

### 3 研究内容

#### 【研究課題名】

沿岸堆積物中の栄養塩および炭素量変化に及ぼす海底地下水湧出の影響評価

#### 【代表研究者】

齋藤 光代（岡山大学・大学院環境生命科学研究科）

#### 【共同研究者】

小野寺 真一（広島大学・大学院総合科学研究科）

金 広哲（広東海洋大学・海洋気象学部，

申請時：広島大学・大学院総合科学研究科）

加 三千宣（愛媛大学・沿岸環境科学研究センター 環境動態解析部門）

#### 【研究目的】（\*文中の上付き番号は引用文献リストに対応）

海底地下水湧出（Submarine Groundwater Discharge: SGD）は地下を經由した海域への水の輸送を指す。この SGD については、1980 年代に河川などの地表水の流出と同様に海域への物質輸送パスとなっていることが指摘されて以降、世界の多様な地域において研究結果が蓄積されてきた。代表研究者および共同研究者はこれまで、瀬戸内海の燧灘などを対象に地下水のトレーサーとして有用なラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) の時空間分布から、海岸線から数 km 沖合に至る比較的広域で SGD が生じている可能性が高いことを明らかにしてきた<sup>1),2)</sup>。さらに、流出水の組成に近いと考えられる海底堆積物中の間隙水が、海水よりも塩分が低く栄養塩濃度（特にリン）が高い特徴を示すことを柱状試料の分析により確認した<sup>3)</sup>。これらの結果は、燧灘において SGD 経由の栄養塩供給が生じている可能性を示すものであり、特に後者の結果は、海底堆積物中で SGD とみられるシグナルが発見されたという新規性の高い結果である。しかしながら、SGD が堆積物中の栄養塩や炭素の動態に及ぼす影響については十分な考察に至っていなかった。そこで本研究では、瀬戸内海の燧灘を対象に、沿岸堆積物中の栄養塩およ

び炭素量の変化に及ぼす SGD の影響評価を行うことを目的とした。

【研究内容】（\*下線は LaMer の共同利用機器）

前述のように、これまで代表研究者および共同研究者は、燧灘の堆積物中の間隙水の塩分や栄養塩濃度組成に SGD が影響している可能性を明らかにしてきたが<sup>3)</sup>、これらのデータは水深が約 10m の比較的近接した 2 地点のものに限られていた。そこで、平成 28 年度に LaMer の支援（課題番号 28-19：沿岸柱状堆積物試料を用いた海底地下水湧出のシグナル抽出）を受け、2016 年 9 月 10 日に燧灘南西部の水深約 20m の 2 地点（それぞれ MS1 および MS2：図 1a）において調査実習船いさなとグラビティーカーを用いた柱状堆積物試料の採取を実施した。これらの 2 地点は、Saito et al.<sup>1),2)</sup>による底層海水のラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) 濃度をもとに選定した。 $^{222}\text{Rn}$  はウラン系列の放射性核種の一つであり、水域における水の挙動の解析などに用いられるが、特に地表水に比べて地下水中で高濃度を示すことから、SGD のトレーサーとして有用であるとされている。Saito et al.<sup>1),2)</sup>による燧灘南西部での成層期および非成層期を含む複数回の観測結果から、西部（今治側）においては底層海水の  $^{222}\text{Rn}$  濃度が比較的高く、対照的に東部（新居浜側）では低い傾向を示すことが確認されており、すなわち SGD は

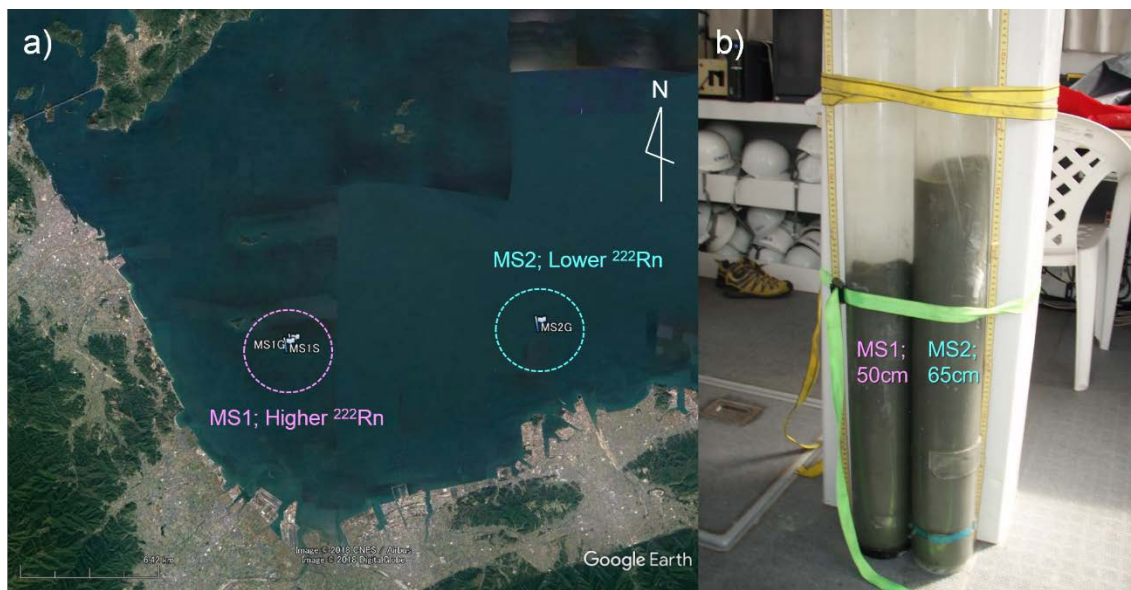


図 1 燧灘南西部における試料採取地点(a)および柱状試料の様子(b)

西部においてより大きい (MS1>MS2) と推定され、それらの違いが堆積物中の栄養塩動態に影響を及ぼしていることを想定した。採取された柱状コアの長さは MS1 で約 50cm, MS2 で約 65cm である (図 1b)。

採取した堆積物試料は実験室に持ち帰り、縦方向に二分割し、堆積物の状態の記載を行ったのちに 1cm 間隔で堆積年代および有機態炭素 (TOC)・窒素 (TN), 生物起源珪素 (BSi) 測定用の試料を, 2cm 間隔で栄養塩測定用の試料を採取した。堆積年代については, ガンマ線測定システム による Pb-210, Pb-214 および Cs-137 の測定結果に基づき推定し, TOC および TN 含有量の測定は元素分析計により実施した。また, 堆積物中の間隙水は遠心分離機によって採取し, 間隙水の栄養塩 (溶存無機態窒素: DIN, 溶存無機態リン: DIP および溶存態珪素: DSi) 濃度および堆積物中の形態別リン含有量<sup>4),5)</sup>については, 広島大学において定量分析を実施した。なお, これらの分析は, 引き続き平成 29 年度に LaMer の支援 (課題番号 29-20: 沿岸堆積物中の栄養塩および炭素量変化に及ぼす海底地下水湧出の影響評価) を受けて実施した。今年度はそれらの分析結果を踏まえ, 共同研究者間での論文化に向けた議論を行った。

### 【研究成果】

堆積物の年代分析の結果, MS1 については深度 24.5cm がおよそ 1899 年に, MS2 については深度 20.5 cm がおよそ 1885 年に相当すると推定された。また, 堆積物から抽出された間隙水中の栄養塩は, 双方の地点において, リンについてはリン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) が, 窒素についてはアンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) が主な形態であり, その鉛直分布は図 2 に示すとおりである。全体的に MS1 のほうが MS2 よりも高濃度を示し,  $\text{PO}_4\text{-P}$  および  $\text{NH}_4\text{-N}$  とともに 10cm 以浅の表層で最も高く, 深度約 20cm までは深さ方向に低下する傾向がみられた。一方で, MS2 においては 20cm 以深で大きな変化は確認されなかったのに対し, MS1 においては, 深さ方向に再度上昇する傾向がみられた。また, 堆積物中の TN 含有量 (図 2) は, 全体的に検出下限値に近い低い値を示した。鉛直分布としては, 特に MS1 においては間隙水の栄養塩濃度と同様に表層で最も高い値を示したものの, 20cm

以深で増加する傾向は確認できなかった。また、堆積物中の形態別リン含有量の分布も TN と似通った傾向を示した。

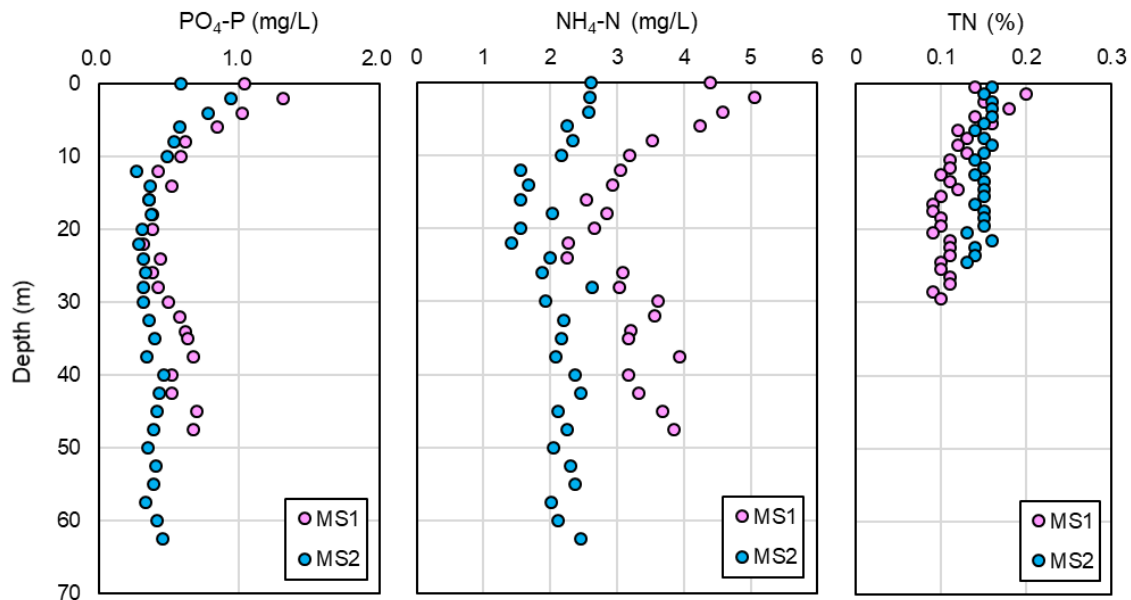


図 2 間隙水の  $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度および堆積物中の TN 含有量の鉛直分布

以上の結果から、MS1 および MS2 とともに、表層（20cm 以浅）においては、①有機物の分解にともなう  $\text{PO}_4\text{-P}$  と  $\text{NH}_4\text{-N}$  の溶出、および②酸化にともなう沈殿（堆積）が繰り返し生じ、いわゆる栄養塩の再循環にともない間隙水中の濃度上昇が生じていると考えられる。しかしながら、MS1 において確認された 20cm 以深の間隙水の濃度上昇は、これらのプロセスによっては説明がつかず、さらに、同区間において堆積物中の TN 含有量の増加がみられないことから、堆積物由来の栄養塩供給による可能性も低いと考えられる。以上を踏まえると、MS1 における間隙水の濃度は、MS2 では存在しない深部からの別の栄養塩供給源、すなわち SGD に影響を受けていることが示唆される。このことは、間隙水の栄養塩濃度が MS1 において全体的に高かったことや、MS1 の試料中に確認された木片の表面に化学成分の析出が生じていたことなどからも支持される。

以上の考察の内容を検証するため、今後は、堆積物からの栄養塩供給（拡散過程）および深部からの SGD による栄養塩供給（移流過程）を考慮し

た 1 次元での栄養塩輸送シミュレーションを実施し、間隙水の栄養塩濃度分布の再現を行う。それらの結果を踏まえて、沿岸堆積物中の栄養塩および炭素の分布に及ぼす SGD の影響を定量的に明らかにし、国際会議での発表および投稿論文として研究成果を公表していく。

#### 引用文献

- 1) Saito, M., Onodera, S., Guo, X., Onishi, K., Shimizu, Y., Yoshikawa, M., Jin, G., 他 2 名, Seasonal variation of the  $^{222}\text{Rn}$  concentration in the central part of the Seto Inland Sea, Japan. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, 6, 339-344, 2012.
- 2) Saito, M., Guo, X., Onodera, S., 他 5 名, Spatial variation of submarine groundwater discharge (SGD) in the central part of Seto Inland Sea. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, 5, 117-123, 2011.
- 3) Jin, G., Onodera, S., Saito, M., Shimizu, Y., Guo, X., 他 3 名, Evaluation of the effect of submarine groundwater discharge on the nutrient property of the coastal sediment in Seto Inland Sea, Japan. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Otsu, Japan, 2012 年 7 月.
- 4) Jin, G., Onodera, S., Saito, M., 他 5 名, Vertical distribution of sediment phosphorus in Lake Hachirogata related to effect of land reclamation on phosphorus accumulation. *Environmental Technology*, 37, 486-494, 2016.
- 5) Jin, G., Onodera, S., Amano, A., Saito, M., 他 2 名, Effects of dam construction on sediment phosphorus variation in a semi-enclosed bay of the Seto Inland Sea, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135, 191-200, 2013.