

第2セッション

メタンハイドレート資源開発に関する日ロ技術開発の状況

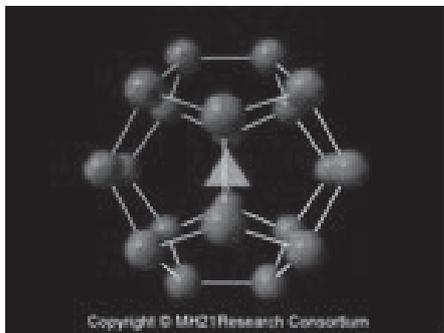
日本のメタンハイドレート研究開発プログラム—その概要と成果—

石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）石油開発技術本部特命審議役 大野健二

メタンハイドレートとは

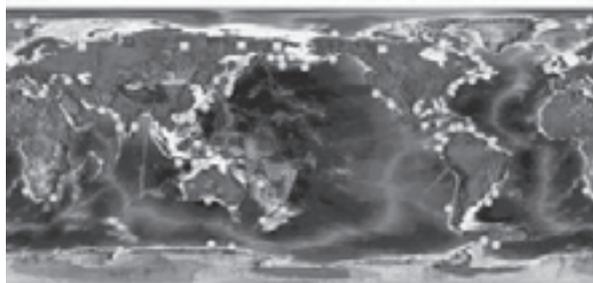
メタンハイドレートは水の分子が作るかご構造の中にメタン分子が閉じ込められた物質である。見た目が氷状の物質のため「燃える氷」と呼ばれることがある。ハイドレート1に対して、160～170倍の体積（0℃・1気圧）のメタンが含まれている。

図1 メタンハイドレートの分子構造



メタンハイドレートの存在する環境は「温度が低く、かつ圧力が高いところ」で、例えば1気圧（常圧）ならマイナス80℃以下、10気圧ならマイナス30℃以下、50気圧なら6℃以下、100気圧ならプラス12℃以下で安定的に存在しうる。自然界では、陸域では永久凍土の厚く存在する極地の地下1,000メートルの地層中。海域では水深500メートル以深の海底下数百メートルの地層中か、海底面が、このような温度・圧力条件になるためメタンハイドレートが安定して存在し得る。これまで科学調査等により世界各地の深海底面や永久凍土の下で発見されている。

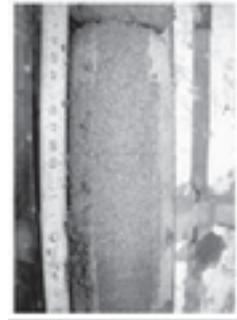
図2 世界で確認されているメタンハイドレートの賦存



① 北海・東シベリア
② 南極域（氷川流氷域）

③ 日本メタンハイドレート賦存地帯
④ 西シベリアメタンハイドレート賦存地帯

図3 基礎試錐で確認された砂層中のハイドレート



日本におけるメタンハイドレート研究の背景と研究開発プログラム

1999年に経済産業省（METI）の委託により日本の南部海域で掘削された基礎試錐「南海トラフ」によって、メタンハイドレートが大水深海底下の砂で出来た地層の砂粒の間の空隙（孔隙）を埋めるようにして（通常の石油の場合と同じような形態で）大量に存在していることが世界で始めて明らかにされた。この結果を踏まえて、METIは2001年に、メタンハイドレートの将来のエネルギー源としての可能性を確認するという中長期的視野に立った「メタンハイドレート開発研究プログラム（フェーズ1～3）」を策定した。

研究開発推進体制

これを受けて2001年、石油・天然ガスの探査開発を担う国の機関である石油公団（現石油天然ガス・金属鉱物資源機構JOGMEC）、広範な技術開発を担う国の研究機関である産業総合研究所（AIST）、民間のエンジニアリング企業を中心とするエンジニアリング振興協会（ENAA）が研究コンソーシアム（略称MH21）を組成して各々、「資源量評価」、「生産技術・モデリング」、「環境影響評価」を担当しつつ協力してフェーズ1の研究開発を行うこととなった。

研究開発の目的とゴール

本研究計画はメタンハイドレートを探査し、メタンを経済的に生産し得る技術の開発を促進し、長期的に安定なエネルギーの供給に寄与すること。対象を海底下の砂層中（空

隙中)に賦存するメタンハイドレートとする。

ゴール

1. 日本周辺海域のメタンハイドレートの賦存状況を把握する。
2. ポテンシャルの高い地域でのハイドレート層中のメタンガス量を評価する。
3. 資源化の可能性の高い地域を対象に経済性を検討する。
4. 同地域において産出テストを実施する。
5. 経済的なガス生産を目指し技術の改良を行う。
6. 環境に配慮した開発システムを構築する。

フェーズ1 研究の主な成果

1. メタンハイドレートが砂の空隙を埋める形で海底面下の砂層に大量に賦存していることを世界で始めて坑井によって確認した。
2. メタンハイドレートの濃集しているゾーンを主として地震探査の複数のパラメータで評価する手法を構築した(探査手法)。
3. 東部南海トラフ海域でハイドレート層中のメタン量を高い精度で試算した。
4. 永久凍土地帯において坑井を掘削し、減圧によりハイドレートを地下で分解し継続的にメタンを生産せしめた。
5. 地下のハイドレート層からコア試料を採取して地下と同じ温度圧力条件下で試験する方法を構築した。
6. ハイドレートの物理的な性状を地下条件下で測定する方法を確立した。また砂中のハイドレートを模擬した人工試料の作成・試験に関わる標準的な手法を開発した。
7. ハイドレートの分解・流動等を評価できる専用の数値シミュレーターを開発し、コア試験結果、産出試験結果の評価に活用できるようにした。

図4 砂層中のメタンハイドレート探査技術を確立

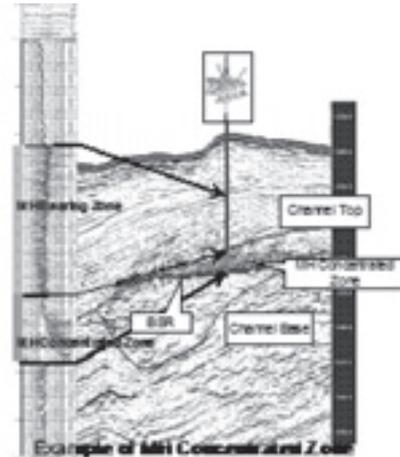


図5 世界で始めて連続生産に成功



フェーズ2における主要な技術課題

1. 東部南海トラフ以外の海域におけるメタンハイドレートの賦存状況の評価
2. 長期的な生産テスト
3. 海洋における生産テスト
4. より効率の高い生産方法の検討
5. 環境影響評価

図6 日本近海での海洋産出試験がフェーズ2のターゲット



第2セッション

ガスハイドレート開発分野における日口協力： 立証済み経験と将来の課題

ロシア連邦天然資源・環境省ロシア海洋科学研究所
北極海・世界海洋石油ガス部 タチヤナ・マトヴェエフ

ガスハイドレートは目視では氷のような結晶物質で、比較的低い温度で水および低い分子のガスから十分に高い濃度（逸散能、圧力）で形成される。これらは、独特の天然ガスの未成熟な資源であり、巨大な資源であること、広範に分布していること、および優れた埋蔵資源でかつガスが濃縮されているという長所によって、伝統的に使用されてきた埋蔵物と真っ向から競合するものである。ガスハイドレート地質問題における調査の主な目標は、ポテンシャルのある燃料として、天然（主に海底）のガスハイドレートの役割を明確にすることだ。また、何処にどれだけ広い範囲にガスハイドレートが分布しているか理解することが必要であり、どれだけの量のガスが地球全体のそれぞれ離れたガスハイドレート堆積層に濃縮されているかを正確に見積もる必要がある。オフショアのガスハイドレートは 2×10^{14} - 7600×10^{15} 立方メートルのガス量を含有する場合がある。海底ガスハイドレートは世界中で主要なエネルギー資源に替わる可能性があり、天然ガスハイドレート資源の重要性を解決することは石油およびガス地質の最も現実的な課題の一つである。

ロシア海洋科学研究所北極海・世界海洋石油ガス部 (Russian Laboratory for Unconventional Hydrocarbon Resources from I.S. Gramberg Academician All-Russian Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean (I.S. Gramberg VNIIOkeangeologia)) は1982年に設立された。現在のところ、本研究所はロシアおよび国際科学コミュニティーにより、ガスハイドレート地質の種々の観点（地球化学、地熱、堆積学、物理化学、資源その他）を十分調査できる機関として認識されている。われわれはノルウェー、黒海、カスピ海、オホーツク海、北大西洋（黒海淵の海嶺、カディス湾）、バイカル湖、および Messoyakhaガス・フィールドにおいてガスハイド

レート堆積層の発見および研究に従事した。VNIIOkeangeologiaは、天然ガスハイドレート研究の分野で、日本 (KIT)、韓国 (KORDI, KOPRI)、ベルギー (RCMG)、ドイツ (GEOMAR)、ブルガリア (Oceanologic Institute)、米国 (NRL)、カナダ (University of Victoria)、アゼルバイジャン (Geological Institute)、その他の機関と協力することに成功している。

その国際協力の成功例の1つがCHAOS（オホーツク海での炭化水素ハイドレート堆積層：Hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea）プロジェクトだ。このプロジェクトは、オホーツク海での流体排出構造（ガス漏出）におけるガスハイドレート形成プロセスの研究を目指している。このプロジェクトのアイデアは新エネルギー資源研究センターである日本の北見工業大学 (KIT、庄子仁氏) およびサンクトペテルブルグのVNIIOkeangeologia (V. Soloviev氏) から発表された。太平洋海洋研究所（ウラジオストク）海洋地質・地球物理学部長のアナトリー・オブジロフ氏がその技術支援推進の責任者である。5回の探査で独特のデータセットが得られ、これらのハイドレート堆積層におけるガス資源の評価ができるようになった。その作業は日本学術振興会、文部科学省ならびに北見工業大学、ロシア連邦プログラム「世界の海洋」およびロシア基礎研究基金の支援の下に実行された。この共同プロジェクトの輝かしい結果により、ガスハイドレート研究の専門分野の多岐にわたる日口協力ネットワークの発展にますます明るい見通しが開かれた。

このように、共同のVNIIOkeangeologia-KIT研究の経験が立証されたことにより、我々はガスハイドレートの研究および関連産業の発展に関する他の日本の科学団体組織からの関心を得ることが期待できる。

第2セッション

オホーツク海におけるガスハイドレートとメタンフラックス およびそこからメタン採掘方

ロシア科学アカデミー太平洋海洋研究所
海洋地質・地球物理学部長 アナトリー・オブジロフ

オホーツク海におけるガスハイドレート・フィールドに関する海底堆積層、地質学的あるいは地球物理学的な法則性を知ることが本調査の目的である。堆積層からガスハイドレートに連結した水柱へのメタンフラックス、およびガスハイドレートからのメタン採掘の可能性、そしてメタンフラックスの環境への影響の調査を行う。

- ・海洋におけるガスハイドレートの探索方法
- ・ガスハイドレートを生成または破壊する地質学的な法則性の研究
- ・関連するいくつかのガスハイドレートからメタンを採掘する科学的基礎の確立—オホーツク海における環境破壊のないメタンフラックス

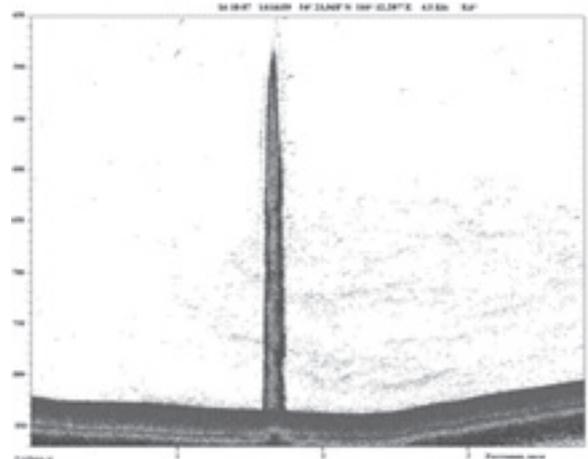
オホーツク海におけるメタンフラックスおよびガスハイドレートを研究するための地質学的あるいは地球物理学的な複雑な調査としては、ロシア・ドイツ (KOMEX、1998-2004)、ロシア・日本・韓国 (CHAOS、2003、2005-2006) の国際プロジェクト内で実施され、現在もロシア・日本・韓国 (SAKHALIN、2007-2012) で進行中である。

ガスハイドレート・フィールドの地質学的あるいは地球物理学的特徴

世界の海洋およびオホーツク海におけるガスハイドレート分布の共通する規則性がこれまでに検討された。ハイドレートと石油ガス堆積層との関係があり、メタンフラックスと地震音響・地殻変動の活動に関係があるという結論であった。ガスハイドレートの炭化水素量が調査され、大気中のメタンフラックスおよびメタンフラックスが地球規模の気候変動および水中生物相に与える影響が検討された。SAKHALINプロジェクトではそれが継続され、ガスハイドレート・フィールドの地質学的、地球物理学的、水中音響およびガス地球化学的パラメータをより詳細に調査中だ。

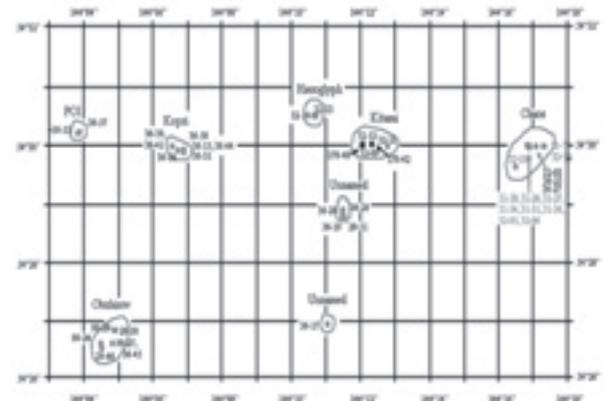
1998年から2009年までの間に、オホーツク海のサハリン北東大陸棚斜面に数多く（約500個）のメタンフラックスが発見された（図1）。

図1 オホーツク海における堆積層から水中に噴出するメタン気泡フラックスの水中音響イメージ



この地域では11のガスハイドレート・フィールドが発見された（図2）。ガスハイドレートのメタン源のほとんどが石油ガス堆積層の熱性のガスであり、サハリン大陸棚およびオホーツク海の大陸棚の斜面にある。

図2 オホーツク海のサハリン大陸棚に存在するメタンフラックスおよびガスハイドレート（囲み地域がガスハイドレート・フィールド、内部の点はメタンフラックスを表す）

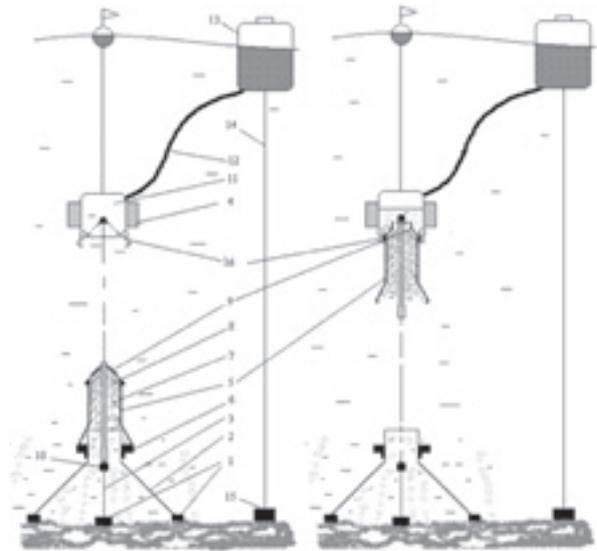


ガスハイドレートからメタンを採掘する計画

ガスハイドレートおよびメタンフラックスからメタンを抽出する際、商業的にも採算がとれるものとし、それを大気圧まで減圧する。ガスハイドレートおよびメタンフラックスからメタンを抽出する一つの方法として次のモデル（図3）を提案する。

メタンの気泡は多くのトラップを含むので、特別なガス集積機を使用してガスを上昇させる。この集積機はガスが採掘されるにつれ上昇し、船の中で満たされると船はトラップ毎に（例えば50トラップ毎に）ガスを受け入れ、最後のトラップを受け入れると最初に戻る。それが繰り返される。

図3 ガスハイドレート・フィールドにおけるメタン気泡のガス抽出装置



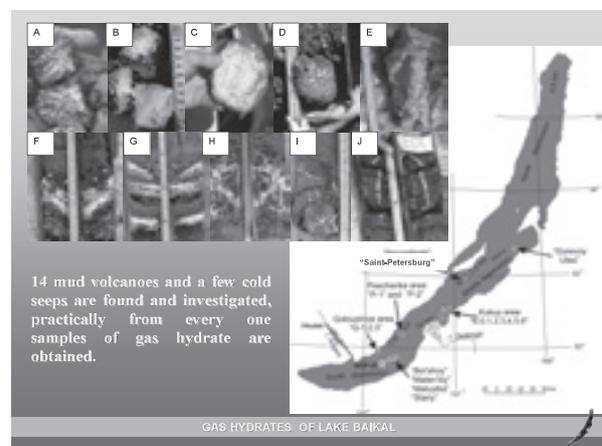
第2セッション

バイカル湖におけるガスハイドレートの探査研究の結果と見解

ロシア科学アカデミー陸水学研究所バイカル湖地質学グループ長 オレグ・クリストフ

バイカル湖の淡水域内のガスハイドレートについて、最初は1980年にVNIIGAZにより、その堆積がありそうな地域についての発表があった。そして1989年と1992年に実施したマルチチャンネルの地震波測定探査の後、ハイドレートを含む水分が存在する地域の地球物理学的兆候であるBSR（Bottom Simulating Reflector、海底疑似反射面）をバイカル湖の堆積層から得ることができた。1992年のセレンガ川デルタ地域の探査結果からBSRマップが作成され、それにより初めて 8.8×10^{11} - 9×10^{12} 立方メートル以内でのガスハイドレート埋蔵量の予測分析が可能になった。

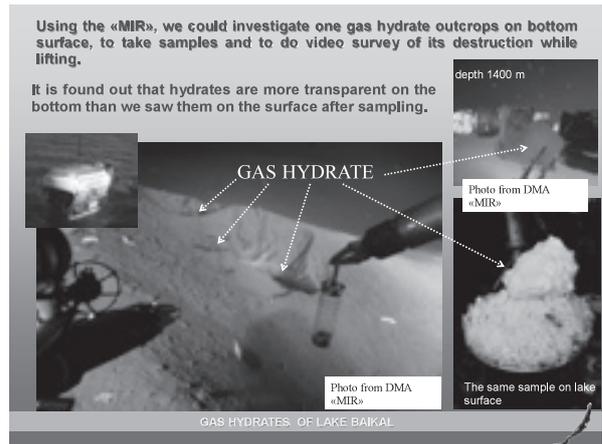
1997年に深海ガスハイドレートの最初のサンプル（立方構造KC-1の生物起源メタンの一種）が水深1,420メートルの湖底から121メートルと161メートルのポイントから得られた。1999年から2009年までの地質学および地球物理学活動により、バイカル湖底の4泥火山地区に14の泥火山が見つかり、そのうち7つの泥火山でガスハイドレートが確認され、1つの石油流出サイトが発見された。



われわれが推進したガスハイドレート調査でも、湖底表面の近くにガスハイドレートが堆積していることが分かった。そこで得たサンプルは、生物起源メタンKC-1ハイドレートと、発熱性のエタンと生物起源メタンの混合物KC-2ハイドレートの両方を同時に構成するものだった。2009年には潜水ビデオカメラDMA「MIR」を使用して湖底表面に出現したハイドレーを撮影した。

バイカル湖のガスハイドレート調査から得られた多くの経験から、大規模な基本研究の継続のみならず、現在ではガスハイドレート堆積層表面の近くからガスを採掘する技術を開発し、それを試験することができる。この事業は

SB RAS（ロシア科学アカデミーシベリア支部）統合プロジェクトNo.27で実行される。



第2セッション

バイカル湖の湖底表層のメタンハイドレートからのガス回収実験

清水建設株式会社技術研究所主任研究員 西尾伸也

昨年8月にバイカル湖で実施した湖底表層のメタンハイドレートからのガス回収実験について報告する。この実験は、独立行政法人科学技術振興機構の2006年度採択革新技術開発研究事業による委託を受け、清水建設、北見工業大学、北海道大学そしてロシア科学アカデミー陸水学研究所と共同で実施した。

メタンハイドレートの集積パターンは大きく2つに分類される。一つは、海底や湖底の「深層」にあるメタンハイドレートであり、地盤内の透水性層にゆっくり時間をかけて集積したものである。もう一つは、地盤内の断層や泥火山に起因した下部からの急激なガス流動によって海底や湖底の「表層」に集積したものである。深層型の場合は、僅かに温度・圧力条件を変化させるだけで平衡状態が崩れ、ハイドレートを分解させることができるが、水温の低い表層型の場合は、平衡状態を変化させるのに大きなエネルギーが必要となる。深層型メタンハイドレート資源開発においては、分解させてガス化させ、そのガスを回収する方法が考えられているが、表層型メタンハイドレートを回収するには、深層型とは異なる方法が必要になる。

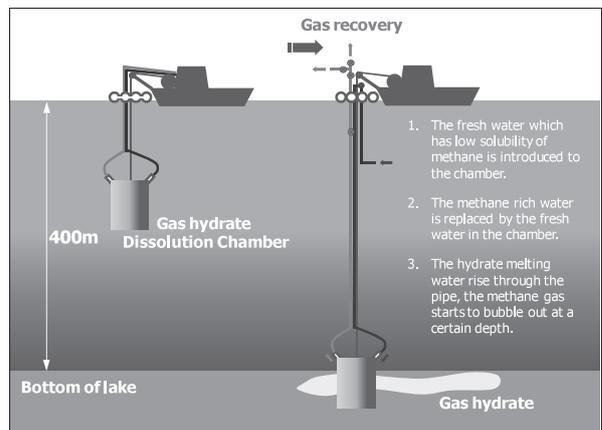
深層型メタンハイドレートについては、過去10年以上に亘ってその調査研究が進められており、具体的な生産手法も検討されている。しかし、表層型メタンハイドレートについては、日本近海でも確認されているにも拘わらず、まだ調査は進んでいない。しかし、貴重な国産エネルギー供給源を確保するため有望と考え、パイロットスタディとして、メタンハイドレートを水に溶解させて回収するという

新たな生産手法を適用したガス回収実験をバイカル湖で行うことにした。

バイカル湖は淡水湖として唯一、メタンハイドレートの存在が確認されており、湖底表層には泥火山由来のメタンハイドレートも存在する。こうした泥火山をターゲットにしてサンプリング調査を進め、メタンハイドレート、間隙水、堆積土の物性評価を行うと共に、コーン貫入試験によりメタンハイドレート層の存在、堆積深度、産状を把握した。

提案するガス回収方法を検証するため、バイカル湖の南湖盆のサイトでガス回収実験を行った。解離チャンバーを湖底に着底させ、湖表層のメタン溶存濃度の低い水を送水しながら、チャンバー先端に取付けたウォータージェットで湖底のメタンハイドレートを掘削・攪拌し、メタンハイ

ガス回収実験の概要



ドレートが溶解・混合した水を揚水することによりガス化させ、そのガスを船上で回収した。ガス回収実験の結果、炭化水素濃度90%以上のガスが回収でき、ガス組成、安定同位体比の分析結果より、回収ガスの主成分はメタンハイドレートの解離ガスであることが明らかになった。

今回の実験の目的は湖底表層のメタンハイドレートを対

象にしたガス回収手法の検証であり、ガス回収効率の向上、経済性評価は今後の課題である。しかし、水域からのガス回収に成功したのは初めての事例であり、国産エネルギー供給源を確保する一つの選択肢として、表層型メタンハイドレート資源開発の可能性を示すことができたと考えている。

第2セッション

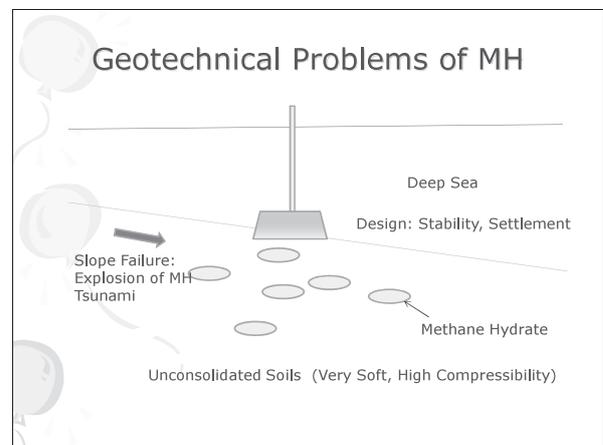
メタンハイドレード開発における地盤調査の重要性

北海道大学大学院工学研究科教授 田中洋行

従来の資源開発において地盤の強度が問題となるケースは、大深度の石油や天然ガス開発以外においては、あまり存在していなかった。その理由は、石炭や石油など今まで人類が採取してきた資源は、強固な岩盤（専門用語でいえば固結した地盤）に存在しているからである。しかし、メタンハイドレードは未固結な地盤の中に存在しているので、地盤の特性が大きな問題となる。

メタンハイドレードの開発において、地盤工学上問題となるのは、図に示すように、採取するための基地建設のための基礎構築であり、もう一つは資源採取後の地盤の安定である。特に後者は、不安定な海底地盤上に、開発が引き金となって、大規模な海底地すべりが生じる可能性がある。これらの問題を解決するためには、予測に必要な地盤の物性値を精度良く測定する必要がある。

未固結な地盤が問題となるケースは、これまでに主として建設の分野であり、特に日本においては、人間活動の中心は平坦な場所が沖積平野に代表されるように、未固結土が厚く堆積している場所である。このような場所にビルや道路を建設すると大きな沈下が生じたり、場合によっては地盤が破壊する。したがって、これらの問題を回避する



ために、土木や建築の分野では地盤調査法が発達した。しかしながら、このように培われた技術はメタンハイドレード開発に、そのまま適応できない。大きな障害となるのは、水深である。資源開発以外に経済的に見て開発可能な海域は、せいぜい50mより浅い深度である。ちなみに、人工島に建設された関西国際空港の水深は20mである。1,000mを超える水深の海底調査を行う技術を早急に整備する必要がある。