

水質プロファイル解析に基づく黄河デルタ地下水中の溶存窒素の動態

齋藤 光代^{*1}・小野寺 真一^{*2}・宮岡 邦任^{*3}・林 政輝^{*1}・陳 建耀^{*4}・谷口 真人^{*5}

^{*1} : 広島大学大学院生物圏科学研究科, E-mail: misaito@hiroshima-u.ac.jp

^{*2} : 広島大学総合科学部

^{*3} : 三重大学教育学部

^{*4} : 中山大学地理科学与规划学院

^{*5} : 総合地球環境学研究所

1. はじめに

中国・黄河の下流域では、急速な経済発展にともなう水利用の増大により、1990年代より断流が頻繁に発生するようになった。この黄河断流は、河川流量の減少とそれにとともなう栄養塩類の渤海湾への供給量減少、および黄河デルタ地域の地下水の水質等に影響を与えていることが想定される。また、黄河デルタは、近年河口の位置の変遷による堆積・侵食を繰り返しており、このような堆積環境の大きな変化は、沿岸域の地下水—河川水—海水相互作用に影響を与えている可能性がある。

本研究では、近年におけるこれらの急激な水環境変化が、黄河下流域から沿岸域までの物質循環に与える影響を明らかにすることを念頭に置き、黄河デルタ地域において、鉛直方向および水平方向での地下水の水質プロファイル解析を行い、特に溶存窒素に注目し、その動態について明らかにすることを目的とした。

2. 調査地域および方法

図1に、調査地域の概要を示す。調査の対象としたのは、図中に白丸で示した、黄河デルタ地域に分布する掘抜き井戸（N1~N5, N6~N10, DO29, S: 計12地点）である。

2005年5月に、各井戸において地下水面の高さを測定するとともに、地下水の採水を行った。鉛直方向での化学プロファイルを確認するため、採水は、井戸孔内で採水器を地下水面から井戸底に向かって静かに沈めていき、スクリーンが設置してある深度ごとに一定時間静止させた後、ハンドポンプで吸引する、という方法で行った。なお、観測時の気温は地下水温とほぼ等しかったことから、地下水の対流による鉛直方向での混合はないものとした。採水深度は、平均して地表面から約20mであり、最大で約50m（地点S）である。採水した地下水は、現地において電気伝導度、水温、pHおよび溶存酸

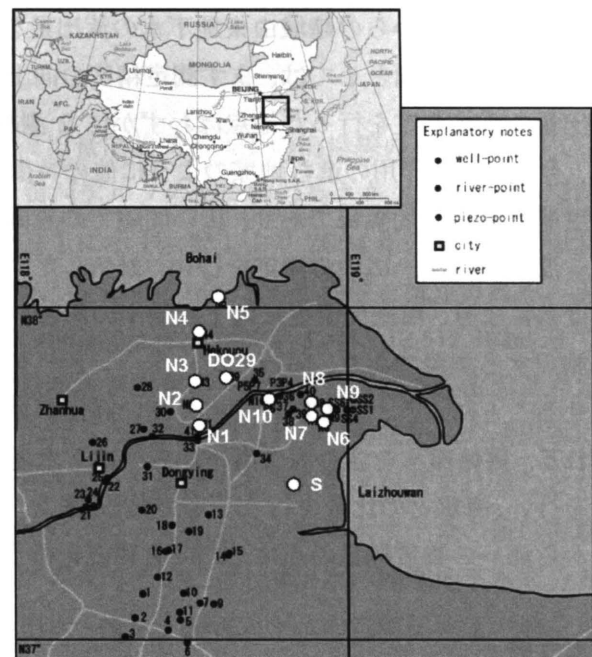


図1 調査地域概要

素濃度 (DO) の測定を行った。

また、採水した試料水は実験室に持ち帰り、主要陽イオン (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})、陰イオン (NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-})、溶存シリカ (SiO_2)、溶存有機態炭素 (DOC) および溶存窒素 (DN) 濃度の定量分析を行った。

3. 地下水流動にともなう鉛直水質プロファイルの変化

図 2 に、比較的黄河の近傍に位置する DO29 (図 1) における地下水中の溶存成分濃度の鉛直プロファイルを示す。地下水面付近の深度約 2m においては、全ての成分が比較的濃度を示すのに対し、10m

より深部では、 Cl^- , $\text{SO}_4\text{-S}$, SiO_2 , DN が浅部よりも高濃度を示しており、特に、 Cl^- 濃度は $300\sim 600\text{meq L}^{-1}$ と海水よりも高い値を示す(海水：約 280meq L^{-1})、Miyaoaka et al. (2006) によれば、黄河デルタ地域の地下水は、全体的に見て川側から海側へ

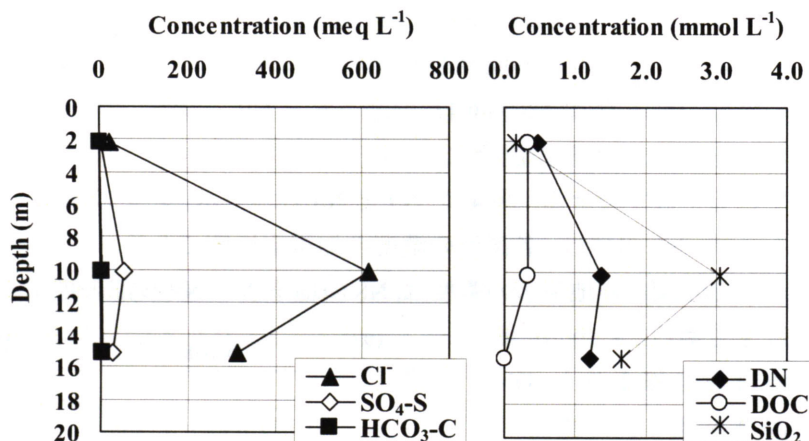


図 2 DO29 における鉛直水質プロファイル(0を地表面)

向かう流動方向を示すことから、この地域は、地下水涵養域に相当すると考えられる。よって、比較的浅い地下水は、黄河からの涵養の影響を受け、低濃度を示すと考えられる。また、Chunting, et al. (1995) よれば、黄河河口域の地下約 10m より

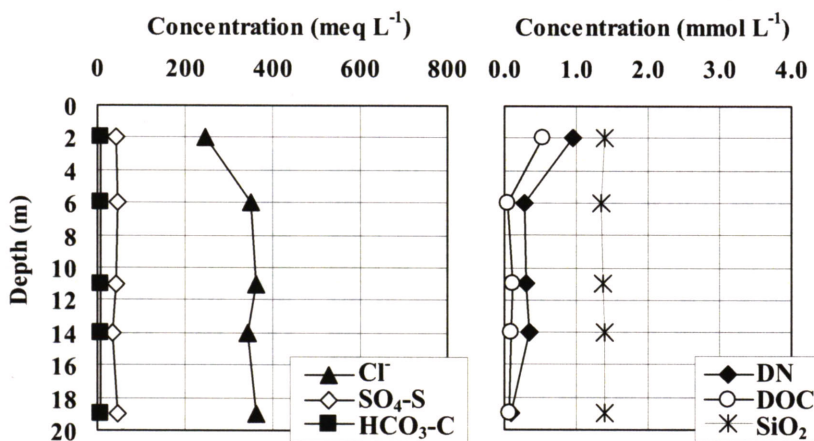


図 3 N9 における鉛直水質プロファイル(0を地表面)

深部には、氷期以前に形成された海成層が分布していることから、比較的深い部分の地下水は、海成層からの溶脱の影響を受け、高塩分を示している可能性がある。

また、図 3 に黄河の南側沿岸部に位置する N9 (図 1) におけるプロファイルを示す。N9 では、DO29 と対照的に、鉛直方向での大きな濃度勾配はみられない。この地域は、地下水流動系における流出域に相当すると考えられることから、地下水の流動方向が上向きになり、浅部の低濃度の地下水と深部の高濃度の地下水とが混合し、濃度が均一化していることが

示唆される。

4. 沿岸域における溶存窒素濃度の減衰

図3より、沿岸域に位置するN9における地下水のDN濃度は、地下水表面近傍では約 1.0mmol L^{-1} であるのに対し、深度20m付近では、 0.1mmol L^{-1} 以下と低くなっていることが分かる。

ここで、前述したデルタ地域における地下水の流動方向、および沿岸域における浅い地下水と深い地下水との混合を考慮すると、N9の深部の地下水は、N8(図1)の地下水とN9の浅部の地下水との混合によって形成されていると仮定できる。

図4に、N9とN8の地下水、および海水のCI濃度とDN濃度との関係を示す。N8の値は、各深度の濃度の加重平均値である。ここで、前述の仮定が成り立つとすれば、N9深部の地下水の濃度は、N8の地下水とN9浅部の地下水との単純混合で説明できるはずである。

しかし、実際は混合線よりもDN濃度が低く、CI濃度が高い位置にプロットされる。さらに、CI濃度は海水よりも高い値を示す。この結果から、単純混合および海水による希釈だけではなく、脱窒などの作用により、地下水中で溶存窒素の消失が起こっている可能性が考えられる。しかし、沿岸域においても、表層から深度約20mまでの地下水で平均 $0.3\sim 0.9\text{mmol L}^{-1}$ のDN濃度が検出されていることから、この区間の地下水流動は、海洋への窒素流出に寄与していると考えられる。

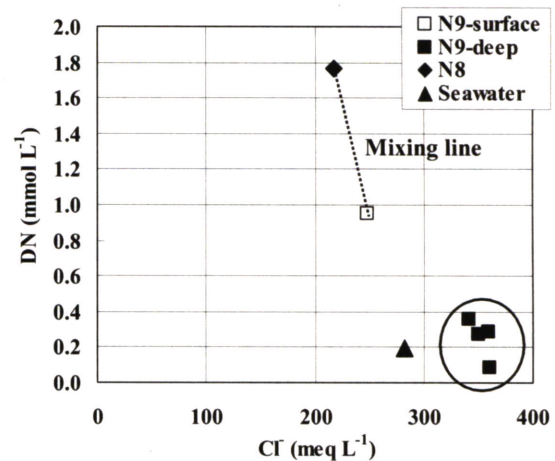


図4 沿岸域における地下水および海水のCI濃度とDN濃度との関係

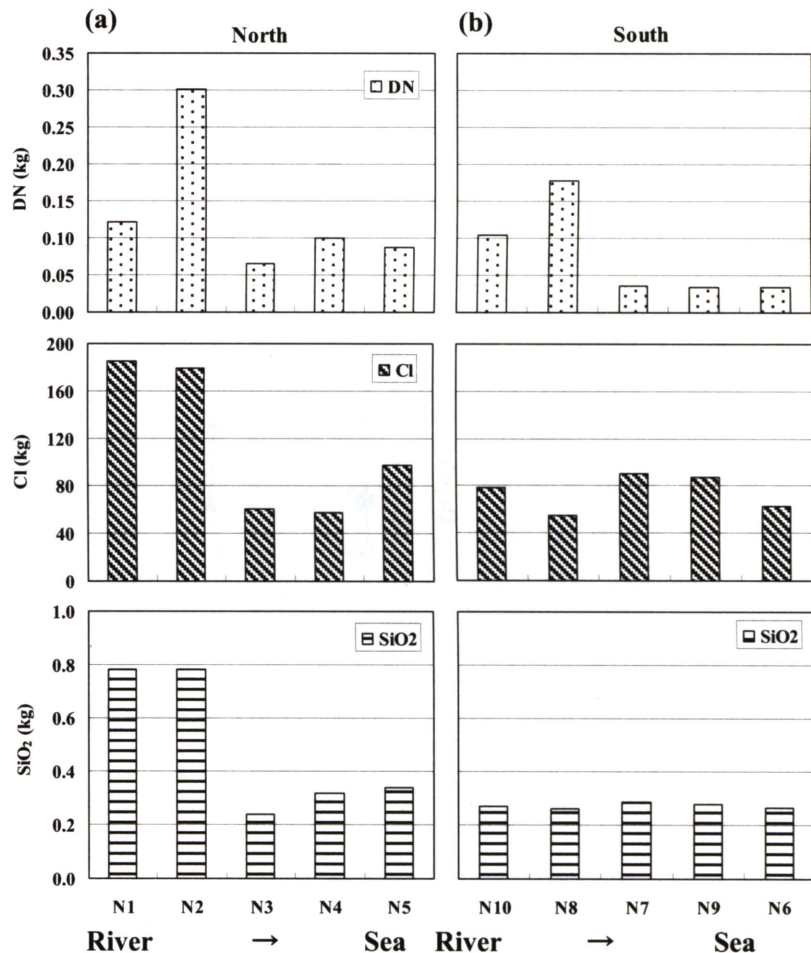


図5 各井戸における帯水層のDN, Cl, SiO₂含有量 (a: 黄河北側, b: 黄河南側)

5. デルタ地域における帯水層の溶存窒素含有量の分布

図5に、不飽和帯の厚さを2m、飽和帯の厚さを18m、間隙率を40%として算出された、各井戸における帯水層のDN, Cl, SiO₂含有量(蓄積量)を示す。DN含有量は、黄河の北側(図5a)および南側(図5b)ともに黄河近傍(N1, N2, N10, N8)において高い傾向を示す。この地域には農地が分布していることから、肥料等の窒素インプットの影響を受けている可能性がある。しかし、北側のN1およびN2においては、DN以外のClおよびSiO₂含有量も他の地点と比較して極端に高い傾向を示す(図5a)。この結果から、N1およびN2における地下水は、現在のデルタ地域の主要な地下水流動とは連動しておらず、古海水などが濃縮された状態で存在している可能性が高いと考えられる。一方、沿岸域においては、黄河近傍と比較して全ての成分の含有量が小さい傾向を示す。沿岸域でDNの含有量が小さい原因としては、脱窒による消失なども考えられるが、デルタ地域の地下水の流動速度は、約100m y⁻¹と非常に遅いと推定される(小野寺ら、2006)ことから、黄河近傍の涵養域で観測されたような高濃度の地下水は、現時点では沿岸域にまで到達していないという可能性も考えられる。

参考文献

- Chunting, X., Z. Xionghua and L. Hemaio (1995): Holocene sedimentary sequence, foraminifera and ostracoda in west coastal lowland of Bohai sea, China. *Quaternary Science Reviews*, 14, 521-530.
- Miyaoka, K., M. Taniguchi, S. Onodera, J. Chen, T. Tokunaga and G. Liu (2006): Physical and chemical features of groundwater in Huanghe (the Yellow River) delta, China. *Hydrogeology Journal*, (submitted).
- 小野寺真一・谷口真人・宮岡邦任・齋藤光代・石飛智稔・陳建耀(2006): 黄河デルタ地下水の海洋への物質負荷, 黄河プロジェクト合同研究会要旨集.