

\* 齋藤光代 (愛媛大・沿岸)・小野寺真一・清水裕太 (広島大・院・総合)

## 1. 瀬戸内海的环境と地下水

瀬戸内海は日本最大の閉鎖性海域であり、21本もの一級河川が流入し、沿岸域には大阪、神戸、広島等をはじめとする多くの都市が位置することから、陸域の人間活動の影響を非常に強く受けてきた海域であるといえる(図1)。昭和40年代後半から50年代前半にかけては、高度経済成長にともなう汚濁物質負荷の増大により、海水の富栄養化が進行し赤潮による漁業被害が深刻化した。それ以後、リンや窒素の負荷規制が行われ、現在では、赤潮の発生件数はピーク時の約1/2にまで減少している。一方で、近年ではノリの生産量減少や色落ち、植物プランクトンの種組成変化(毒性を持つプランクトンの増加)の発生等新たな問題が生じてきている。この原因として、栄養塩供給量の減少にともなう海水の貧栄養化、および海水中の栄養塩バランスの変化が挙げられており、沿岸生態系を健全に保つための、陸域からの適正な栄養塩供給が課題となっている。



図1 瀬戸内海概要図

また、学術的側面からは、沿岸海洋学者による瀬戸内海の物理流動構造、栄養塩動態および生態系に関する研究はこれまで盛んに行われてきたものの、陸域学・水文学といった観点からのアプローチは十分ではない。例えば、近年では、河川水と比較して高濃度の栄養塩を含む傾向にある地下水が海域へ流出する(Submarine Groundwater Discharge)ことで、栄養塩供給源として重要な役割を担っていることが指摘されており、世界の様々な海域を対象に評価が行われているが、瀬戸内海においては、河川経由の栄養塩負荷については古くから定量に向けた試みが行われてきたものの、地下水による栄養塩の供給については、最近数年間で観測等に基づく評価が行わ

れ始めた段階であり、いまだ十分に明らかにされているとはいえない。しかしながら、河川が洪水時に大量の物質を供給する特性を持つ一方で、地下水は河川と比較して季節変動が小さく、ほぼ定常的に栄養塩を供給しているという可能性もあり、瀬戸内海の栄養塩環境および生態系に対する影響を明らかにする重要性は高いと考えられる。

本発表では、瀬戸内海に対する地下水の影響を扱った最近の研究において明らかになってきた点を整理するとともに、今後の課題について議論を行う。

## 2. 瀬戸内海に対する地下水・栄養塩輸送の評価

### ① 現地観測に基づく評価

Taniguchi and Iwakawa (2004)は、水温センサー内蔵の自動式シーページメーターを大阪湾の海岸線近傍に設置し、地下水流出量の推定を行った。その結果、トータルの地下水流出に占める淡水の割合は4~29%であり、大部分は海水が一旦地下へ潜って流出するという再循環水であることを明らかにした。

また、Onodera et al. (2007)は、瀬戸内海の島嶼の一つである広島県生口島の南部に位置する干潟において、陸から海へ向かう観測ラインにピエゾメーターを設置し、地下水の水圧、塩分および栄養塩濃度の連続観測を行い、潮汐にともない地下水流出域および海水侵入が変化することを確認した(図2)。さらに、干潟の地下水は比較的還元状態にあり、硝酸( $\text{NO}_3$ )は脱窒により消失する一方で、リン酸( $\text{PO}_4$ )は溶出し濃度が増加していることを明らかにした。

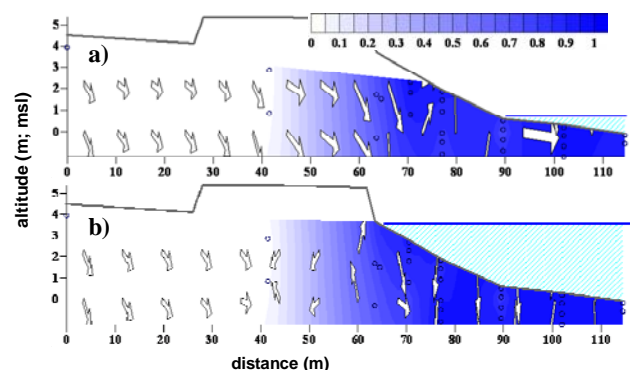


図2 干潮(a)および満潮(b)時における地下水流動および海水寄与率の変化 (Onodera et al., 2007)

また、齋藤・小野寺(2009)は、同様に生口島の南部の果樹園流域を対象とし、陸から海へ向かう地下水流動にともなう $\text{NO}_3$ 輸送過程とその季節変化に

ついでに言及し、海岸線から約 200m 内陸部においては、年間を通して地下水中で脱窒が生じていることを確認した。また、脱窒による  $\text{NO}_3$  減衰は地下水流速が小さい時期ほど顕著であり、対照的に流速が大きい時期ほどその影響は小さいことを明らかにし、その結果、海域へ流出する地下水由来の  $\text{NO}_3$  量が季節変動していることを明らかにした (図 3)。

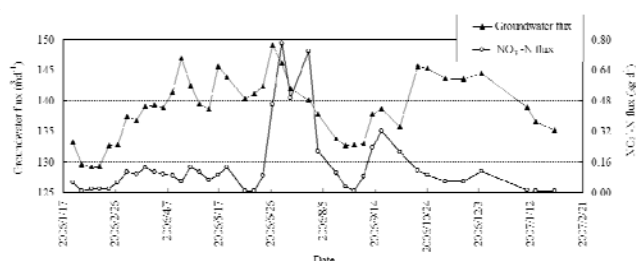


図 3 地下水流出量および  $\text{NO}_3\text{-N}$  流出量の変化

また、最近では地下水中に非常に高濃度で含まれるラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) 等をトレーサーとし、地下水流出の評価を試みる研究も行われている。Saito et al. (2010)は、西日本最高峰の石鎚山脈の集水域で日本有数の地下水量を誇る愛媛県西条市と、その出口に相当する瀬戸内海中央部の燧灘を対象とし、海面表層部および海底部の海水中の  $^{222}\text{Rn}$  濃度の空間分布を確認し、表層では海岸線近傍で、海底部ではより沖合の南西部において高濃度領域が存在していることを確認した (図 4)。この結果から、浅層地下水は海岸線近傍で、深層地下水はより沖合の海底部から流出している可能性が高いことを明らかにしている。

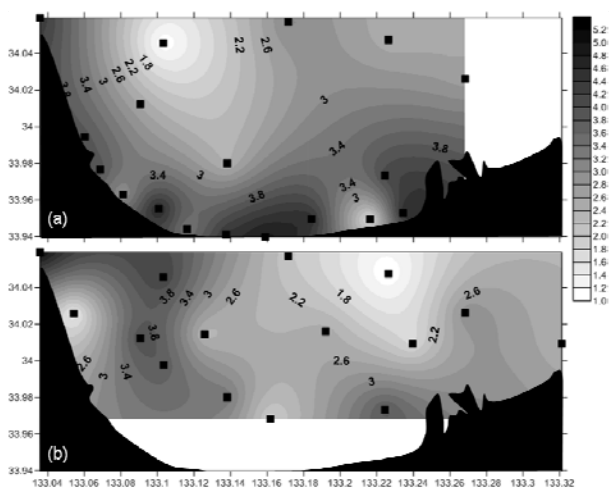


図 4 燧灘南西部海域の表層(a)および海底部(b)の海水における  $^{222}\text{Rn}$  分布

## ②モデルによる評価

一定の地域を対象とした観測事例が蓄積されてきている一方で、より広域で地下水流出を推定しようとする試みも行われている。清水ほか (2009) は、瀬戸内海の中央部に位置する備讃瀬戸海域を対象と

し、GIS により算出された海岸線付近の地形勾配をもとに約 100km の海岸線からの地下水流出量を推定している (図 5)。

また、小野寺ほか (2010) は清水ほか (2009) の地形モデルにより、大阪湾における地下水流出量および栄養塩流出量の評価を行っており、特にリンの供給に地下水が寄与していることを指摘している。

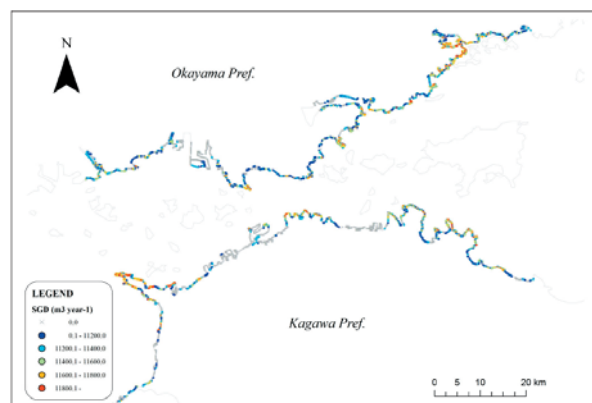


図 5 備讃瀬戸における年間地下水流出量の分布

## 3. 今後の課題

これまでに挙げたように、現地観測およびモデルによる地下水流出の評価が進んでいる段階にあるが、引き続き観測データの蓄積 (例えば、地下水流出域での栄養塩動態、深層地下水流出など) が必要である一方で、観測データをより精度良く再現できるモデルの改良、より広域での流出量評価が課題となってくるであろう。さらにそれを踏まえた上で、人為活動 (揚水、汚染等) や気候変動 (涵養量変化等) などの長期的なインパクトの変化にともなう地下水流出の変化を明らかにしていくことも重要である。

また、地下水流出が沿岸域の底生生態系に及ぼす影響などについても、明らかにしていく必要がある。

## 引用文献

- Onodera et al. (2007): Nutrient dynamics with groundwater-seawater interactions in a beach slope of a steep island, western Japan. *IAHS Publ.*, 312: 150-158.
- 小野寺ほか (2010): 大阪湾への地下水による栄養塩流出とその長期変動に関する評価. *瀬戸内海* (印刷中)
- 齋藤・小野寺 (2009): 沿岸農業流域における地下水による硝酸性窒素流出の季節変動特性. *陸水学雑誌*, 70:137-147.
- Saito et al. (2010): Spatial variation of submarine groundwater discharge (SGD) in the central part of Seto Inland Sea, Japan. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol.5 (in press)
- 清水ほか (2009): 50m メッシュ標高情報と GIS を利用した海底地下水流出量の空間分布評価—瀬戸内海中央部での適用例—. *陸水学雑誌*, 70: 129-139.
- Taniguchi and Iwakawa (2004): Submarine groundwater discharge in Osaka Bay, Japan. *Limnology*, 5: 25-32.