

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25241014

研究課題名(和文) 沿岸地下におけるリンのホットスポット形成とその生物生産に及ぼす影響の定量的評価

研究課題名(英文) Formation processes of phosphorus hot spot and its effect on biological production in coastal zones of enclosed bays

研究代表者

福岡 正人 (Fukuoka, Masato)

広島大学・総合科学研究科・教授

研究者番号：70117232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、沿岸地下におけるリンのホットスポット(濃縮域)形成が沿岸域の栄養塩循環・生物生産に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とし、日本沿岸の内湾を対象に1)リン堆積域・堆積量解析、2)リン濃縮過程・輸送解析及び3)生物生産影響評価を実施した。その結果、8,000年前頃からの急激な温暖化期に陸域からのリン流出量が増加したこと及び1970年代に人為的な負荷量が増大したこと、それぞれにより沖積平野及び沿岸堆積物中でホットスポットが形成されることを確認した。また、これらはそれぞれ地下水流動により還元環境下で海まで輸送され、2,000年前及び現在の生物生産に影響していることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In the present research, we aimed to evaluate the formation of phosphorus hot spot and its effect on nutrient cycle and biological production in coastal subsurface zone of enclosed bays. Long-term analysis of phosphorus accumulation in the coastal sediment of Seto Inland Sea indicates that phosphorus discharge from land to sea increased from 8,000 to 6,000 years ago by significant warming impact. In addition, the peaks of phosphorus accumulation were detected in 1970s in coastal sediments of enclosed bays. The catchment model (SWAT) simulation suggested intensive phosphorus supply to the coastal zone due to human activities. These two types of hot spots affected to phytoplankton bloom in 2,000 years ago of the period when the sea receded, and to biological production in present, respectively. The transports from these hot spots to the sea were conducted by groundwater flow under a reducing environment.

研究分野：資源物質循環学

キーワード：リン ホットスポット 沿岸域 堆積物 地下水 気候変動 人間活動

1. 研究開始当初の背景

(*文章中の引用は引用文献リストに対応)

【生物生産におけるリン制限問題】

食糧増産という 21 世紀の世界的な課題に答えていくためには、リン肥料とその原料の確保が求められている (Tilman et al., 2002)。しかしながら、枯渇が予想されているリン鉱石のみに依存している現状の開閉は十分進んでいない (大竹, 2011)。すなわち、リンの枯渇が安定的な食糧生産を脅かしている状況にあり、リン鉱石に替わる資源の確保は急務の課題である。一方で、リンは沿岸生態系における一次生産の制限因子となることが従来から報告されており (Harrison et al., 2010)、その陸域からの流入量や沿岸域での挙動を把握することは、沿岸域の生物生産を評価する上で非常に重要である。

【沿岸地下でのリン・ホットスポット形成】

申請者らによるこれまでの研究結果から、沿岸堆積物 (現海底や沖積平野) の間隙水や地下水で高濃度の溶存リン (ホットスポット) が存在することが確認され (小野寺ほか, 2010; Jin et al., 2011; 天野ほか, 2012)、同様の傾向は近年バルト海沿岸等でも報告されている (Szymczycha et al., 2012)。そこで申請者らは、これらの研究結果に基づきホットスポット形成機構に関する仮説を立てた。それは、まず 浸食量の少ない氷期の間に土壌に蓄積されたリンが温暖化し降水量の増えた縄文期に集中的に流入し、次に 縄文海進当時に海底堆積物中の地下水流動が停滞化し、嫌気的環境が形成されることで吸着態リンの溶脱による溶存リン酸濃度の上昇が起こり、やがて弥生海退時に地下水が再び海側へ流動・流出し干潟表面においてリンの沈殿・吸着が生じ、以上を経て現在の海岸線付近には地表から数 m 下部 (表層リン沈殿) 及び十数 m 下部 (沖積粘土層) の 2 通りのリンのホットスポットが形成されている、というものである。しかしながら、以上の仮説は 1000 年スケールの環境変動の中では評価されておらず、現在のリン濃縮域の同定や再利用資源としての定量的な評価には至っていない。

【リンのホットスポット形成が生物生産に及ぼす影響】

沿岸生態系におけるリンの欠乏は基礎生産の減少や生物多様性の喪失を招く原因となることが指摘されている (Harrison et al., 2010)。以上の申請者らの仮説は、大西洋の海岸線等でも鉄及びリンの沈殿が確認されている (Moore, 2008) ことで支持される。言い換えれば、閉鎖性内湾のみに限らず沖積平野の分布する沿岸域では普遍的に地下におけるリンのホットスポットが形成されている可能性が高く、その沿岸生物生産に及ぼす影響は極めて大きいと考えられるが、従来の研究ではその評価には至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、沿岸地下におけるリンのホットスポット (濃縮域) 形成が沿岸域の栄養塩循環・生物生産に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とし、日本沿岸の内湾を対象とし、主に次の 3 つの枠組みで総合的に研究を推進してきた。

1) リン堆積域・堆積量解析

最近約 15,000 年間 (最終氷期以降) での環境変動にともなう沿岸地下でのリン堆積域及び蓄積量を堆積物解析により評価した。

2) リン濃縮過程・輸送解析

堆積後における堆積物中でのリン変質・輸送・濃縮過程について、水・溶質輸送解析及び生物地球化学解析に基づく検証を行った。

3) 生物生産影響評価

リンのホットスポットが沿岸域の栄養塩循環・生物生産に及ぼす影響の評価を行った。

3. 研究の方法

【研究対象地域】

申請者らにより湖底・海底堆積物試料が多数採取されており、研究実績のある岡山県児島湖・児島湾沿岸 (Jin et al., 2011; 天野ほか, 2012) を中心に実施した。また、上記仮説の普遍性を検証するため、大阪湾沿岸域及び秋田県八郎潟沿岸域も対象に調査・解析を行った。

1) リン堆積域・堆積量解析

新たに採取した堆積物柱状試料については、堆積年代の推定を外注分析 (^{210}Pb , ^{14}C) により実施し、形態別 (可動態、非可動態) リンの濃度を栄養塩自動分析装置 (既設) により定量し、堆積年代にともなうリン蓄積量の推定を行った。

2) リン濃縮過程・輸送解析

湖水、海水、河川水、湖底及び海底堆積物及び堆積物中の間隙水を採取し、形態別リンを含む栄養塩類、その他の化学成分及び酸素・水素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, δD) の分析を行った。また、沿岸域における地下水の水位、酸化還元電位及び水質のモニタリングを行った。以上の結果に基づき沿岸地下における水の流動速度の推定を行うとともに、酸化還元反応及び塩分の変化にともなう溶脱・沈殿を含む選択的なリンの濃縮・集積過程について生物地球化学解析を行った。

3) 生物生産影響評価

湖内及び沿岸域におけるクロロフィル・酸化還元状態のモニタリング及び定期的な採水・化学分析を行い、さらに 1)、2) の結果を踏まえた生態系モデルによる解析を実施し、栄養塩、植物・動物プランクトン、魚類資源量等の変化をシミュレートし、リンのホットスポット形成が沿岸域の栄養塩循環・生物生産へ及ぼす影響の評価を行った。

4. 研究成果

(*文章中の上付き番号は「5. 主な発表論文等」の〔雑誌論文〕に対応)

1) リン堆積域・堆積量解析

岡山平野における最近約2万年間の沖積平野堆積物解析の結果²⁰、縄文海進以前の約6,000~8,000年前(急激な温暖化期)に陸域からのリン流出量増加²⁹にともなうホットスポットの形成が確認された。また、蓄積したリンはその後地下水流動により還元環境下で海まで輸送され^{12,13}、約2,000年前の生物生産に寄与していた可能性も明らかになった。現在は、同様に瀬戸内海沿岸の香川県丸亀沖積平野の試料(数万年間)についても解析を進め、海面変動との関係を確認している。

2) リン濃縮過程・輸送解析

岡山平野に隣接する児島湖の最近100年間の湖底堆積物及び陸域由来の流出負荷解析^{2,6,7,8,14,15,30}によれば、1970年代に人間活動由来のリン負荷量増大にともなうホットスポットの形成が確認された²⁴。ただし、負荷量が減少している近年⁵のごく表層堆積物中에서도リン含有量の増加が確認され、この結果は堆積物中のリンが堆積後に再循環していることを示唆しており、これには地下水(間隙水)-地表水(海水)間の交流¹¹が大きく関与していることが示唆された。

大阪湾のような大都市沿岸では、生活排水等の負荷により沿岸域に蓄積したリン³¹が地下水(間隙水)-海水-河川水間の交流と酸化還元反応及び塩分の変化^{18,19,21,25,32,33}にともない輸送されていることが確認された^{9,10,26,28}。

秋田県八郎潟残存湖内で採取した2か所のコア試料の年代測定(²¹⁰Pb)を行いリン及び鉄(磁性鉱物)の蓄積量を定量した結果、近年の富栄養環境下でのリン蓄積過程^{3,27}が確認された¹。また、湖水、堆積物中の間隙水、周辺地下水、河川水の酸素・水素安定同位体($\delta^{18}\text{O}$, δD)組成から水の輸送状況を評価した結果、地下水の流動がリン濃縮過程に影響している^{12,13}ことが明らかになった。

3) 生物生産影響評価

岡山県児島湖を対象にリンを中心とする物質循環モデルを作成し、観測結果及び岡山県による水質調査公表データ等を検証値として再現するよう計算を実施した。締め切り堤防に近い樋門付近の水域では底泥が特に還元的であり、底泥層にマンガン(Mn)、鉄(Fe)などのコンパートメントを組み込むことで酸化還元反応を表した。また、高次生物については水産統計資料からフナが圧倒的に優占種と判断できたため、漁獲対象成魚と未成魚の2つのコンパートメントとして与えた。各コンパートメントの初期値を実測結果及び公表データから与え、1年間の計算を行った結果、水柱内の無機態リン(DIP)、有機態リン(DOP)などは季節変動をある程度再現することができた。また、水柱に供給される

DIPのうち60%以上が水柱内の酸化分解によるものと推定されたが、特に樋門水域では底泥からの溶出が3割程度を占め、前述した堆積物表層におけるリンの再循環過程²⁴が寄与している可能性が高いことが示唆された。さらに、供給されたDIPのうち90%は植物プランクトンに利用され、植物プランクトンの一次生産と枯死が非常に大きなフローであることも明らかになった。一方で、河川からのリンの供給は全体の15%程度であったが、流入負荷が80%に減少した場合の循環の変化を計算したところ、小型魚類のバイオマスがほぼ半減し、生物生産の維持においては重要な影響を与えていることも明らかになった。以上の生態系影響解析は、同じく瀬戸内海沿岸の広島湾等についても実施した^{4,16,17,22,23}。

<引用文献>

- 天野敦子・金 広哲・小野寺真一・佐藤高晴・他2名(2012)岡山県児島湾における堆積物を用いた過去100年間の海底環境変遷と人造湖形成の影響評価, 陸水学雑誌, 73, 217-234.
- 大竹久夫(2011)リン資源枯渇危機とはなにか - リンはいのちの元素 -, 大阪大学出版会.
- 小野寺真一・清水裕太・他3名(2010)大阪都心部における地下水の物理化学性とその海洋への影響 - 年代, 塩分, 栄養塩特性, 地下地盤環境シンポジウム論文集, 1-6.
- Harrison et al. (2010) Magnitudes and sources of dissolved inorganic phosphorus inputs to surface fresh waters and the coastal zone: A new global model, *Global Biogeochem. Cycles*, 24, GB1003, doi: 10.1029/2009GB003590.
- Jin, G., Onodera, S., Amano, A., Shimizu, Y. and Sato, T. (2011) Reconstruction of 100 years variation in phosphorus load using the sediment profile of an artificial lake in western Japan, *IAHS Publ.*, 348, 45-50.
- Moore (2008) Submarine groundwater discharge revealed by ²²⁸Ra distribution in the upper Atlantic Ocean, *Nature Geosci.*, 1, 309-311.
- Szymczycha et al. (2012) Nutrient fluxes via submarine groundwater discharge to the Bay of Puck, southern Baltic Sea, *Sci. Total Environ.*, 438, 86-93.
- Tilman et al. (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671-677.

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 38 件)

1. Jin, G., Onodera, S., 他6名, "Vertical distribution of sediment phosphorus in Lake Hachirogata related to effect of land reclamation on phosphorus accumulation.", *Environmental Technology*, doi:10.1080/09593330.2015.1117043, 37, 486-494, 2016. (査読有)

2. Shimizu Y., Onodera S. and Matsumori, K., "Estimation of Nutrient Fluxes from Suburban Watersheds in Japan using the SWAT Model: Current Issues and Future Directions.", Yagi K. and C. George Kuo (eds) *In The Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia*, 6, 227-236, 2016.(査読有)
3. Saito, M., Onodera, S., 他5名, "Effect of physical and morphometric factors on nutrient removal properties in agricultural ponds.", *Water Science and Technology*, doi: 10.2166/wst.2015.441, 72(12), 2187-2193, 2015. (査読有)
4. Kittiwaniich, J., Yamamoto, T., 他2名, "Assessing responses of the Hiroshima Bay ecosystem to increasing or decreasing phosphorus and nitrogen inputs.", *Mar. Poll. Bull.* 102, 256-264 doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.04.003,2015. (査読有)
5. Saito, M., Onodera, S., 他2名, "Evaluation for the effect of non-stationary nutrient transport on the coastal seaweed cultivation in western Japan.", *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 371, 149-155, doi: 10.5194/piahs-371-149-2015, 2015. (査読有)
6. Shimizu, Y., Onodera, S., 他2名, "Estimation of long term nutrient loadings into a hyper eutrophic artificial lake in lowland catchment, western Japan.", *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 368, 337-342, doi: 10.5194/piahs-368-337-2015, 2015. (査読有)
7. Shimizu, Y., Onodera, S., 他2名, "Impact analysis of the decline of agricultural land-use on flood risk and material flux in hilly and mountainous watersheds.", *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 370, 39-44, doi: 10.5194/piahs-370-39-2015, 2015. (査読有)
8. Jin, G., Shimizu, Y., Onodera, S., 他2名, "Evaluation of drought impact on groundwater recharge rate using SWAT and Hydrus models on an agricultural island in western Japan.", *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 371, 143-148, doi:10.5194/piahs- 371-143-2015, 2015(査読有)
9. 齋藤光代, 小野寺真一, 他5名, "大阪湾沿岸地下水と下水道の相互作用について - 栄養塩類からみて - ", *Kansai Geo-Symposium 2015論文集*, 87-90, 2015. (査読有)
10. 伊藤浩子, 小野寺真一, 他4名, "大阪平野とその周辺地域における地下水中の重金属等の含有状況について", *Kansai Geo-Symposium 2015論文集*, 91-96, 2015. (査読有)
11. 丸山 豊, 小野寺真一, 北岡豪一, 河川近傍の“みずみち”状湧水における水温変動を利用した地下水フラックスの推定, *日本地下水学会誌*, 57(2), 207-219, doi: 10.5917/jagh.57.207, 2015. (査読有)
12. 井岡聖一郎, 小野寺真一, 村岡洋文, 地下水中のリンの動態, *地球環境*, 20(1), 47-54, 2015. (査読有)
13. 齋藤光代, 小野寺真一, 沿岸地下水流出域におけるリン動態, *地球環境*, 20(1), 55-62, 2015. (査読有)
14. 清水裕太, 小野寺真一, 水文流出モデルを用いた流域からのリン流出量推定の現状と課題, *地球環境*, 20(1), 111-116, 2015 (査読有)
15. 清水裕太, 小野寺真一, 松森堅治, "水文流出モデルを用いた流域からの窒素流出量推定 現状と課題 ", *日本水文科学会誌*, 44, 207-223, 2015. (査読有)
16. 相田 聡・小畑泰弘・阿保勝之・高橋 暁・山本民次, "第15回(2015) 広島湾研究集会「海域の貧栄養化 ~ 広島から瀬戸内海について考える ~ 」.", *水産海洋研究*, 79, 1-2, 2015. (査読有)
17. 山本民次, "瀬戸内海の貧栄養化と生態系構造の変化をどう見るか.", *水産海洋研究*, 79, 205-208, 2015. (査読有)
18. Hosono, T., Lorphensriand, O., Onodera, S., 他5名, "Different isotopic evolutionary trends of $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$ compositions of dissolved sulfate in an anaerobic aquifer system.", *Applied Geochemistry*, 46, 30-42, 2014. (査読有)
19. Onodera, S., 他7名, "Nitrous oxide emission with submarine groundwater discharge in an agricultural watershed affected by significant fertilizer application.", *Proc. of 9th IWA Intl. Symposium (AGRO2014)*, 196-203, 2014. (査読無)
20. 竹内 徹, 北岡豪一, 山口一裕, 小野寺真一, "閉鎖性海域沿岸沖積平野における完新世粘性土層の形成過程について - 岡山平野の例 - ", *日本水文科学会誌*, 44, 161-177, 2014. (査読有)
21. 大西晃輝, 小野寺真一, 他3名, "大量施肥農業流域における不圧地下水での溶存 N_2O の空間分布特性", *陸水学雑誌*, 75, 1-11, 2014. (査読有)
22. 山本民次, "瀬戸内海の貧栄養化について (再考)", *日本マリンエンジニアリング学会誌*, 49, 496-501, 2014. (査読有)
23. 山本民次, "瀬戸内海西部海域にける貧栄養化.", *沿岸海洋研究*, 52, 49-58, 2014. (査読有)
24. Jin, G., Onodera, S., 他4名, "Effect of dam construction on sediment phosphorus variation in a semi-enclosed bay of the Seto Inland Sea, Japan.", *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, 135, 191-200, 2013. (査読有)
25. Haque, S., Onodera, S., and Shimizu, Y., "An overview of the effects of urbanization on the

- quantity and quality of groundwater in South Asian mega cities.", *Limnology*, 14, 135-145, 2013. (査読有)
26. Onodera, S., Saito, M., 他4名, "Nutrient transport and surface water-groundwater interactions in the tidal zone of the Yamato River, Japan.", *IAHS Publication*, 361, 204-211, 2013. (査読有)
 27. Saito, M., Onodera, S., and Shimizu, Y., "Effects of residence time and nutrient load on eutrophic conditions and phytoplankton variations in agricultural reservoirs.", *IAHS Publication*, 361, 197-203, 2013. (査読有)
 28. Shimizu, Y., Onodera, S., and Saito, M., "The effect of small impoundments on nutrient transport in a suburban watershed.", *IAHS Publication*, 362, 172-177, 2013. (査読有)
 29. Shimizu, Y., and Onodera, S., "Effect of climate change on flood events as major driver of nutrient discharge from a suburban watershed, western Japan.", *IAHS Publication*, 359, 38-43, 2013. (査読有)
 30. 清水裕太, 小野寺真一, 齋藤光代, "郊外農業流域におけるリン流出量推定へのSWATモデルの適用可能性.", *水文水資源学会誌*, 26, 153-173, 2013. (査読有)
 31. 大西晃輝, 小野寺真一, 他5名, "巨大都市ジャカルタのチリウン川における水質汚濁特性.", *日本水文科学会誌*, 43, 39-46, 2013. (査読有)
 32. 伊藤浩子, 小野寺真一, 他3名, "大阪平野とその周辺地域における地下水観測井の水質の特徴.", *Kansai Geo- Symposium 2013 論文集*, 21-26, 2013. (査読有)
 33. 小野寺真一, 他5名, "大阪平野における窒素負荷の変動とその地下水水質に及ぼす影響.", *Kansai Geo- Symposium 2013 論文集*, 27-30, 2013. (査読有)
- [学会発表](計 131 件)
1. 山本民次, "瀬戸内海の貧栄養化の過程と水産業への影響.", *日本水産学会水産環境保全委員会シンポジウム「栄養塩添加による漁場生産力の向上」*, 品川, 2016年3月26日. (招待講演)
 2. 齋藤光代, 小野寺真一, 清水裕太, "陸域の地形および地下水流動に基づく海底湧水の評価.", *日本水産学会春季大会*, 品川, 2016年3月26日.
 3. 山本民次, "豊かな海の創生 - 私の提言.", *平成27年度県立総合技術研究所水産海洋技術センター研究成果発表会*, 広島, 2016年2月3日. (招待講演)
 4. 小野寺真一, "自然界におけるリンの循環.", *第2回持続的リン利用シンポジウム*, 早稲田大学, 2015年11月26日. (招待講演)
 5. 有富大樹, 小野寺真一, 他4名, "地下水流動に伴う酸化還元電位変化及び溶存亜酸化窒素濃度変化.", *2015年度日本水文科学会学術大会*, 産総技術総合研究所, 2015年10月10日.
 6. 齋藤光代, 小野寺真一, 他7名, "マルチトレーサー法による潮間帯での地下水流出の評価.", *2015年度日本水文科学会学術大会*, 産総技術総合研究所, 2015年10月10日.
 7. 齋藤光代, 小野寺真一, 他7名, "瀬戸内海島嶼部の藻場分布域における地下水流出の評価.", *日本海洋学会秋季大会*, 松山市, 2015年9月29日.
 8. 松森堅治, 清水裕太, 他2名, "土地利用数値情報を用いた河川水質予測.", *日本土壌肥料学会2015年度京都大会*, 京都大学, 2015年9月9-11日.
 9. 齋藤光代, 小野寺真一, 他4名, "瀬戸内海島嶼部における地下水湧出とアマモ場との関係について.", *平成27年度瀬戸内海研究フォーラムin奈良*, 奈良県文化会館, 2015年9月3日.
 10. Jin, G., Onodera, S., Saito, M., Hayakawa, A., Shimizu, Y., Sato, T., 他4名, "Comparative research of lake eutrophication history by long core samples collecting from two typical Japanese reclaimed lakes.", *XIX International Union for Quaternary Research Congress (Nagoya, Japan)*, 2015年8月2日.
 11. Onodera, S., Jin, G., Takeuchi, T., Jige, M., Saito, M., Yamaguchi, K., Kitaoka, K., Saito, T. and Sato, T., "Last 10,000 years variation in phosphorus supply to a coastal region in a western Japan.", *XIX International Union for Quaternary Research Congress (Nagoya, Japan)*, 2015年8月2日.
 12. Takeuchi, T., Kitaoka, K., Yamaguchi, K., Onodera, S., 他3名, "Formation process of the coastal alluvial plain in an enclosed sea watershed: case study of the Okayama.", *XIX International Union for Quaternary Research Congress (Nagoya, Japan)*, 2015年8月1日.
 13. Shimizu Y., Onodera, S., 他2名, "Estimation of sediment and nutrient fluxes into a coastal lake for a 100-year using SWAT model.", *XIX International Union for Quaternary Research Congress (Nagoya, Japan)*, 2015年8月1日.
 14. Saito, M., Onodera, S., 他2名, "Evaluation for the effect of non-stationary nutrient transport on the coastal seaweed cultivation in western Japan.", *The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (Prague, Czech Republic)*, 2015年6月27日.
 15. Jin, G., Shimizu, Y., Onodera, S., 他2名, "Evaluation of drought impact on groundwater recharge rate using SWAT and Hydrus models on an agricultural island in western Japan.", *The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (Prague, Czech Republic)*, 2015年6月27日.
 16. Onodera, S., Shimizu, Y., 他3名, "Evaluations of spatial distributions in

groundwater recharge and flood discharge in an urban and suburban watershed of 1,000km² scale.", The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (Prague, Czech Republic), 2015年6月23日.

17. Shimizu, Y., Onodera, S., 他2名, "Impact analysis of the decline of agricultural land-use on flood risk and material flux in hilly and mountainous watersheds.", The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (Prague, Czech Republic), 2015年6月23日.
18. Jin, G., Shimizu, Y., Onodera, S., 他2名, "Climate change impacts on groundwater recharge on an agricultural island, western Japan, estimated by SWAT/Hydrus model.", 日本地球惑星科学連合2015年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉市), 2015年5月24日.
19. 有富大樹, 小野寺真一, 齋藤光代, 他2名, "地下水流動に伴う酸化還元電位変動及び硝酸態窒素濃度変化", 日本地球惑星科学連合2015年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉市), 2015年5月24日.
20. 小野寺真一, 齋藤光代, 清水裕太, 他4名, "流域スケールでの地下水および窒素の再利用に関する研究.", 2014年度日本水文科学学会学術大会, 広島大学(東広島市)2014年10月4日.
21. 松森堅治, 向井章恵, 渡邊修一, 笠原賢明, 根角博久, 清水裕太, "周年マルチ点滴かん水同時施肥法(マルドリ方式)による地下水再利用システムの現地実証試験.", 2014年度日本水文科学学会学術大会, 広島大学(東広島市)2014年10月4日.
22. 有富大樹, 小野寺真一, 他3名, "花崗岩不圧帯水層中の溶存亜酸化窒素の鉛直分布とその時系列変化.", 2014年度日本水文科学学会学術大会, 広島大学(東広島市)2014年10月4日.
23. 小野寺真一, 齋藤光代, "窒素同位体を用いた地下水流動と脱窒過程の相互作用に関する研究.", 日本地球惑星科学連合2013年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉市), 2013年5月23日.(招待講演)

〔図書〕(計4件)

1. 北岡豪一・小野寺真一・齋藤光代(編), 「瀬戸内海流域の水環境」, 吉備人出版, 2016年(受理), 210頁
2. 清水裕太, 小野寺真一, 「窒素フローモデルを用いた地下への窒素負荷量の推定」, 山下亜紀郎(編)『土地利用でみるアジアの都市化と自然環境』, 筑波大学出版会, 133-156, 2016年3月, 162頁.
3. 山本民次, 花里孝幸(編著)「海と湖の貧栄養化問題 - 水清ければ魚棲まず」地人書館, 2015年3月, 195頁.
4. 小野寺真一, 「液体試料(ガス・溶液)」, 地球環境学マニュアル編集委員会(編)『地

球環境学マニュアル2』, 朝倉出版, 2014年, 144頁.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

〔その他〕

・ホームページでの成果公表

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/mtcattwg/big-hands/index.html>

・日本水文科学会公開シンポジウム主催「水循環に関わる窒素循環 - 科学的未知に迫る」コーディネーター; 小野寺真一, 井岡聖一郎, 齋藤光代. 千葉商科大学(千葉県市川市), 2013年10月20日.

・AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) セッション共催. 2014年8月1日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

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

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

佐藤 高晴 (SATO, Takaharu)
広島大学・大学院総合科学研究科・准教授
研究者番号: 90196246

(3) 連携研究者

宮岡 邦任 (MIYAOKA, Kunihide)
三重大学・教育学部・教授
研究者番号: 70296234

清水 裕太 (SHIMIZU, Yuta)
農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター・特別研究員
研究者番号: 50625829

(4) 研究協力者

齋藤光代 (SAITO, Mitsuyo)
金 广哲 (JIN, Guangzhe)
竹内 徹 (TAKEUCHI, Toru)
北岡豪一 (KITAOKA, Koichi)
地下まゆみ (JIGE, Mayumi)
丸山 豊 (MARUYAMA, Yutaka)
友澤裕介 (TOMOZAWA, Yusuke)
千田智史 (SENDA, Satoshi)
藤田和男 (FUJITA, Kazuo)