

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25800284

研究課題名(和文)生物化学的続成作用に伴う水理特性の変化と褐炭層の流体物質循環プロセスの理解

研究課題名(英文) Evolution of physical property of deep-water sediments induced by bio-chemical diagenesis at the Shimokita-Hachinohe coal-bed basin

研究代表者

谷川 亘 (TANIKAWA, Wataru)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・主任研究員

研究者番号：70435840

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：地下深部微生物の活性と生息限界の支配要因を明らかにするため、統合国際深海掘削計画第337次航海により採取された三陸沖堆積盆地の堆積岩を用いて物理的因子(温度、間隙率、透水性、水分活性)と微生物活性との関係性を評価した。熱物性測定の結果から、地下深部の温度は堆積物の間隙率と構成鉱物比が強く影響していることがわかった。また水分活性はいずれの深度でも高い値を示し、間隙水の化学成分が支配していることがわかった。間隙率と微生物数には強い相関が認められたが、水分活性とは相関が認められなかった。よって本研究結果は間隙率・間隙径が地下深部の微生物活性に一番強く影響を与えることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：Microbial biomass in the deep ocean sediments is controlled by physical properties. Therefore, in this study, a series of physical property measurements (Thermal property, porosity, permeability, and water activity) were conducted on the sediment cores at site C0020 from IODP expedition 337 and at site 902 from the Chikyu shakedown cruise (CY06-06) in Sanriku-oki basin. Thermal property measurement revealed that temperature at depth is mainly controlled by the porosity and mineral composition of sediments. Water activity was very high for all the sediment, and we found that chemical composition of pore water controls the water activity. Positive correlation between porosity and microbial biomass was clearly observed, though the relationship between water activity and biomass was unclear. Our result suggests that porosity and pore diameter will mainly control the microbial activity at depth.

研究分野：実験岩石力学

キーワード：間隙率 熱物性 水分活性 地下生命圏 続成作用 褐炭層 堆積盆地

1. 研究開始当初の背景

(1) 海底下の堆積物中では、微生物を介した酸化還元反応に伴い炭酸塩鉱物や硫化鉱物が生成する。生物化学反応による鉱物生成により、堆積物の間隙率、膠着性、および流体物質輸送特性の変化が考えられる。同時に、間隙構造や輸送拡散特性の変化は生物の活動度や化学反応速度に影響を与えることから、フィードバック機構が働くことが予想される (Steeffel, 2009)。近年、二酸化炭素地下貯留の安全性と環境影響評価を目的として、CO₂ 地下注入に伴う生物化学反応と鉱物生成過程の研究が進められている (Dupraz et al., 2009; Cunningham et al., 2009; Hangx and Cox, 2009)。しかし、水分活性や水理特性などの岩石物性の変化まで踏み込んだ研究例はほとんどない (Mitchell et al., 2009)。

(2) 研究代表者は、2012年に統合国際深海掘削計画 (IODP) 第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」に参加した。この航海は海底下深部の生命活動の実態を解明し、海底下の炭素循環システムを理解することが主目的であり、その研究成果は、海底下深部の二酸化炭素貯留の評価にもつながる。研究代表者は本航海でコア物性計測を担当し、堆積物の間隙率、電気伝導度、熱測定を行った。また、船上では堆積物中の微生物量測定、間隙水の化学分析、坑内岩石物理検層も行われているため、コア試料の岩石物性と生物化学的要素の関係を議論できる。

2. 研究の目的

(1) 熱物性測定と熱構造の評価

地下の温度は岩石の続成過程だけでなく、微生物起源のメタン生成・有機物の熟成過程および、微生物の活性にも強く影響する。そのため、地下深部の正確な温度評価が必要となるが、掘削深度より深い深度では実測が困難で、モデルによる温度構造推定も不確定要素が大きい。そのため本研究ではコア試料の岩石物性の詳細な分析をもとに地下深部の温度の推定を試みる。

(2) 水分活性の評価

水分活性は食品や土壌中の微生物活性を評価する指標として用いられている。一方、地下深部の堆積物の水分活性は過去にほとんど測定が行われていないため、海底下微生物の生存限界・活動量と水分活性との関係はわかっていない。そこで、海底下微生物バイオマスがわかっている岩石コア試料を用いて水分活性との関係性を評価する。

3. 研究の方法

本研究は、IODP 第337次研究航海および地球深部探査船「ちきゅう」慣熟航海 (CK06-06) で採取された下北沖堆積盆地の岩石コア試料を用いて分析を行った。

(1) 熱物性測定と熱構造の評価

同一の岩石試料を用いて熱物性 (熱伝導率と熱容量)、岩石密度、間隙率、および鉱物組成を測定した。熱物性は市販の熱物性測定装置 (HotDisk AB社製 TPS1500) を用いてホットディスク法により測定した。間隙率と岩石密度はヘリウムガス置換法 (Quantachrome社製 Penta pycnometer) により測定した。いずれも室温大気圧下で測定した。鉱物組成比は Rockjock program (USGS 提供) を用いて粉末 X線回折データを解析して算出した。

(2) 水分活性の評価

水分活性は市販の2種類の水分活性測定装置 (Decagon Device社製 WP4-T、Novasina社製 Lab Touch-aw) を用いて行った。また同一試料を用いて間隙率の測定を行った。一部の試料については濃度の異なる塩化ナトリウム水溶液に再飽和させて、塩分濃度と水分活性の関係性を評価した。

4. 研究成果

(1) 熱物性測定と熱構造の評価

熱物性の測定の結果、熱伝導率と熱拡散率は深部ほど大きくなり、熱容量は深部ほど小さくなる傾向が認められた (図1)。また、深度2000m付近で熱物性は大きくばらつき、熱伝導率は間隙率と強い相関が認められた (図2)。堆積岩の熱物性が水-固体の二相混合モデルに従うと仮定した場合、熱伝導率と間隙率の関係は幾何平均、もしくは Maxwell model (1904) で説明できることが明らかとなった。同一深度の熱物性のばらつきは、岩石の種類もしくは構成鉱物の違いを反映しており、石炭は熱伝導率が一番低く (0.4 Wm⁻¹K⁻¹) 炭酸塩鉱物で間隙がセメントされた砂岩が一番高い値 (3 Wm⁻¹K⁻¹) を示した。

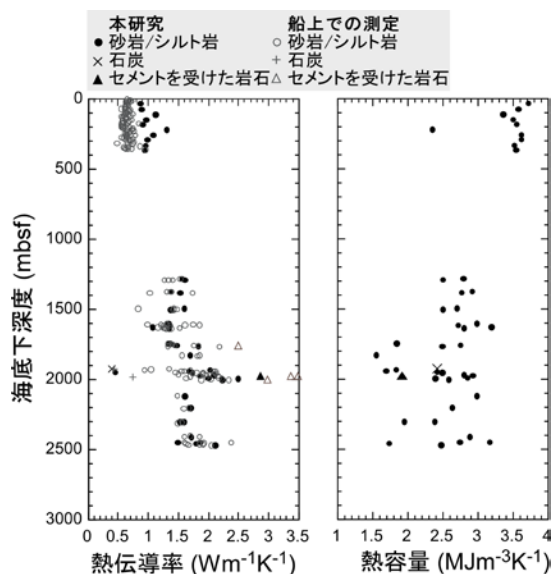


図1. 下北堆積盆地の熱物性の深度分布

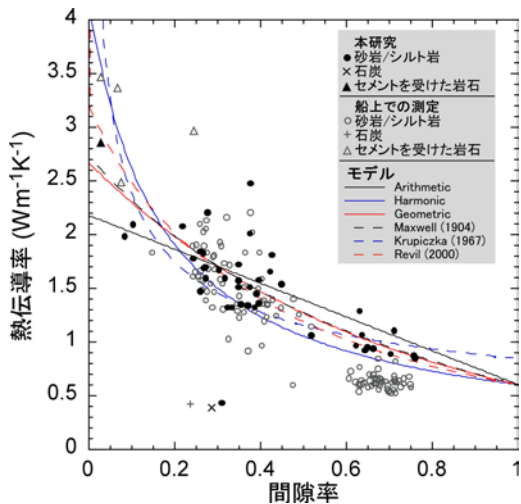


図2. 間隙率と熱伝導率の関係

実験で推定した熱伝導率・間隙率-深度分布とロギング計測によって得られた堆積物中の放射性発熱量分布を用いて、同掘削サイトの深度 8km までの温度分布の推定を行った。坑内温度計測により掘削深度最下部では 63°C という結果が得られているため、その結果を拘束条件として与えた。その結果、深度 1900m 付近でスポット的に温度が急激に増加し、地温勾配は深部ほど小さくなることが明らかとなった (図3)。表層の熱流量は 29~30mWm⁻² となり、三陸沖堆積盆周辺で過去に測定された熱流量と整合的であることがわかった。さらに、計算条件を少しずつ変えて温度分布を推定した結果、熱伝導率の温度依存性、および内部発熱の影響が小さいことがわかった。以上のことから、堆積圧密に伴う間隙率減少と鉱物組成が深部岩石の熱伝導率およびその結果として温度分布に影響を与えることがわかった。また本結果は、熱伝導率の深度変化を考慮しない、もしくは一定地温勾配を仮定すると地下深部の温度を過大評価してしまう恐れがあることを示唆している。

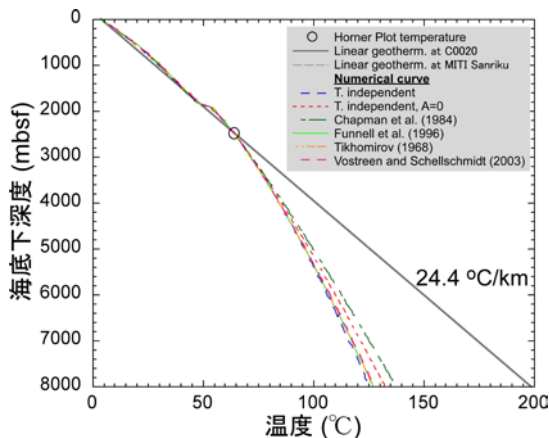


図3. 数値計算と測定した岩石物性から推定した掘削地点の温度-深度分布(曲線の色の違いは異なる熱伝導率の温度依存モデルを表す)

(2) 水分活性の評価

水分活性はいずれの試料も 0.9 以上の高い

値を示したが、一番低い値に着目すると深部ほど低くなる傾向が若干認められる (図4)。

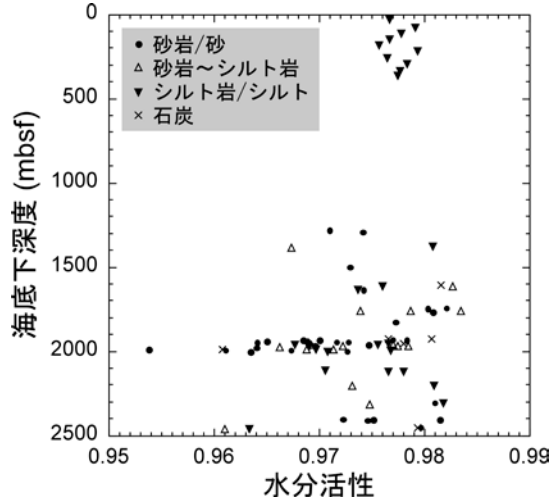


図4. 下北堆積盆地の水分活性の深度分布

また、水分活性と間隙率および微生物数との強い相関は認められなかった。一方、いずれの試料においても水分活性は間隙水の塩分濃度が高くなると低くなる関係が認められ、その関係性はラウールの法則で近似できることがわかった。試料の間隙水の化学組成から推定した水分活性 (USGS 提供の化学分析ソフト PHREEQC を用いて推定) と実験で測定した水分活性は非常に類似した値を示したことから (図5)、堆積物の水分活性は間隙水の化学組成に支配されている可能性が高いことがわかった。ただし、間隙水の化学成分は掘削時の循環泥水に一部汚染されているため、正しい水分活性値を得るためには、地下深部の正確な間隙水データが必要となる。

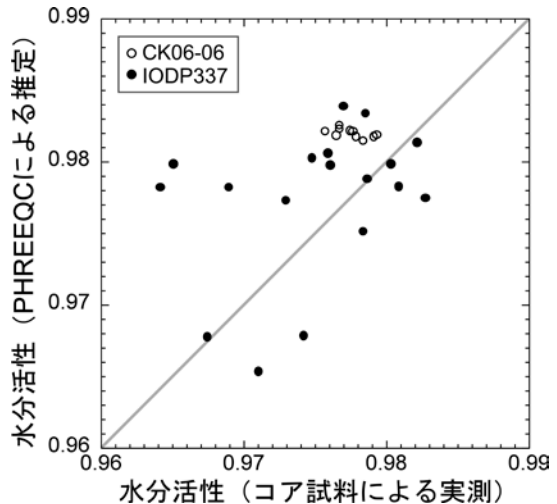


図5. 水分活性の実測値とモデル計算値の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① Wataru Tanikawa、Osamu Tadai、

Mukoyoshi Hideki、Permeability changes in simulated granite faults during and after frictional sliding, 2014, Geofluids, 14, 481-494、査読有、doi: 10.1111/gfl.12091

- ② **Wataru Tanikawa**、Hideki Mukoyoshi、Weiren Lin、Takehiro Hirose、Akito Tsutsumi、2014、Pressure dependence of fluid transport properties of shallow fault system in the Nankai subduction zone, Earth, Planets and Space, 66:90、査読有、doi:10.1186/1880-5981-66-90

〔学会発表〕(計8件)

- ① **Wataru Tanikawa**、Osamu Tadai、Sumito Morita、Weiren Lin、Yasuhiro Yamada、Yoshinori Sanada、Kyaw Moe、Yusuke Kubo、Fumio Inagaki、Porosity and Mineralogy Control on the Thermal Properties of Sediments in Off-Shimokita Deep-Water Coal Bed Basin、2014/12/16、サンフランシスコ市(アメリカ合衆国)、ポスター
- ② **谷川 亘**、多田井 修、林 為人、森田 澄人、山田 泰広、真田 佳典、久保 雄介、稲垣 史生、三陸堆積盆地の熱・力学物性と海底下深部の温度の推定、日本地質学会第121年学術大会、2014/9/14、鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)、口頭
- ③ **谷川 亘**、多田井 修、稲垣 史生、Kai-Uwe Hinrichs、久保 雄介、大友 陽子、IODP Exp.337 下北半島沖三陸沖堆積盆地試料の水理特性と間隙構造、日本地球惑星科学連合2014年大会、2014/4/30、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)ポスター
- ④ 村山 雅史、東丸 直頌、**谷川 亘**、森田 澄人、山田 泰広、久保 雄介、Kai-Uwe Hinrichs、稲垣 史生、IODP Expedition337 SP、IODP Exp.337;下北沖石炭層生命圏掘削で採取された地下深部掘削コアのCTイメージとCT値データ解析、日本地質学会第120年学術大会、2013/9/16、東北大学(宮城県仙台市)、口頭
- ⑤ **谷川 亘**、多田井 修、森田 澄人、村山 雅史、稲垣 史生、Kai-Uwe Hinrichs、久保 雄介、IODP Expedition337 SP、下北半島沖三陸沖堆積盆地の熱物性と水理特性の特徴、日本地質学会第120年学術大会、2013/9/15、東北大学(宮城県仙台市)、ポスター
- ⑥ 森田 澄人、**谷川 亘**、村山 雅史、稲垣 史

生、Kai-Uwe Hinrichs、久保 雄介、下北沖三陸沖堆積盆地、IODP C0020 サイトにおけるコアおよびカッティングスの物理特性、日本地球惑星科学連合2013年大会、2013/5/24、幕張メッセ(千葉県千葉市)、口頭

- ⑦ **谷川 亘**、多田井 修、森田 澄人、村山 雅史、稲垣 史生、Kai-Uwe Hinrichs、久保 雄介、IODP Expedition337 SP、下北半島沖三陸沖堆積盆地における熱物性の深度分布、日本地球惑星科学連合2013年大会、2013/5/24、幕張メッセ(千葉県千葉市)、ポスター
- ⑧ 村山 雅史、東丸 直頌、**谷川 亘**、森田 澄人、久保 雄介、Kai-Uwe Hinrichs、稲垣 史生、IODP Exp. 337 Science Party、下北沖石炭層生命圏掘削(IODP Exp. 337)で採取された掘削コアのCTイメージとCT値について、日本地球惑星科学連合2013年大会、2013/5/24、幕張メッセ(千葉県千葉市)、ポスター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷川 亘 (TANIKAWA, Wataru)
独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・主任研究員
研究者番号：70435840