

## THF ハイドレートのパターン形成及びそのサイズスケールのデジタル画像解析 Pattern formation of tetrahydrofuran hydrate and an image-analysis technique to measure hydrates size scale

村岡 道弘<sup>1\*</sup>, 長島 和茂<sup>1</sup>

MURAOKA, Michihiro<sup>1\*</sup>, Kazushige Nagashima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 明治大学大学院理工学研究科

<sup>1</sup> Meiji Univ

### 【目的】

海底堆積物中に大量に存在するメタンハイドレートは、巨大な温暖化ガス源として気候変動との関連が注目されている。メタンハイドレートの生成と融解には、メタンの取り込みと放出を伴うため、成長ダイナミクスの理解が極めて重要である。メタンハイドレートは、堆積物中に様々な形状で析出していることが知られている。Malone ら (1985) は、ハイドレートの形状を層状、粒状、樹枝状、塊状の4つに分類した [1]。これらの形状の形成機構に関しては諸説存在するが、推測の域を脱しておらず、未だに確定的な結論は得られていないのが現状である。本研究は、堆積物モデル中における THF (テトラヒドロフラン) ハイドレートの成長実験を行い、これらのパターンを再現することを目的とする。さらにハイドレートのパターンは複雑であり、その形状に関するサイズスケールの解析方法はこれまで確立していない。多様なパターンの形成機構を解明するためには、この解析方法の確立が重要だと考える。そこで本研究では解析方法を考究し、形成したパターンとの比較検討を行うことで、多様なパターンの解析方法の確立を目指す。

【実験】堆積物モデルは、粒径  $2\ \mu\text{m}$  と  $50\ \mu\text{m}$  のガラスビーズの混合物とした。ここで、粒径  $2\ \mu\text{m}$  のビーズと  $50\ \mu\text{m}$  のビーズを重量比 1:1 で混合した。これに化学量論組成の THF 水溶液を混合したものをサンプル溶液とした。ガラスビーズと THF 水溶液は重量比 1:1 (含水比 100%) で混合した。本実験では、一定の温度勾配下で結晶の成長速度  $V$  を任意に制御できる一方向凝固装置を用いた。以上により、成長速度  $V$  を  $0.04\ \mu\text{m/s}$  から  $20\ \mu\text{m/s}$  まで変化させてハイドレートの生成実験を行った。

生成したハイドレートの形状は複雑であり、直径や分布間隔等のサイズスケールを測定することは困難であった。そのため以下の工夫により測定を可能にした。ハイドレートの撮影画像データを 256 階調のグレースケール画像へ変換した。この画像をハイドレート領域が白、堆積物領域が黒になるように白黒 2 値画像へ変換した。2 値化された画像に対して画像解析ソフト Image J の Analyze Particle 機能を使用することによりハイドレートの粒径、粒数の測定を行った [2]。また、ハイドレート領域の面積 (白ピクセルの総数)、堆積物領域の面積 (黒ピクセルの総数) を測定した。以上のデータからハイドレートの粒径や分布間隔を求めるため、個々のハイドレートは直径の等しい円であり、2 次元正方格子状に分布していると単純化してサイズスケールを求めた。この方法の詳細は講演で述べる。

### 【結果・考察】

成長速度  $V$  が変化すると、ハイドレートのパターンは変化した。 $V=0.04\sim 1\ \mu\text{m/s}$  の低速の時、高速の領域と比較して最大のハイドレートが形成した。このパターンが本実験の粒状と比較して極めて大きいことと、ビーズが部分的に取り込まれている (Malone らによる塊状の定義の 1 つ) ことからこのパターンを塊状とみなした。ここから速度が増大した  $V=1\sim 5\ \mu\text{m/s}$  の条件では、ハイドレートのサイズは急激に小さくなり粒状が形成した。更に速度が増大した  $V=10\ \mu\text{m/s}$  以上の高速領域では、ハイドレート領域が観察できない分散状が形成した。以上をまとめると  $V$  の増大と共にハイドレートのサイズは急激に小さくなり、パターンが塊状から粒状、粒状から分散状へと変化した。

前述した解析方法を塊状、粒状、分散状に適用し、ハイドレートの粒径の速度依存性を求めた。 $V$  が増大するとハイドレートの粒径が減少し、 $V=1$  の点で不連続に粒径が減少した。つまり、パターンが塊状から粒状へ遷移する境界で値が不連続に変化した。同様の方法で、分布間隔、粒数の速度依存性も求めた。

以上により塊状、粒状、分散状のパターンを再現することに成功した。さらに形成したハイドレートのパターンについて、2 次元正方格子として単純化することでハイドレートの粒径、分布間隔を測定することに成功した。この測定方法はソフトウェアを使用することで自動化できたので、効率よくサイズスケールの測定ができるメリットを持つ。

[1] R.D. Malone, Gas Hydrate Topical Report, DOE/METC/SP-218, U.S. Department of Energy, April 1985.

[2] Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2011.

キーワード: メタンハイドレート, テトラヒドロフラン, パターン形成, 凍上現象, 画像解析  
Keywords: Methane hydrates, Tetrahydrofuran, Pattern formation, Frost heave, image analysis