

平成 22 年 6 月 6 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19310010  
 研究課題名（和文）閉鎖性海域における地層中の窒素動態に及ぼす地下水—海水混合作用の影響  
 研究課題名（英文）Effect of groundwater and seawater interaction on nitrogen dynamics in coastal sediment of inland sea  
 研究代表者  
 小野寺 真一（ONODERA SHIN-ICHI）  
 広島大学・大学院総合科学研究科・准教授  
 研究者番号：50304366

研究成果の概要（和文）：本研究では、閉鎖性海域（内湾）において赤潮発生に影響を及ぼしている溶存窒素の動態に関して、内湾流域（陸域沿岸部-潮間帯-湾域）を対象として、地層中の地下水-海水混合作用（ハイポレーイック効果）の影響を明らかにした。特に、1) 潮間帯における地下水への海水侵入-混合-流出過程、2) 地下水による窒素流出量、3) 窒素浄化・有機物の堆積-分解量、4) 湾スケールでの堆積物を考慮した窒素バランス、5) 広域地下水湧出を評価した。

研究成果の概要（英文）：This research confirmed the effect of groundwater and seawater interaction on nitrogen dynamics in coastal sediment of Seto-Inland Sea, Japan. Especially, this verified the process and volume of 1) groundwater- seawater interaction, 2) nitrogen discharge by groundwater, 3) attenuation and generation of nitrogen in various tidal slopes, 4) the balance of denitrification and nitrogen fixation in bay scale, 5) groundwater and nitrogen discharges to the sea in Osaka bay and Bisan seto.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：水文化学

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：(1) 瀬戸内海 (2) 地層 (3) 窒素動態 (4) 地下水 (5) 海水 (6) 混合 (7) 溶存ガス (8) 潮間帯

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 研究動向

①近年、気候変動や富栄養化に関連して、海洋への淡水流出の影響が検討され

てきた。特に、地下水流出の評価は急務であり、世界的なプロジェクトが動いている（SCOR/LOICZ WG#112「海底地下水湧出」、IOC/IHP プログラム「沿

岸地下水流出とその影響評価」など)。中でも、内湾流域では、富栄養化と関連づけて注目されている。

- ②地下水が地表に湧き出す場（流出域）では、還元環境の形成にともない明瞭な硝酸性窒素の消失（脱窒）が確認されてきている。
- ③脱窒によって、硝酸性窒素が消失する代わりにガスが発生し、その一部は温室効果ガス（一酸化二窒素）である。しかし、地下水流出域においてこの定量は行われていない。

## (2)研究実施状況

- ①日本、中国の海岸地下水では、地下水流動にともない脱窒によって硝酸性窒素が消失するという観測結果が得られ、海洋への窒素流出量は極めて少ないことが示されている。
- ②一方で、地下水による海洋への有為な栄養塩流出が報告されている地域もあり、また瀬戸内海でも河川からの窒素供給量が一時に比べて低下傾向であるのに対し、現在も溶存窒素の高い海域が存在し、海洋の窒素起源の同定が必要である。例えば、河川から運ばれてきた土砂中の有機物も河口域に堆積後、重要な起源に成りうる。特に、潮間帯地下では窒素の消失・生産が劇的に起きている（図1；申請者観測例、IUGG2007で発表予定）。
- ③沿岸海洋への地下水流出は一方的ではなく、海水から地下水への浸入もあるため、潮間帯（潮位変動にともない現れる地表面）では海水と混合した水が流出する。このため、海水中の溶存窒素も地層中で酸化還元反応や脱窒を受けられる可能性がある。

## (3)研究の位置づけ

- ①流域での窒素動態に関するいくつかの矛盾を解き明かしていくためには、内湾流域（陸域沿岸部－潮間帯・デルタ－湾域；図2）で窒素動態モデルを構築していくことが必須である。特に、海水の地下への浸入にともなう溶存窒素の脱窒、有機炭素の起源などを考慮し、生物地球化学過程を明らかにし、海洋の窒素の起源を同定することが必要である。
- ②陸域地下水の脱窒に対する地下水流速や地下水－海水混合作用の影響を解明するためには、地層中における窒素以外の地球化学過程（特に、酸化還元反応）を考慮する必要がある。
- ③また、脱窒によって硝酸性窒素がどの程度消失し、その際、温室効果ガスがどの程度発生するのかを総合的に定量化する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、閉鎖性海域（内湾）において赤潮発生に影響を及ぼしている溶存窒素の動態に関して、内湾流域（陸域沿岸部－潮間帯－湾域）を対象として、地層中での地下水－海水混合作用（地下水流出－海水の浸入；ハイポレーイック効果）の影響を明らかにすることを目的とする。詳細は以下のとおりである。

- (1)潮間帯における地下水－海水混合過程を明らかにし、地下水による窒素流出量、海水の浸入及び窒素浄化、有機物の堆積－分解過程を定量化する。
- (2)陸域地下水中の硝酸性窒素と地層中の有機炭素との反応（脱窒）を同定し、溶存窒素消失量、及び温室効果ガス放出量を定量する。
- (3)湾域海水中で窒素収支計算を行い、沿岸地下水の窒素流出などを検証する。
- (4)内湾流域の窒素動態に関する上記3領域を連結するモデルを構築し、環境影響を評価する。

## 3. 研究の方法

### (1)潮間帯における窒素動態調査

- ①地下水－海水混合過程の評価（沿岸域試験地調査；江田島試験地）
  - a)試験地で、ピエゾメータ法により、地下水水圧分布及び塩分濃度分布を明らかにする。（小野寺）
  - b)シーページメータ（湧出量計）を海底に設置し、地下水湧出量を測定する。（谷口）

- ②潮間帯地下における、地下水－海水混合過程にともなう窒素動態の評価

- a)ピエゾメータ群（深度別）から水を採取し、濃度分布を確認する。（小野寺）

### (2)陸域地下水における窒素動態調査

- ①脱窒過程を明らかにするため、生物地球化学的解析を行う。
  - a)ボーリング試料から、水理・地球化学情報を抽出する。（北川）
  - b)脱窒過程をふまえた生物地球化学的解析を行う。（福岡）

- ②地下水流出域における窒素動態を明らかにする。

ガスクロマトグラフィでガス成分（ $N_2O$ 、 $N_2$ ）を含めて評価する。（小野寺）

### (3)湾域海水における窒素収支調査

- ①湾域海水の窒素濃度の分布を明らかにし、海水中の溶存窒素の起源を推定する。（竹田）
- ②湾内の窒素収支計算を行い、地下水流出

量、それともなう窒素流出量を推定する。(山本)

#### 4. 研究成果

本研究では、閉鎖性海域(内湾)において赤潮発生に影響を及ぼしている溶存窒素の動態に関して、内湾流域(陸域沿岸部-潮間帯-湾域)を対象として、地層中での地下水-海水混合作用(地下水流出-海水の浸入;ハイポレック効果)の影響を明らかにすることを目的として、研究を遂行した。特に、広島県江田島湾、大阪湾、岡山県児島湾で集中観測を行った。成果は以下のとおりである。

- (1) 潮間帯における地下水-海水混合過程を確認し、地下水による窒素流出量、海水の浸入及び窒素浄化、有機物の堆積-分解過程を定量化した。
- (2) 陸域地下水中の硝酸性窒素と地層中の有機炭素との反応(脱窒)を同定するため、溶存窒素ガス分析を行った。
- (3) 湾域海水中で窒素についての堆積物との交換モデルを構築した。
- (4) 湾スケールでの窒素流出に寄与する海底湧水量の同定のため、各湾域でラドン分析を行った。
- (5) 広域地下水湧出を推定するため、GISベースの湧出モデルを構築し、湧出量及び窒素湧出量を推定した。

以上の成果は、地球惑星合同大会のセッション(代表者主催)、地下水学会、AGUで研究発表を通して報告した。また、生態工学会シンポジウムが共同研究者によって主催され、発表した。

#### 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69件)

- ① Onodera, S.(第1著者)、Taniguchi, M.(第5著者)、他9名、Effects of intensive urbanization on the intrusion of shallow groundwater into deep groundwater、Science of The Total Environment、査読有、407巻、2009、3209-3217
- ② Umezawa, Y.(第1著者)、Onodera, S.(第3著者)、Taniguchi, M.(第9著者)、他9名、Sources of nitrate and ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities、Science of The Total Environment、査読有、407巻、2009、3219-3231
- ③ 齋藤光代(第1著者)、小野寺真一(第2著者)、他1名、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、査読有、70巻、2009、137-147

- ④ Nishikawa, T.、Yamamoto, T.(第3著者)、他2名、Nitrate and phosphate uptake kinetics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, a causative organism in the bleaching of aquacultured *Porphyra thalli*、Harmful Algae、査読有、8巻、2009、513-517
- ⑤ Olasehinde, E.F.、Takeda, K.(第2著者)、他2名、Development of an Analytical Method for Nitric Oxide Radical Determination in Natural Waters、ANALYTICAL CHEMISTRY、査読有、81巻、2009、6843-6850
- ⑥ Taniguchi, M.(第1著者)、Onodera, S.(第5著者)、他6名、Anthropogenic effects on the subsurface thermal and groundwater environments in Osaka, Japan and Bangkok, Thailand、Science of The Total Environment、査読有、407巻、2009、3153-3164

[学会発表](計76件)

- ① Kato, Y.、Onodera, S.(第2発表者)、Estimation of nutrient supply by groundwater in a tidal river, Seto Inland Sea region, Japan, using  $^{222}\text{Rn}$ 、AGU Fall Meeting、2009年12月14-18日、San Francisco, USA
- ② Saito, M.、Onodera, S.(第2発表者)、The process and potential of nitrate attenuation in the aquifers with different scale of flow system、AGU Fall Meeting、2009年12月14-18日、San Francisco, USA
- ③ 谷口 真人、Linkages of boundaries between surface/subsurface and land、地球研国際シンポジウム、2009年10月20日、総合地球環境学研究所 京都市
- ④ 竹田 一彦、他4名、溶存有機物からの低分子アルデヒドの光化学的生成とその光分解、日本地球化学会年会、2009年9月15-17日、広島大学理学部
- ⑤ Shimizu, Y.、Onodera, S.(第2発表者)、Dissolved nitrogen removal in the ponded streams of an alluvial, suburban basin with a developing city, western Japan、8th IAHS Scientific Assembly / 37th IAH Congress- A Joint International Convention、2009年9月6日~12日、Hyderabad International Convention Centre (HICC), India
- ⑥ 小野寺真一、地下水流出型海域と河川流出型海域の栄養塩の違い-丸亀平野沿岸域

と岡山平野沿岸域の比較一、日本地球惑星科学連合大会、2009年5月20日、幕張メッセ国際会議場

〔図書〕(計8件)

- ①谷口真人、東北出版企画、『秋道 智彌 編 鳥海山の水と暮らし 地域からのレポート』「鳥海山の海底湧水」、2010、50-69
- ②谷口真人、勉誠出版、『秋道 智彌 編 水と文明』「第9章 運河と地下水に映るタイの文明」、2010、220-242
- ③小野寺真一、学報社、『アジアの地下環境—残された地球環境問題—』「6章：アジア巨大都市の物質負荷と地下汚染」、2010、155-185
- ④谷口真人、勉誠出版、『秋道 智彌・小松 和彦・中村 康夫 編 水と生活』「第3章 湧水—人が地下水と出会うとき」、2010、77-103
- ⑤谷口真人、まほら、『まほら第61号』「湧水を見る旅」、2009、16-17
- ⑥谷口真人、昭和堂、『総合地球環境学研究所編 水と人の未来可能性—しのびよる水危機』「第4章 見えない水をはかる」、2009、109-141
- ⑦福岡正人、技術評論社、『なぞの金属・レアメタル—知らずに語れないハイテクを支える鉱物資源—』、2009、231
- ⑧小野寺真一、昭和堂、『黄河デルタ地域における水質形成』、『乾燥地域の水利用と広域環境問題—黄河断流から読み解く—(福嶋義宏・谷口真人編)』、2008、259

〔その他〕

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/mtcatwg/big-hands/index.html> (研究プロジェクト)

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/sonodera/> (研究室)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小野寺 真一 (ONODERA SHIN-ICHI)  
広島大学・大学院総合科学研究科・准教授  
研究者番号：50304366

### (2) 研究分担者

福岡 正人 (FUKUOKA MASATO)  
広島大学・大学院総合科学研究科・教授  
研究者番号：70117232

北川 隆司 (KITAGAWA RYUZI)  
広島大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号：70112167  
(H21 途中まで)

山本 民次 (YAMAMOTO TAMIZI)  
広島大学・大学院生物圏科学研究科・教授  
研究者番号：40240105

竹田 一彦 (TAKEDA KAZUHIKO)  
広島大学・大学院生物圏科学研究科・准教授  
研究者番号：00236465

谷口 真人 (TANIGUCHI MAKOTO)  
総合地球環境学研究所・研究部・教授  
研究者番号：80227222

### (3) 連携研究者

梅沢 有 (UMEZAWA YU)  
長崎大学・水産学部・助教  
研究者番号：50442538  
(H20→21)

宮岡 邦任 (MIYAOKA KUNIHIDE)  
三重大学・教育学部・准教授  
研究者番号：70296234  
(H20→21)

齋藤 光代 (SAITO MITSUYO)  
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・研究員  
研究者番号：20512718  
(H20→21)