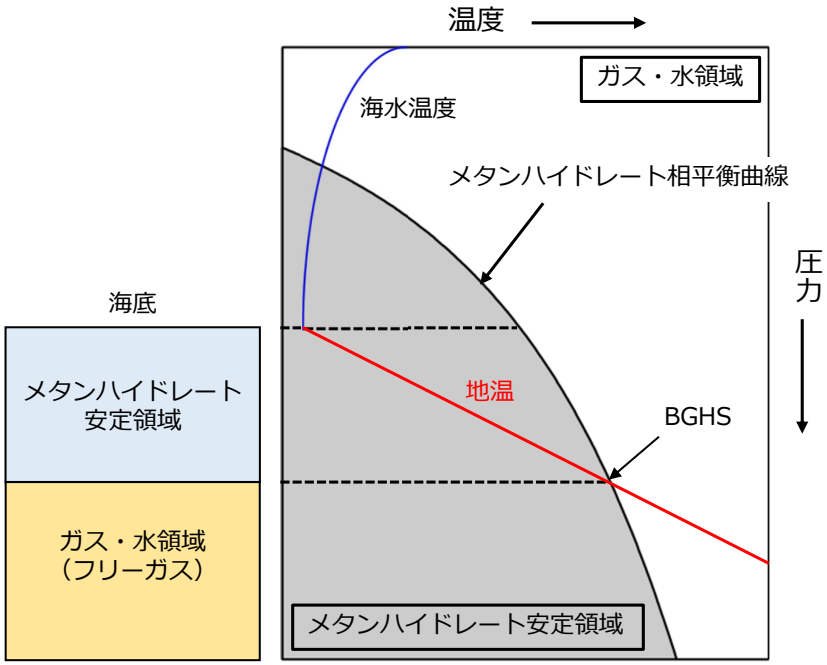
表層型メタンハイドレート胚胎域での地球熱学観測

産業技術総合研究所
地圏資源環境研究部門
後藤 秀作

本研究は経済産業省の「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）」の一部として実施しました。関係者の皆様に感謝いたします。

海底下のメタンハイドレートが存在可能な領域



ガス（メタン）ハイドレート安定領域下限（BGHS）は地温（海底下温度）に強く依存

海底下温度を推定するには「地殻熱流量」データが必要

地殻熱流量（熱流量）

$$q_b = K \times G \quad \left(G = \frac{dT}{dz} \right)$$

温度

深さ

熱流量
単位：mW m^{-2}

ミリワット

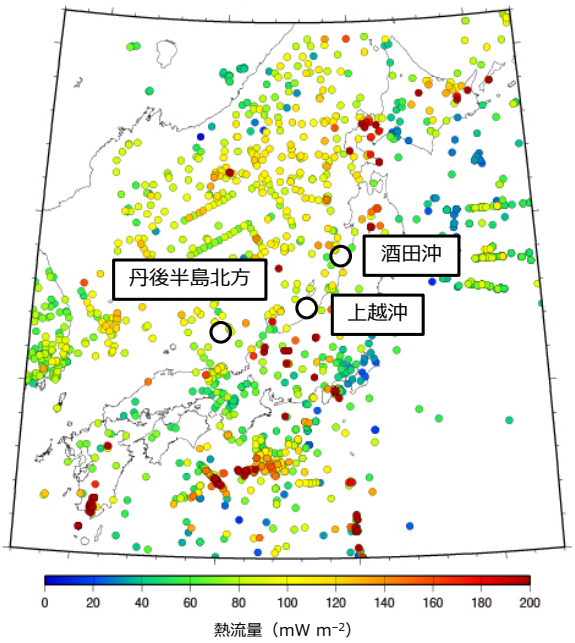
岩石・堆積物の熱伝導率
単位：W m^{-1} K^{-1}

地温勾配
単位：mK m^{-1}

ミリケルビン

- 地下深部から地表に向かって単位時間に単位面積を通過する熱エネルギー
- 地下温度を推定するために必要な情報

日本周辺海域の熱流量



田中ほか（2019、日本列島及びその周辺域の熱データベース）を修正・加筆
https://www.gsj.jp/data/G01M/GSJ_MAP_TDCJ_2019.zip

日本周辺海域
- 海底水温が安定している大深度で熱流量計測が多い
- 沿岸域では熱流量データが少ない

→ 海底水温変動のため信頼性のある熱流量計測が困難

表層型メタンハイドレート研究開発の調査対象域（３海域）
- 堆積物は海底水温変動の影響を受けてる
- 信頼性のある熱流量データが少ない
- 熱流量データが存在する場合、海底水温変動の影響を受けているか評価が必要

沿岸域で信頼性のある熱流量を計測するには・・・
- 海底水温変動の影響が十分に減衰した海底下深度で堆積物温度を計測
- 堆積物温度から海底水温変動の影響を除去

目的

（1）上越沖海域※

- 長尺温度プローブを使用して海底水温変動の影響がない熱流量を計測
- 上越沖海域のバックグラウンド熱流量を推定
- メタンハイドレート安定領域下限を推定

（2）酒田沖海域（暫定結果）

- 長期温度モニタリングにより海底水温変動の影響がない熱流量を計測

※公表論文

●堆積物の熱物性計測

Goto, S., M. Yamano, S. Morita, T. Kanamatsu, A. Hachikubo, S. Kataoka, M. Tanahashi, R. Matsumoto
Physical and thermal properties of mud-dominant sediment from the Joetsu Basin in the eastern margin of the Japan Sea, *Marine Geophysical Research*, **38**, 393–407, 2017. https://doi.org/10.1007/s11001-017-9302-y

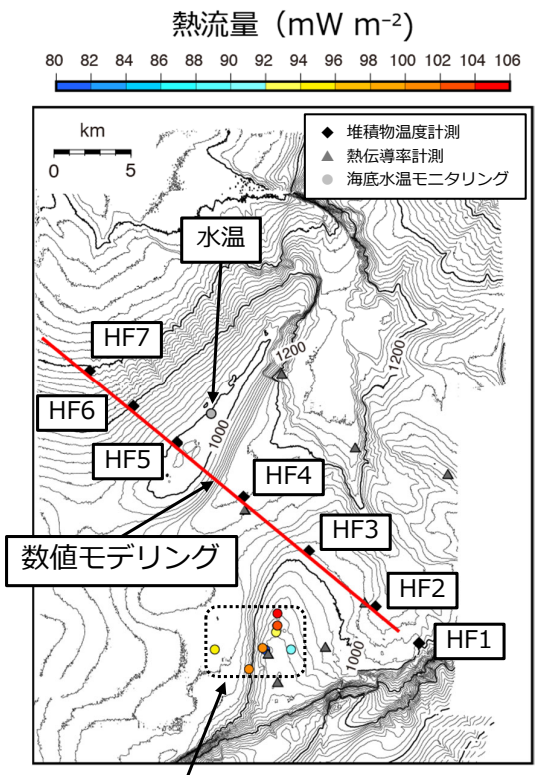
●熱流量計測

Goto, S., M. Yamano, M. Tanahashi, O. Matsubayashi, M. Kinoshita, H. Machiyama, S. Morita, T. Kanamatsu, A. Hachikubo, S. Kataoka, R. Matsumoto
Surface heat flow measurements in the eastern margin of the Japan Sea using a 15-m-long geothermal probe to overcome large bottom-water temperature fluctuations, accepted for publication in *Marine Geophysical Research*.

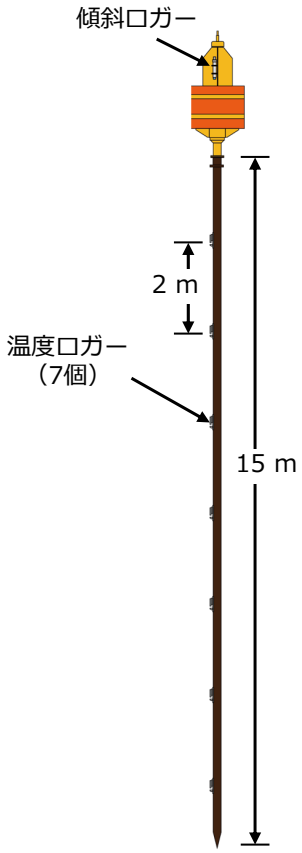
上越沖海域

長尺温度プローブを使用した熱流量計測
（既存データ解析）

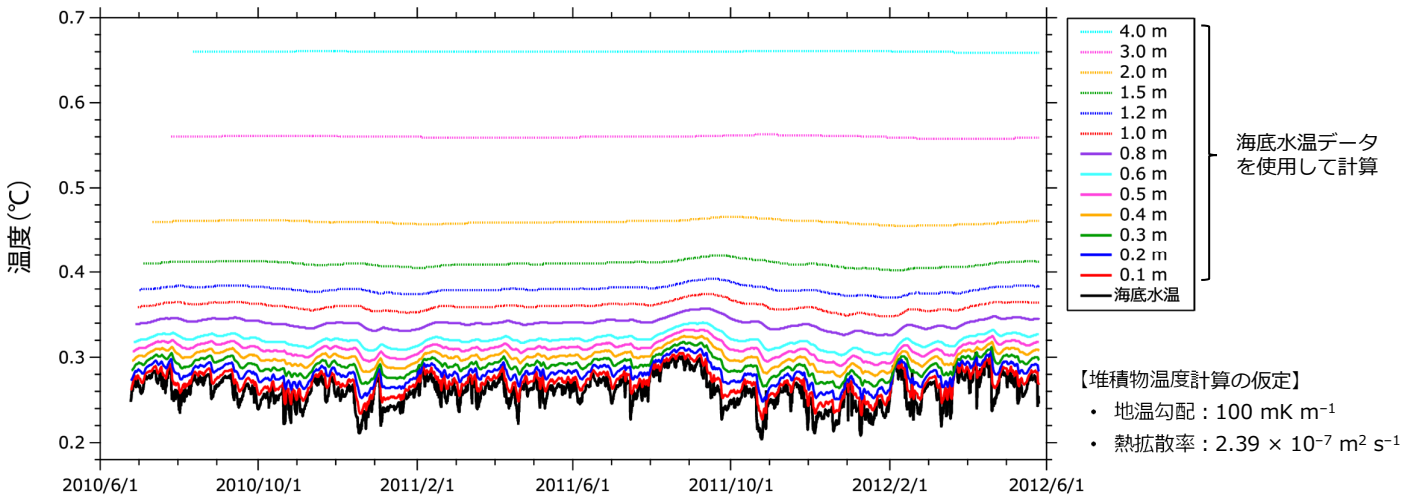
熱流量調査（上越沖海域）



町山ほか（2009、地学雑誌）
海底水温変動の影響がない熱流量データ



海底水温変動に対する堆積物の熱応答評価

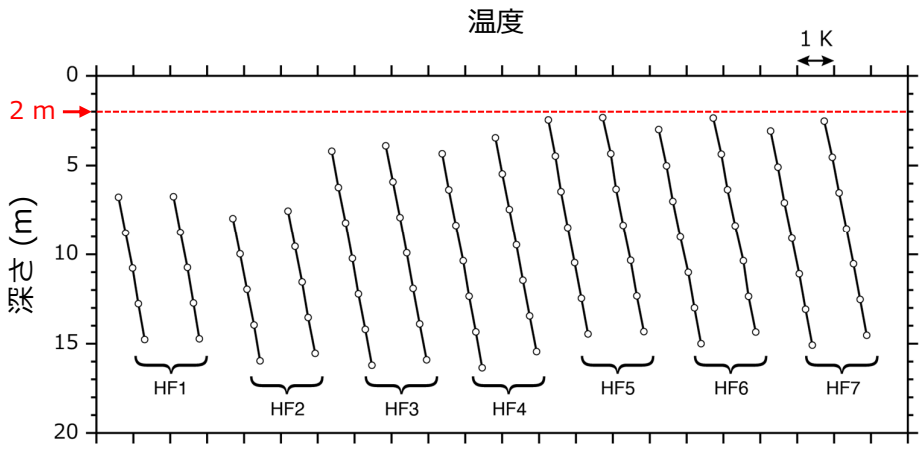


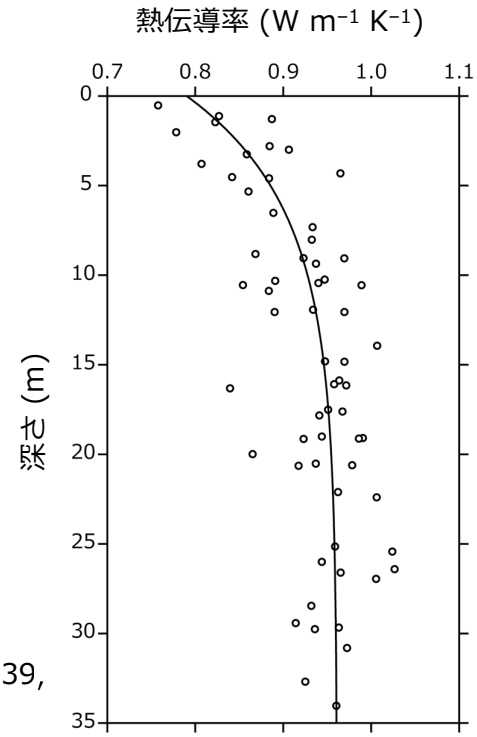
【堆積物温度計算の仮定】
- 地温勾配：100 mK m^{-1}
- 熱拡散率：2.39 × 10^{-7} m^2 s^{-1}

＜堆積物温度の熱応答＞
海底面からの深さが増加すると
- 振幅は指数関数的に減衰 → 海底水温変動の影響が十分に減衰した深さで堆積物温度を計測
- 位相は遅れる

2 m 以深の温度を使用した地温勾配の誤差は ±2% 以内

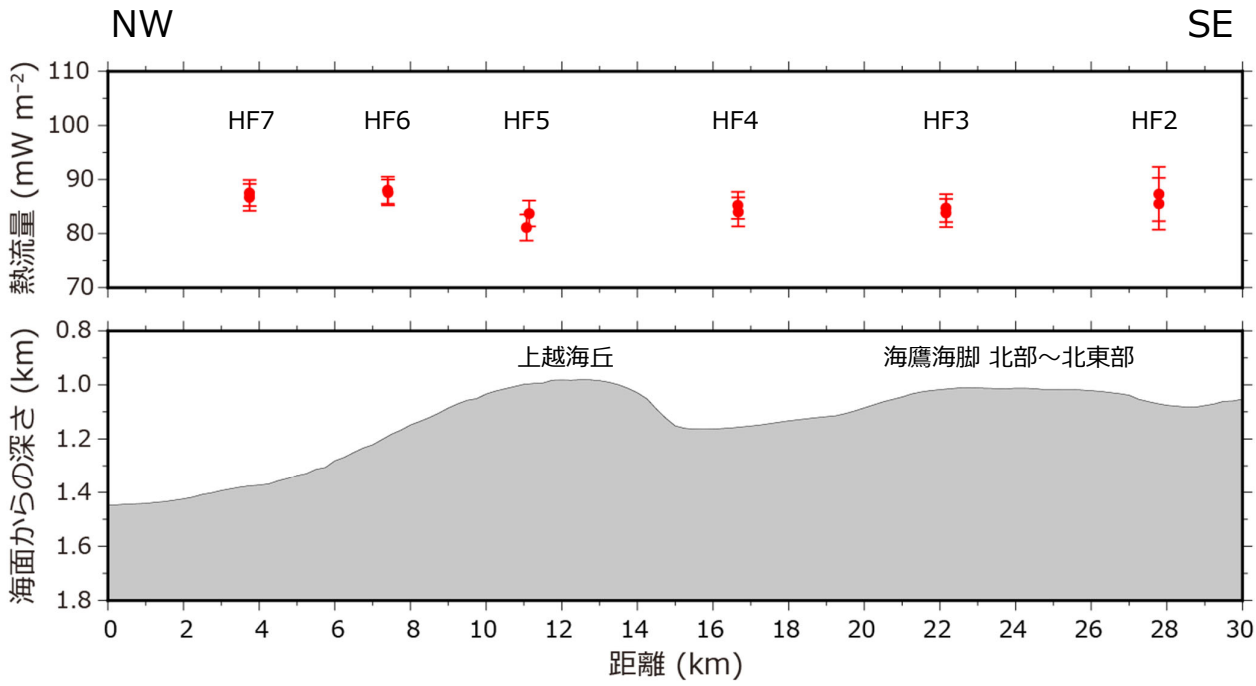
堆積物の温度・熱伝導率





- 堆積物温度：海底面から 2 m 以上の深さで計測
- 地温勾配　：線形
- 熱伝導率　：深さの増加にともなって増加
- 熱流量　　：熱伝導率の深さ方向の変化を考慮した方法（Bullard, 1939, *Proc. Royal Soc. London Series A*）を適用して計算

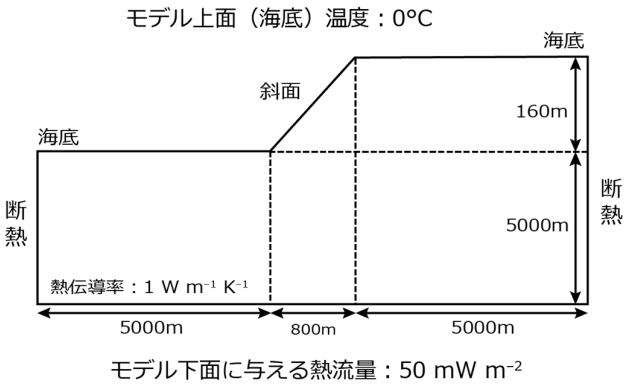
熱流量分布

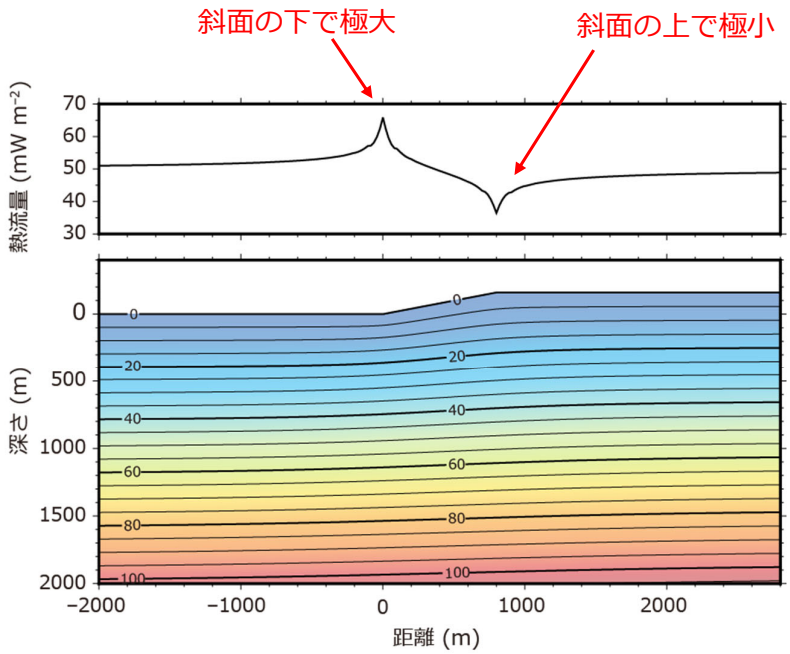


熱流量：上越海丘・海鷹海脚北部～北東部で 81.1 ～ 88.0 mW m^{-2}

特徴　：熱流量は地形的高まりで低く、斜面下部で高い　←　地形変化による影響

地形変化が海底面での熱流量に与える影響

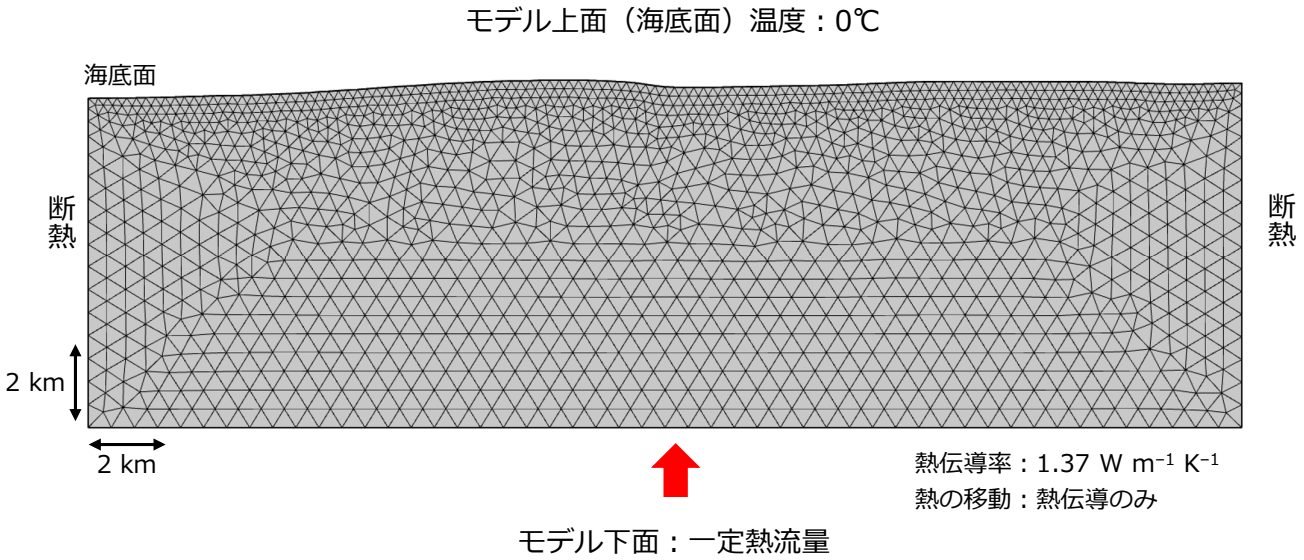




大きな地形変化がある海域で計測した熱流量　→　地形変化の影響を考慮する必要あり

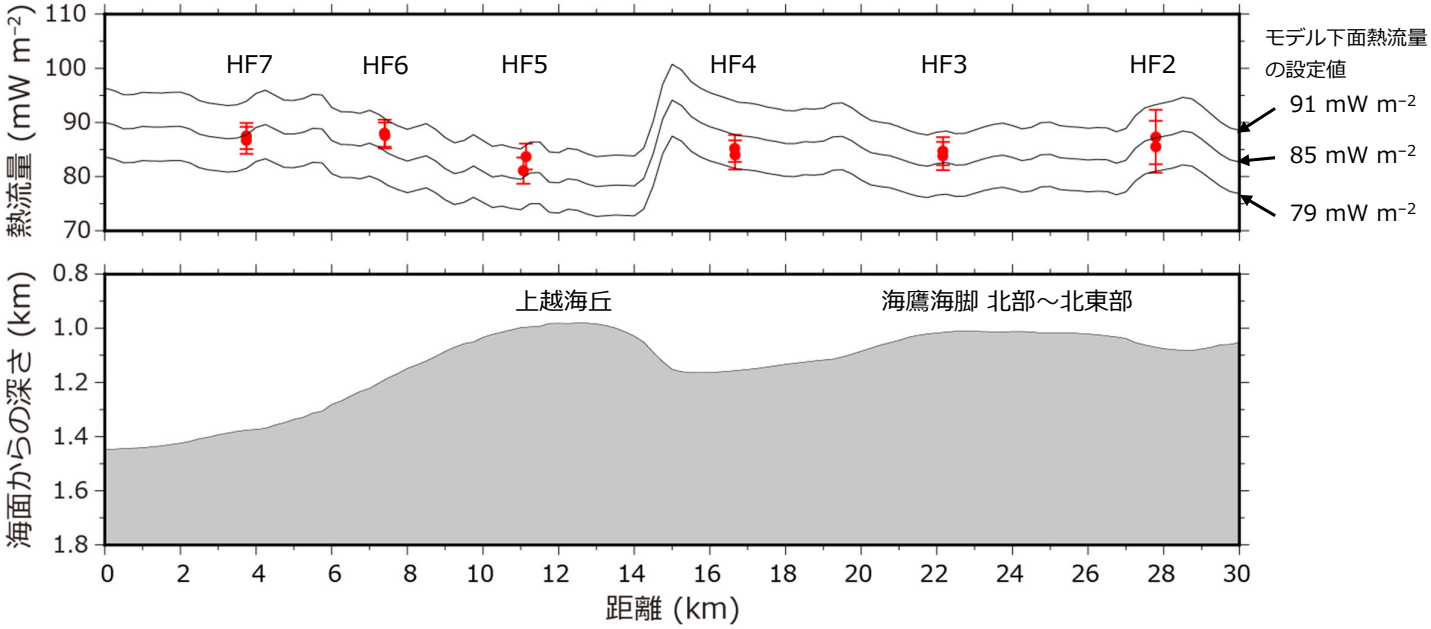
熱流量計算モデル

二次元有限要素法



海底面で計測した熱流量分布を説明することができる
モデル下面熱流量（バックグラウンド熱流量）を捜索

上越沖海域のバックグラウンド熱流量

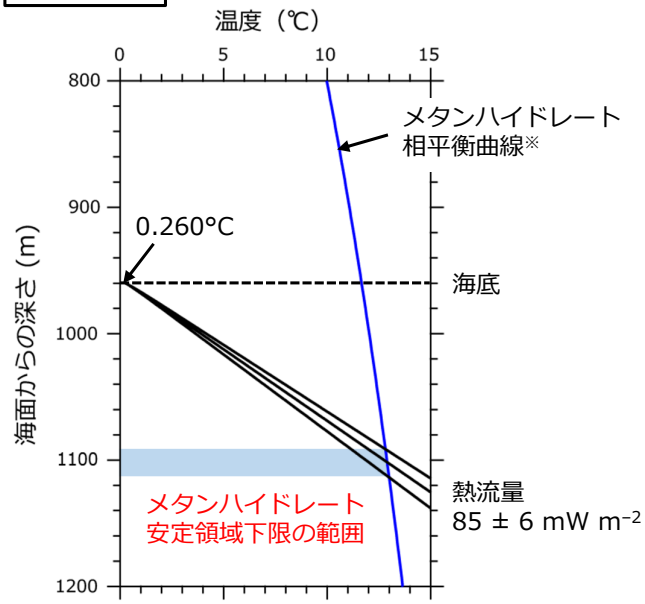


上越沖海域のバックグラウンド熱流量：85 ± 6 mW m^{-2}

メタンハイドレート安定領域下限

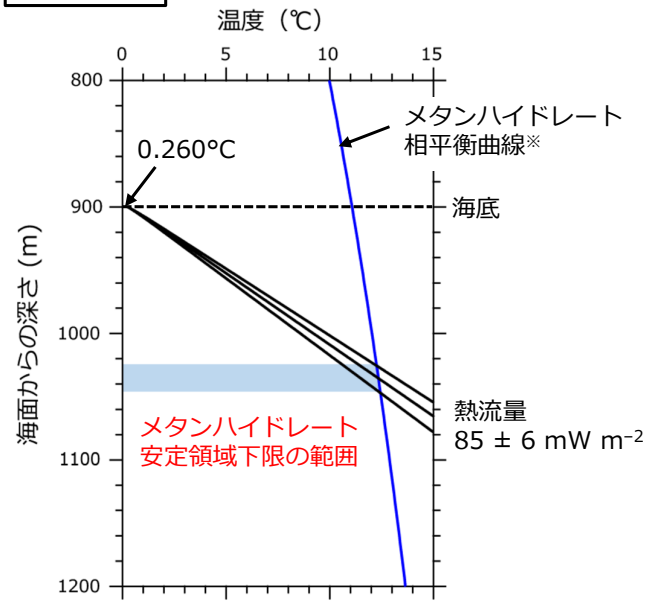
※Sloan (1998)のソフトウェアを使用して計算

上越海丘



メタンハイドレート安定領域下限の範囲
海面下 1091.4 ～ 1113.7 m
（海底下 131.4 ～ 153.7 m）

海鷹海脚

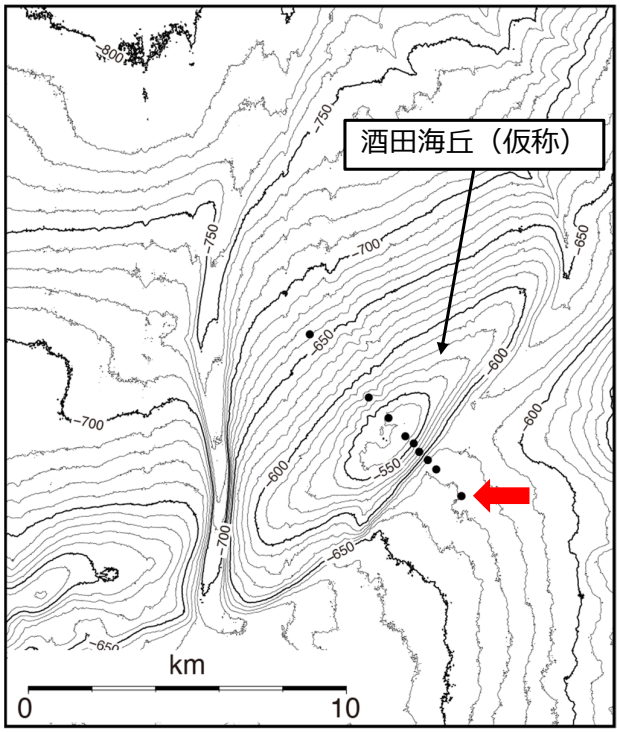


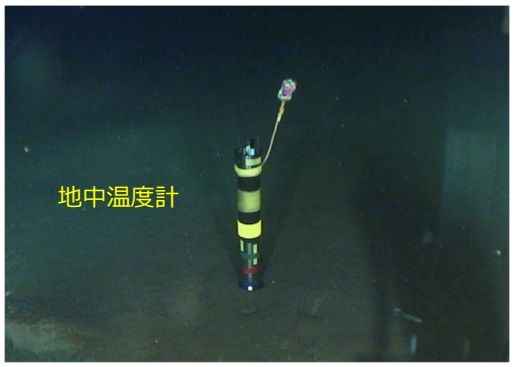
メタンハイドレート安定領域下限の範囲
海面下 1025.5 ～ 1047.0 m
（海底下 125.5 ～ 147.0 m）

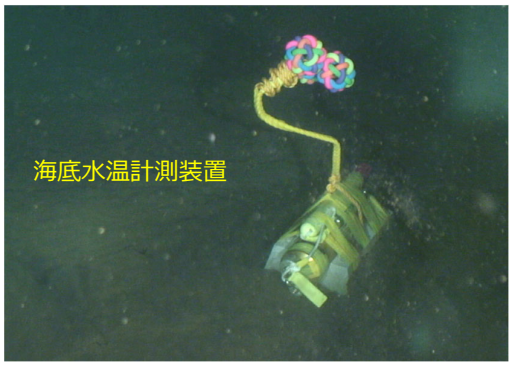
酒田沖海域

長期温度モニタリングによる熱流量計測
（暫定結果）

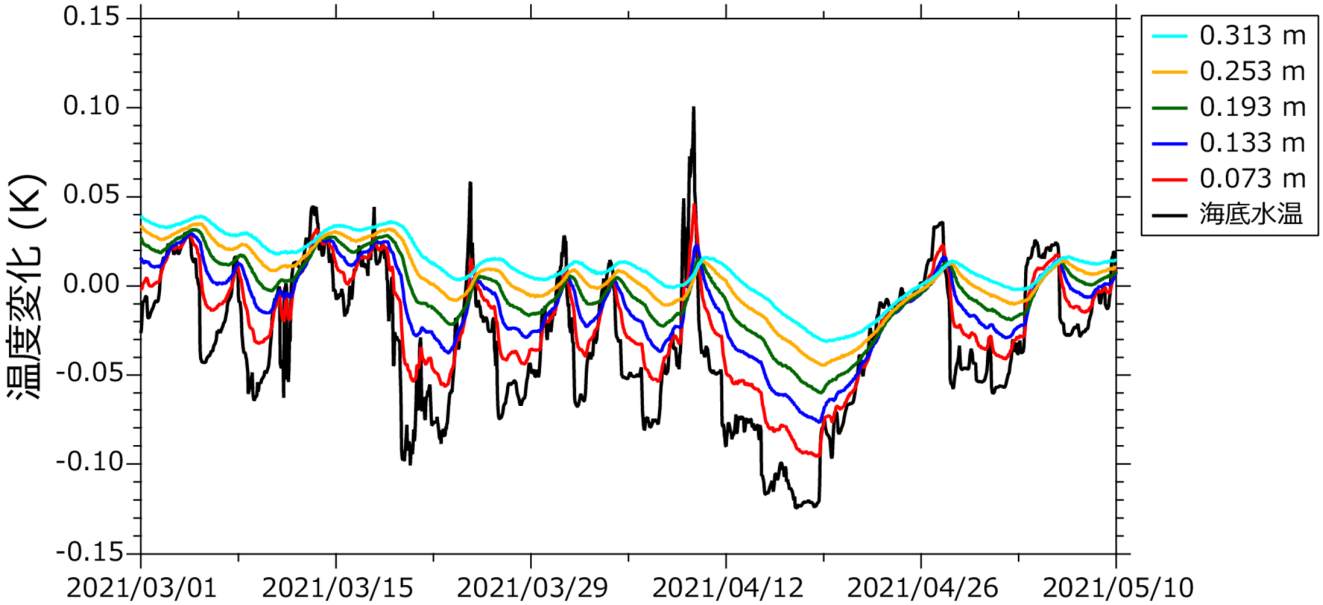
長期温度モニタリング（酒田沖海域）





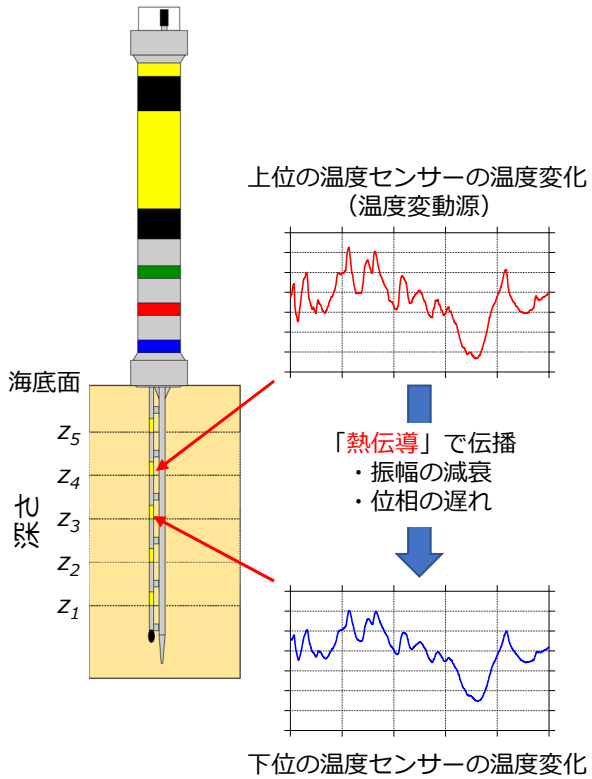


海底水温・堆積物温度（酒田海丘）



深さの増加とともに振幅は減衰し、位相は遅れる

堆積物温度から海底水温変動の影響を除去

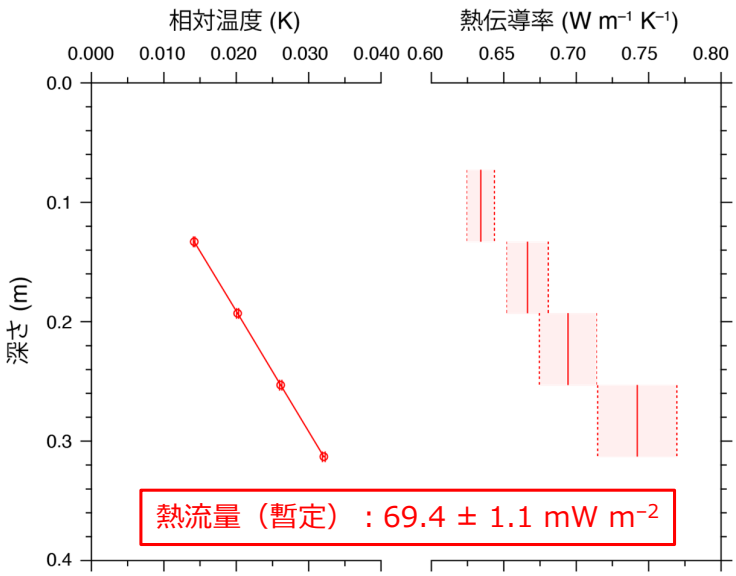


【仮定】

- 熱の移動は「熱伝導」のみ
- 堆積物はセンサーの深さを境界とする層構造
- 各層の物性は一定

【逆解析】

- 上位と下位の温度の時系列データを比較
- 海底水温変動に起因する温度変動成分を除去した堆積物温度及び堆積物の熱物性を同時に推定



まとめ

（1）上越沖海域

- 長尺温度プローブを用いて海底水温変動の影響がない熱流量を決定
- 上越沖海域のバックグラウンド熱流量：85 ± 6 mW m^{-2}
- メタンハイドレート安定領域下限の範囲：
  - 上越海丘：海底面から 131.4 ～ 153.7 m
  - 海鷹海脚：海底面から 125.5 ～ 147.0 m

（2）酒田沖海域

- 長期温度モニタリングにより海底水温変動の影響がない熱流量を推定
- 熱流量（暫定結果）：酒田海丘から離れた地点で 69.4 ± 1.1 mW m^{-2}
- 今後、バックグラウンド熱流量とメタンハイドレート安定領域下限を推定する予定