352.
- Filed, M.E. and Kvenvolden, K.A. (1985): Gas hydrates on the northern California continental margin. Geology, 13, 517-520.
- 伊藤司郎 (1993): メタンハイドレートの合成実験, 地質学会講演要旨集, 100, 176.
- Kvenvolden and Barnard (1983): Gas hydrates of the Blake Outer Ridge, Site 553. D.S..D.P. Init. Rep. 76, 353-365, US Gov. Printing Office, Washington D.C., USA.
- Makogon, Y.F. (1984): Gas Production from the Natural Gas Hydrate Deposits., Gazovaya Promishlennost, 10, 26.
- Maekawa, T., Itoh, S., Sakata, S., Igari, N. (1995): Pressure and temperature condit Jour. 20, 325-329.
- 松本 良 (1996): 海底下にメタンハイドレートを探る, 地調講演会資料, 10, 53-61.
- 奥田義久 (1993): 天然ガスハイドレートの探査と開発への展望, エネ学誌, 72, 6, 425-435.
- 佐藤幹夫 (1996): メタンハイドレートの分布と資源量の推定, 地調講演会資料, 10, 24-35.
- 佐藤幹夫・前川竜男・奥田義久 (1996): 天然ガスハイドレートのメタン量と資源量の推定, 地質雑, 102, 959-971.

OKUDA Yoshihisa (1997): Introduction to Methane Hydrate Research in the Geological Survey of Japan.

< 受付: 1996年12月20日 >