

TDR 法を用いた水深 1000m におけるガスハイドレート含有堆積物中の ガス量の見積もり

○落合 博之 (明治大学), 登尾 浩助 (明治大学),
松本 良 (東京大学), 町山 栄章 (海洋研究開発機構)

はじめに

石油をはじめとした化石燃料を用いたエネルギー消費により大気二酸化濃度が上昇し、20 世紀以降、地球温暖化が急加速している。それに対応し京都議定書 (1997) に代表される温室効果ガス削減対策が提起されている。一方、近年のエネルギー消費の拡大は化石燃料とくに石油の枯渇をもたらし、将来の油田発見を見込んだとしても今後数 10 年で埋蔵量は減少に転ずると言われている。二酸化炭素の排出規制と石油の枯渇という 2 つの緊急課題に対する現実的対応の一つが、環境負荷が石油や石炭より少ない天然ガスへの転換である。つまり天然ガスから発生する二酸化炭素は、同じ熱量を得るために燃焼した石炭、石油から発生する二酸化炭素の 20~30% も少なく、エネルギー転換により数 10% の二酸化炭素削減が期待される。ガスハイドレートとは天然ガス (メタン) と水分子からなる氷状の固体物質であり、固体状の天然ガスと言う事ができる。近年、深海底堆積物から広く報告されており、新たな天然ガス資源として注目されている。我が国では東海沖~熊の灘でガスハイドレート資源の開発計画が進行し、海底からメタンの気泡が噴出し海底にハイドレートが露出する日本海上越沖では東京大学のグループにより集中的な調査が行なわれている (松本ほか, 2009)。多くの場合、堆積物は堆積物粒子と間隙水から成ると考えられる。しかし、ガスチムニーやフラクチャーを経由する深部からのメタンフラックスが大きく、表層堆積物中にガスハイドレートが集積するような堆積物では、海底堆積物といえどもフリーガスを含む可能性がある。松本ほか (2009) はガスハイドレート BSR の時間深度と海域の熱流量から海底下 100m の P 波伝搬速度が異常に小さい (1.0~1.3km/秒) ことを見だし、その原因を堆積物中に存在するフリーガス分布と考えた。堆積物中のフリーガスの存在は表層堆積物中でのガスハイドレート集積のメカニズムを理解する上で重要な意味を持つ。しかし速度とガス量の間には直線関係はなく、ごく少量のガスで速度が著しく低下すると考えられるため、速度異常だけからガス量を正確に見積もることは難しい。そこで本研究では、農地の含水率測定で用いられる TDR (Time Domain Reflectometry: 時間領域反射法) 法を適用して、ガス量を見積もることを試みた。

方法

実験では、Time Domain Reflectometry (TDR) 法を用いて海底堆積物中のガス量見積もりを行う。TDR 法は土壌中の水分

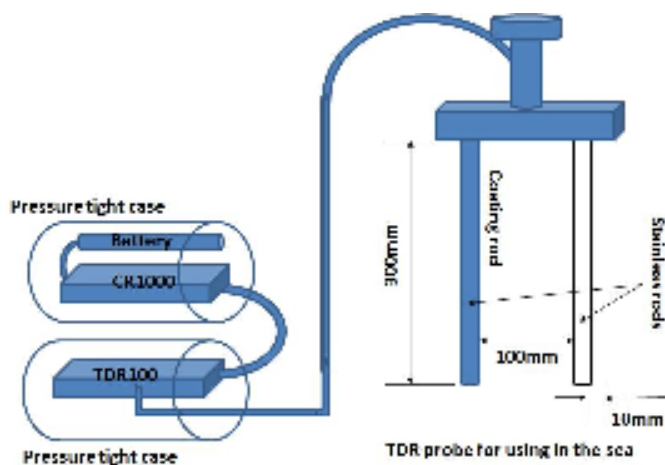


図1 海底土壌における測定装置

量や電気伝導度を測定する際に一般的に広く用いられており、電磁波の伝播速度を利用して土壌の比誘電率を推定し、そこから土壌水分量を求める。本研究では比誘電率の変化を用いて海底堆積物中に占めるガスの体積を測定する。比誘電率は、物質ごとにことなり、水は約 80、土壌は 3~9、空気は 1 である。また、氷は 4.2 である。海底から一定量の堆積物コアを採取し、地上に持ち帰り堆積物の乾燥密度と土粒子密度を測って堆積物の乾燥堆積を見積もる。含水率（液相比）は海底で測定した TDR 法による比誘電率の値から見積もることができる。これら測定値から、ガスの体積を計算で求める事ができる。

実験は、図 1 のセンサを用いた。耐圧性の容器内に比誘電率測定のための TDR 装置 (TDR100, Campbell 社製) とデータロガー (CR1000, Campbell 社製) を設置し、容器の外には TDR センサとして TDR プローブを設置する。TDR プローブを海底に挿す際にはプローブ上方のハンドル部分を ROV のアームで持てるようにした。TDR プローブは長さ 300mm、直径 10mm、ロッド間隔 100mm の 2 線式を用いた。TDR 法による比誘電率の測定は、海水のように電気伝導度が非常に高い溶液の測定において、プローブ末端で電磁波の反射強度が減衰し、跳ね返らなくなってしまう。このような場合、TDR 法による比誘電率の測定は不可能となる。そこで、本研究では、Moret-Fernandez (2007) によって示されるように、熱収縮チューブでロッドを被膜することによって TDR プローブ内での電磁波の減衰を防いだ。その結果、電磁波の反射強度の減衰を抑えることに成功し、海水における比誘電率の測定が可能となった。

結果と考察

写真 1 に深海における TDR 測定の様子を示した。ROV のアームで TDR プローブを深海堆積物中に挿入し、10 秒間隔で 2 分間測定を行った。その結果、堆積物中の比誘電率 ϵ が測定地点により異なった ($\epsilon = 48.5 \sim 54.0$)。室内実験で求めた校正式 $\theta = 3.71E06 \times \epsilon^3 - 3.60E-04 \times \epsilon^2 + 1.86E-02 \times \epsilon - 5.61E-02$ に TDR 法で測定した比誘電率を当てはめ、体積含水率 θ [$m^3 m^{-3}$] (=液相率 V_w) を求めた ($V_w = 0.47 \sim 0.57$)。次に写真 2 に深海でのコアサンプリングの様子を示した。採取したコアサンプルから海底堆積物中の固相率 V_s [$m^3 m^{-3}$] を求めた ($V_s = 0.35 \sim 0.48$)。これらの結果を測定点ごとでまとめ、気相率 V_a [$m^3 m^{-3}$] を計算式 $V_a = 1 - (V_s + V_w)$ から求めた ($V_a = 0.01 \sim 0.11$)。以上のことから海底のガスハイドレード含有堆積物中には、多い時で約 10% のガスが存在することがわかった。



写真 1 深海での TDR 測定

引用文献

- 松本良ほか(2009): 日本海東縁上越海盆におけるメタンハイドレート の成長と崩壊. 地学雑誌, 118, 143-71.
- 登尾浩助(2003): 実践 TDR 法活用, 土壌の物性, 93, 57-65.
- Moret-Fernandez, D., R. I. Merino, F. Lera, M. V. Lopez, and J. L. Arrue(2009): Measurement of the soil bulk electrical conductivity using high-dielectric coated TDR probes. Soil Sci. Soc. Am. J. 73, 21-27.



写真 2 深海でのコアサンプリング