

有明海沿岸域における海底地下水湧出に伴う栄養塩類の輸送特性に関する調査研究

九州大学 工学部 学生会員 末益大嗣 九州大学大学院 工学研究院 正会員 安元 純
(株)いであ 非会員 高岡秀朋

九州大学大学院 工学研究院 正会員 広城吉成 九州大学大学院 工学研究院 正会員 神野健二

1. はじめに

有明海を始めとする閉鎖性水域や沿岸域の生態系環境は悪化の一途をたどっている。これまで海域の生態系保全のために、陸域から海域への栄養塩類等の物質負荷量の算定と管理は河川水のみが考慮されてきた。しかし、最近の研究で、陸域から海域へ地下水経由でもたらされる栄養塩類の溶存濃度が河川経由に比べて大きい場合があることが報告されている¹⁾。現在、有明海沿岸域においても海底地下水湧出(SGD)とそれに伴う栄養塩類の輸送特性は未解明であり、有明海の生態系環境を改善するためにはSGDによる栄養塩類の輸送の実態把握が不可欠である。

そこで本研究では、有明海沿岸域の佐賀県太良町大浦沖(以下、大浦)、熊本県熊本市河内沖(以下、河内)、長崎県島原市深江沖(以下、深江)の3地点で海底地下水湧出の現地調査を実施し、海底地下水湧出に伴う栄養塩類等の物質輸送特性に関する考察を行った。

2. 調査地域概要

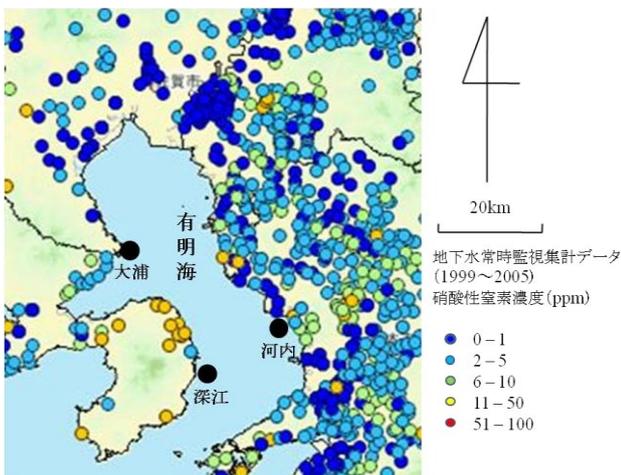


図-1 観測地点及び地下水中の硝酸性窒素濃度分布

現地観測を実施した大浦、河内、深江の後背地にはそれぞれ多良岳、金峰山、雲仙火山が存在する。そのため、地下水の動水勾配が比較的大きく、海底から地下水が湧出しやすい場所であるといえる。また、3地点とも帯水層は火山岩類で構成されているため、地下水が豊富に存在し、3地点の陸域で多くの湧水がみられることが特徴である。加えて、図-1に示すように、3地点ともに地下水中の硝酸窒素濃度が比較的高いことから有明海に流入する栄養塩等の負荷量が大い

と推測される。

3. 観測方法と分析項目

海底地下水湧出の観測方法は、海底面に Lee-Type の手動式湧出量計 (Seepage meter) を汀線に垂直及び水平な側線上に数点設置し、ポリエチレン製の採水袋に一定時間 (15~20 分) 採水することで海底地下水湧出の流速測定と海底湧水の水質分析を行った。同時に、周辺陸域の地下水および湧水の採水も行った。現地観測は、2006 年 8 月 20~21 日に大浦、2006 年 11 月 5 日に河内、2006 年 11 月 7 日と 2007 年 9 月 26~27 日に深江で実施した。また、3 地点とも潮差が比較的大きな地点であるため潮汐の影響を考慮し、上げ潮、満潮、下げ潮、干潮の計 4 回採水を行った。

海底湧水、地下水、海水の現地測定項目は、水温、pH、電気伝導度 (EC)、溶存酸素 (DO)、酸化還元電位 (ORP) を、水質分析項目に、溶存性有機態炭素 (DOC)、全有機態炭素 (TOC)、主要陽イオン (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+})、主要陰イオン (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-})、栄養塩 (アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 亜硝酸性窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$)), 全窒素 (T-N), リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$), 全リン (T-P), 珪酸 (SiO_2) を選定した。

4. 結果と考察

(1) 海底地下水湧出の流速及び流路

現地観測の結果、SGD の流速は、基本的に海岸からの距離にしたがって減少する傾向にあるが、局所的に大きな値を示すこともあった。各地点において、SGD の流速が最大値を示したのは、大浦の汀線から 30m 地点で、平均流速が $20.52\mu\text{m/s}$ で局所的に非常に大きな値を示した。また、河内では汀線から 28m 地点で、 $10.17\mu\text{m/s}$ であった。地質構造から、大浦、河内における SGD は、それぞれ玄武岩、凝灰角礫岩のクラックを流路とし、集中的に地下水が湧出する湧き出し型と推測される。一方、深江では、2006 年、2007 年ともに汀線に最も近い点で最大値を示し、それぞれ $2.57\mu\text{m/s}$, $3.74\mu\text{m/s}$ であった。本地点は、海岸付近で扇状地砂礫層を形成しており、ほかの 2 地点とは異なり、地下水は砂礫層を流下し滲み出すように湧出する滲み出し型と考えられる。

次に、電気伝導度を塩分指標として、SGD 中に含まれる海

表-1 海底地下水湧出(SGD), 陸域地下水(GW), 海水(SW)の平均の水質分析結果(ND:定量限界値以下)

| 調査地点 | 水質項目 | 水温(°C) | pH(—) | EC(mS/m) | DO(mg/L) | ORP(mV) | TOC(mg/L) | Fe ²⁺ (mg/L) | Mn ²⁺ (mg/L) | Cl ⁻ (mg/L) | HCO ₃ ⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) | NH ₄ -N(mg/L) | NO ₃ -N(mg/L) | NO ₂ -N(mg/L) |
|--------------|------|--------|-------|----------|----------|---------|-----------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 大浦 | SGD | 26.0 | 8.7 | 32 | 8.0 | 398 | 0.2 | ND | ND | 47 | 50.4 | 8 | ND | 0.75 | 0.002 |
| | GW | 17.9 | 7.6 | 15 | 8.1 | 420 | 0.6 | ND | ND | 13 | 34.9 | 4 | 0.06 | 2.44 | 0.002 |
| | SW | 25.9 | 7.8 | 4405 | 8.1 | 391 | 3.3 | 1.25 | 0.528 | 16250 | 80 | 2400 | ND | 0.11 | 0.022 |
| 河内 | SGD | 19.6 | 8.1 | 961 | 6.6 | 358 | 0.5 | ND | ND | 2978 | 79.5 | 403 | 0.06 | 4.72 | ND |
| | GW | 17.3 | 7.2 | 21 | 8.7 | 501 | 0.2 | ND | ND | 10 | 46.1 | 6 | ND | 8.09 | ND |
| | SW | 20.6 | 7.8 | 4523 | 9.6 | 352 | 1.2 | 1.46 | 0.110 | 17900 | 102 | 2520 | 0.08 | 0.08 | 0.027 |
| 深江 (2006) | SGD | 17.3 | 6.9 | 3478 | 7.1 | 184 | 1.6 | 0.27 | 0.108 | 12100 | 95.5 | 1575 | 0.21 | 0.05 | 0.005 |
| | GW | 16.8 | 6.1 | 29 | 6.3 | 382 | 0.2 | ND | ND | 10 | 120 | 10 | ND | 2.43 | ND |
| | SW | 18.9 | 7.9 | 4813 | 9.8 | 338 | 1.3 | 1.36 | 0.114 | 19200 | 104 | 2600 | 0.09 | 0.03 | 0.031 |
| 深江 (2007) | SGD | 27.0 | 7.0 | 2507 | 4.6 | 367 | 1.7 | ND | 0.016 | 8655 | 181 | 1285 | ND | 2.34 | 0.022 |
| | GW | 16.8 | 6.7 | 38 | 6.1 | 383 | 0.3 | ND | 0.003 | 9 | 120.0 | 10 | ND | 1.78 | 0.002 |
| | SW | 26.9 | 8.0 | 4766 | 7.9 | 325 | 1.3 | 0.07 | 0.008 | 17700 | 100 | 2510 | ND | ND | 0.008 |

水と淡水の混合比により、陸域地下水由来の淡水湧出成分と再循環水による海水成分との分離を行った。その結果、SGD中の陸域地下水由来の淡水成分は陸に近いほど増加傾向にあり、反対にSGD中の海水成分は沖に行くほど増加傾向にあった。地点ごとにみると、大浦ではSGD中の淡水成分は99.7%、河内では81.6%であり、陸域地下水がほぼSGDとなり湧出されていた。一方、深江では、2006年、2007年ともSGD中の淡水成分はそれぞれ30.3%、47.0%で再循環水による海水成分を多く含んだSGDが湧出されていた。したがって、流速が大きくなりやすい湧き出し型の場合、陸域地下水由来の淡水が多くなると考えられる。

(2) 海底地下水湧出に伴う栄養塩等の輸送特性

SGDに伴う栄養塩の輸送特性を把握する際、地下水湧出の流速と流路に加えて、地下水湧出の酸化還元状況を把握することが重要である。表-1には3地点の海底地下水湧出及び陸域地下水、海水の平均の水質分析結果を示す。

大浦、河内(湧き出し型)では、SGDのORPがそれぞれ398mV、358mVで、陸域地下水の420mV、501mVより低い。還元状態は弱い。SGDのNO₃-N濃度をみると、大浦では、陸域地下水のそれより小さい。この値は海水の混合比からの推定値(2.43mg/L)より低い。また、陸域地下水に比べSGDのHCO₃濃度が高いことやTOC濃度が低くなっていることから、陸域地下水が海底から湧出する過程で脱窒反応が起こったものと考えられる。しかし、河内では、NO₃-N濃度は陸域地下水で8.09mg/Lに対し、SGDで4.72mg/Lと減少しているものの、比較的高濃度を保っている。この値は混合比より推定された値(6.33mg/L)との差が小さいことから、脱窒によるものではなく海水によって希釈されたと推測される。

一方、深江(滲み出し型)では、2006年に観測されたSGD

のORPは184mVと非常に還元的で、陸域地下水の382mVに比べて低くなっている。また、NO₃-N濃度は陸域地下水よりSGDの方が低いことやMn²⁺、Fe²⁺の濃度が増加していることから、還元反応は脱窒反応、Mn、Feの水和酸化物の還元まで起こっていると考えられる。しかし、SGDの流速が若干上がった2007年では、SGDのORPが367mVで2006年より高い値を示した。またNO₃-N濃度は陸域地下水の方がSGDのそれより高く、Mn²⁺、Fe²⁺の濃度はSGDと陸域地下水とはあまり差はなかった。以上より、2007年では、2006年とは異なり、脱窒反応やMn、Feの水和酸化物の還元は起こっておらず、季節的な変化があるのではないかと考えられた。

(3) 海底地下水湧出に伴う栄養塩(T-N)負荷量

各観測点でSGDの1m²、1日あたりの栄養塩(T-N)負荷量を算定した。T-N負荷量は河内では最大で4.33g/(m²・day)、ついで大浦で1.40g/(m²・day)であった。深江では、還元状態の強かった2006年で0.08g/(m²・day)と低く、2007年で0.93g/(m²・day)であった。

5. まとめ

現地観測を基に、有明海沿岸域の3地点での海底地下水湧出(SGD)とそれに伴う栄養塩類などの物質輸送特性に関する考察を行った。その結果、SGDの流速や流路、また季節変動の違いによって地下水が海底から湧出する際の酸化還元状況が異なり、栄養塩などの輸送特性に大きな影響を与えることが示唆された。今後は、物質輸送・水質変換モデルを構築し、現地観測値とモデルから有明海への地下水経由の栄養塩類の負荷量を算出する予定である。

参考文献

- 1) Moore, W.S., 1999. The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water. *Marine Chemistry* 65(1-2), 111-125