

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「持続可能な水利用を実現する革新的な
技術とシステム」
研究課題「地域水循環機構を踏まえた地下水持続
利用システムの構築」

研究終了報告書

研究期間 平成22年10月～平成28年3月

研究代表者：嶋田 純
(熊本大学・大学院自然科学研究科，教授)

目次

§ 1. 研究実施の概要

1. 実施概要
2. 顕著な成果
 - (1) 優れた基礎研究としての成果
 - (2) 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果

§ 2. 研究実施体制

1. 研究チームの体制について
2. 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

§ 3. 研究実施内容及び成果

1. 水循環機構・構造の実態解明（熊本大学 水循環解明グループ） 【研究項目 1】
2. 水質浄化・負荷軽減技術の開発（熊本大学 水質浄化グループ） 【研究項目 2】
3. 淡水生物を利用した水質モニタリング手法の開発（熊本大学 水質評価グループ） 【研究項目 3】
4. 持続的な地下水管理システムの構築（熊本大学 地下水管理グループ） 【研究項目 4】

§ 4. 成果発表等

1. 原著論文発表
2. その他の著作物（総説、書籍など）
3. 国際学会発表及び主要な国内学会発表
 - (1) 招待講演
 - (2) 口頭発表
 - (3) ポスター発表
4. 知財出願
 - (1) 国内出願
 - (2) 海外出願
 - (3) プログラムの著作物
 - (4) データベースの著作物
5. 受賞・報道等
 - (1) 受賞
 - (2) マスコミ（新聞・TV等）報道
 - (3) その他
6. 成果展開事例
 - (1) 実用化に向けての展開
 - (2) 社会還元的な展開活動
 - (3) 他分野への波及効果

§ 5. 研究期間中の活動

1. 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

§ 6. 最後に

§ 1. 研究実施の概要

1. 実施概要

湿潤温帯の我国では水循環は極めて活発なため、地下水の帯水層構造と循環様式を把握して適切に管理すれば、水量の持続的確保は可能である。また、硝酸汚染に代表される面的な地下水質汚染に対しても、的確な水質モニタリング手法を用いた発生機構・変動プロセスの把握と、帯水層特性に応じた水質改善策により、持続的地下水利用システムの構築が可能となる。本研究では、特定地域の水循環の一環としての地下水流動機構の解明と、それを踏まえた水量・水質両面からの持続的な地下水利用システムの構築を目的として、これまで個別に実施されていた地下水水量評価・水質負荷軽減の開発研究を地下水管理システムとして統合する。

研究方法としては、水理地質構造把握手法としての周波数可変型 3 次元高精度電気探査装置 (H25 年度に特許申請) や、新たな地下水年代トレーサー (CFCs 法、SF₆ 法、⁸⁵Kr 法など) の開発を行い、H24 年度までにはほぼ方法論を確立した。これら新しい観測データと、これまで熊本地域で蓄積されてきた地下水流動の観測情報を用いて、3 次元地下水流動モデルの検証と内部・外部境界の改良を行って、より現実に対応できる 3 次元地下水流動モデルを H25 年度までに構築した。H26 年度は改良した 3 次元地下水流動モデルを用いて、様々な土地利用に対応した地表面からの窒素負荷の変遷情報を踏まえた帯水層内での硝酸イオン濃度分布の変遷の再現を目指したモデルの構築に着手し、相応の再現性を確認した。これらの成果は、H26 年 11 月に熊本地域で行われた日本地下水学会の公開シンポジウムとして発表するとともに、同学会誌の特集号企画として H27 年 11 月、H28 年 2 月に発行された第 57 巻 4 号、第 58 巻 1 号に掲載した。熊本地域より地下水流動や窒素負荷が単純な都城盆地や佐田川扇状地に於いても類似の地下水流動モデルを構築し、脱窒の存在しない佐田川扇状地での窒素収支の把握に成功した。また都城盆地では、浅層不圧地下水の硝酸イオン濃度の変遷を希釈効果のみで再現できることが確認され、それを踏まえた深層被圧地下水には希釈効果に加えて脱窒効果が無視できないことを確認した。これら熊本地域・佐田川扇状地・都城盆地での検討成果を踏まえて H27 年度のプロジェクト終了時には、CREST 関連出版である『熊本大学政創研叢書』の中で、地下水質に関する持続的利用の管理方法の提案を行った。

島嶼地域の研究対象である南大東島については、H26 年度までの現地調査や観測井の継続観測と、ボーリングデータ等から構築された地質モデルや潮位に対する地下水位変動特性から推定された透水係数分布を用いて、3 次元地下水流動モデルによる解析を行い、国際水文地質学会で発表すると共に、H27 年度には、月刊地球『南大東島特集号』を企画し、同島で行われてきた CREST 関係の調査研究の成果を同誌通巻 435 号、436 号としてとりまとめて公表した。

3 次元高精度電気探査装置の開発と可視化技術の実用化については、これに必要不可欠であった帯水層抽出に有効な周波数帯の特定と、その理論的根拠を明らかにして関連特許を申請すると共に、関連国際学会で成果発表した。さらに、並列回路モデルによれば地下水が塩水、あるいは淡水のいずれかであるかを区分できる可能性も見出せたため、それらを確認するために H26 年度末に南大東島を対象に実証調査を実施し、その成果は前述の月刊地球特集号に取りまとめて報告した。

また、帯水層内での硝酸性窒素の実態を把握すると共に、そこで出現している微生物を媒介とした生物化学的な脱窒プロセス解明のためにマルチ同位体 (CNOS) 手法を提案・確立し、H24 年度までに閉鎖実験系において妥当性を検証した。H25-26 年度は、還元帯水層における脱窒タイプの判別方法/方法論の有効性を熊本地下水地域で確立/実証し、Water Research(2014)に公表した。また人為起源の硝酸性窒素負荷を軽減させるため、既に汚染してしまった地下水から効率的に硝酸イオンを除去する選択型イオン交換繊維の開発については、H25 年度までに実験室レベルでの対象繊維の性能確認を完了し、H26 年度には熊本市上下水道局とタイアップして水道水源井において約 0.7 トンの地下水処理を行う連続実証実験を実施し、実験室規模と同等の性能が実スケールに於いても再現できることを確認した。

遺伝子導入生物センサーとして開発したメダカやゼブラフィッシュ等を用いて、硝酸イオンを含む地下水質を継続的にモニタリングするために、環境基準値を超過すると発色する生物センサー

の開発も並行して行ってきた。H26 年度には、すでに作製に成功している「水質悪化にตอบสนองして体色が赤くなる(水質悪化応答性)遺伝子導入メダカ系統」を用いて、硝酸性窒素化合物や実際の地下水に対する応答性を解析した。また、すでに単離した硝酸性窒素応答遺伝子を利用して「水質悪化(高温、酸性水、アルカリ性水)にตอบสนองして体色が赤く、硝酸性窒素にตอบสนองして黄色になる(硝酸性窒素応答性)遺伝子導入メダカ系統」の作製を試みたが、系統を確立するまでには至らなかった。但し、地下水に於いては、水温や pH 等が安定しているため、新たに開発された系統のメダカは、硝酸性窒素濃度のモニタリング用生物センサーとして十分利用可能であると思われる。一方、ゼブラフィッシュを用いて、硝酸性窒素化合物等が及ぼすドーパミン神経やセロトニン神経系への影響を明らかにし、従来指摘されているメタヘモグロビン血症以外の生体への影響が存在することを確認した。

H25 年度までに構築された熊本地域での取組とそれに対応する地下水流動シミュレーションによるモデル解析により、湿润温帯地域における地下水量に関しての持続的管理に向けたシステムの構築に関する流れはほぼ順調に整ったと言える。一方地下水質に関する持続的管理システムの構築については、硝酸性窒素の負荷源である畜産廃棄物や過剰施肥に対する対策が、関連条例・規制等の整備を通して既に 10 年以上前から対応努力が実施されてきているにも拘らず現時点での著しい改善効果は見られていない状況を踏まえて、H25 年度以降に 3 次元地下水流動モデルに地下水中の硝酸性窒素の挙動を再現できるサブモデルを構築した。そして、不飽和浸透過程での硝酸性窒素の変化情報や、実際の帯水層中での脱窒域の形成要因を検討した。H26 年度は、このモデルを熊本及び都城盆地地域に適用して、帯水層中の硝酸性窒素の振る舞いを再現・検討した。そして、地域の硝酸性窒素負荷の在り方について帯水層の持つ自然脱窒能を評価し、窒素負荷源の軽減策に結び付けることを試みた。これらをベースに H27 年度に地下水質に関するその持続的利用のための管理方法を検討し、H28 年 2 月に出版した熊本地域における CREST 研究の成果を基にした単行本である熊本大学政創研叢書の一巻として、熊本地域の地下水を対象にその水量と水質の持続的利用法に対する提案を行った。

2. 顕著な成果

(1) 優れた基礎研究としての成果

- ① 嶋田 純・伊藤沙希・荒川祐介・多田和広・森 康二・中野 慧・利部 慎・松永 緑(2015) 二毛作水田地帯における施肥起源の窒素負荷による浅層不圧地下水中の窒素収支の検討—地下水観測結果を踏まえた地下水シミュレーションに基づいた考察—, 地下水学会誌, 57(4)号, 467-482.

佐田川扇状地における地下水位および硝酸イオン濃度・窒素・酸素安定同位体比等のデータから、地域の地下水変化特性と浅層不圧地下水中の硝酸イオン濃度の変動特性は、作付け作物とその施肥時期および水田への灌漑時期に大きく影響されていることが明らかになった。土地利用に応じた施肥量や作物吸収量等を考慮した正味の窒素負荷を踏まえた 3 次元地下水流動・移流分散解析モデルを構築し、帯水層中の窒素挙動の再現とそれに基づく窒素収支の検討を行った。その結果、現在の佐田川扇状地における地下水中の硝酸性窒素濃度は、地域の施肥起源の窒素負荷により、年間 3mg/L 程度を下回る事が無い状態で毎年の濃度季節変化が繰り返されており、窒素収支はほぼ定常状態になっていることから、この低限値は、それまでの積年の施肥負荷によって形成されたものと考えられた。本研究は、地下水中の硝酸イオン濃度と負荷とを結び付けて地域の窒素収支をモデルによって検討した初の試みとして高く評価されている研究である。

- ② 松永 緑, 嶋田 純, 三上久美子, 細野高啓, 利部 慎, 岩佐耕次 (2015) 宮崎県都城盆地における下水中の硝酸イオンの分布特性とその自然浄化に関する考察, 地下水学会誌, 57 (3), 1-17.

日本有数の農業・畜産地域である都城盆地を対象とし、深層地下水を含めた広域地下水

流動系における NO_3^- の分布特性や地下水流動に沿った NO_3^- 濃度減衰プロセスを調べた。その結果、盆地西側の浅層地下水や、盆地西部および南部の中間深度および深層地下水において高い NO_3^- 濃度を示すことが分かった。また、地下水流動に沿った NO_3^- 濃度の分布傾向としては、地下水流動の上流部では高濃度を示し、それより下流部にあたる地点で低濃度を示す地点が確認された。 $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ 、 $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ の測定結果を用い、地下水流動に沿う縦断面での NO_3^- の自然浄化について考察した結果、地下水流動の中流部では希釈、下流部の中間深度および深層地下水では脱窒が生じていると考えられた。深層帯水層中の脱窒域における自然浄化機能を地下水流動との関連でとらえたユニークな研究として高く評価されている。

- ③ Hosono, T., Tokunaga, T., Kagabu, M., Nakata, H., Orishikida, T., Lin, I-T., Shimada, J. (2013) The use of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ tracers with an understanding of groundwater flow dynamics for evaluating the origins and attenuation mechanisms of nitrate pollution, *Water Research* 47 (8), 2661-2675

CREST 研究で推進してきた硝酸同位体比の応用をもとに、熊本地域における地下水硝酸汚染の実態と自然浄化機構が明らかにされた。H22-24 年の間に採取された地下水ならびに比較物質を対象に、合計 300 程度の試料分析を行なった。解析の結果、現在顕在化している窒素汚染の起源は過去に施肥された化学肥料に由来することが示唆された。加えて、帯水層中で起こっている浄化プロセスには脱窒と希釈作用の二つが存在しており、熊本地域において自然浄化の観点から重要なのは前者であることが明らかにされた。このように、詳しい地下水流動の実態が把握されたうえで硝酸同位体法を応用することによって、帯水層中の硝酸性窒素の由来とそのふるまいが高精度でとらえられたと共に、硝酸同位体法の応用法にも新たな示唆を与えることができた。マルチ同位体研究へと駒を進める良い足がかりとなる研究として評価される。

(2) 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果

- ① Hosono, T., Tokunaga, T., Tsushima, H., Shimada, J. (2014) Combined use of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and $\delta^{34}\text{S}$ tracers to study anaerobic bacterial processes in groundwater flow systems. *Water Research*, 54, 284-296.

Hosono et al. (2013) *Water Research* を通して明らかとなった、流動に沿った硝酸挙動が良くわかっている熊本地域地下水において、同試料の窒素同位体比に加え、新たに炭素同位体比ならびに硫黄同位体比を測定した。帯水層中で起こっている脱窒反応のタイプ(従属栄養タイプ vs. 独立栄養タイプ)の判別は菌叢解析を通して困難な場合が多い。本研究では両タイプの還元反応を通して生成される炭素酸化物と硫酸イオン中の炭素と硫黄の同位体マーカーに着目し、これら情報を組み合わせることで、帯水層中で起こった脱窒反応タイプの判別が可能かどうかを評価した。解析の結果、熊本地域では、脱窒以外の多様な還元反応の履歴が C-N-S 同位体トレーサーにレコードされることが明らかとなった。この知見を発展させ、種々の還元反応に応じた C-N-S 同位体変化パターンモデルを新たに提案し、多様な地下水環境に対応した汎用性のある C-N-S 同位体法の提案を行うことができた。新しく提案した C-N-S 同位体法の解析結果に基づくと、本地域の脱窒タイプは従属栄養タイプが主であり、独立栄養タイプは局所的に起こっているのみであることが示唆された。

- ② Asaue, H., Koike, K., and Shimada, J. (2014) "Development of Electric Survey method with Variable Frequencies for Aquifer Exploration," *Proceedings of 13th International Symposium on Mineral Exploration (ISME-XIII)*, VNU, Hanoi, Vietnam, pp. 101-106.

地下計測法の中で地下水探査に最も広く利用されているのは電気探査法であるが、これによる地下の比抵抗値は地層の含水状態に加えて、粘土鉱物含有量や温度など、種々の要因で変化する。よって、比抵抗値のみからでは地下水の存在や帯水層の構造を検出するこ

とは困難である。そこで、低周波数帯で発生する表面伝導と緩和時間に注目し、地下水脈探査のための新しい電気探査装置 (VFES: Variable Frequency Electric Sounding system) と解析法の開発を行った。VFES を用いた室内でのサンプル実験と帯水層を模擬したモデル実験、および複数のフィールドでの測定によって、1~40Hz の矩形周波数帯において含水状態に強く依存する比抵抗変動が現れることがわかった。この現象と比抵抗変動係数の活用により、従来の方法では困難であった地下水の存在や帯水層構造の検出が可能となり地下水探査の精度向上に大きく貢献した。

③ Zeng, X.Y., Hosono, T., Ohta, H., Niidome, T., Shimada, J., Morimura, S. (2016) Comparison of Microbial Communities Inside and Outside of a Denitrification Hotspot in Confined Groundwater. *International Biodeterioration & Biodegradation*, in press.

Hosono et al. (2013) *Water Research* を通して明らかとなった、流動に沿った硝酸挙動が良くわかっている熊本地下水地域において、脱窒菌が有する機能性遺伝子 *nirS* に加えて、全バクテリアおよび全アーキアを標的とした 16S rRNA 遺伝子の解析を合わせて行うことで、脱窒反応が活発に起こっているサイト(脱窒ホットスポット)と脱窒があまり起こらないサイトの微生物相の違いを明らかにした。脱窒ホットスポットの上流では Firmicutes 門などの従属栄養細菌が酸素を消費し、嫌気的環境となった脱窒ホットスポットで脱窒やメタン生成などの還元反応が起こっていることが推測された。検出された主な脱窒菌は従属栄養タイプと考えられ、Hosono et al. (2014) *Water Research* の結果を裏付けるものであった。このような機能性遺伝子と 16S rRNA 遺伝子を組み合わせた遺伝子解析手法は地下水中で起こっている生物反応を推定するのに直接的な手段であり、熊本地域以外にも適用可能な地下水環境理解のための方法であると考えられる。

§ 2. 研究実施体制

1. 研究チームの体制について

(1)「水循環解明」グループ

氏名	所属	役職	参加時期
嶋田 純	熊本大学自然科学研究科	教授	H22.10~ H28.3
小池 克明	京都大学大学院工学研究科	同上	H22.10~ H28.3
松田 博貴	熊本大学自然科学研究科	同上	H22.10~ H28.3
一柳 錦平	同上	准教授	H22.10~ H28.3
中田 晴彦	同上	同上	H23.4~H28.3
麻植 久史	同上	助教	H22.10~ H27.3
麻植 久史	京都大学大学院工学研究科	特定准教授	H27.4~H28.3
細野 高啓	熊本大学大学院先端機構	特任助教	H22.10~ H26.3
細野 高啓	熊本大学大学院先端機構	准教授	H26.4~H28.3
上野 真也	熊本大学政策創造研究教育センター	教授	H22.10~ H28.3
利部 慎	熊本大学自然科学研究科	特任助教	H24.3~H28.3
利部 慎	同上	非常勤研究員	H23.1~H24.2

In-Tian Lin	同上	同上	H23.7～H24.9
Alvarez Kelly	同上	同上	H24.9～H25.3
利部 慎	同上	D3	H22.10～ H22.12
小野 昌彦	同上	D3	H22.10～ H24.3
三上 久美子	同上	D3	H22.10～ H23.3
佐藤 透	同上	技術補佐員	H23.4～H24.3
徳永 貴大	同上	M2	H23.4～H24.3
田上 雅彦	同上	D2～3	H24.4～H26.3
工藤 圭史	同上	D1～3	H24.4～H27.3
松永 緑	同上	技術補佐員	H24.4～H25.3
松永 緑	同上	非常勤研究員	H25.4～H28.3
御園生 敏治	熊本大学大学院先導機構	特定事業研究員	H24.6～H28.3
梁 熙俊	熊本大学自然科学研究科	非常勤研究員	H24.6～H28.3
吉永 徹	熊本大学工学部	技術補佐員	H25.10～ H28.3
松木 翔二郎	熊本大学自然科学研究科	同上	H25.10～ H27.3
奥園 航佑	熊本大学工学部	同上	H25.10～ H26.3
長谷 祥子	熊本大学自然科学研究科	非常勤研究員	H26.4～H28.3
鹿島 美香	同上	技術補佐員	H26.4～H28.3
奥村 梓	同上	B4～M1	H26.4～H28.3

研究項目

- ・地下水涵養・流動機構の解明とモデルの開発と島嶼・都城・佐田川地域への適応
- ・3次元高精度電気探査装置の開発と可視化技術の実用化と島嶼地域への適応
- ・マルチ同位体法の開発と島嶼地域への適応
- ・持続的な地下水管理システムの構築と島嶼地域への適応

(2)「水質浄化」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
田中 健路	広島工業大学環境学部	准教授	H22.10～H28.3
古川 憲治	熊本大学	名誉教授	H22.10～H28.3
城 昭典	熊本大学自然科学研究科	教授	H22.10～H24.3
河原 正奏	同上	同上	H22.10～H28.3
川越 保徳	同上	同上	H22.10～H26.3
濱 武英	同上	准教授	H25.4～H26.3
森村 茂	同上	准教授	H22.10～H28.3
松浦 博孝	同上	助教	H24.4～H28.3

研究項目

- ・Anammox 法による窒素処理技術の開発
- ・島嶼地域への適応性の検討

- ・簡易水質浄化技術の開発と実用化の検討
- ・原位置 NO₃-N 脱窒メカニズムの解明
- ・土壌/地下水環境中の微生物学的窒素代謝系の解明

(3)「水質評価」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
安部 眞一	熊本大学自然科学研究科	教授	H22.10～H25.3
北野 健	同上	准教授	H22.10～H28.3
岸田 光代	同上	同上	H22.10～H28.3
張 継東	同上	非常勤研究員	H23.4～H25.3
長船 奈津美	同上	技術補佐員	H25.3～H28.3
天辰 奏太	同上	B4	H23.7～H24.3
横山 小夏	同上	同上	H23.10～H24.3
宇野 龍太郎	同上	同上	H23.10～H24.3

研究項目

- ・遺伝子導入生物センサー等の開発と実用化の検討

2. 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

本CRESTの実施期間中のH26・27年度にかけて、水循環基本法の成立やそれに付随した水循環基本計画が策定された。この法律は、長年の懸案であった地下水と地表水を統合的に管理してゆくことを狙った国の法律であり、地下水にとっては初めての国法になる可能性が高かったため、この間に日本地下水学会等を通して地下水保全法(案)の検討と議員立法事務局への働きかけを行ってきた。残念ながら諸般の事情により、地下水保全法(案)は日の目を見なかったが、この保全法立案に当たっては、本CRESTで実施してきた地下水の量と質に係る仕組みを出来るだけ反映させるよう積極的に働きかけを行った。日本地下水学会としては、今後とも地下水保全法の制定に向けた学会としての取組を行うことを確認しており、それらの活動を通して本CRESTに関係した研究者とも連携した活動を今後とも構築してゆく予定である。また、熊本地域の地下水管理システムの構築に関しては、CRESTの研究成果の利用や、構築された熊本地下水流動モデルを当該地域の地下水管理に適応する仕組みを熊本市・くまもと地下水財団、熊本大学との間で検討中である。

§ 3. 研究実施内容及び成果

1. 水循環機構・構造の実態解明（水循環解明グループ） 【研究項目 1】

1. 1 地下水涵養・流動機構の解明とモデルの開発

(1) 研究のねらい

熊本地域では過去 30 年以上、100 箇所にも及ぶ観測井戸による地下水モニタリングの実績があり、本研究ではそれらを有効に利用して再現性が極めて高い地表水－地下水統合型の地域の地下水流動の 3 次元地下水シミュレーションモデルを構築し、地下水管理システムの構築に資することを想定して研究が実施された。モデルの構築と並行して、地下水流動トレーサーによる、地下水起源、地下水年齢、地下水温度プロファイルとその経時変化、地下水涵養量等の観測データを取得し、それらを流動モデルの検証材料として用いることで、モデルの予測精度向上を目指す(図 3-1-1)。このようにして構築された対象地域の 3 次元地下水流動モデルに、流動に伴う物質輸送を再現できるモデルを合成することで、希釈や脱窒場を持つ 3 つの地域において様々な土地利用に対応した地表面からの窒素負荷の変遷情報を踏まえた帯水層内での硝酸性窒素の振る舞いを再現できるモデルの構築を試みる。

また、地下水流動モデルの検証材料として、都市域における最近 50 年程度までの地下水年代をより高い精度で観測できる新たな地下水年代トレーサーである ^{85}Kr の開発も行う。

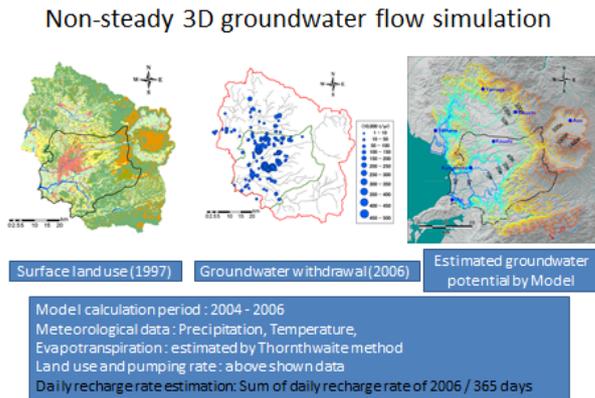


図 3-1-1 熊本地域における 3 次元地下水流動モデルの構築とそれを用いた涵養量評価

(2) 研究実施方法

地下水位や河川流量の観測データでモデルをチューニングし、熊本地域で長期的に測定されているトリチウム、水の安定同位体比 (δD 、 $\delta^{18}\text{O}$)、地下水温度プロファイル、 ^{85}Kr 、土壌水中の安定同位体比を利用した土壌水の降下浸透評価法 (DFM 法) による地下水涵養量、を用いて 3 次元地下水流動モデルの再現性を確認・検証すると共に、必要な内部境界の調整を行った。その上で、その地下水流動モデルを用いて白川中流域低地で実施されている休耕田水張事業による人工涵養効果について評価(表 3-1-1)や、DFM法で観測された地点涵養量を確認データとして用いて、前述の 3 次元地下水流動モデルによって地域全体の涵養量分布の評価(図 3-1-2)を試みた。また、過去 30 年間に 3 回繰り返し測定された同一観測井戸における地下水温度プロファイルの経時変化特性を同じ 3 次元地下水流動モデルを用いて再現することにより、熊本地域の地下水流動の特性を水温分布によって把握している(図 3-1-3)。熊本地域に加えて、同様の 3 次元地下水流動モデルを都城盆地および佐田川扇状地で構築し、地表からの窒素負荷を踏まえた物質移送モデルとそれぞれの地域の地下水流動モデルとを合成することにより、地下水流動に伴う窒素循環の実態を再現するモデルを構築した。このモデルにより、それぞれの地域の窒素循環を評価すると共に、それらに基づいた窒素削減方法の提案を含めた地下水の水質に関する持続的利用法

の構築に資する検討材料とした。

表 3-1-1 白川中流域低地の水田化・水張事業の涵養効果の地下水流動モデルによる検証

検討対象領域	水収支要素	単位	Case1 水田無し	Case2 水田100%	Case3 水田50%	Case4 水田50%+ 人工湛水
地表部 (熊本地域全域)	降水量 (2013)	$\times 10^6$ (m ³ /y) (mm/d)	2036	2036	2036	2036
	蒸発散量 (2013)	$\times 10^6$ (m ³ /y) (mm/d)	749	750	750	750
	涵養量 (2013) (含灌漑水等)	$\times 10^6$ (m ³ /y) (mm/d)	1576	1690	1657	1668
第二帯水層 上面(熊本地域全域)	涵養量	$\times 10^6$ (m ³ /y) (mm/d)	490	582	552	557
	地下水取水量	$\times 10^6$ (m ³ /y) (mm/d)	158	158	158	158
白川中流域	地表面からの涵養量 (含灌漑水等)	$\times 10^6$ (m ³ /y) (mm/d)	288	415	367	377
	第二帯水層への涵養量	$\times 10^6$ (m ³ /y) (mm/d)	144	236	206	212
江津湖	地表面からの湧出量	$\times 10^6$ (m ³ /y)	159	181	174	175
	第二帯水層上面からの湧出量	$\times 10^6$ (m ³ /y)	162	185	178	179

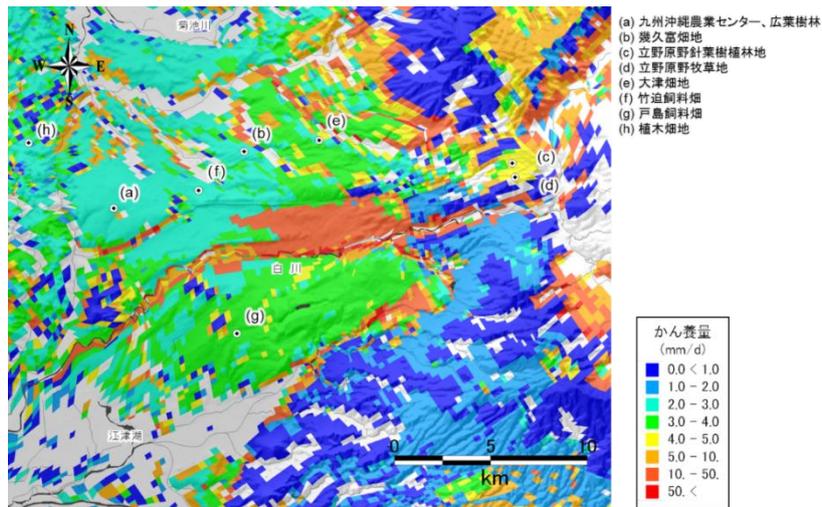


図 3-1-2 DFM 観測値を再現できる地下水流動モデルで推定された地下水涵養量分布

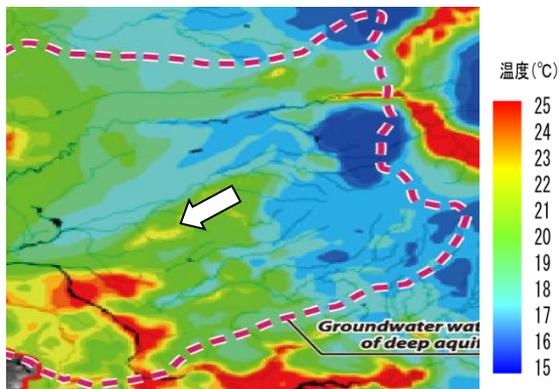
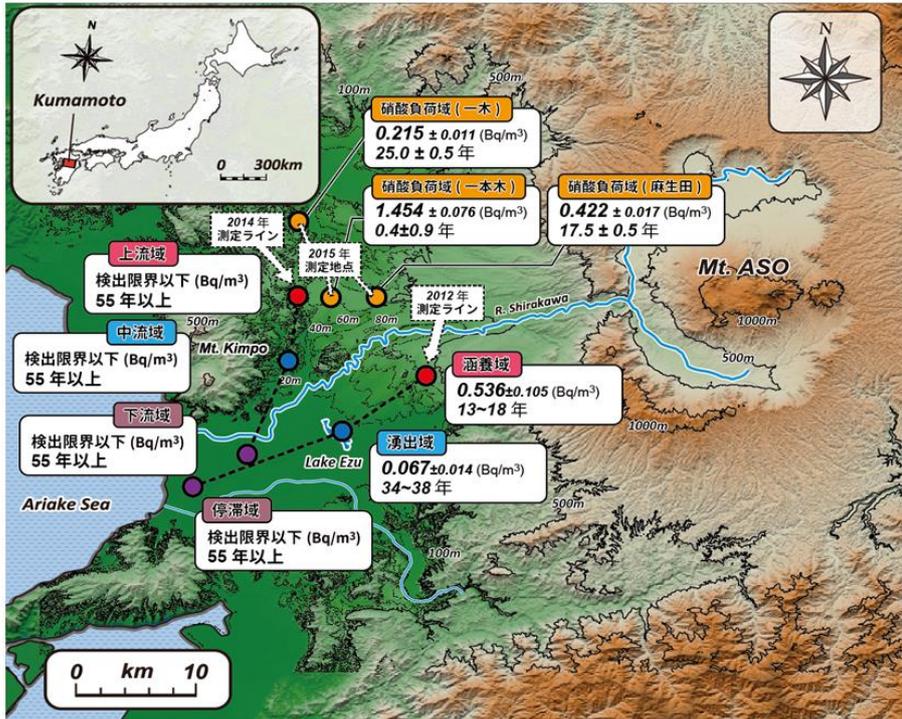


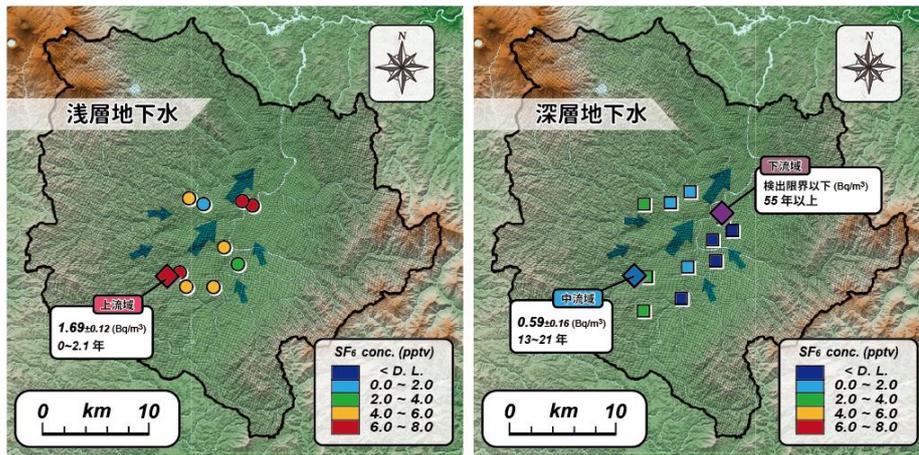
図 3-1-3 地下水流動モデルから再現された第 2 帯水層の地下水温度分布に示された白川河川水系の低温層の流動

(3) 研究成果

図 3-1-4 は、新たに開発された ^{85}Kr 法によって得られた熊本地域および都城盆地における深層地下水の年代測定結果である。地下水の流動に伴う年齢進化が明確に現れており、これまでの年代測定トレーサーでは得ることのできなかつた、都市域における詳細な地下水年代を捉えることに成功した。これらの年齢情報は、地下水流動モデルを検証する上で、帯水層の貯留特性を評価することが可能な唯一のパラメータとして有効に利用できることが検証された。



(熊本地域)



(都城盆地)

図 3-1-4 熊本地域および都城盆地における ^{85}Kr に基づく地下水年代測定結果

検証された地下水流動モデルを用いて歴史時代からの土地利用を反映した 4 つのシナリオ(加藤清正による白川中流域の新田開発前、1930 年代の水田耕作最盛期、近年の休耕地水張事業前、水張事業に成果が出てきた最近)について第 2 帯水層への地下水涵養量等を評価した結果、白川中流域低地からの地下水涵養が 40%以上を占めており、その内 6%程度が水田からの涵養であることが示された。これらの結果により白川中流域低地が第 2 帯水層の涵養域として非常に高

い潜在的涵養機能を持っており、加えて水田という土地利用がさらなる涵養効果をもたらしていたことが明確に示された。地域の涵養量には降水量も大きく影響をしているため、降水量・蒸発散量を固定した状態で、白川中流域低地の土地利用のみを変動させた涵養量に関する感度解析を実施した結果が表 3-1-1 である。上述したように、同地域の水田化や転作田水張事業の効果が有意なものであることが定量的に示された。

また、植林による地下水涵養の効果を定量的に把握するために、第 2 帯水層の涵養域である阿蘇外輪山西麓台地斜面に、ほぼ同じ流域規模・標高にある隣接した森林流域と牧草流域を選定し観測研究を実施した。河川流出を直接流出と地下水流出に分化して流域水収支から地下水涵養量を求めた結果と、不飽和土壌水中に存在する酸素安定同位体比の鉛直プロファイルを Displacement Flow Model (置き換え流モデル) で解析した結果とを比較して、森林流域と牧草流域における地下水涵養量の評価を試みた。その結果、地下水涵養量は、森林流域よりも牧草流域の方が 30%程度高くなることが示され、従来指摘されている流域流出量において牧草地の方が森林よりも大きな流出となる結果と整合し、相対的に蒸発散量の大きな森林の方が牧草地よりも水余剰量が小さくなることによる効果と考えられた。これらの斜面での調査観測に加えて、地域の主要涵養域である火砕流台地面の畑地や広葉樹林地の 6 地点においても、同様に土壌水の安定同位体比プロファイルから得られた異なる土地利用に対する地下水涵養量推定結果との対比を行い、3 次元地下水シミュレーションモデルから得られた土地利用に対応した地下水涵養量の妥当性を評価し、そのモデルを基にして地域の涵養量分布図として示したものが図 3-1-2 である。

これらの地下水流動解析に基づく資料は、後述する当該地域の水量に関する持続的利用策を構築する上で、有効に利用できる重要な情報となる。

また、地下水流動モデルに、地表面からの窒素負荷を適宜入力した、物質輸送モデルとのカップリングによって、帯水層中の硝酸イオン濃度の再現が可能であることが佐田川扇状地(脱窒域の存在しない帯水層)や都城盆地(深層地下水の流動の末端に当たる停滞域に還元性を持つ脱窒場が形成されている帯水層)におけるモデル化で確認された(図 3-1-5)。帯水層内での希釈による硝酸イオン濃度変化が主要な地域では、これらのモデルを基に地下水の質に関する持続的利用システムの構築が可能であり、流動の活発な不圧帯水層や島嶼域の帯水層では十分活用できると思われる。

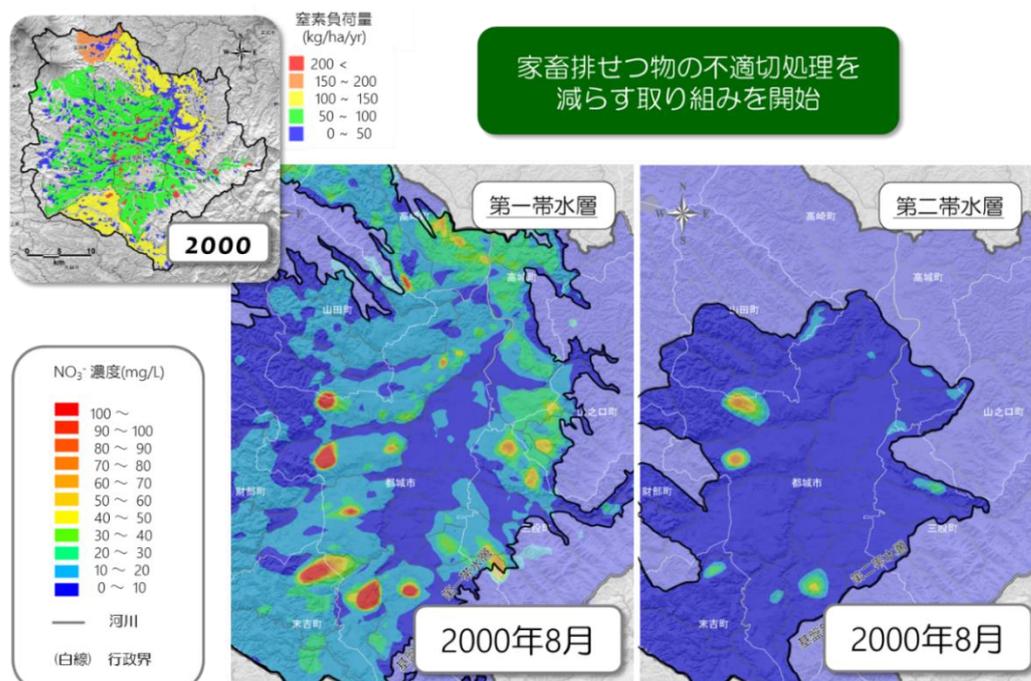


図 3-1-5 地下水流動に伴う物質輸送モデルによって再現された都城盆地における地表からの窒素負荷を踏まえた地下水中の硝酸イオン濃度分布

(4)当初計画では想定されていなかった展開

H24 年度までに熊本地域で実施されている、地下水管理システム(熊本地下水財団の設立、県地下水条例改定等)の現状を把握すると共に、熊本地域での地下水管理システムが成功した背景について、3次元地下水流動シミュレーションを用いた歴史時代に遡るモデル解析を行い自然の地下水流動と人間活動の相互依存系の上に地域の地下水流動が成立していることを明らかにすると共に、地下水管理はこのような観点を踏まえて実施してゆくことが肝要であることを明示し、関連国際学会にて発表した。それと並行して熊本市がこれまでに取り組んできた持続的な地下水利用法の構築に関する実績を評価すべく、国連による“UN-Best Water Practices Award”に推挙した結果、2013年3月に水管理部門で熊本市が世界1位に表彰されるに至った

(<http://www.un.org/waterforlifedecade/winners2013.shtml>)(図3-1-6)。

これらの推挙にあたって、地域地下水状況を説明できる科学的関連研究として、上述の国際学会発表論文を初めとする我々のCRESTによる成果を多く提出しており、受賞の背景にCREST研究成果が大きく貢献したと考えている。



図3-1-6 地下水の持続的管理の取組で熊本市が国連の Best Water Practices Award 2013 を受賞

1.2.3 3次元高精度電気探査装置の開発

(1)研究のねらい

地表から地下に電気を流し、比抵抗(物質固有の電氣的抵抗値)の分布を測定する電気探査は地下水調査で広く用いられている。しかし、従来の電気探査により推定できるのは地下水を含む地層のおおよその位置のみであり、比抵抗分布の空間分解能が低く、地下水帯水層の特定までは不可能である。また、一般に探査深度が浅く、深部の地下水の存在までは検知できていない。このように、既往技術では電気探査から地下水系を詳細に把握するまでには至っていない。このような問題点を解決し、比抵抗の空間分解能を向上させ、地下水帯水層の抽出が高精度に可能になるような3次元高精度電気探査装置の開発、および可視技術の実用化を実施する。

(2)研究実施方法

地下水系と帯水層の検出を行うために、電流の周波数を変化させることを試みた。その理由は、水や粘土を含み、電気が流れやすい地層は分極現象を起こしやすく、電流の周波数に伴って比抵抗が大きく変化する「周波数効果」と呼ばれる現象に起因する。周波数の異なる電流を用いた電気探査を行い、地下の同じ地点での比抵抗の変化を求め、低周波数と高周波数での比抵抗の相違が水脈ほど大きいことが予想できる。この変化は地下深部でも顕著に現れるので、帯水層の全体像を推定するのに有効である。

実際にはH22年度までに、周波数効果を理論的に解明するために、任意の周波数を設定できる電気探査機器(VFES)の開発を行った。開発モジュールは周波数可変型の電流発生装置、周波数特性の定量化(曲線波形と矩形波形の近似化)、計測データの自動集録、64チャンネルAD変換器、および3次元簡易可視化画像のためのインターフェイスボード等から構成されている。チ

チャンネル数を多くすることで一度に多量のデータを取得し、地下浅部から深部までを同じ精度で計測できるというメリットがある。H23 年度に室内での地層モデルによる装置の作動性検証、H24 年度にフィールドにおける適応性検証実験、H25 年度に島嶼地域における測定、H26 年度に「周波数効果」の理論的検証、および H27 年度に島嶼地域における地下水分布構造の 3 次元解析と可視化を実施した。

(3) 研究成果

研究は、ほぼ当初計画りに進捗した。H23 年度には、VFES を用いた地層モデル実験を行い、水脈を精度良く抽出できるための周波数帯域を特定した。H24 年度では、モデル実験と実際のフィールド実験との相違、および VFES の性能実証実験を行うために、山岳域(阿蘇地域)と沿岸域(八代海沿岸)の 2 つの異なる地質環境において測定を実施し、VFES とデータ解析法の有効性を実証できた。H25 年度では、島嶼地域である沖縄県多良間島において適応性実験を行い、地質や水質などの島嶼地域の特性に対して発生する問題点の検出とその解決を図った。具体的には、島嶼地域の表層付近が主として琉球石灰岩で構成されており、このため高比抵抗域に地下水が存在するという、山岳域や沿岸域とは異なった特性が現れ、データ品質も不安定になる傾向にあった。そのため、クランプ回路の挿入、ドライブ素子の 1200V・16A から 1700・160A への変更、電流検知回路の 1000Vpeak から 2000Vpeak への変更、および矩形波発生回路への挿入抵抗の 3 Ω から 200 Ω への変更等を行い、取得データの品質向上を行った。H26 年度では、周波数効果が生じるメカニズムを電気理論的に考察した。その結果、周波数効果には、含水岩石の間隙表面に生じる表面伝導に起因し、これを組み込んだ比抵抗の並列回路モデルを用いるのが最も有効であり、さらに岩石中の電位差が定常になるまでの時間である緩和時間を導入した式をこのモデルに導入することで、1~40 Hz の周波数帯の比抵抗変動が説明できることがわかった。これによって周波数効果と帯水層の存在との関係を理論的に明らかにできた。また、H27 年 3 月中旬に、沖縄県南大東島において島嶼地域の淡水レンズ構造を把握するために複数の測線を展開し、測定を実施した。そのデータを用いて H27 年度に比抵抗分布解析と周波数変動係数(周波数ごとの比抵抗の平均を標準偏差で除した値)の解析を行い、地下水分布の 3 次元的可視化を試みた。その結果、いずれの測線においても地下水面が存在する深度 15 m 程度に、変動係数の明瞭な境界が現れたとともに、この地下水面に対応する境界が空間的に上下するような傾向を抽出できた。この特徴は、図 3-1-8 に示す対象領域中央部(赤の楕円部分)で特に顕著である。この理由として、南大東島では 1980 年代の土地改良事業により埋め立てられて平坦地化されたドリーネが多数存在するため、そのドリーネが局所的な地下水位低下を導いたものと推定された。このように、周波数可変型電気探査法によれば、通常の比抵抗分布では困難であった地下水面抽出が可能になることが実証できた。また、測線を格子状に配置し、各測線でのデータ解析結果を補間することで地下水分布の 3 次元的な形状も推定できることが確認された。



図 3-1-7 南大東島位置図と測線レイアウト(写真内の赤囲みは測定対象地域を示す)

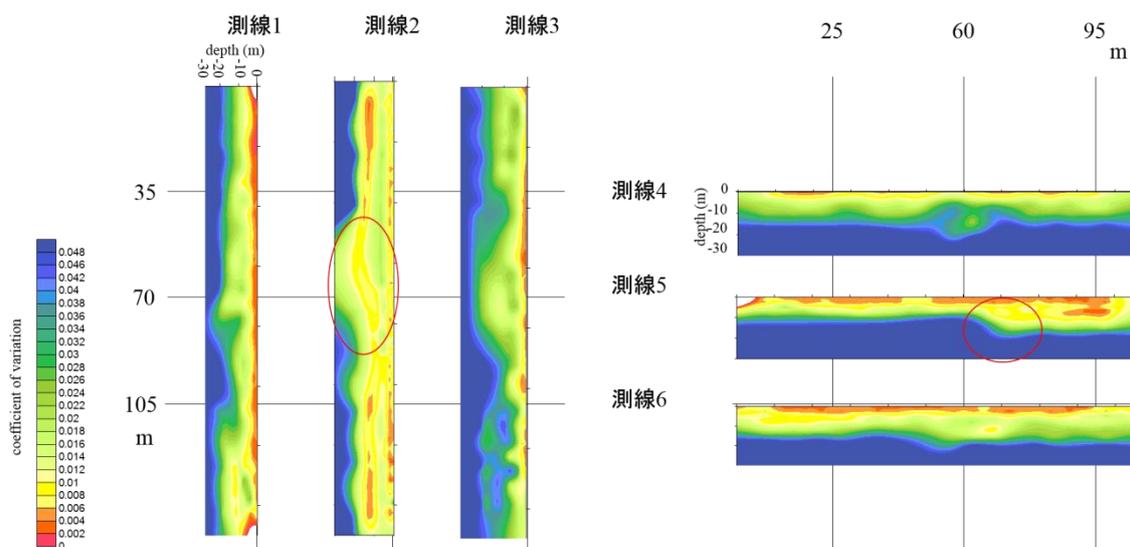


図 3-1-8 各測線における変動係数分布図
(1～40 Hz を対象とし、赤丸は地下水面低下の顕著な位置を表す)

1.3 マルチ同位体法

(1) 研究のねらい

本研究セクションでは、種々の安定同位体比を効果的に組み合わせた新たな環境評価法の発案を目指している。新たな方法論を武器に、これまでになく詳細な地下水硝酸汚染の原因、浄化プロセス、脱窒メカニズムを明らかにする。本研究が達成されれば、地下水硝酸汚染問題解決に資する重要な指針を国内外に向けて提供できると期待できる。地下水環境における各種安定同位体比の応用について、それぞれ単独の同位体比に対しては、前世紀までにある程度整理がついている。一方、今世紀に入り技術的にもコスト的にも、様々な同位体比分析が大量かつ容易にできるようになり、同一試料に対して単一ではなく複数の同位体トレーサーを分析し、これらを現象理解のツールに応用するアプローチが、世界の研究トレンドとなってきた。

しかし、いかに多くの同位体比を測定しようと、それぞれが対象とする問題の現象解明に効果的に利用できなければ、また、異なる安定同位体比を組み合わせる目的や意義が明確でなければ、生み出される解釈も説得性の乏しいものになり兼ねないという問題が発生してきている。本CREST 研究を開始する以前には、この整理がついていなかった。すなわち、各種同位体比を複数組み合わせる現象解明を試みる方法『マルチ同位体法』は、重要性を有するにもかかわらず、一般的な方法論として確立された方法ではなかった。

同位体組成の多様性は、異なる起源物質の混合もしくは微生物分解や相変化に伴う動的同位体効果により生み出される。こうした組成多様性はそれぞれの同位体に対して存在するため、マルチ同位体比を扱う前提として、まず動的同位体効果を被った試料かそうでない試料かを、初めに選択する必要がある。オリジナルの同位体組成が微生物反応により変化してしまっている、起源物質との同位体比較による起源推定が困難だからである。最終的に、いずれの反応も起こっていないと判断した試料について起源推定を行う。逆に、微生物による汚染浄化評価は、それ以外の試料を対象に行う。

本研究では、地下水硝酸汚染の起源と脱窒過程の解明を目的とし、①硝酸の窒素と酸素の同位体比 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$) を用いた、流動場の良く分かっている熊本地域における硝酸性窒素の起源、並びに脱窒分布特性の把握、②室内における脱窒反応進行に伴う $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ 変化から読み取れるマルチ同位体法の妥当性の検証、③野外における $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ を組み合わせた脱窒メカニズムの解明、マルチ同位体法の提案とその応用を試みた。こうした基本フレームを念頭に、マルチ同位体法の有効性と限界を吟味し、汎用性のある方法論を提

案したいというのが本研究の目的であった。

(2) 研究実施方法

マルチ同位体研究の主な実施方法は、①同位体分析機器の立ち上げ、試料処理、分析に関わるラボ内での作業、②分析用試料を得るための野外採水調査、③野外で起こっている現象を実験的に再現・検証するための室内実験の三つにより構成される。

①同位体分析機器の立ち上げ、試料処理、分析に関わるラボ内での作業

研究開始と同時にマルチ同位体法を構成する上記4元素の同位体比 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$) を一台の同位体質量分析装置で分析するためのシステムの確立を行った。国際的に信頼できるクオリティのデータを生産できるようになるまで、分析条件の試行錯誤や操作方法の改良を重ね、およそ一年半の作業を積み重ねた。結果、H23 年度の後半には全ての同位体比に対し大容量ルーチン分析が可能となった(図 3-1-9)。

②分析用試料を得るための野外採水調査

H22-23 年、H25 年にかけて、熊本地下水地域全域にかけて、地下水に加え、比較のための降水、河川水、湧水、火山性熱水、化学肥料、堆肥等の試料を採取した(図 3-1-10)。3 年間で地下水は合計で 300 試料、河川水ならびに湧水は合計で 100 試料程度採水し、成分分析ならびに同位体分析を行なった。また、H24-26 年にかけて、沖縄本島南部石灰岩地下水の採水も行い、同じく成分分析ならびに同位体分析を行なった。

① 野外で起こっている現象を実験的に再現・検証するための室内実験

真空にしたのち N_2 ガスで充填したグローブボックス内(嫌気環境下)で、従属栄養脱窒反応(*Pseudomonas aerofaciens*)ならびに独立栄養脱窒反応(*Thiobacillus denitrificans*)が進む過程で起こる各種同位体比 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$) 変化をトレースするため、時間経過に伴う培養実験溶液を作成した(図 3-1-11)。

(3) 研究成果

研究のねらいの項目で記した①～③の研究内容について、特に重要な成果を以下に説明する。

①Dual isotope ($\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$)法を用いた熊本地域地下水の脱窒分布特性の把握

熊本地下水地域では詳細な土地利用特性、水文地質特徴、地下水ポテンシャルが明らかとされている。流動解析グループによりこれら情報が一体化され、地下水シミュレーション GETFLOWS に基づく地下水流動特性が明らかとされている。このように研究環境が整っている条件下において、H22 年から H23 年の二年間をかけて野外で採取された合計 300 程度の水試料(地下水、湧水、



図 3-1-9 熊本大学水文学研究室設置のマルチ同位体分析システム

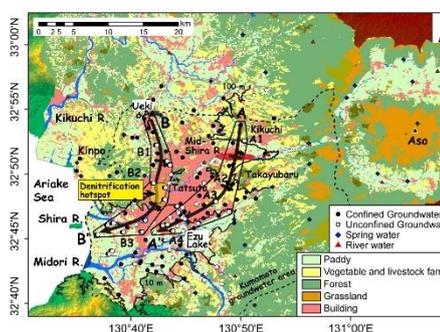


図 3-1-10 熊本地域の概要ならびに地下水採水地点



図 3-1-11 バクテリア培養実験の様子

地表水)についてマルチ同位体分析を行った。今回 CREST プロジェクトを通じたシステム立ち上げにより、これまでの世界の標準的分析試料量と比べて一桁多い試料を扱うことが可能になっている。

H24 年度は特に重要性が高い硝酸同位体比分析結果を中心に、地下水硝酸汚染の起源ならびに自然浄化プロセス(希釈 vs 脱窒)の推定を行った。まず、微生物活動による同位体効果を見逃せる試料を吟味・選択し、それらが持つ同位体組成と考えられる起源物質との組成比較から(図 3-1-12)、本地域で原因となっている硝酸汚染問題の主たる原因は20~30年前に過剰施肥された化学肥料が原因であることが明らかとなった。ある点において採水された地下水の同位体情報は、涵養された土地から様々なルートを通してそこに至った物質の平均的な特徴を見ているに過ぎず、従来研究での試料数スケールでは、信頼性の高い起源推定は困難な場合が多かった。本研究では多量試料を短期間に処理する技術ならびに機器環境を整えることにより、これまでの問題を払拭し、より信頼性の高い起源推定を達成することができた。

続いて微生物による同位体分別が記録された試料について(図 3-1-12)、流動に伴う浄化プロセスを吟味したところ(図 3-1-13)、同じ熊本地域でも流動系によって、希釈で浄化されている流動系(A-A')と脱窒で浄化している流動系(B-B')の二種類が存在することが明らかとなった。先に述べたように、これまでの様な一桁少ない試料量では本結論を導き出すことは難しい。更に、同じ地域内でも流動系によっては汚染浄化プロセスが全く異なる実態が明らかにされ、このことは詳細な流動機構が明らかにされていない地域では見いだせない解である。加えて、微生物活動による浄化は希釈による浄化と比べて遥かに浄化効率が高い事実、熊本地域全域の中でも坪井川流域に最も顕著な脱窒域“脱窒ホットスポット”が存在(図 3-1-13)する事実も明らかになった。以上のように、新システムの導入による多量試料解析により、また、流動特性を踏まえた解析により、これまで見えなかったレベルでの汚染浄化実態が極めてクリアになった。こうした新規性・重要性が国際的に評価され、本研究の内容は最近 Water Research (2013) に掲載された。これは地下水硝酸汚染問題解決に資する重要な結果であり、多くの引用が確認されており、世界のモデルケースに成り得ると期待できる。

②室内実験に基づくマルチ同位体法の検証

Anammox 反応を除き、脱窒には大きく、有機物を炭素源ならびに電子供与体とする従属栄養脱窒(反応式例 1)と無機物の酸化によって微生物の活動エネルギーを得る(炭素源は無機炭酸)

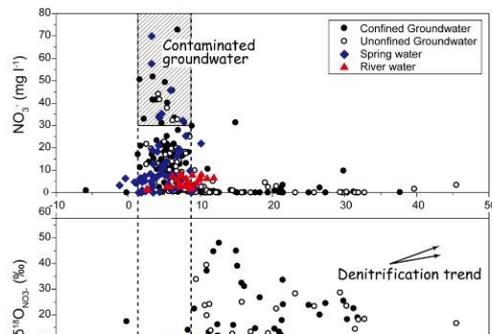


図 3-1-12 硝酸同位体組成比較に基づく熊本地域における硝酸汚染起源推定

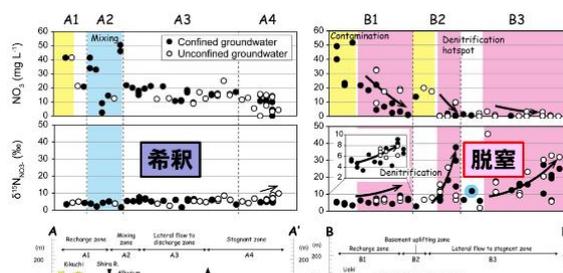
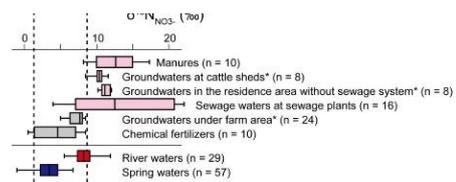


図 3-1-13 異なる流動系(A-A'とB-B')で確認された異なる硝酸汚染浄化機構。地下水流動の矢印はその方向と速度を示している。

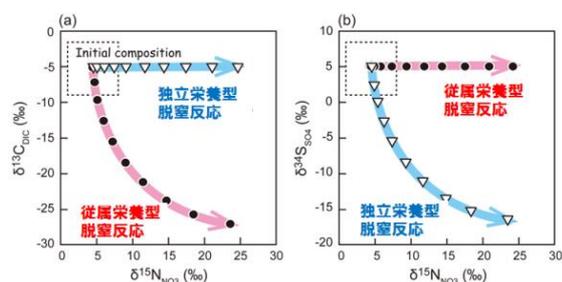
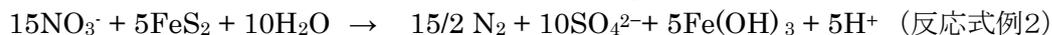
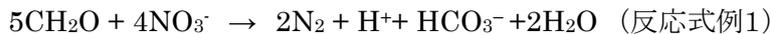


図 3-1-14 反応式例 1 および 2 の進行に応じた同位体進化(仮説)

独立栄養脱窒(反応式例 2)の二種類のメカニズムが存在する。



これまででは地下水中に蓄積・残留する硝酸(反応物)の同位体比を解析することでその起源と脱窒度合を確認してきた。ここではこうした知見に加え、反応物である炭酸と硫酸に注目し、その炭素と硫黄の同位体比に注目することで、微生物同定を行わなくても、同位体比を解析することにより地下水中でいずれの反応系が進んだかを推定することが可能か検討する。先行研究により、上記異なる反応式の進行に応じて図 3-1-14 に示すような同位体進化パターンが予想される。本研究では、このような仮説を実証するため室内実験による検証を行った(図 3-1-15)。その結果、仮説を確認するデータを得ると同時に、これまで確認されていなかった反応式例 2 における炭素同位体分別ならびに硫黄同位体分別が確認され、方法論としての有効性を実証するのみならず学術的新知見を得ることができ、本結果は *Journal of Contaminant Hydrology* (2015) に掲載された。

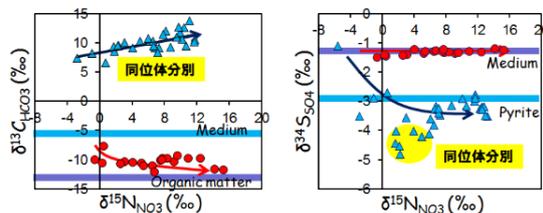


図 3-1-15 反応式例 1 および 2 の進行に応じた同位体進化 (仮説の実証)

③ $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ と $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ を組み合わせた汚染起源の推定ならびに脱窒メカニズムの解明とマルチ同位体法の提案・応用

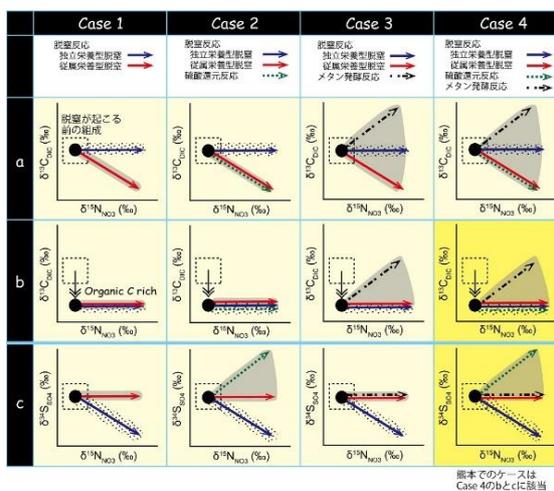


図 3-1-16 異なる脱窒タイプ、還元反応に対応した各種同位体組み合わせ変化モデル

①に説明した熊本地域の主要な地下水流動系である、それぞれ A-A' と B-B' のラインに沿って、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ に加え、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ と $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ の変化特徴を見出すことで、これら同位体比に変化を与える要因を考察した。それによると、A-A' 地下水流動系では $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ に加え、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ と $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ についても流動に伴う目立った変化は確認されず、脱窒菌による活動のみならず、硫酸還元やメタン発酵といった更に高次の還元微生物反応は起こっていないと判断された。一方、B-B' 地下水流動系では脱窒反応の痕跡が認められた領域において、それよりもやや下流側で $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ の上昇が、またそれよりもやや下流側で $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ の上昇が認められ、上記の状況証拠からも、それぞれ硫酸還元反応とメタン発酵反応の存在が指摘される。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ の上昇に伴う $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ の減少が見られる地下水も存在したが、その頻度は非常に局所的であった。こうした同位体的証拠は起こっている脱窒の大部分は従属栄養的脱窒反応であるという考えを支持する。

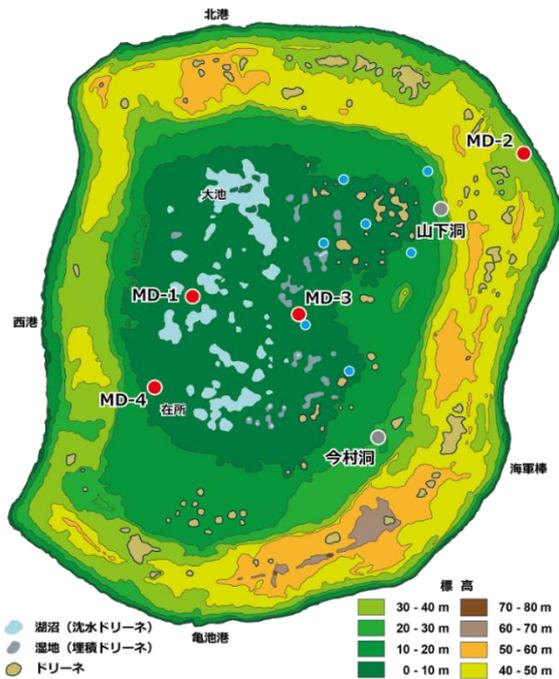
本研究の結果は、対象とする地下水系で起こっている主たる還元反応が脱窒のみである場合には②で検証した方法が脱窒タイプの区別に有効であるが、更なる高次の還元反応が生じた場合には、例えば硫酸還元反応やメタン発酵反応の進行に応じて $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ もしくは $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ が変化することを示している。こうした野外での検証ならびに先に説明した仮説や実験結果に基づき、様々な還元反応組み合わせによって生じる同位体変化傾向のモデル化を行うことができる(図 3-1-16)。これにより、様々な地下水環境に対応したマルチ同位体法が提案され、本結果は *Water Research* (2014) に掲載された。また、沖縄本島南部石灰岩地下水地域においてもマルチ同位体法を用いた応用研究が進んでおり、現在関連投稿論文を執筆中である。

1.4 島嶼地域(南大東島)への適用

(1) 研究のねらい

安定した地表水の確保が難しい島嶼地域では、地下水は重要な水資源として利用されている。島嶼地域における特徴的な地下水の賦存形態に、海水と淡水との密度差によって形成される淡水レンズがあり、島嶼の地下水流動の現状把握と温暖化に伴う海水準上昇がもたらす影響を評価するために、南大東島での地下水調査を行い、淡水レンズの賦存特性を把握する。さらに、島内の鍾乳洞を利用して異なる土地利用・植生に対応した土壌水の降下浸透メカニズムおよび浸透水の水質特性について検討することで地表植生に伴う地下水涵養機構を解明すると共に、3次元地下水流動モデルを用いた島嶼の地下水流動の現状把握を行う。

(2) 研究実施方法



まず南大東島の帯水層を構成する炭酸塩岩の性状を明らかにするために、H25年に新たに地下水観測井4孔(MD-1～MD-4;掘削長50m)を掘削した。これらのうち、MD-2井の南大東島外側の環状台地北東部(標高約35m)に位置し、その他の3坑井は中央低地の北東部または南西部(標高約1～4m)に位置する(図3-1-17)。これらの試錐試料について、コア・薄片観察を行い、岩型区分・堆積相区分を行うと共に、X線回折分析により、方解石とドロマイトの含有比および岩質を決定した。またこれらの試錐試料に加えて、既存坑井の試錐試料と地表試料を用いて、ストロンチウム同位体比に基づき、堆積年代ならびにドロマイト化年代を決定した。

また南大東島には、全島にわたりカルスト地形が発達し、多数の鍾乳洞が存在する。地表河川の存在しない南大東島では、降水はすべて地表からの浸透により帯水層へと涵養される。

図 3-1-17 沖縄県南大東図島の地形と新規地下水観測井・検討鍾乳洞の位置

そこで、地表と地下水面の間に位置する鍾乳洞を利用して、異なる地表植生下での地下水涵養システムとその水質について検討を実施した。検討を実施した鍾乳洞は、甘蔗園下に位置する今村洞と甘蔗園下から亜熱帯森林下に伸びる山下洞であり、H25年夏に降水量と地下浸透量との関係を明らかにするために、今村洞で2地点(RT-3/6地点)、山下洞で4地点(RT-1/2/4/5地点)に、自記温度計付雨量計を設置した(現在、計測継続中)。また地下浸透水の水質を明らかにするために、3ヶ月ごとに鍾乳洞内の滴下水を採取し、水温、pH、電気伝導度、水素・酸素安定同位体比(δD_{SMOW} ・ $\delta^{18}O_{SMOW}$)、各イオン濃度(Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)について検討を実施してきた。またあわせて両洞内と洞上土壌の二酸化炭素濃度環境測定を行った。

帯水層の地下水調査は、H24年9月、12月、H25年2月、7月、H26年2月、7月、12月の計7回の現地調査を行った。調査項目は地下水位、電気伝導度であり、計15ヶ所の観測井を対象に測定を行った。地下水位は地下水位ロガー(Onset Computer社のHOBO-U20精度 $\pm 0.3cm$)を観測井の孔内に設置し、1時間間隔で地下水位を記録した。なお、気圧用のロガーを別途設置し、各観測井の地下水位の気圧補正を行った。電気伝導度は電気伝導度計(Solinst社のTLC meter、精度 $\pm 0.5\%$)を用いて各観測井の地下水面から井底まで1m

間隔で攪乱しないように測定し、25°C換算した値を用いた。また淡水は従来の研究から電気伝導度 2000 μ S/cm (塩分濃度 1%) 以下とした。さらに、観測井分布が不均一のため、H26年7月3日から10日の計8日間、観測井のない地域で断面2次元比抵抗解析を行えるような探査測線を設定し、比抵抗法電気探査を実施した。比抵抗探査観測機器として、高密度電気探査システム「NEXT-400RS」((株)興和製)を用いた。

現地調査や観測井の継続観測と、ボーリングデータ等から構築された地質モデルや潮位に対する地下水位変動特性から推定された透水係数分布を用いて、3次元地下水流動モデルによる解析を行った。

(3) 研究成果

① 南大東島大東層サンゴ礁複合体の形成史と貯留層(孔隙率・浸透率)特性

南大東島の大東層は炭酸塩岩(ドロマイト・石灰岩)からなり、構成生物種と岩型を基に、礁湖相、礁背後相、礁相、ならびに礁前縁相の4つの堆積相に区別される。礁湖相は中央低地の地下に広く分布し、礁背後相は、環状台地内側の地表・地下に分布する。一方、礁相は環状台地外側の地表・地下に分布し、中央低地の地下7~25m(海面下2~18m)には、層厚最大18mで側方に連続して分布する。礁前縁相は、環状台地外側の一部に分布する。この堆積相分布とSr同位体比から求められた堆積年代から、大東層は、ユニットI(堆積年代:約9.5~6.5Ma)、ユニットII(堆積年代:約6.5~6Ma)、ならびにユニットIII(堆積年代:約6~2.5Ma)の3つのサンゴ礁複合体からなることが明らかになった(図3-1-18)。ユニットIは、現在の地形と調和的なすり鉢状の分布形態を示し、堆積相分布から礁の形態は環礁であったと推定される。ユニットIIは、下位のユニットIの凹部を埋積するように、中央低地の地下(海面下2~17m)にのみ分布し、大部分が礁相(一部、礁湖相)からなることから、卓礁であったと推定される。最上位のユニットIIIは、ユニットIに同様の礁複合体の形態と堆積相分布を示すことから、環礁として発達したと考えられる。

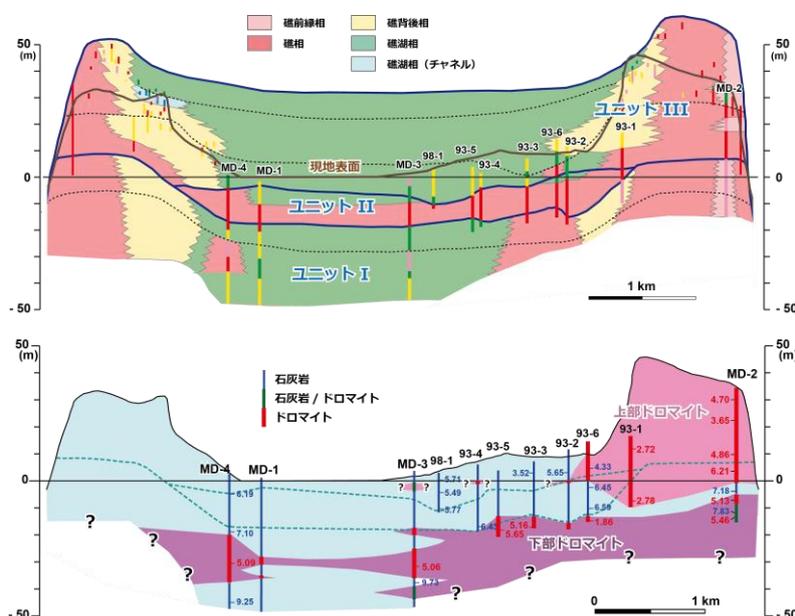


図 3-1-18 上:大東層の堆積相分布とユニット区分, 下:大東層のドロマイトの分布とドロマイト化作用の年代.

ドロマイト化された層準は、大きく2層準が確認され、下部ドロマイトは環状台地側で厚く(最大18m)、中央で薄層化(最少2m)する。下部ドロマイトの大部分はユニットIに分布するが、そのドロマイト化年代は約6~4.5Maであり、ユニットIIIの堆積期にドロマイト化されたと考えられる。一

方、上部ドロマイトは、地表に分布するドロマイトと連続し、島の西部を除いた環状台地の地表・地下に厚く分布する(最大層厚 35m)。上部ドロマイトは、すべてのユニットで確認され、複数の形成年代(約 7~2Ma)を示すことから、複数回のドロマイト化作用によって形成されたと推定される。

帯水層の貯留性状を規定する大東層の孔隙タイプは、粒子の溶脱による孔隙(タイプ 1)、サンゴ骨格の溶脱による孔隙(タイプ 2)、ならびにバグ孔隙(タイプ 3)に大別される。孔隙率が同程度の岩石では、孔隙の連結性が良いタイプ 3 の岩石で浸透率が非常に高く、対照的に孤立したモールド孔隙を主体とするタイプ 1 の浸透率は相対的に低い。また、同じ孔隙タイプの岩石においては、岩相に関わらずセメント作用が顕著な岩石で孔隙率が相対的に低くなる傾向が認められ、セメント作用は環状台地の外側で卓越する。このため、特にドロマイト化作用が卓越する北東~南東の環状台地の外側で、孔隙率・浸透率が低くなる傾向が認められる一方、地表で石灰岩が卓越する中央低地と環状台地西側では、相対的に孔隙率・浸透率がよくなる傾向が認められる。

② 異なる植生下における降水の地下浸透メカニズムの検討

雨量計による降水イベントに対する地下浸透量(滴下水量)測定では、設置したすべての場所で、個々の降水イベントに対して異なる変動を示し、大きく 1) 大きな季節変動、2) 降水イベントに対するタイムラグを伴った地下浸透量の増加、ならびに 3) 極端な降水に対するバイパス効果、の 3 つのパターンが認められた。甘蔗園下では、主に 2) の変化が観察され、地点によりタイムラグに違いがみられる。これらの涵養メカニズムは、主にピストン流と考えられ、土壤層の特性と厚さ、そしてその湿潤状態に起因するものと考えられる。特に、山下洞の甘蔗園下(計測期間中は裸地)に位置する RT-2 地点では、降水イベントの間隔によって滴下水量に増加が認められない場合があり(図 3-1-19)、これは 1ヶ月以上、降水がないと土壤の乾燥化が進み、日降水量 50mm 以上であっても、土壤が飽和に達せず、地下に降水が浸透しないことを意味する。一方、森林植生下の観測点では、主に 1) と 3) の変化が観察され、明らかに甘蔗園下とは異なる変化を示す。これは森林植生では、腐葉土層における保水や樹木による蒸発散量が甘蔗園とは異なることと、ならびに埋没ドリーネやフラクチャの発達など、局所的な地形・地質条件が異なることによるものと推測される。これら観測鍾乳洞近傍の地下水観測井における地下水位変化の大きなトレンドは、甘蔗園下での地下浸透量の変化(特に RT-2 地点)と概ね一致していることから、今後は、甘蔗園における土壤性質の把握と土壤湿潤状態の推定法の開発を進めることが地下水利用の観点では重要であろう。

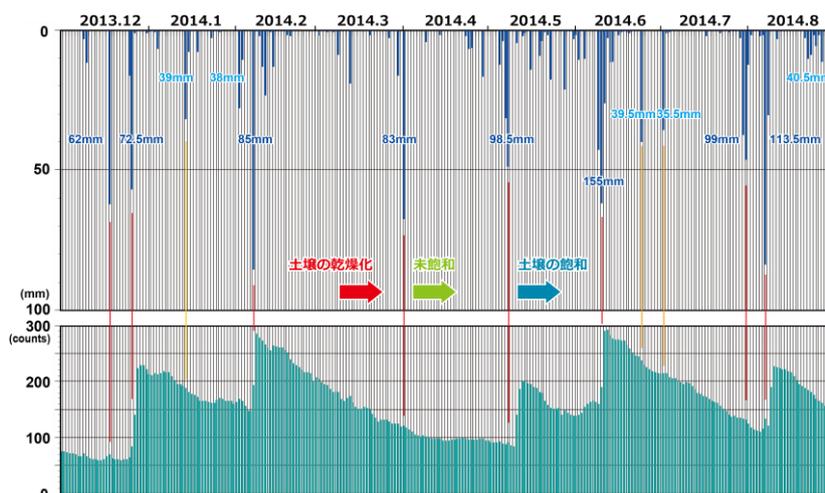


図 3-1-19 山下洞 RT-2 地点の地下水浸透量(滴下水量)と日降水量の関係。

③ 鍾乳洞を活用した地下浸透水の水質とその規制要因に関する検討

まず洞内環境は、両洞とも洞奥に位置する観測点の気温は、年較差 0.86~1.73°C と小さく、最高気温 23.67~23.77°C とほぼ同じ値を示す。一方、山下洞の洞口に近い 2 地点は、年較差が

2.40~3.13°C あり、最高気温は洞奥とほぼ同じ値を示すのに対し、冬季(2月)には最低気温が20°Cを下回る。これは洞口付近では相対的に換気がよく、冬季には冷たく重い空気が洞内に流入することによるものと考えられる。洞内の二酸化炭素濃度は、森林植生下の山下洞洞奥では年間平均7,000~8,000ppmで、秋季(11月)には約19,500ppmに達するのに対し、甘蔗園下の観測点では年間平均で2,000ppm台であり、夏季(8月)に6,800~8,400ppmとなる。気温変化で同様の傾向を示す観測点であっても、二酸化炭素濃度とその季節変化のパターンには違いが認められ、これは観測点直上の植生の違いによる有機物量とその分解、ならびに涵養システムの違いに起因すると推定される。

次に鍾乳洞内の滴下水の水質は、pHは、森林植生下で6.7~8.7、甘蔗園下で6.5~8.7であり、両植生下において大きな差はなく、いずれの地点においても夏季に低い値を示す。電気伝導度は、甘蔗園下では430~1,180 μ S/cmであるのに対し、森林植生下では820~1,790 μ S/cmであり、相対的に高い値を示す。また $\delta D_{SMOW} \cdot \delta^{18}O_{SMOW}$ 値は、山下洞では $\delta D = -35.1 \sim -27.4\%$ 、 $\delta^{18}O = -5.83 \sim -4.93\%$ 、今村洞では $\delta D = -35.3 \sim -19.6\%$ 、 $\delta^{18}O = -5.88 \sim -3.74\%$ であり、山下洞の森林植生下と今村洞では、 $\delta D \cdot \delta^{18}O$ 値とも冬季に重くなる傾向がある。

滴下水中の各イオン濃度では、基盤岩由来と考えられる Mg^{2+} 濃度は1.5~3.2mMの範囲であり、各地点における季節変動は1.0mM以下であり、一年を通じてほぼ一定である。一方、 Ca^{2+} 濃度は0.9~4.1mMの範囲にあり、各地点における季節変動幅は Mg^{2+} 濃度と比較して大きく、夏季~秋季にかけて高い傾向を示す。今村洞甘蔗園下の滴下水では、 Ca^{2+} 濃度は直上の土壌二酸化炭素濃度とほぼ同じ季節変動を示す。これは、二酸化炭素濃度の高い土壌に降水が浸透することにより、地下浸透水中の溶存二酸化炭素量が多くなり、その結果、基盤岩からの $CaCO_3$ の溶解がより多くなるためと推定される。

一方、海塩由来と考えられる Na^+ 濃度は、森林植生下で3.3~9.5mM、甘蔗園下で1.7~2.5mMであり、甘蔗園下で低い値を示す。同様に Cl^- 濃度は、森林植生下で4.6~15.4mM、甘蔗園下で1.6~3.4mMであり、森林植生下で甘蔗園下の4倍程度の高い値を示す。このことは、森林植生では天然林が防風林の役割を果たし、風に含まれる海塩が捕捉され、降雨に伴い樹幹流として地下に浸透することと、今回対象とした甘蔗園が中央低地に位置することによって考えられ、滴下水の電気伝導度の結果とも調和的である。さらに人為起源と考えられる NO_3^- 濃度は、甘蔗園下で0.4~2.4mM、森林植生下で0.1mM未満であり、甘蔗園下でより高い値を示し、これは甘蔗園への施肥に起因するものと推定される。

④地下水位の長期変動観測とこれに基づく3次元シミュレーションの検討

地下水調査の結果、南大東島の地下水位は潮汐の影響を受け、2~3時間遅れ、振幅を約40%以下に縮小する周期的な変動を示した。月起源である M_2 分潮を用いて潮汐変化に対する地下水位の時間遅れの平面等値線を作成した(図3-1-20)。全体的に時間遅れは南側、北西と北東

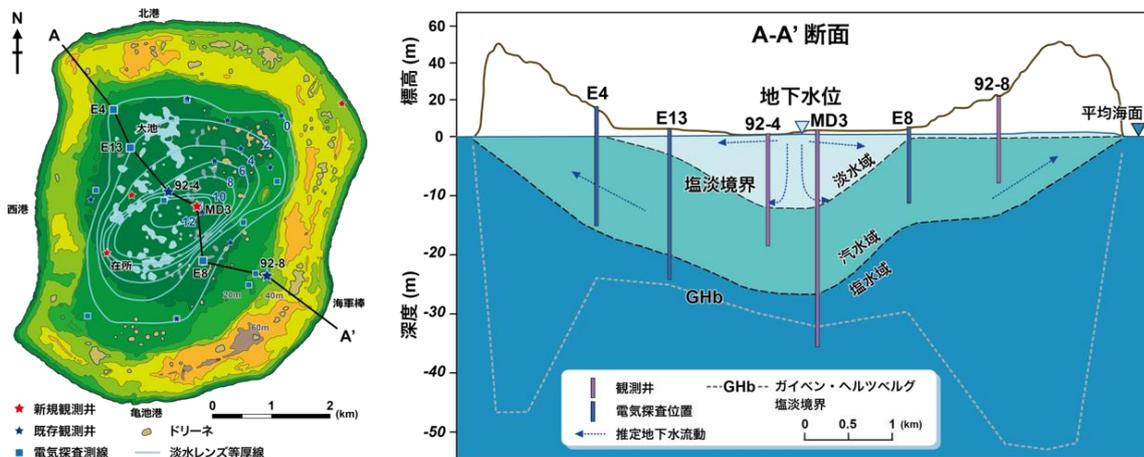


図 3-1-20 潮汐に対する地下水位の時間遅れと淡水レンズ等厚線の平面分布(左)および、A-A'断面における淡水レンズ断面形状

側で他の方向に比べて小さいことが認められる。一般的に潮位伝播は比較的透水性の良い帯水層中を早く伝わるとされており(Schneider and Kruse, 2003)、プレートの琉球海溝への沈み込みに伴い、島全域が隆起しており、東西性の展張場にあるものと考えられているため、南北方向のフラックチャの発達著しく、そのため南北方向に位置する観測井において、振幅比が大きく、時間遅れが小さいと思われる。観測井地下水測定と電気探査の結果から、塩淡境界面分布は島中央が最も深く、島の構造線方向である北東～南西方向に厚く分布し、周辺部に向かって浅くなる分布を呈しており、島中央低地部に最も厚いレンズ状の淡水域が存在することが確認された。大東石灰岩の平均孔隙率を 11.5%と仮定した場合、淡水レンズ地下水の賦存量は約 566 万 m^3 となり、島の水収支を基に算定した淡水地下水の滞留時間は約 110 日となった。南大東島における淡水地下水の短い滞留時間は、降水量などに影響を受けやすい脆弱な水資源であることが示唆された。

潮汐に対する地下水位の時間遅れや淡水レンズの形状の空間的な不均一の観測結果の原因として、炭酸塩岩帯水層の異方性、不均質性、フラックチャの発達等の複雑な水理特性が反映されたことが示唆される。そのため、本地域の地形や観測結果を基に、島を 9 つの領域に区分し、逆解析手法を用いて各領域における透水係数を同定し、3次元シミュレーションによって地下水位の再現を行った。その結果、計算地下水位は観測地下水位の振幅や位相を再現し、なお、島の南側、北西と北東側で相対的に高い透水係数が得られた。その後、塩淡密度流 3次元モデル解析を行い、観測地下水位の絶対値の再現を試みた。その結果、計算地下水位は観測地下水位を再現し、推定した透水係数は $10^0 \sim$

10^{-1}cm/sec のオーダーであり、揚水試験や解析解を用いた水頭拡散式から求めた透水係数とほぼ同様な値が得られた(図 3-1-21)。この透水係数分布の同定方法は、炭酸塩岩帯水層を地層とする島嶼地域において、その水理特性を推定する方法として有効な手法であると考えられる。

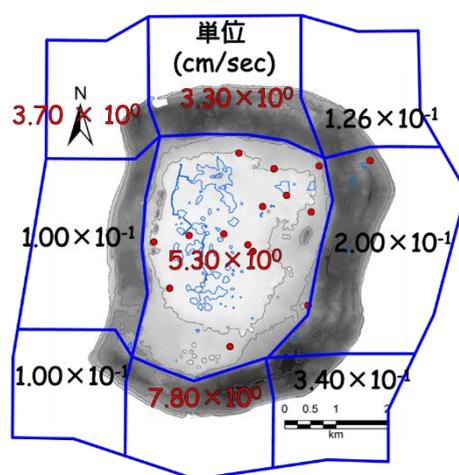


図 3-1-21 塩淡密度流 3次元解析から推定された各領域における透水係数分布

2. 水質浄化・負荷軽減技術の開発 (水質浄化グループ) 【研究項目 2】

水環境への過剰な窒素負荷に起因する閉鎖性水域での富栄養化問題、ならびに本 CREST 研究の主課題の一つである硝酸性窒素による地下水汚染は、未だ解決すべき世界的な水環境問題の一つである。また、地下水の水質汚染に関しては、ヒ素およびヒ素化合物が特にアジアを中心として深刻な問題となっている。そこで本研究グループでは、地下水の水質浄化と負荷軽減技術の開発を主目的として大きく 3 つのテーマに取り組んだ。窒素汚染に関しては、排出源対策としての嫌気性アンモニウム酸化 (Anammox) 反応を利用する窒素処理技術の実用化研究、環境修復対策としての硝酸性窒素-原位置低減手法に関する研究、飲用水 (浄水) 処理としての硝酸性窒素選択性イオン交換繊維による除去手法の開発研究、および環境修復対策としての硝酸性窒素-原位置低減手法に関する基礎研究として、土壌/地下水環境中の微生物学的窒素代謝系の解明に関する研究を実施した。また、地下水からのヒ素除去については、主に開発途上国での展開を目指した簡易ヒ素除去技術の開発研究を行った。以下、上記の 3 テーマについて各々報告する。

2.1 Anammox 法による窒素処理技術の開発

(1) 研究のねらい

水環境への過剰な窒素負荷に起因する閉鎖性水域での富栄養化問題、ならびに本 CREST 研究の主課題の一つである硝酸性窒素による地下水汚染は、未だ解決すべき世界的な水環境問題

の一つである。この対策にあたっては、排出源での削減が最も効果的な方法の一つであり、高濃度の窒素を含む排水を排出する事業所などの点汚染源では、高速で高効率な窒素除去技術の開発、実用化が継続的課題である。嫌気性アンモニウム酸化 (Anaerobic Ammonium Oxidation; 以下 Anammox と称する) は、1997 年に発見された化学合成独立栄養細菌である Anammox 細菌によって触媒される。Anammox 細菌は、嫌気性条件下でアンモニウムイオンを亜硝酸イオンで酸化してエネルギーを獲得可能なことから、本細菌を利用することで、従来技術である硝化・脱窒法のウィークポイントである有機・還元態窒素の酸化に要する酸化(曝気)動力の大幅な削減と酸化態窒素から窒素ガスへの変換(還元)に必要な有機炭素源の補填を回避できることから、将来有望な窒素除去法の一つとしてその実用化が期待されている。そこで、本研究テーマにおいては、Anammox 法による窒素除去技術の実用化に関する研究を実施するとともに、Anammox のさらなるアプリケーション拡大を目的に、海洋性 Anammox 細菌の培養系確立とその実用化に関する基礎研究を行った。

(2) 研究実施方法

Anammox 法を窒素除去に適用するにあたって、対象とする窒素化合物がアンモニウムの場合には、その半量を亜硝酸に酸化する部分亜硝酸化が必要となる。この部分亜硝酸化を単独の槽で行い、その処理水を anammox リアクタにかける二槽型リアクタが基本となるが、二つの槽を最適に制御しなければならない。実用化という面では、リアクタの維持管理が容易でなければならないことから、我々が新規に開発した部分亜硝酸化処理とアナモックス処理を一つの槽で行う Single Stage Nitrogen Removal Using Anammox and Partial Nitrification (SNAP) 法の適用を考えた。これまでに行ったベンチスケールの試験装置では、 $2.0\text{kg-N/m}^3/\text{d}$ という高い窒素除去速度が得られること、BOD や SS を 100mg/L 程度含有する都市下水処理場で発生する嫌気性消化槽からの脱離液(返流水)の処理にも適用できることを明らかにした。そこで本研究では、SNAP 処理の実用化を念頭にスケールアップを試みた。80L にスケールアップした SNAP リアクタを建造し(図 3-2-1)、その立ち上げ方法、運転に及ぼす影響因子について検討した。カラム型リアクタに網目状のアクリル性微生物付着固定化担体を同心円状の 2 重に充填した。アナモックス汚泥と硝化活性汚泥を種汚泥として、合成無機排水を使って SNAP リアクタを立ち上げた。運転条件は、温度 30°C 、 $\text{pH}7.5\text{-}7.8$ に制御した。

海洋性 Anammox 細菌の培養系については、海面埋立型処分場の底泥を植種源として窒素負荷 $0.16\text{kg/m}^3/\text{d}$ で除去率 90%を実現する連続反応槽をベースとして、窒素除去能の向上と処理特性、および Anammox 培養系の特性の解明を目的に研究を行った。反応槽の形態は、不織布を微生物保持担体とする固定床を採用、Anammox 反応で期待される窒素反応比に即したアンモニウム塩(イオン)および亜硝酸塩(イオン)を流入し、段階的に窒素負荷を上げながら連続培養を継続した。流入水(培地)には、実海水、人工合成海水、および市販人工海水(海産魚介類用)を用い、比較検討した。また、温度、塩分濃度による窒素除去能および Anammox 細菌培養系に与える影響を明らかにした。さらに海洋性 Anammox 細菌培養系の細菌群構造および生育(培養)環境による影響については、PCR-DGGE および DNA 配列解析により行った。

(3) 研究成果

アナモックス汚泥と硝化活性汚泥を種汚泥として、SNAP リアクタを 3 ヶ月で窒素容積負荷 $1.0\text{kg-N/m}^3/\text{d}$ まで立ち上げることに成功した。SNAP リアクタは $\text{pH}6.12\text{-}8.6$ 、 $3\text{-}5\text{mg/L}$ の DO 濃度域で安定して運転することができた(図 3-2-2)。リアクタ pH が 6.1 以下や低温域では処理能力が低下したが、正常域に戻すことで処理能力は回復した。しかし、pH 域が 8.6-8.9 に高まった場合にリアクタ内の亜硝酸性窒素濃度が高まりアナモックス細菌やアンモニア酸化細菌が阻害を受けその処理能力の回復に時間を要することが明らかになった。

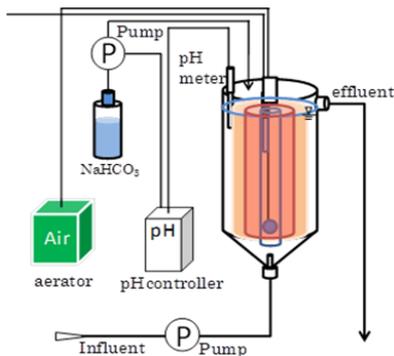


図 3-2-1 80Lリアクタの模式図

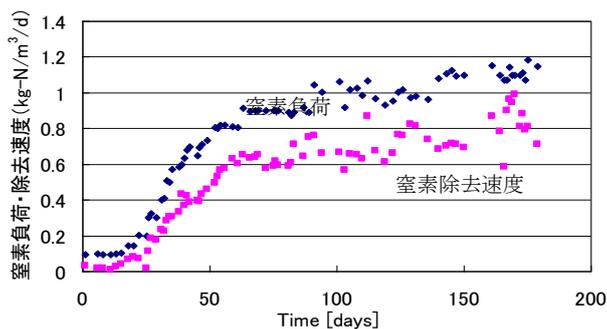


図 3-2-2 80Lリアクタの立ち上げ

海洋性 Anammox 細菌培養系の確立に関しては、その生息とポピュレーションの大きさが期待できる 3 種類の植種源(海面埋立型処分場底泥、海水利用式活性汚泥処理施設汚泥、有明海沿岸干潟泥)を用い、約 2 年間にわたる連続培養を行った。その結果、海面埋立型処分場底泥を植種源とする連続反応槽にて、Anammox 反応特有の窒素代謝比が認められるとともに、培養物が鉄錯体を含む窒素代謝酵素を有する Anammox 細菌特有の濃赤色に変化したことから、Anammox 反応が推定され、細菌叢解析の結果より Anammox 細菌の存在が確認された。遺伝子解析の結果、本反応槽においては、海洋性 Anammox 細菌のグループである *Candidatus* “Scalindua”の近縁種 3 種類の存在が認められた。窒素負荷 0.1kg/m³/d 以上での培養系の確立としての以上の成果は、世界に先駆けたものである(論文発表としては世界で 2 番目)。海洋性 Anammox 細菌の温度特性は陸性(淡水性)Anammox 細菌とは異なり、25℃付近で最も良好な生育・増殖を示すことが明らかとなった。また、塩分耐性については、約 5%の塩分濃度においても連続培養時での窒素除去能の低下はみられず、淡水性 Anammox 細菌よりも高い塩分耐性を有することが確認された。一方、増殖速度については、淡水性細菌の倍加時間が 11 日程度と報告されているのに対して、15~18 日程度であることが明らかとなった。

2. 2 簡易水質浄化技術の開発実用化の検討

(1) 研究のねらい

イオン交換樹脂、キレート樹脂、配位子交換型樹脂は、重金属イオンや有害陰イオンなどを含む水の浄化に使用されている。これらの樹脂は、吸着された有害成分を脱着して再生することにより反復使用が可能であり、希薄有害イオン成分で汚染された大量の水の浄化に適している。これらの粒状樹脂を利用する際の最大の問題点は、吸着速度が遅いことである。それに対し、繊維状のイオン吸着剤は、粒状のイオン吸着剤と比較して吸着速度が迅速であり、また、カラムに充填する場合のカラム圧損が小さいという利点を有しており、カラムへの通液操作に要するエネルギー面の経済性にも優れている。そこで、種々の繊維状イオン吸着剤を合成し、その硝酸イオン吸着特性を評価するとともに、硝酸イオンで汚染された地下水など飲用に適さない水を安全・安心な水として利用するための技術開発への応用を試みた。

一方、東南アジアを中心に地下水のヒ素汚染が深刻化している。水に溶解しているヒ素の除去法には、共沈法、吸着法、イオン交換法、逆浸透法などがあるが、東南アジアなどの発展途上国の農村部では、処理設備は小規模かつ管理が容易であると同時に安価であることが求められている。これらのことから、ヒ素の処理に関しては吸着法に着目した。水溶液中のヒ素は、酸化鉄に特異吸着することが知られており、酸化鉄は入手しやすいため、本研究では各種酸化鉄を用いた水中のヒ素の除去について検討を加え、カラム法による簡易ヒ素除去技術の開発を行った。

(2) 研究実施方法

通常第 4 アンモニウムイオン型強塩基性陰イオン交換樹脂では、硫酸イオンが共存すると硝酸イオンはほとんど吸着されない。しかし、第 4 アンモニウムイオンのアルキル基(以下 R)の炭素数を増やすと水和の強い硫酸イオンの硝酸イオン吸着への妨害の程度が減少することが報告され

ている。そこで、R の炭素数の異なる第 4 アンモニウムイオンを有する種々の強塩基性イオン交換繊維を合成し、硝酸イオンの選択的吸着特性をカラム法で評価した。繊維は、ポリエチレン被覆ポリプロピレン繊維 (PPPE) に電子線照射後クロロメチルスチレン (CMS) をグラフトして得られた繊維 PPPE-*g*-CMS をトリアルキルアミンのエタノール溶液と 80°C で 5 h 反応させて合成した。これらの繊維を内径 1 cm のカラムに充填し (繊維体積は 1.86 mL)、硝酸イオンの吸着実験を行った。硝酸イオンの選択的吸着性能の優れた繊維について、さらに、繊維充填体積 1,000 mL のカラム (内径 10 cm) を作製し、熊本市内のある上水道水源用の井戸から採取された地下水を対象として現地実証試験を行った。

ヒ素の処理に関しては、FeO、Fe₂O₃、Fe₃O₄ の 3 種類の酸化鉄と水酸化鉄 (FeO(OH)) 粉末のヒ素吸着能をバッチ式の実験で確かめた。その結果、酸化鉄および水酸化鉄の粉末は高い As 除去能を持つことが分かったが、カラムを用いる簡易除去法ではフィルターが目詰まりして吸着剤として使用できない。そこで、酸化鉄を電気炉にて 1,100 °C で 1.5 時間保持して得られた焼結体およびリン酸鉄を水酸化ナトリウム水溶液で処理してリンを抜くという湿式法によって作成した多孔質酸化鉄についてカラムを用いたヒ素の吸着実験を行った。カラムにはアリン氏管型ガラス濾過器を用い、上記の方法で作成した酸化鉄焼結体および多孔質酸化鉄を粉砕し、ふるい分けによって粒径を 0.5~1.0 mm と 1.0~2.0 mm に分けたものをカラムに充填して使用した。このカラム法による吸着実験では、それぞれの吸着剤をカラムに 10 g 入れ、カラムの上から As 濃度 1ppm の溶液を 100 ml 流し、下から流れ出た溶液中の As 濃度を測定して As 除去率を求めた。なお、アリン氏管型ガラス濾過器は、フィルターの孔径が異なる 4 種類のものを用いて As 溶液の通液速度を変化させた。また、カラムに入れる吸着剤の量を 10、15、20、25 g と変えた実験も同様の手順で行った。

(3) 研究成果

熊本地域の代表的な地下水中の硝酸イオン濃度を想定して、硝酸イオン 0.50 mmol/L (= 7.0 mg NO₃-N/L) と硫酸イオン 0.25 mmol/L を含む試料溶液を調製して通液した。図 3-2-3 には、FTPA (第4アンモニウムイオンのアルキル基 R の炭素数 3)、FTAA (同 5)、FTOA (同 8) についての硝酸イオンおよび硫酸イオンの破過曲線を示す。FTPA では両イオンの破過曲線が重なっており、硝酸イオンの選択性が全く見られなかった。FTAA ではまず硫酸イオンが漏出し、続いて硝酸イオンが漏出している。また、硫酸イオンの縦軸 (C/C₀) は 1 を超過して極大濃度を経て 1 に収束している。これは、通液初期の段階で吸着された硝酸イオンが硫酸イオンにより置換溶離されたこ

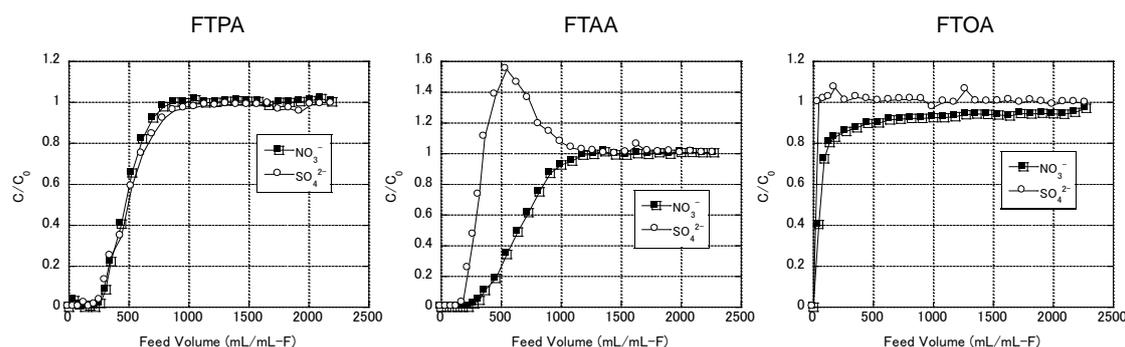


図 3-2-3 硝酸イオンおよび硫酸イオンの破過曲線

とを意味している。FTOA では両イオンともに通液開始後すぐに破過が見られており、繊維への吸着量が極めて少ない。R の炭素原子数が多くなるとイオン交換基近傍の疎水性は増加する一方で、アルキル鎖が長くなることによる立体障害でイオンの吸着が妨害されていると考えられる。以上の結果から、硝酸イオン吸着の選択性および吸着量の点で、検討した繊維の中では FTAA が最も優れた性能を示すことが確認された。

さらに、FTAA 繊維の充填体積 1,000 mL のカラムを作製し、熊本市内のある水道水源用の井戸にカラムを持ち込み、揚水井から採取された地下水を対象として連続 6 時間、700L に及ぶ通水による現地実証試験を行った。図 3-2-4 はその時の硝酸イオン及び硫酸イオンの破過曲線である。地下水原水のイオン濃度は、硝酸イオン 0.51 mmol/L、塩化物イオン 0.44 mmol/L、硫酸イオン 0.20 mmol/L であった。硝酸イオンの 5% 破過点は 218 BV (mL/mL-F)、5%破過容量は 0.556 mmol/g-F であった。カラムのスケールを大きくすることで硝酸イオンの 5%破過点は小さくなったものの、室内実験時の図 3-2-3 と同様の挙動を示している。FTAA の充填体積を 1.86 mL から 1,000 mL まで約 540 倍大きくした場合でも、硝酸イオンへの選択性が高い性能を維持できていると言える。これらの結果は、FTAA 繊維を用いて地下水中硝酸イオンの高速除去への応用が可能となることを示唆している。

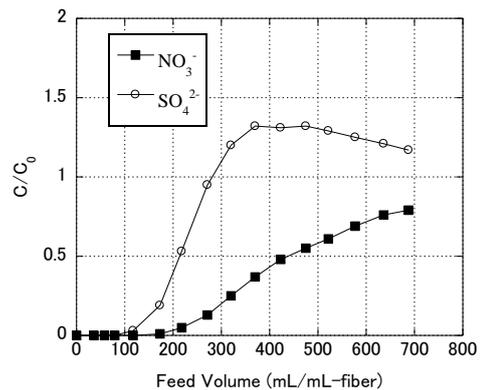


図 3-2-4 現地実証試験における硝酸イオンと硫酸イオンの破過曲線

図 3-2-5 に、粒径が 0.5~1.0 mm の Fe_3O_4 焼結体を吸着剤として用いたときのヒ素除去率と総通液時間の関係を示す。なお、図中の破線は、本研究での目標としたバングラディッシュの飲料水基準 (As 濃度 = 50 $\mu\text{g/L}$ 以下) である。通液速度がきわめて遅いカラムを用いた場合は一回の通液で As 除去率は 95% 以上になったが、通液速度が早いカラムを用いても、総通液時間が約 400 秒に達すると、溶液中のヒ素は 95% 以上除去され、目標を達成できた。図 3-2-6 には、同じ吸着剤をカラムに充填する量を変えたときの総通液時間とヒ素除去率の関係を示した。吸着剤のカラムへの充填量を増やすと水溶液中のヒ素は短時間で除去でき、充填量 = 20 g 以上でヒ素の除去率は 99% 以上になり、WHO および我が国の環境基準 (As 濃度 = 10 $\mu\text{g/L}$ 以下) をも満たすことができた。

図 3-2-7 に、リン酸鉄を水酸化ナトリウム水溶液で処理して作成した多孔質酸化鉄と同じ粒度の Fe_3O_4 焼結体を用いたときのヒ素除去率の違いを示す。なお、このときの通液速度は 0.382 mL/L である。図から明らかのように、今回作成した多孔質酸化鉄は Fe_3O_4 焼結体よりもヒ素吸着能が高く、より少ない繰り返し回数で水溶液中のヒ素を目標濃度まで下げることができた。最後に、これまでに検討を加えてきた酸化鉄 (FeO 、 Fe_2O_3)、 Fe_3O_4 焼結体および多孔質酸化鉄のヒ素吸着能を吸着等温線により比較した。その結果を図 3-2-8 に示す。この図から、今回作成した多孔質酸化鉄は、その他の酸化鉄よりもヒ素吸着能が高く、優れたヒ素の吸着剤であることが分かる。なお、ヒ素を吸着した多孔質酸化鉄からは水酸化ナトリウム水溶液で洗浄することによりヒ素が溶離 (脱離) でき、水溶液中のヒ素の吸着剤として何回も繰り返して使用できることも確認された。

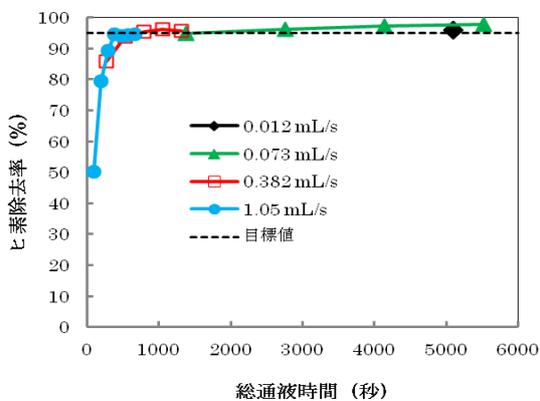


図 3-2-5 Fe_3O_4 焼結体を用いたときの通液時間とヒ素除去率の関係

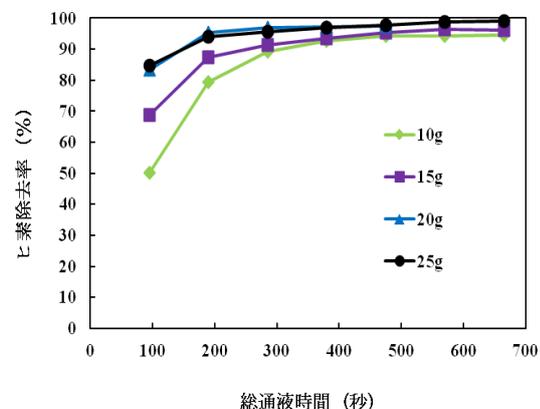


図 3-2-6 Fe_3O_4 焼結体のカラムへの充填量を変えたときのヒ素除去率の変化

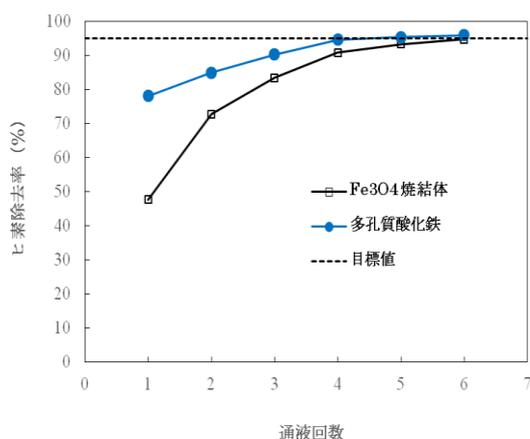


図 3-2-7 Fe₃O₄焼結体と多孔質酸化鉄を用いたときの通液回数とヒ素除去率の違い

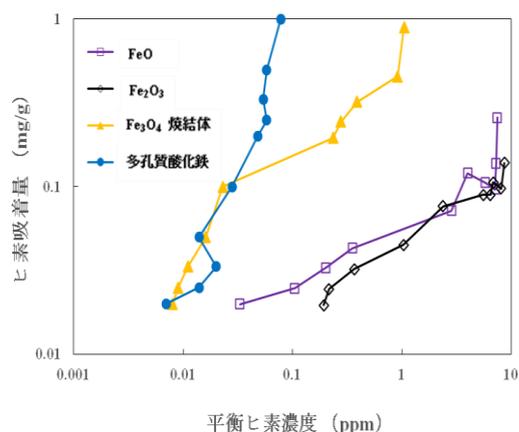


図 3-2-8 各種酸化鉄の吸着等温線

2.3 土壌/地下水環境中の微生物学的窒素代謝系の解明

(1) 研究のねらい

地下水中の硝酸イオンについては、脱窒菌が機能して除去しているものと考えられるが、微生物反応まで含めた詳細な脱窒機構に関しては未解明の部分が多い。そこで、微生物による地下水環境中の窒素代謝系の解明を目的として、1) 脱窒菌検出用プライマーの適正化と検出感度の検討、2) 選択したプライマーを用いた水田・畑地の脱窒菌の解析、3) 硝酸態窒素汚染が懸念される畑地の解析、4) 熊本の脱窒ホットスポットを中心とする地下水中の微生物群集構造の解析を行った。

(2) 研究実施方法

土壌サンプルからの DNA 抽出には Fast DNA SPIN Kit for Soil (Q-BIO gene 社) を使用した。地下水サンプルからの DNA 抽出は、Sterivex フィルターを用いた微生物の濃縮操作の後、PowerWater Sterivex DNA Isolation Kit (MO BIO 社) を用いて行った。全バクテリアを検出する場合はバクテリアの 16S rRNA 遺伝子 (27F/518R) を、全アーキアを検出する場合はアーキアの 16S rRNA 遺伝子 (Ar109F/Ar915R) を、硝化菌を検出する場合は *amoA* 遺伝子 (*amoA1F/ amoA2R*) を、脱窒菌を検出する場合は *nirS* (*nirS1F/nirS6R*) および *nirK* (*nirK1F/nirK5R*) 遺伝子を標的として、カッコ内に示したプライマーセットを用いて PCR を行った。その後、常法にしたがいクローン解析を行った。

(3) 研究成果

最初に、脱窒菌検出用プライマーの検討を行った結果、*nirS1F/nirS6R* と *nirK1F/nirK5R* の 2 つのプライマーセットを使用することに決定した。次に、水田および畑に存在する主な脱窒菌を調べた結果、*Bradyrhizobium* 属に近縁な脱窒菌が存在することがわかった。*Bradyrhizobium* 属は窒素固定に必要な遺伝子も有していることから、水田や畑中の窒素濃度に応じて窒素固定と脱窒を切り替えることができる微生物種が主な脱窒菌として検出されたものと推測された。さらに、水循環解明グループの調査研究に合わせて、硝酸イオン汚染が懸念される畑地2か所の表層と深部土壌の硝化菌および脱窒菌の解析を行った。硝化菌が有する機能性遺伝子 *amoA* と脱窒菌が有する機能性遺伝子 *nirK/nirS* を標的として PCR を行った結果、*amoA* 遺伝子の増幅は見られたが、先に実施した水田・畑の解析結果と異なり、*nirK/nirS* 遺伝子についてはすべてのサンプルで目的とする DNA 断片の増幅が認められなかった。したがって、サンプリングを行った畑地においては、硝化菌数と比較して脱窒菌数が少なく、硝酸イオンは生成するが、脱窒による除去活性が弱いために硝酸イオン汚染が起こりうることを示唆された。また、全バクテリアを対象とした 16S

rRNA 遺伝子を標的とした解析では、*Bacillus* 属や *Lactobacillus* 属などの Firmicutes 門に属する従属栄養微生物が多く検出され、無機肥料だけでなく有機肥料も施肥されている場所であると推測された。また、水循環解明グループの調査研究結果から脱窒のホットスポットと考えられる地域を中心として、熊本地下水サンプルのバクテリア、アーキアおよび脱窒菌の解析を行った。すなわち、脱窒ホットスポットと思われる B2 ゾーンの 3 か所（すべて嫌気環境）と、地下水流においてその上流に位置する B1 ゾーンの 2 か所（やや好氣的な環境）、および脱窒活性が低いと思われる A2 ゾーン 2 か所（好氣的環境）の、計 7 か所における被圧帯水層地下水サンプルの微生物群集構造を調べ比較した。その結果、図 3-2-9 に示したように、B1 および B2 ゾーンでは畑地からも検出された Firmicutes 門などの従属栄養細菌や、アーキアに分類される絶対嫌気性のメタン生成細菌、あるいは生成したメタンを利用して生存するメタン酸化細菌が主であったのに対し、A2 ゾーンでは *Curvibacter* や *Sulfuritalea* のような貧栄養細菌が主に検出された。B ゾーンと A ゾーンでは明らかに微生物群集構造が異なっており、B ゾーンは A ゾーンと比較して、有機物の混入が多いと推測された。脱窒菌に関してはすべてのゾーンから検出されたが、その比率は B2 ゾーンがもっとも高かった。メタン酸化細菌の中には酸素の代わりに硝酸イオンを電子受容体としてメタンを酸化するグループが存在することが報告されているが、メタン酸化細菌が脱窒菌として検出されることはなかった。以上の結果をまとめると、脱窒ホットスポットと予想された B2 ゾーンは確かに脱窒菌が多く、脱窒活性が高いと考えられた。高い脱窒活性を示す理由としては以下のように推測した。すなわち、B2 ゾーンでは B1 ゾーンからの流入に加えて表層かそれ以外の場所から有機物のさらなる流入があるため、従属栄養細菌による酸素消費が B1 ゾーンよりもさらに進んで嫌気環境が生じた。そのため、絶対嫌気性細菌によるメタン生成反応が起こり、メタン酸化細菌による酸素消費も加わることで、嫌気環境維持の作用がはたらいた。その結果、本来は嫌気反応である脱窒反応について、常に高い活性が維持されたものと考えた。

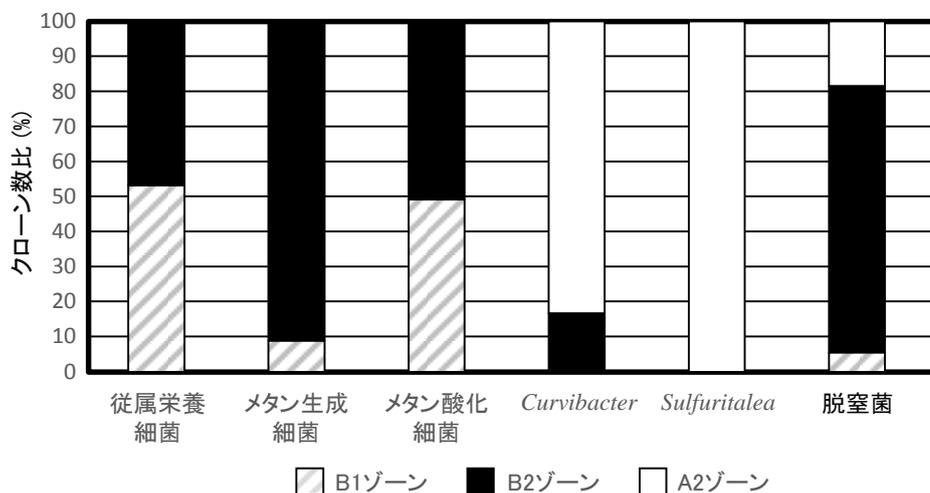


図 3-2-9 熊本の B1、B2、A2 ゾーンにおける地下水サンプルから検出された主な微生物の相対比

熊本地域以外に、都城盆地における菌叢解析も着手してきた。本地域では各種成分分析やマルチ同位体法を生かし、熊本地域と同様、各種微生物還元反応の分布を明らかにしてきた(図 3-2-10)。都城盆地全体を通じた特徴の一つとして、熊本地域と比較してメタン生成反応まで至る還元反応は進んでいないことが明らかとなってきた。また、流動に沿った還元反応の推移は熊本の方が明瞭であり、微生物反応ならびにその分布について、熊本地域とはやや異なる特徴があることが分かってきた。こうした結果を踏まえ、H27 年度中に都城盆地においても菌叢解析を完了できるように研究を進めている。

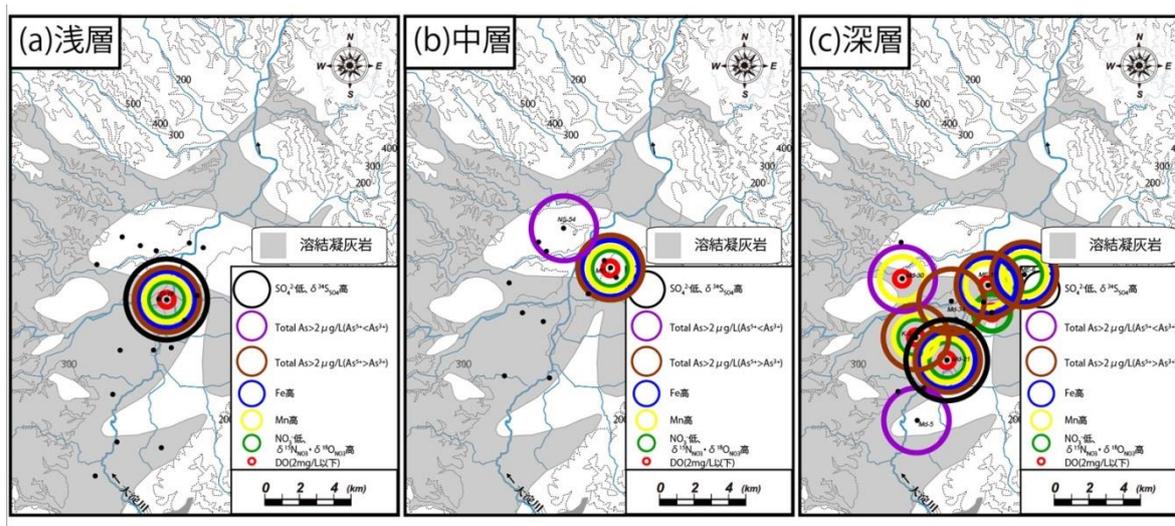


図 3-2-10 都城盆地帯水層中における各種微生物反応を律速する元素の分布を示した図

3. 淡水生物を利用した水質モニタリング手法の開発 (水質評価グループ) 【研究項目 3】

(1) 研究のねらい

地下水の水質については、農地に使われる窒素肥料、家畜の排泄物、生活排水などから硝酸性窒素が環境中に放出され、土壌から溶出した硝酸性窒素による地下水汚染が問題となっている。硝酸性窒素汚染の軽減は未然に防止することが重要であることから、地域住民の意識改革が求められているが、地域住民に対して高度な技術や知識を必要とせず、分かり易くて短時間で検出が可能である生物モニタリングシステムの開発には未だに至っていないのが現状である。そこで、小型で飼育が容易なメダカとゼブラフィッシュを用いて、地下水の環境変化を敏感に察知できる生物モニタリングシステムの開発を目的に研究を実施した。

(2) 研究実施方法

メダカにおいては、まず、生物モニタリングシステムの開発に適した遺伝子を見出すため、環境ストレスに応答する遺伝子を網羅的遺伝子解析 (DNA マイクロアレイ解析) により選別し、*heat shock protein 70 (hsp70)* 遺伝子を同定した。次に、選別した *hsp70* 遺伝子の発現制御領域と赤色蛍光遺伝子 (*DsRedExpress2*) とを繋ぎ合わせ、それらをメダカ胚に顕微注入して遺伝子組換えメダカ (赤信号メダカ) を作製した。その後、赤信号メダカ 20 尾ずつを孵化後 0 日目から水温、pH、硝酸イオン濃度を変化させ、処理後 0 日目、1 日目、5 日目での体全体の赤色蛍光を蛍光実体顕微鏡下で観察した。また、実際にいくつかの場所から地下水を採取して、その地下水が及ぼすこのメダカへの影響も解析した。さらに、硝酸性窒素を含む環境ストレスによる遺伝子変動メカニズムを解明するため、ゲノム編集技術を利用して遺伝子機能欠損メダカ系統を作製した。このメダカ 20 尾ずつを孵化後 0 日目から高温 (33°C) または高濃度 (50mg/L) の硝酸イオンで処理し、処理後 0 日目、1 日目、5 日目での体全体の赤色蛍光を蛍光実体顕微鏡下で観察した。一方、硝酸性窒素に対して特異的に応答する遺伝子組換えメダカを作製を目指して、DNA マイクロアレイ解析により硝酸イオン応答遺伝子の網羅的探索を行った。その後、選別された遺伝子に関してリアルタイム PCR を行って定量性を確認した。

ゼブラフィッシュにおいては、成魚を 26-31°C の淡水、明暗サイクル 14h:10h で飼育し、受精卵を採取した。採取した受精卵は培養液で洗浄し、6 ウェルのカルチャープレートで 28.5°C で培養し、培養液は毎日交換した。硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の影響を調べるため、培養液で希釈した KNO₃ あるいは KNO₂ (0.1-100 mg/L NO₃-N、NO₂-N) に受精後 2

時間後 (2hpf) から曝露した。ゼブラフィッシュ初期発生におけるドーパミン神経に対する影響としては、48hpf の胚を用いチロシン水酸化酵素 (TH) の発現を免疫染色で測定した。また、ドーパミン神経の作用である運動性を測定するため、72hpf で触覚刺激に対する反応、144hpf で遊泳活動を測定した。次に、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素は体内での酸化還元反応により、酸化窒素 (NO) に変化する可能性があるため、ドーパミン神経に対する作用が NO によるものか、酸化還元酵素の阻害剤である DPI (diphenyleneiodonium) を硝酸性窒素、亜硝酸性窒素と同時に受精卵に曝露し、TH の発現、触覚刺激に対する反応および遊泳活動を測定した。一方、セロトニン神経に対する影響については、48hpf でセロトニンの免疫染色を行い、セロトニン神経の作用として 96hpf で心拍数、144hpf で接触走性を測定した。

(3) 研究成果

① 遺伝子組換えメダカ (赤信号メダカ) の作製とその特性の把握

メダカ *hsp70* 遺伝子の発現制御領域 (プロモーター領域) と赤色蛍光遺伝子とを繋ぎ合わせ、それらをメダカ胚に顕微注入して遺伝子組換えメダカ (赤信号メダカ) を作製した後 (図3-3-1左)、この系統における高温ストレスに対する応答性を調べた。その結果、通常水温 (26°C) 個体においては、赤色蛍光が全身では観察されず、眼球レンズにおいてのみ確認された。一方、高水温 (33°C) 処理個体においては、処理後1日目、5日目ともに、すべての個体において赤色蛍光が眼球レンズだけでなく、頭部から尾部にかけて観察された (図3-3-1右)。また、この高温処理した赤信号メダカは、蛍光実体顕微鏡下だけでなく、肉眼でも体全体の赤色を観察できることが明らかとなった。このように、赤信号メダカは高温ストレスに対して強い応答性を示すことが確認された。

次に、通常水温下で、このメダカにおける硝酸イオン及び塩基性水に対する応答性を調べた。その結果、低濃度 (1mg/L) の硝酸イオン処理個体では、赤色蛍光が全く確認されなかったが、高濃度 (10mg/L、50mg/L) の硝酸イオン処理個体では、処理後5日目において約半数の個体で赤色蛍光が観察された (図3-3-2)。また、塩基性水 (pH9.0) 処理個体においても、約半数の個体で赤色蛍光が観察された (図3-3-2)。これらのことから、赤信号メダカは高濃度の硝酸イオンや塩基性水に対しても応答性を示すことが確認された。

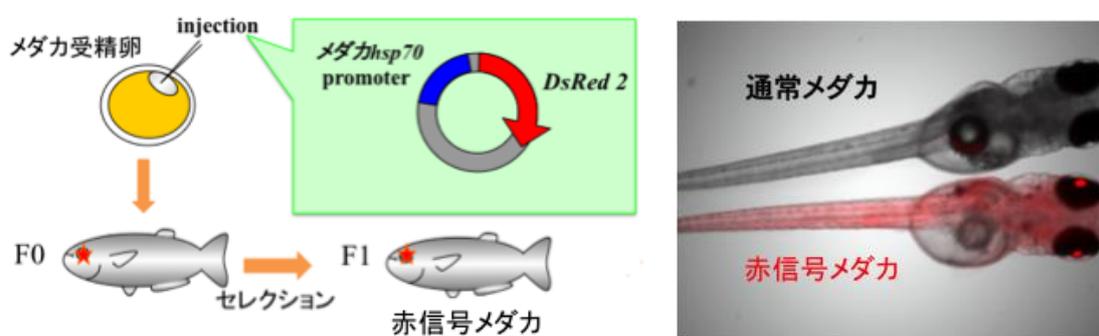


図 3-3-1 遺伝子組換えメダカ (赤信号メダカ) の作製方法 (左) と高温処理したメダカの蛍光写真 (右)

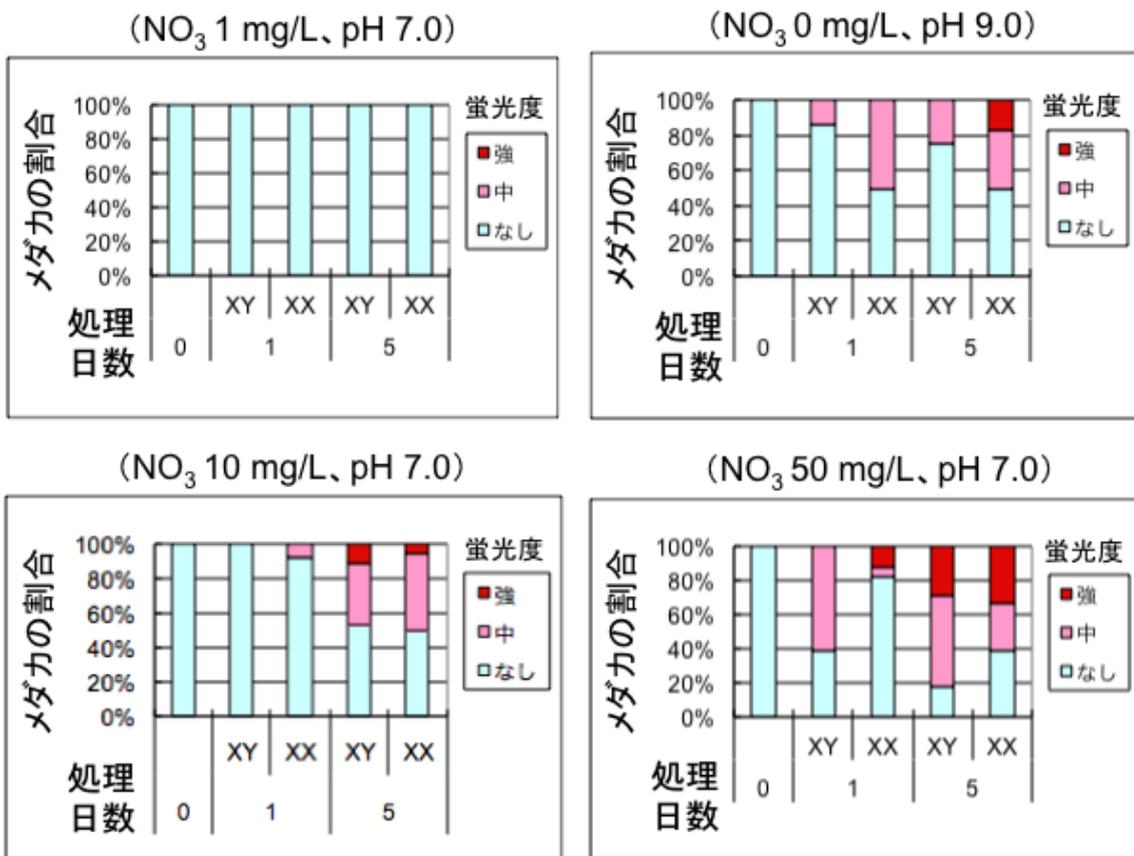


図 3-3-2 赤信号メダカにおける硝酸イオンおよび pH の影響

③ 赤信号メダカを用いた地下水の水質モニタリング調査

熊本市の8地点の揚水井から地下水を採取し、通常水温下で、その地下水が及ぼす赤信号メダカへの影響を解析した。その結果、4地点の地下水では赤色蛍光が確認されなかったが、残り4地点の地下水では、処理後5日目において約半数の個体で赤色蛍光が観察された（図3-3-3）。そこで、これら地下水の硝酸イオン濃度とpHを調べたところ、赤色蛍光が確認されなかった4地点の地下水では硝酸イオン濃度が低くてpH 7前後の中性であったが、残りの4地点の内、A地点とB地点では硝酸イオン濃度が高くて硝酸性窒素汚染が進んでおり、C地点とD地点ではpHが高くて塩基性となっていることが判明した（図3-3-3）。このように、赤信号メダカは、実際の地下水においても、硝酸イオン濃度とpHの影響を受けて赤色蛍光を発することが明らかとなった。

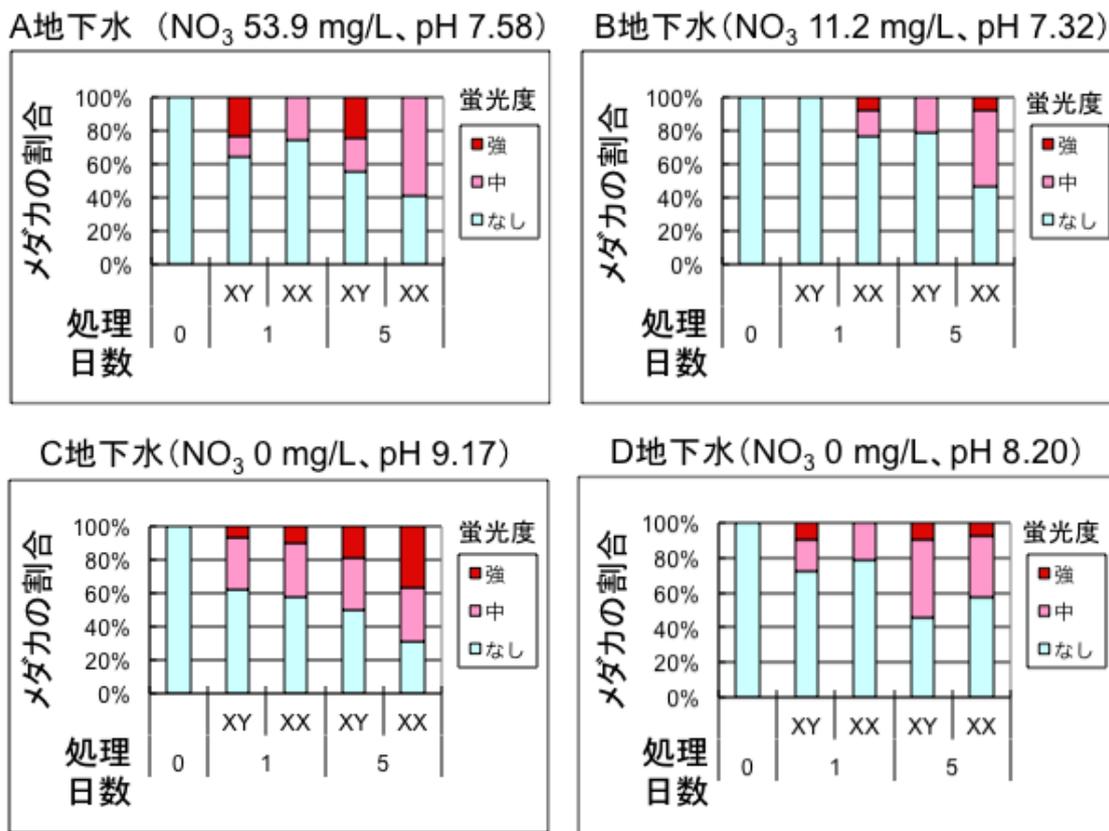


図 3-3-3 赤信号メダカにおける様々な地下水の影響

③ 地下水汚染が及ぼすメダカへの影響メカニズムの解析

地下水の水質汚染にตอบสนองして体色が赤くなる赤信号メダカの作製に成功したが、この影響メカニズムについては分かっていない。哺乳類における *hsp70* 遺伝子の発現は、熱ショック転写因子 (HSF1; heat shock factor 1) が重要な役割を果たしていることが分かっており、この HSF1 は通常、不活性化単量体として存在しているが、熱ショックによりリン酸化されて三量体を形成した後、核内へと移行して熱ショック応答配列 (HSE) に直接結合して *hsp70* の発現を誘導する。したがって、HSF1 は熱ショックによる *hsp70* の発現誘導に深く関与していると考えられるが、硝酸イオンによる *hsp70* の発現誘導に関与しているかは分からない。そこで、筆者らは赤信号メダカを利用して HSF1 の機能を欠損したメダカ系統を作製することで、HSF1 が硝酸イオンによる *hsp70* の発現誘導に関与しているかどうかを明らかにしようと試みた。まず、ゲノム編集技術を利用して HSF1 の機能欠損メダカ (HSF1 ノックアウトメダカ) を作製した後、この系統における高温 (33°C) や高濃度 (50mg/L) の硝酸イオンに対する応答性を調査した。その結果、HSF1 ノックアウトメダカにおいては、高温や高濃度の硝酸イオンの処理により全く赤くならないことが判明した。これらのことから、高温や硝酸イオンによる赤信号メダカの赤色化は、HSF1 を介して誘導されていることが明らかとなった。

④ メダカにおける硝酸イオン特異的応答遺伝子の網羅的探索

硝酸性窒素に対して特異的に応答する新たなメダカ系統の作製を目指し、DNA マイクロアレイ解析により硝酸イオン応答遺伝子の網羅的探索を行った。その結果、44 遺伝子が選別され、その中の 1 遺伝子が硝酸イオンに対して特異的に応答することがリアルタイム PCR により確認された。そこで、この遺伝子のプロモーター領域と緑色蛍光タンパク質 (GFP) 遺伝子とを繋ぎ合わせ、それらをメダカ胚に顕微注入して GFP を発する遺伝子組

換えメダカの作製を試みた。しかしながら、蛍光を発する遺伝子組換えメダカを得ることが出来なかった。したがって、硝酸イオン応答遺伝子の発現誘導にはプロモーター領域だけでなく、別の領域も必要である可能性が考えられた。

⑤ 硝酸性窒素がゼブラフィッシュ神経系へ及ぼす毒性メカニズムの解析

ゼブラフィッシュ初期発生におけるドーパミン神経に対する硝酸性窒素の影響を調べたところ、硝酸性窒素曝露 (10-100 mg/L NO₃-N) では有意に TH の発現が減少した。エストロゲン受容体 (ER) 阻害剤である ICI を同時に曝露したところ、TH 発現の減少が抑えられたことから、硝酸性窒素の作用は ER を介していることが示された。また、亜硝酸性窒素については、1-100 mg/L NO₂-N で TH の発現が有意に減少し、この減少は ICI により抑えられたことから、亜硝酸性窒素の作用も ER を介していることが分かった。触覚刺激に対する反応の測定は、硝酸性窒素の曝露では有意な変化はなかったが、亜硝酸性窒素の曝露 (1-10 mg/L NO₂-N) では反応が有意に減少した。この減少は ICI により抑制されたことから、亜硝酸性窒素の作用が ER を介していることが示された。遊泳活動の測定は、144hpf の稚魚を用いて行った。硝酸性窒素曝露 (1-100 mg/L NO₃-N) では有意に活動が減少し、その減少が ICI により抑制されたことから、硝酸性窒素が遊泳活動に及ぼす作用は ER を介していることが示された。亜硝酸性窒素についても 1-10 mg/L NO₂-N の曝露で遊泳活動が有意に減少し、同様に ER を介していることがわかった。次に、DPI を用いた実験では、DPI が硝酸性窒素あるいは亜硝酸性窒素により減少した TH の発現を阻害したことから、NO が TH の発現の減少に関わっている可能性が示唆された。また、触覚刺激に対する反応では、亜硝酸性窒素により減少した反応が DPI により抑えられ、遊泳活動についても硝酸性窒素および亜硝酸性窒素曝露で減少した活動が、DPI により抑えられたことから、運動性の調節に及ぼす影響についても NO が作用していることが示唆された。さらにこの結果は、DAF-FM DA による NO の染色で、実際に硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の曝露により稚魚の体内に NO が産生されることで確かめられた。

次に、セロトニン神経に対する硝酸性窒素の影響を調べたところ、硝酸性窒素への曝露 (0.1-100 mg/L NO₃-N) ではセロトニンの発現は変化を示さなかったが、亜硝酸性窒素曝露 (1-100 mg/L NO₂-N) で有意に減少した。この亜硝酸性窒素によるセロトニンの発現の減少は ICI により阻害されたことから、ER を介していることが示唆された。心拍数については、硝酸性窒素は影響を示さなかったが、亜硝酸性窒素 (1-10 mg/L NO₂-N) で有意に減少し、この減少は ICI により阻害されたことから、この作用が ER を介していることが示された。144hpf の稚魚を用いて行った接触走性の測定では、亜硝酸性窒素曝露 (10 mg/L NO₂-N) で、稚魚が外側の円にとどまる時間が対照群にくらべて有意に高くなり、不安感が上昇したことが示された。

以上のことから、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素をゼブラフィッシュ受精卵に曝露することにより、エストロゲン受容体を介し、ドーパミン神経およびセロトニン神経の活性を減少させることが分かった。またドーパミン神経については、曝露により体内で産生される NO により作用が引き起こされる可能性が示唆された。本研究により、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素は環境ホルモンとしてセロトニン神経の発達や作用を阻害することが初めて証明され、環境中の硝酸性窒素および亜硝酸性窒素は神経毒として作用する可能性が示唆された。

⑥ まとめ

本研究では、硝酸性窒素汚染を未然に防止することを目的に、住民の意識改革を促すための分かり易い生物モニタリング法をメダカおよびゼブラフィッシュを用いて開発した。メダカでは、環境ストレスにตอบสนองして体色が赤くなる赤信号メダカを作製し、このメダカは温度、pH、硝酸イオン濃度の変化により赤くなるものの、一般的な地下水では水温や pH についてはほとんど変動しないことから、地下水中の硝酸イオン濃度の変化を高感度に感知できるモニタリング用生物センサーとして利用できる可能性が示唆された。このような

メダカ系統としては、すでにメダカ *hsp70* 遺伝子のプロモーターと緑色蛍光タンパク質 (Venus) 遺伝子とを連結したプラスミドを導入した遺伝子組換えメダカが報告されているが (Oda et al., 2010)、今回作製したメダカは、高感度のために蛍光顕微鏡を必要とせず、肉眼でも赤くなるのを確認できるところに新規性がある。

一方、ゼブラフィッシュでは、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素が初期発生時期のドーパミン神経やセロトニン神経などの神経系に対して悪影響があることを初めて明らかにし、ゼブラフィッシュ受精卵を使用して触覚刺激に対する反応や遊泳行動などを調べることにより、硝酸性窒素汚染を高感度にモニターできる可能性が考えられた。本研究により開発された地下水の水質モニタリング法は、小型で飼育が容易な淡水魚類を用いた簡易型システムであるため、大きな施設や高価な機器を必要としないことから、硝酸性窒素汚染の実態を、地域住民に対して分かりやすく啓蒙できる高感度な方法として広く普及することが期待される。

4. 持続的な地下水管理システムの構築 (地下水管理グループ) 【研究項目4】

(1) 研究のねらい

特定地域の水循環の一環として、地下水流動機構の解明とそれを踏まえた水量・水質面からの持続的地下水利用システムの構築を行うことを目的として、これまで個別に実施されていた地下水量評価、地下水水質評価軽減の開発研究を地下水管理システムとして統合する。水理地質構造把握手法としての 3 次元高精度電気探査装置の開発や、新たな水質評価法としてのマルチ同位体法(硝酸+硫酸+重炭酸+鉛)の開発結果も活用し、3 次元地下水流動モデルを用いて、熊本地域の地下水流動を踏まえた水量・水質面からの持続的地下水利用システムの構築を行う。このようにして、熊本から全国の地下水行政に対して、持続可能な地下水管理手法の提案を行う。熊本地域における実用化研究の後には、温暖化に伴う海面上昇のために水資源確保に脆弱な島嶼地域において地下水流動の現状把握と温暖化に伴う海水準上昇がもたらす影響を評価すると共に、人為起源の地下水水質への環境負荷要因の見極めと、最適な軽減策の提案を踏まえた地下水の水量・水質両面からの持続的地下水管理方策を検討し提示することで手法の汎用化を図る。

(2) 研究実施方法

H22-25 年度の 4 年間に渡って、主に熊本地域における CREST 関連の調査研究の成果を踏まえた地下水管理システムの構築・地下水の質と量を踏まえた持続可能な管理システムの提案を行った。その成果の一部は、前述したように UN-Water Best Practice Award 2013 の科学的裏付け資料として利用された。またプロジェクト後半の H25-27 年度の 3 年間は、温暖化に伴う海面上昇のために地下水環境が脆弱な亜熱帯島嶼地域の隆起環礁性孤島である南大東島を対象に、現地地下水調査を踏まえた地下水流動モデルの構築と、それらに基づく地域にあった持続可能な地下水管理システムの提案を行った。

(3) 研究成果

地域水循環を踏まえた水量と水質に関する地下水持続利用システムを構築するための流れは、図 3-4-1 の様に示され、本 CREST 研究では、この流れを具体的な地域を対象に確認を行うことで、このシステムの妥当性を確認してきた。

熊本地域において既に実施されている、転作田水張事業とその条例化、揚水規制等の実例を踏まえつつ、CREST 研究の集大成としての啓蒙書を、熊本大学政創研叢書 9『持続可能な地下水利用に向けた挑戦—地下水先進地域熊本からの発信—』(嶋田 純・上野真也編著、H28 年 2 月出版)として地域の水量に関する持続的利用システム構築に向けた取り組みをまとめた。また水質についての持続的利用システムの構築については、地下水学会誌特集号『九州・沖縄地域における帯水層中での硝酸性窒素の動態』(H27 年 11 月(第 57 巻 4 号)、H28 年 2 月(第 58 巻 1 号)出版)として CREST 研究における硝酸性窒素汚染に対する研究成果を取りまとめており、これらの成果を踏まえて持続的地下水利用が構築できるようにするための必要なシステムの考え方を、前述の熊大政創研叢書の中で述べている。さらに、亜熱帯島嶼地域での持続的地下水利用に関

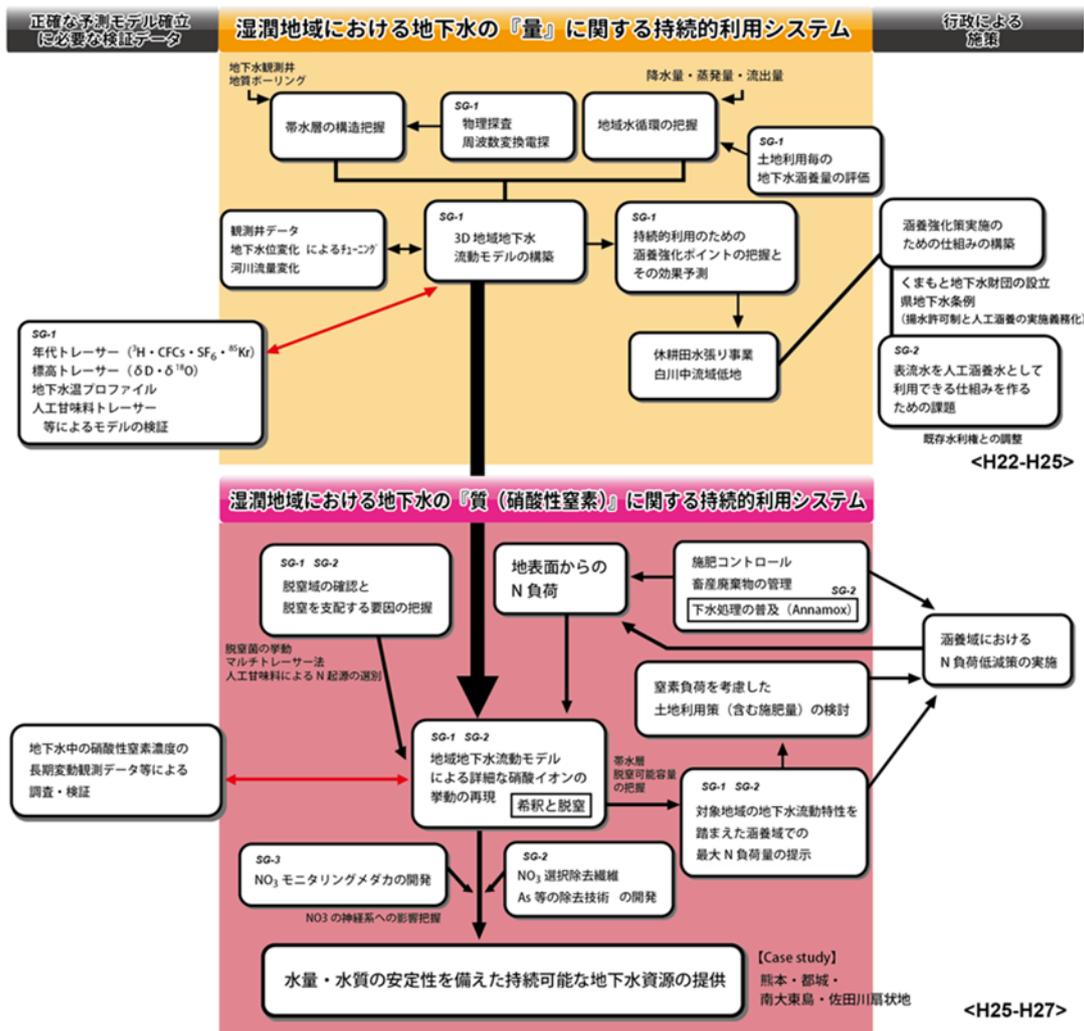


図 3-4-1 湿潤地域における地下水の『量』と『質』に関する持続的利用システムの構築

しては、CREST 研究の枠組みの中で実施された同島での研究成果等を、『月刊地球』の CREST 南大東島研究特集号として「沖縄県南大東島の地質と地下水：持続可能な地下水利用に向けて」（H27年 12月，H28年 1月発行）として取りまとめ、この中で島嶼における持続的地下水利用の在り方について述べている。

§ 4. 成果発表等

1. 原著論文発表（国内(和文)誌 43 件、国際(欧文)誌 55 件）
 - 1 御園生敏治・小池克明・嶋田 純・吉永 徹・井上 誠・高岡秀朋・麻植久史，海底電気探査による沿岸域表層地質構造のイメージング，情報地質，第 18 巻，第 2 号，98-99，2011.
 - 2 麻植久史，御園生敏治，梅田尚宏，吉永 徹，小池克明，電気探査法による沿岸域塩淡水境界面の時間的変動解明，情報地質，第 22 巻，第 2 号，78-80，2011.
 - 3 利部 慎，嶋田 純，島野安雄，樋口 覚，野田尚子，阿蘇カルデラ内における地下水の流動機構．日本水文科学会誌，第 41 巻，第 1 号，1-17，2011.
 - 4 小野昌彦，嶋田 純，市川 勉，徳永貴大，熊本市江津湖における水中 ²²²Rn濃度を用いた地下水湧水量の評価．陸水学雑誌，第 72 巻，第 3 号，193-210，2011.
 - 5 川越保徳，柿本竜治，糸満尚貴，富家和男，窒素安定同位体と GIS を用いた行政データの調

- 査解析による地下水中硝酸態窒素の負荷要因解明, 用水と廃水, 第 53 卷, 951-960, 2011.
- 6 富家和男, 糸満尚貴, 松山賢司, 柿本竜治, 川越保徳, 熊本都市域における地下水中硝酸性窒素濃度の現状と地理情報システムおよび窒素安定同位体分析による窒素負荷要因の解明, 日本水環境学会誌, 第 34 卷, 1-9, 2011.
- 7 嶋田純, モンスーンアジア地域における可能地下水涵養量を考慮した地下水資源管理, 日本水文科学会誌, 第 42 卷, 第 2 号, 33-42, 2011.
- 8 御園生敏治, 麻植久史, 小池克明, 嶋田 純, 吉永徹, 井上 誠, 電気探査法による有明・八代海の海底下浅部の地質構造のイメージングと地下水湧出経路推定への応用, 応用地質, 第 53 卷, 第 5 号, 235-244, 2012
- 9 佐藤透, 山宮和智, 小野昌彦, 丸山篤志, 一柳錦平, 嶋田純, 比抵抗探査法と水の安定同位体比を用いた温暖湿潤気候におけるトウモロコシの吸水深度に関する研究, 日本水文科学会誌, 第 42 卷, 第 4 号, 147-165, 2012
- 10 麻植久史, 高倉伸一, 吉永 徹, 小池克明, MT 法と AMT 法の組み合わせによる広域 3 次元比抵抗モデリングと水理地質構造解明への応用, 情報地質, 第 23 卷, 第 3 号, 121-129, 2012.
- 11 河原正泰, 銅スラグからの重金属の溶出性. J of MMIJ, 第 129 卷, 第 5 号, 192-196. (ISSN 1881-6118), 2013.
- 12 野本卓也, 藤井光, 内田洋平, 利部慎, 嶋田純, 地球温暖化対策効果から見た温暖地方における地中熱利用可能性, 日本地熱学会誌, 第 34 卷, 第 4 号, 185-197, 2012.
- 13 松永緑, 嶋田純, 三上久美子, 細野高啓, 利部慎, 岩佐耕次, 宮崎県都城盆地における地下水流動を踏まえた 地下水中の硝酸性窒素の 起源とその挙動, Get 九州, 応用地質学会九州支部会報, 第 34 卷, 2-11, 2013.
- 14 嶋田 純, 熊本地域における広域地下水流動の実態とその持続的管理を目指した取り組み. 全国環境研会誌, 第 38 卷, 第 1 号, 11-16, 2013.
- 15 嶋田 純, 広域地下水流動の実態を踏まえた熊本地域における地下水の持続的利用を目指した新たな取り組み—地下水資源量維持のための揚水許可制の導入—. 日本地下水学会誌, 第 55 卷, 第 2 号, 157-164, 2013.
- 16 田上雅弘・一柳錦平・嶋田 純, 日本における降水の安定同位体比の季節変動と空間分布. 日本水文科学会誌, 第 43 卷, 第 3 号, 73-91, 2013
- 17 細野高啓, 地下水研究における種々の安定同位体比を用いた新たな取り組み. In: 特集『水環境評価に向けた安定同位体研究の最前線』, 水環境学会誌, 第 36 卷, 231-236, 2013.
- 18 川越保徳, 硝酸態窒素による地下水汚染に関する研究動向, 環境技術, 第 42 卷, 第 12 号, 706-712, 2013.
- 19 吉村和久・池田善文・栗崎弘輔・岡本 透・藤川将之・松田博貴・山田 努, 秋吉台長登銅山 大坑石筍に記録された硫化鋳製錬. 月刊地球, 第 53 卷, 594-602, 2013.
- 20 山田 努・馬淵しの・松田博貴・栗崎弘輔・吉村和久, 沖永良部島産鍾乳石の同位体比組成に記録された 10 年規模の周期的環境変動. 月刊地球, 第 53 卷, 637-642, 2013.
- 21 松田博貴・佐藤祐也・栗崎弘輔・吉村和久, 鍾乳石に記録された南大東島の開拓史と植生変遷. 月刊地球, 第 53 卷, 650-658, 2013.
- 22 松田博貴・洲脇美智子・佐藤祐也・鹿島美香, 鍾乳洞滴水からみる海風からの海塩除去に

果たす防風林の機能. 月刊地球, 第 53 卷, 659-665., 2013.

23 小野昌彦, 本高雄大, 嶋田 純, 長谷川琢磨, 中田弘太郎, 利部 慎, 工藤圭史, 沿岸域における地下水位の回復に伴う地下水塩水化現象の解明—熊本県荒尾市における事例—, 日本地下水学会誌, 第 56 卷, 189-208, 2014.

24 麻植久史, 多田隈直幸, 小池克明, 地下水資源の保全を目的とした水理地質構造把握への GIS の適用, 情報地質, 第 25 卷, 第 3 号, 159-168, 2014.

25 小野昌彦, 井手 淨, 嶋田 純, 霧島山の湧水中ラドン濃度とその季節変化について, RADIOISOTOPES, 第 63 卷, 第 10 号, 471-479, 2014.

26 安元 純・廣瀬美奈・久手堅剛・宮代雄次・大城要平・聖川健斗・細野高啓・嶋田 純・中野拓治, 琉球石灰岩帯水層における脱窒に係わる微生物相解析, 地下水学会誌, 第 57 卷, 第 2 号, 153-169, 2015.

27 梁 熙俊・嶋田 純・松田博貴・利部 慎・Dong Linyao, 島嶼地域における地下水位の時系列解析及び電気伝導度を用いた淡水レンズ形状の評価, 第 57 卷, 第 2 号, 187-205, 2015.

28 松 永 緑・嶋田 純・三上久美子・細野高啓・利部 慎・岩佐耕次, 宮崎県都城盆地における地下水中の硝酸イオンの分布特性とその自然浄化に関する考察, 地下水学会誌, 第 57 卷, 第 3 号, 277-293, 2015.

29 細野高啓・林 殷田・アルバデス・ケリー・森村 茂・曾 祥勇・森 康二・田原康博・松永 緑・ホセイン・シャハダット・嶋田 純, 地下水硝酸汚染研究における最新とトレンドと今後の方向性: 熊本地域の事例を通して, 地下水学会誌, 第 57 卷, 第 4 号, 439-465, 2015.

30 嶋田 純・伊藤沙希・荒川祐介・多田和広・森 康二・中野 慧・利部 慎・松永 緑, 二毛作水田地帯における施肥起源の窒素負荷による浅層不圧地下水中の窒素収支の検討—地下水観測結果を踏まえた地下水シミュレーションに基づいた考察—, 地下水学会誌, 第 57 卷, 第 4 号, 467-482, 2015.

31 松永 緑, 嶋田 純, 細野高啓, 田原康博, 岩佐耕次, 3 次元地下水シミュレーションを用いた宮崎県都城盆地における硝酸性窒素の挙動の可視化, 地下水学会誌, 第 57 卷, 第 4 号, 495-513, 2015.

32 嶋田 純・松田博貴, 沖縄県南大東島の地質と地下水: 大洋島における持続可能な地下水利用に向けて, 月刊地球総特集 (巻頭), 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— I (12 月号), 第 435 号 vol.37,no.12, 509-513, 2015.

33 島津 崇・八木正彦・浅原良浩・嶋田 純・松田博貴, 南大東島のサンゴ礁発達史, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— I (12 月号), 第 435 号 vol.37,no.12, 514-520, 2015.

34 松田博貴・鹿島美香・梁 熙俊・利部 慎・嶋田 純, 鍾乳洞内滴下水量に基づく異なる植生下における地下水涵養特性, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— I (12 月号), 第 435 号 vol.37,no.12, 521-529, 2015.

35 鹿島美香・嶋田 純・松田博貴, 鍾乳洞内滴下水の水質化学的特性, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— I (12 月

号), 第 435 号 vol.37,no.12, 530-539, 2015.

36 利部 慎・梁 熙俊・松田博貴・嶋田 純, 水利用形態の変遷がもたらす淡水レンズの賦存状態への影響評価, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— I (12月号), 第 435 号 vol.37,no.12, 540-549, 2015.

37 梁 熙俊・奥村 梓・利部 慎・松田博貴・嶋田 純, 観測井に基づく潮汐変動および降水量に伴う淡水レンズの挙動, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— II (1月号), 第 436 号 vol.38,no.1, 3-9, 2016.

38 奥村 梓・梁 熙俊・工藤圭史・利部 慎・嶋田 純・松田博貴, 隆起環礁大洋島の地下水賦存状態と淡水レンズ貯留量の把握, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— II (1月号), 第 436 号 vol.38,no.1, 10-17, 2016.

39 麻植久史・小池克明・梁 熙俊・松田博貴・嶋田 純, 周波数可変型電気探査法による炭酸塩大洋島の地下水面抽出, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— II (1月号), 第 436 号 vol.38,no.1, 18-24, 2016.

40 梁 熙俊・田原康博・佐伯亜由美・松田博貴・嶋田 純, 数値シミュレーションによる地表植生の変化と海水準上昇に伴う淡水レンズ賦存状態の評価, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— II (1月号), 第 436 号 vol.38,no.1, 25-32, 2016.

41 嶋田 純・松田博貴, 炭酸塩大洋島における持続可能な地下水利用のありかた, 月刊地球総特集, 炭酸塩岩大洋島における持続可能な地下水利用に向けて—南大東島を例として— II (1月号), 第 436 号 vol.38,no.1, 33-40, 2016.

42 森 康二, 田原康博, 多田和広, 細野高啓, 嶋田 純, 松 永緑, 登坂博行, 流域スケールにおける反応性窒素移動過程のモデル化と実流域への適用性検討, 地下水学会誌, 第 58 巻, 第 1 号, 63-86, 2016.

43 工藤圭史, 嶋田 純, 丸山篤志, 田中伸広 (2016): 異なる地表面植生に対する地下水涵養量の定量的評価—土壌水中の安定同位体比を用いた Displacement Flow Model の適用—, 地下水学会誌, 第 58 巻, 第 1 号, 31-45, 2016.

〈国際〉

1 Parvin, M., Tadakuma, N., Asaue, H., Koike, K., Characterizing the regional pattern and temporal change of groundwater levels by analyses of a well log data set, *Front. Earth Sci.*, 5, 294-304, 2011.

2 Tokunaga T, Shimada J, Kimura Y, Inoue D, Mogi K, Asai K, Multiple isotope ($\delta^{37}\text{Cl}$, ^{14}C , ^3H) approach to reveal coastal hydrogeological system and its change at western Kyushu, Japan. *Hydrogeological Jour.*, 19, 249-258, 2011.

3 Masahiro Tanoue, Kimpei Ichianagi, Jun Shimada, and Naoki Kabeya, Factors Controlling the Spatial Distribution of Stable Isotopes in Precipitation over Kumamoto, Japan. *Advances in Geosciences*. 28, 29-39, 2011.

4 Yamanaka T, Mikita, M, Lorphensriand O, Shimada J, Kagabu M, Ikawa R, Nakamura T, Tsujimura M, Anthropogenic changes in a confined groundwater flow system in the Bangkok Basin, Thailand, part II: how much water has been renewed? *Hydrological Processes*, 25, 2734-2741, 2011. (DOI: 10.1002/hyp.8014).

5 R. Ikawa, T. Yamamoto, J. Shimada, T. Shimizu, Temporal variations of isotopic

- compositions in gross rainfall, throughfall, and stemflow under a Japanese cedar forest during a typhoon event. *Hydrological Research Letters*, Volume 5, 32-36, 2011.
- 6 Toshiya Yamaguchi and Takeshi Kitano, High temperature induces cyp26b1 mRNA expression and delays meiotic initiation of germ cells by increasing cortisol levels during gonadal sex differentiation in Japanese flounder. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 419, 287-292, 2012.
- 7 Ko Eto, Syota Goto, Wakana Nakashima, Yuichiro Ura and Shin-ichi Abe, Loss of programmed cell death 4 induces apoptosis by promoting the translation of procaspase-3 mRNA. *Cell Death and Differentiation*. *Cell Death and Differentiation*, 19, 4, 573-581, 2012.
- 8 Hosono, T., Tokunaga, T., Kagabu, M., Nakata, H., Orishikida, T., Lin, I-T., Shimada, J., The use of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ tracers with an understanding of groundwater flow dynamics for evaluating the origins and attenuation mechanisms of nitrate pollution, *Water Research* 47, 8, 2661-2675, 2012. (DOI:10.1016/j.watres.2013.02.020).
- 9 Kawagoshi, Y., Fujisaki, K., Tomoshige, Y., Yamashiro, K. and Wei, Q., Temperature effect on nitrogen removal performance and bacterial community in culture of marine anammox bacteria derived from sea-based waste disposal site, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 113, 4, 515–520, 2012.
- 10 Asaue, H., Kubo, T., Sasahara, M., Yoshinaga, T., and Koike, K., Application of Magnetotelluric (MT) Resistivity to Imaging of Three-dimensional Geologic Structure and Groundwater System over a Wide Area, *Natural Resources Research*, 21, 3, 383-393, 2012. (DOI:10.1007/s11053-012-9184-2).
- 11 Moukana, J.A., Asaue, H., and Koike, K., Co-kriging for Modeling Shallow Groundwater Level Changes in Consideration of Land Use/Land Cover Pattern, *Environmental Earth Sciences*, 50, online pp.1495-1506, 2013. (DOI: 10.1007/s12665-013-2235-0)
- 12 Kagabu, M., Shimada, J., Delinom, R., Nakamura, T. and Taniguchi, M., Groundwater age rejuvenation caused by excessive urban pumping in Jakarta area, Indonesia, *Hydrol. Process.*, 27, 18, 2591-2604, 2013. (DOI: 10.1002/hyp.9380).
- 13 Tanoue, M., Ichianagi, K., Shimada, J. and Naoki Kabeya, Spatial Distribution of Stable Isotopes in Precipitation around Kumamoto, Southern Japan, *Advances in Geosciences*, 28, 29-39, 2012.
- 14 Eto K., Goto S., Nakashima W., Ura Y., Abe S., Loss of programmed cell death 4 induces apoptosis by promoting the translation of procaspase-3 mRNA, *Cell Death Differ.*, 19, 4, 573-581, 2012. (DOI: 10.1038/cdd.2011.126).
- 15 Eto K., Iwama T., Tajima T., Abe S., The RNA-binding protein xCIRP2 is involved in apoptotic tail regression during metamorphosis in *Xenopus laevis* tadpoles, *Gen. Comp. Endocrinol.*, 179, 1, 14-21, 2012. (DOI: 10.1016/j.ygcen.2012.07.017).
- 16 Kitano T., Hayashi Y., Shiraishi E. and Kamei Y., Estrogen rescues masculinization of genetically female medaka by exposure to cortisol or high temperature, *Mol. Reprod. Dev.*, 79, 10, 719-726, 2012. (DOI: 10.1002/mrd.22080).
- 17 Hosono, T., Tokunaga, T., Tsushima, A., Kagabu, M., Nakata, H., Shimada, J., Multiple-use of stable isotope ratios to understand groundwater quality changes in Kumamoto area, southern Japan. *IAHS Publ.*, 361, 257-264, 2013.
- 18 Ono, M., Tokunaga, T. Shimada, J. and Ichianagi, K., Application of Continuous ^{222}Rn Monitor with Dual Loop System in a Small Lake. Ground Water, National GroundWater Association, 2013. (DOI: 10.1111/gwat.12002).
- 19 Kudo, K.; Nagamatsu, T.; Shimada, J.; Kabeya, N.; Tanaka N., Subsurface water storage for the different land-use catchments evaluated by deuterium excess dispersion model of stream water - Observation by the paired small forest and grassland catchments -. IAHS publication, 359, 371-376, 2013.
- 20 Shiraishi E, Hosseini H, Kang DK, Kitano T, Akiyama H, Nanosecond pulsed electric field suppresses development of eyes and germ cells through blocking synthesis of

- retinoic acid in medaka (*Oryzias latipes*). *PLoS One*, e70670, 2013. (DOI: 10.1371/journal.pone.0070670).
- 21 Obata S, Yuasa E, Seki D, Kitano T, Saitoh H, Molecular cloning and bacterial expression of the catalytic domain of the SENP1 gene of *Oryzias latipes*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 77, 1788-1791, 2013.
- 22 Andrew Ako Ako, Gloria Eneke Takem Eyong, Jun Shimada, Katsuaki Koike, Takahiro Hosono, Kimpei Ichianagi, Akoachere Richard, Beatrice Ketchenmen Tandia, George Elambo Nkeng, Ntankou Njila Roger, Nitrate Contamination of groundwater in two areas of Cameroon Volcanic Line (Banana Plain and Mt. Cameroon Area) . *Applied Water Science* 4, 99-113, 2014.
- 23 Ako, A.A., Shimada, J., Hosono, T., Kagabu, M., Richard, A., Nkeng, G.E., Tongwa, A.F., Ono, M., Eyong, G.E.T., Tandia, B.K., Mouncherou, O.F., Flow dynamics and age of groundwater within a humid equatorial active volcano (Mount Cameroon) deduced by δD , $\delta^{18}O$, 3H and chlorofluorocarbons (CFCs). *Journal of Hydrology*, 502, 156-176, 2013. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.032>)
- 24 Huang XW, Wei QY, Urata K, Tomoshige Y, Zhang XH, Kawagoshi Y., Kinetic study on nitrogen removal performance in marine anammox bacterial culture, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Sep 13, 2013. (DOI: pii:S1389-1723 (13) 00305-8. 10.1016/j.jbiosc.2013.08.004).
- 25 Guangyu Zhou, Naoki Yokoyama, Yuichiro Yoshino, Takahiro Yamashita, Yasunori Kawagoshi, Comparative Study on the Performance of Microbial Fuel Cells and Bacterial Community at Different Temperatures, *Journal of Water and Environmental Technology*, Vol.11, No.2, 71-79, 2013.
- 26 Misonou, T., Asaue, H., Yoshinaga, T., Matsukuma, Y., Koike, K., and Shimada, J., Hydrogeologic Structure and Groundwater Movement Imaging in A Tideland Zone Using Electrical Sounding Resistivity: A Case Study at A Coastal Area of the Ariake Sea, Southwest Japan, *Hydrogeology Journal*, 21, online pp.1593-1603, 2013. (DOI: 10.1007/s10040-013-1022-z)
- 27 Hosono T., Tokunaga T., Tsushima A., Shimada J., Combined use of $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, and $\delta^{34}S$ tracers to study anaerobic bacterial processes in groundwater flow systems. *Water Research*, 54, 284-296, 2014.
- 28 Neh, A.V., Ako, A.A., Ayuk II, A.R., Hosono, T., DRASTIC-GIS model for assessing vulnerability to pollution of the phreatic aquiferous formations in Douala–Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*, 102, 180-190, 2015.
- 29 Hosono, T., Lorphensriand, O., Onodera, S., Okawa, H., Nakano, T., Yamanaka, T., Tsujimura, M., Taniguchi, M., Different isotopic evolutionary trends of $\delta^{34}S$ and $\delta^{18}O$ compositions of dissolved sulfate in an anaerobic deltaic aquifer system. *Applied Geochemistry*, 46, 30-42, 2014.
- 30 Murozumi N., Nakashima R., Hirai T., Kamei Y., Ishikawa-Fujiwara T., Todo T. and Kitano T., Loss of follicle-stimulating hormone receptor function causes masculinization and suppression of ovarian development in genetically female medaka, *Endocrinology*, 155, 3136-3145, 2014. (DOI: 10.1210/en.2013-2060)
- 31 Jannat, M., Fatimah, R., Kishida, M., Nitrate (NO_3^-) and nitrite (NO_2^-) are endocrine disruptors to downregulate expression of tyrosine hydroxylase and motor behavior through conversion to nitric oxide in early development of zebrafish, *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 452, 608-613, 2014. (DOI: 10.1016/j.bbrc.2014.08.114)
- 32 Jannat, M., Sugiyono, Kishida, M., Nitrite (NO_2^-) perturbs the activity of serotnergic neuron during early development of zebrafish, *Int. J. Eng. Res. Sci & Tech.* 3, 1-11, 2014.
- 33 Mst. Mahmuda Parvin, Naoyuki Tadakuma, Hisafumi Asaue, and Katsuaki Koike: Delineation and interpretation of spatial coseismic response of groundwater levels in shallow and deep parts of an alluvial plain to different earthquakes: a case study of the Kumamoto City area, southwest Japan, *Journal of Asian Earth Sciences*, 83, 35–47,

2014. (DOI: 10.1016/j.jseaes.2014.01.011)
- 34 Tadasuke Kudo, Ryuichi Kawamura, Hidetaka Hirata, Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue and Kei Yoshimura, Large-scale vapor transport of remotely evaporated seawater by a Rossby wave response to typhoon forcing during the Baiu/Meiyu season as revealed by the JRA-55 reanalysis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2014. (DOI: 10.1002/2014JD021999)
- 35 Gholam Abbas Kazemi, Kimpei Ichiyanagi, Jun Shimada, Isotopic characteristics, chemical composition and salinization of atmospheric precipitation in Shahrood, northeastern Iran. *Environmental Earth Sciences*, 2014. (DOI: 10.1007/s12665-014-3430-3)
- 36 Yaser Nikpeyman, Masahiko Ono, Takahiro Hosono, Heejun Yang, Kimpei Ichiyanagi, Jun Shimada, Kyoshi Takikawa, Distribution patterns of salinity and ²²²Rn in Yatsushiro Inland Sea, Kyushu, Japan, *IAHS Publ.*, no. 365, 49-54, 2014.
- 37 L. Dong, J. Shimada, M. Kagabu, C. Fu, Teleconnection and climatic oscillation in aquifer water level in Kumamoto plain, Japan. *Hydrological Processes*, 2014. (DOI: 10.1002/hyp.10291)
- 38 L. Dong, J. Shimada, M. Kagabu, Heejun Yang, Barometric and tidal-induced aquifer water level fluctuation near the Ariake Sea. *Environ. Monit. Assess* 187:4187, 2015. (DOI: 10.1007/s10661-014-4187-6)
- 39 Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Spatial analysis of annual mean stable isotopes in precipitation across Japan based on an intensive observation period throughout 2013. *Isotopes in Environmental & Health Studies*, 2016. (DOI : 10.1080/10256016.2015.1132215).
- 40 Hosono, T., Alvarez, K., Lin, I-T., Shimada, J. Nitrogen, carbon, and sulfur isotopic change during heterotrophic (*Pseudomonas aerofaciens*) and autotrophic (*Thiobacillus denitrificans*) denitrification reactions. *Journal of Contaminant Hydrology*, 183, 72-81, 2015.
- 41 Yaser Nikpeyman, Takahiro Hosono, Masahiko Ono, Heejun Yang, Jun Shimada and Kiyoshi Takikawa, Assessment of the spatial distribution of submarine groundwater discharge (SGD) along the Yatsushiro Inland Sea coastline, SW Japan, using ²²²Rn method. *J. Radioanal Nucl Chem*, 2015 (DOI 10.1007/s10967-015-4573-8)
- 42 Masahiro Tanoue, Kimpei Ichiyanagi & Kei Yoshimura, Verification of the isotopic composition of precipitation simulated by a regional isotope circulation model over Japan. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2016. (DOI:10.1080/10256016.2016.1148695)
- 43 Hosono, T.; Alvarez, K., Muwae, M., Lead isotope ratios in six lake sediments cores from Japan Archipelago: Historical record of trans-boundary pollution sources. *Science of the Total Environment*, 2016 (accepted).
- 44 Mizota, C., Hosono, T., Matsunaga, M., Yamanaka, T. Oxygen and nitrogen isotopic constraints to the origin of saltpetre in historic gunpowder prevailed during the 19th century in Japan. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2016 (accepted).
- 45 Hossain, S., Hosono, T., Ide, K.; Matsunaga, M., Shimada, J. Redox processes and occurrence of arsenic in a volcanic aquifer system of Kumamoto Area, Japan. *Environmental Earth Sciences*, 2016 (accepted).
- 46 Rahman, A.T.M.S., Jahan, C.S., Mazumder, Q.H., Kamruzzaman, Md.; Hosono, T. Drought analysis and its implication in sustainable water resource management in Barind area, Bangladesh. *Journal of the Geological Society of India*, 2016 (accepted).
- 47 Zeng, X.Y., Hosono, T., Ohta, H., Niidome, T., Shimada, J., Morimura, S. (2016) Comparison of Microbial Communities Inside and Outside of a Denitrification Hotspot in Confined Groundwater. *International Biodeterioration & Biodegradation*, in press.

[proceedings(査読審査の入るものに限る)]

- 1 Shimada, J., Ichiyangi, K., Kagabu, M., Saita, S. and Mori, K., Effect of artificial recharge using abandoned rice paddies for the sustainable groundwater management in Kumamoto, Japan, World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, Proceedings of the 2012 Congress, 59-69, 2012.
- 2 Shimada, J., Ichiyangi, K., Kagabu, M., Saita, S. and Mori, K., Evaluation of long-term artificial groundwater recharge through leaky rice paddies with a 500 year history, IAH2012 congress, Niagarafalls, Canada extended abstract, 232. 6p, 2012.
- 3 Ichiyangi, K., Shimada, J., Kagabu, M., Saita, S. and Mori K., Simulations of Tritium age and $\delta^{18}\text{O}$ distributions in groundwater by using surface-subsurface coupling full-3D distribution model (GETFLOWS) in Kumamoto, Japan, In Extended Abstract of the 39th Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH), Sheraton on the Falls Conference Centre, Ontario, Canada. Abstract ID, 280, 8p, 2012.
- 4 Kudo, K., Shimada, J. and Tanaka, N., The estimation of groundwater recharge rate for different land use – observation study at paired forest and grassland watersheds, IAH2012 congress, Niagarafalls, Canada extended abstractID 419, 10p, 2012.
- 5 Murakami, Y., , Itomitu, N., Tomiie, K., Kakimoto, R. and Kawagoshi, Y., Investigation of contributory factors to $\text{NO}_3\text{-N}$ contamination of the ground water in kumamoto area by nitrogen isotope ratio and administrative data, SETAC Asia/Pacific 2012, SETAC Asia Pacific 2012 Abstracts Plenary Lecture, 169, 2012.
- 6 Hosono, T., Tokunaga, T., Tsushima, A., Kagabu, M., Nakata, H., Shimada, J., Multiple-use of stable isotope ratios to understand groundwater quality changes in Kumamoto area, southern Japan. IAHS Publ., 2013, 361, 257-264, 2013.
- 7 Asaue, H., Koike, K., and Shimada, J., “Development of Electric Survey method with Variable Frequencies for Aquifer Exploration,” *Proceedings of 13th International Symposium on Mineral Exploration (ISME-XIII)*, VNU, Hanoi, Vietnam, 101-106, 2014. (<http://www.isme-detec.org/ISME/ISME.htm>)
- 8 Shinya Ueno, Groundwater Preservation Policies for Sustainable Development of Regions, The Asian Association for Public Management, (Proceeding), January 9th, 2015.

2. その他の著作物(総説、書籍など)

- 1 嶋田 純, 地球環境学事典(項目執筆)地上と地下をつなぐ水の循環, 総合地球環境学研究所編. 弘文堂, 78-79, 2010.
- 2 嶋田 純, アジアモンスーン地域における可能地下水涵養量と地下水資源管理. 日本地下水学会・日本水文科学会合同シンポジウム, 地下水涵養—水循環プロセスにおける地下水—講演要旨集, 3-8, 2011.
- 3 嶋田 純, いま地下水学に求められていること. 日本地下水学会巻頭言 地下水学会誌 53 巻 3 号, 247-250, 2011.
- 4 河原正泰, 熊本大学における金属教育の現状, 金属, 第 82 巻, 第 1 号, 87 -89, 2012.
- 5 嶋田純, 資源貧国日本における持続利用可能資源としての地下水と地熱, 地熱学会誌巻頭言, 日本地熱学会誌, 第 33 巻, 第 3 号, 113-114, 2012.
- 6 河原正泰, スラッグ特性に関する工業的課題と取り組み, 日本学術振興会素材プロセッシング第 69 委員会第1分科会(第 53 回)資料, 1-4, 2012.
- 7 Shimada, J., Sustainable management of groundwater resources for 700,000 plus residents – A practical example of the trans-boundary management of groundwater resources in Kumamoto area, Japan—, in Chapter 20, Taniguchi, M. and Shiraiwa, T. ed.: *The Dilemma of Boundaries, Toward a New Concept of Catchment*, Springer, 235-246, 2012.
- 8 嶋田純, 地下水と都市の共生-熊本の水理地質と美味しい水-, 食生活, 第 106 巻, 第 4 号, 41-45, 2012.

- 9 一柳錦平, 日本水文科学会 同位体マッピング・ワーキンググループ (Isotope Mapping Working Group; JAHS-IMWG) 2012 年度活動報告, 日本水文科学会誌, 第 43 巻, 第 1 号, 31-32, 2013.
- 10 細野高啓, 地下水研究における種々の安定同位比を用いた新たな取り組み. In: 特集『水環境評価に向けた安定同位体研究の最前線』, 水環境学会誌, 第 36 巻, 231-236, 2013.
- 11 嶋田 純, 熊本地域における広域地下水流動の実態とその持続的管理を目指した取り組み. 全国環境研会誌, 第 38 巻, 第 1 号, 11-16, 2013.
- 12 嶋田 純, 広域地下水流動の実態を踏まえた熊本地域における地下水の持続的利用を目指した新たな取り組み—地下水資源量維持のための揚水許可制の導入—. 日本地下水学会誌, 第 55 巻, 第 2 号, 157-164, 2013.
- 13 利部 慎, 松永 緑, 嶋田 純, 島野安雄, 名水を訪ねて(101)阿蘇カルデラ内の名水—約 25 年ぶりの再訪問—. 日本地下水学会誌, 第 55 巻, 第 2 号, 217-229, 2013.
- 14 嶋田 純, これからの地下水学と学会のありかた. 日本地下水学会巻頭言 地下水学会誌 55 巻 3 号, 251-252, 2013.
- 15 嶋田 純, 応用地質学的情報を踏まえた自然との共生. 応用地質学会会誌巻頭言 応用地質 第 54 巻, 第 6 号, 227, 2014.
- 16 嶋田 純, 谷口真人, 水循環基本法に関する学会からの提言. 日本地下水学会巻頭言, 地下水学会誌, 第 56 巻, 第 3 号, 187-188, 2014.
- 17 嶋田 純, 地下水と都市の共生-美味しい水を守る熊本の取組-. Approach Autumn 号 8-12, 2014.
- 18 嶋田 純, 水理地質構造と地域の水利用を巧みに利用した地下水保全—熊本地域における広域的な持続的地下水管理の取組—. 水循環—貯留と浸透—. 94 号, 雨水貯留浸透技術協会, 15-18, 2014.
- 19 一柳錦平, 日本水文科学会 同位体マッピングワーキンググループ (Isotope Mapping Working Group; JAHS-IMWG) 2013 年度活動報告. 日本水文科学会誌, 第 44 巻, 第 3 号, 1-3, 2014.
- 20 一柳錦平, 嶋田 純, 利部 慎, 松永 緑, International Association of Hydrogeologists (IAH 2013), 15-20 September 2013, Perth Convention and Exhibition Center, Perth, Western Australia 参加報告. 日本水文科学会誌, 第 43 巻, 第 4 号, 151-153, 2014.
- 21 嶋田 純, 水循環系の中の地下水を学ぶ. <日本水文科学会誌巻頭言> 日本水文科学会誌. 第 45 巻, 第 1 号, 1-2, 2015.
- 22 細野高啓, Ako, A.A., Richard, A., 井手 淨. 名水を訪ねて(108)カメルーン山周辺の湧水群 地下水学会誌, 第 57 巻, 93-107, 2015.
- 23 細野高啓・林 段田・アルバデス・ケリー・森村 茂・曾 祥勇・森 康二・田原康博・松永 緑・ホセイン・シャハダット・嶋田 純, 地下水硝酸汚染研究における最近のトレンドと今後の方向性: 熊本地域の事例を通して, 地下水学会誌, 第 57 巻, 第 4 号, 439-465, 2015.
- 24 嶋田 純・上野真也 編著, 持続可能な地下水利用に向けた挑戦—地下水先進地域熊本からの発信— 熊本大学政創研叢書 9 14 章, 310 頁, 成文堂, 2016.

3. 国際学会発表及び主要な国内学会発表

(1) 招待講演 (国内会議 22 件、国際会議 8 件)

1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

<国内>

1 嶋田 純, The trans-boundary management of groundwater resources in Kumamoto area, Japan— Sustainable management of groundwater resources for over 700,000 residents — Special lecture of APIEL program, Univ. of Tokyo, 東京大学工学部, :2011年8月15日.

- 2 嶋田 純, 沿岸を含む流域規模での火山岩性岩盤地下水流動の実態把握. 2011年度日本地球化学会第58回大会招待講演, 北海道大学, 2011年9月14日.
- 3 嶋田 純, 細野高啓: アジア沿岸域における地下水のマルチ同位体比研究, 第1回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所(主催: 総合地球環境学研究所), 2011年9月29-30日(講演日29日).
- 4 古川憲治, アナモックスを活用する高速窒素除去, 水産学会・シンポジウム, 長崎大学, 2011年10月2日.
- 5 古川憲治, 窒素汚染から水環境を守る一嫌気性アンモニア酸化(anammox)を活用する高速窒素除去技術一, RIST2011 シンポジウム, メルパル熊本, 2011年10月19日.
- 6 城 昭典, 有害性及び環境汚染性陰イオンに選択的な吸着材の開発, 第27回日本イオン交換研究発表会, フェニックスシーガイアリゾート シーガイアコンベンションセンター, 2011年11月25日.
- 7 城 昭典, 電子線前照射グラフト重合法による高速で水中溶存イオンを吸着する繊維状吸着剤の開発, 日本アイソトープ協会放射線取扱主任者部会第18回九州支部主任者研修会, 熊本大学くすの木会館, 2011年10月14日.
- 8 河原正泰, 非鉄製錬スラグからの重金属の溶出性と溶出防止について, 日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部平成23年度秋季講演会, 熊本大学, 2011年10月21日.
- 9 一柳錦平, 日本の降水同位体比と水蒸気の起源, 同位体環境学研究会, 総合地球環境学研究所, 2012年10月19日.
- 10 中田晴彦, 折式田崇仁, 細野高啓, 利部慎, 小野昌彦, 徳永貴大, 嶋田純, 地下水中の合成甘味料をトレーサーとした熊本地域の水流動機構の推定と人為影響評価の可能性 2012年度日本地球化学会年会, 福岡市, 2012年9月13日.
- 11 河原正泰, 熊本大学における材料教育の現状と取組み, 日本金属学会・日本鉄鋼協会九州支部合同学術講演会, 2012年6月9日.
- 12 北野健, 魚類における温度依存性決定の分子機構, 第37回日本比較内分泌学会大会シンポジウム, 福井市, 2012年11月30日.
- 13 細野高啓, 炭素、窒素、硫黄安定同位体比組み合わせによる帯水層中の生物地球化学プロセス研究: 熊本地域を例にして. 2013年度日本水文学会, 千葉商科大学, 2013年10月19-20日(発表日: 10月20日).
- 14 一柳錦平, 日本の降水安定同位体比の時空間変動を明らかにする! プロジェクト進行中. 第26回秋田県立大学生物環境科学科セミナー, 秋田県立大学, 2013年12月6日.
- 15 細野高啓, 地下水硝酸汚染研究における最新のトレンドと今後の方向性: 熊本地域の事例を通して. 日本地下水学会 2014年秋季学術大会公開シンポジウム『地下水流動に伴う帯水層中での硝酸性窒素の振る舞い』. 熊本パレア 10F, 2014年11月7日.
- 16 嶋田 純, 二毛作水田地帯における施肥起源の窒素負荷による浅層不圧地下水中の窒素収支の検討 - 地下水観測結果を踏まえた地下水シミュレーションに基づいた考察 -. 日本地下水学会 2014年秋季学術大会公開シンポジウム『地下水流動に伴う帯水層中での硝酸性窒素の振る舞い』. 熊本パレア 10F, 2014年11月7日.
- 17 森 康二, 流域スケールにおける窒素移動過程の数理モデリング. 日本地下水学会 2014年秋季学術大会公開シンポジウム『地下水流動に伴う帯水層中での硝酸性窒素の振る舞い』. 熊本パレア 10F, 2014年11月7日.
- 18 松永 緑, 観測結果を踏まえた地下水シミュレーションに基づいた都城盆地における地下水中の硝酸性窒素の挙動と自然浄化機能に関する考察. 日本地下水学会 2014年秋季学術大会公開シンポジウム『地下水流動に伴う帯水層中での硝酸性窒素の振る舞い』. 熊本パレア 10F, 2014年11月7日.
- 19 嶋田 純, 『アジアモンスーン地域における持続的地下水管理のあり方・熊本大学における研究と教育の両面での活動』. 日本学術会議九州・沖縄地区会議科学者懇談会・学術講演会 講演、ANA クラウンプラザホテル熊本ニュースカイ会議室, 2014年11月3日.

20 嶋田 純, 礫性石灰岩からなる大洋島での持続可能な地下水利用のありかた. 「熊本大学CRESTプロジェクト南大東島地下水調査報告会」、南大東村役場会議室, 2015年6月8日

21 嶋田 純, 熊本地域の地下水流動の仕組み. 肥後の水とみどりの愛護基金・地下水啓発市民講座, 『熊本地域の広域地下水流動の仕組みを踏まえた持続的地下水管理』熊本市水の科学館研修ホール, 2015年7月12日.

22 細野高啓, 梁熙俊, 小野昌彦, 滝川清, Nikpeyman, Y., 嶋田 純. ラドン濃度連続観測に基づく海底地下水の分布特性と湧出量の推定: 八代海沿岸域における事例. 日本地球惑星科学連合大会 (JpGU 2015, 2015年5月24~28日), 千葉県, 幕張メッセ, 国際会議場, 2015年5月26日.

〈国際〉

1 Yoshinobu Yamagiwa and Kenji Furukawa, Single-stage nitrogen removal using anammox and partial nitrification (SNAP) with acrylic pile fabrics as biomass carriers, Proceedings of First International Anammox Symposium, pp.217-224, Kumamoto University 20 May, 2012.

2 Kishida M., Effects of estrogen on dopaminergic neurons and motility of zebrafish during early development, International Conference on Life Sciences (ICLS) , Malan, Indonesia, 14-16 Jul, 2012.

3 Kishida M., Effects of endocrine disruptors on dopaminergic neurons in zebrafish larvae, International Seminar and Symposium on Use of Herbs for Prevention of Vascular and Neurodegenerative Diseases, University of Brawijaya, Malan, Indonesia, 6-9 Mar, 2013.

4 Shinya Ueno, Groundwater Preservation Policies for Sustainable Development of Regions, The Asian Association for Public Management, (Proceeding), 9 Jan, 2015.

5 Jun Shimada, Transboundary Groundwater Management of Kumamoto Area, Japan-Sustainable Development of Groundwater Resources to support 700000 Resident's city water-, Invited lecture for the Korea Research Institute of Geology and Mineral Resources (KIGAM). Taejeon, Korea, 25, Apr, 2014.

6 Kishida, M. Nitrate and nitrite act as an endocrine disruptor to downregulate neuronal activities: Zebrafish model for monitoring aquatic environment, 2nd International Biological Conference: Diversity and Biotechnology for Human Welfare, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 8 Nov, 2014.

7 Jun Shimada, Scientific approach to understand the trans-boundary management of groundwater resources in Kumamoto area, Japan, Key note speaker for the Environmental Conference on Environmentally Friendly Civil Engineering Construction and Materials (EFCECM 2014),

‘ Creating and Adapting Sustainable Technologies ’ Sam Ratulangi Univ., Manado, Indonesia. 13-14 Nov, 2014.

8 Kimpei Ichyanagi, Seasonal variation of stable isotopes in precipitation across Japan. MAHASRI Workshop, Asian monsoon Hydroclimate -Review of MAHASRI and Beyond-, Nagoya, Japan, 5 Mar, 2015.

(2) 口頭発表 (国内会議 121 件、国際会議 62 件)

1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

〈国内〉

1 松永 緑, 嶋田 純, 利部 慎, 井川玲欧, 森田, 辻村真貴: 地下水中の ^{85}Kr を用いた年代測定手法の検証. 日本地下水学会 2011 年度春季学術大会講演要旨 30. 2011 年 5 月.

2 谷口真人, 嶋田 純, 福田: アジア沿岸都市における持続的地下環境利用のための自然許容量と社会のケーパビリティ評価. 2011 年度地球惑星連合大会, U001-03: 5 月 22 日.

- 3 利部 慎, 嶋田 純, 中村, 谷口真人, Jakarta 地域における過剰揚水に伴う地下水年代の若返り現象. 2011 年度地球惑星連合大会, U001-08:5 月 22 日
- 4 辻村真貴, 萩原, 山中 勤, 嶋田 純, 谷口真人, タイ・バンコクにおける人間活動が地下水循環系に及ぼす影響. 2011 年度地球惑星連合大会, U001-03:5 月 22 日.
- 5 佐藤 透, 小野昌彦, 一柳錦平, 嶋田 純, 丸山, 山宮, 比抵抗探査法と水の安定同位体比を用いた温暖湿潤気候でのトウモロコシの吸水深度変化の把握. 日本地下水学会 2011 年度秋季学術大会講演要旨 51. 2011 年 10 月.
- 6 細野高啓, 同位体トレーサーで追跡した帯水層中での脱窒現象の実態, 熊本大学水循環 CREST プロジェクト(地域水循環を踏まえた地下水持続利用システムの構築)シンポジウム『地下水帯水層中の硝酸性窒素汚染にいかに対処できるか?』(主催:熊本大学水循環 CREST 研究プロジェクト, 熊本大学地下水環境リーダー育成国際共同教育拠点 (GelK), 熊本大学拠点形成研究「地域水循環に基づく持続的水資源利用のフロンティア研究」), 2011 年 10 月 23 日.
- 7 小林志保, 谷口真人, 細野高啓, 中島泰弘; 海岸湧水による栄養塩供給が沿岸生態系に及ぼす影響の検討, 日本地下水学会 2011 年秋季講演会(広島大会)No.62, 2011 年 10 月 20-22 日(発表日 21 日).
- 8 河野麻希子, 浅原良浩, 谷水雅治, 南雅代, 中村俊夫, 細野高啓; 過去 5000 年間に北海道利尻島に飛来した鉛の供給源解析, 2011 年度日本地球化学会年会, 北海道大学, 2011 年 9 月 14-16 日(発表日 14 日).
- 9 折式田崇仁, 中田晴彦, 小野昌彦, 徳永貴大, 利部慎, 嶋田純, 細野高啓. 地下水中の人工甘味料と化学トレーサーとしての利用可能性について 第 14 回日本水環境学会シンポジウム(水環境と洗剤研究委員会), 仙台 2011 年 9 月 10-11 日.
- 10 田上雅浩, 一柳錦平, 嶋田純, 熊本における降水安定同位体比の季節変動. 日本気象学会2011年度春季大会, 代々木オリンピック記念センター, 東京. 2011年5月18日-21日.
- 11 一柳錦平, 小野昌彦, 山浦剛, 熊本市江津湖における湖底湧水の潜水調査. 2011年日本水文科学会学術大会, 北海道大学. 2011年10月8-9日.
- 12 武川将士, 大田哲, 吉田大祐, 佐藤宇紘, 古川憲治, 平大輔, 西山孝, 藤井隆夫: 80L SNAP リアクタの立ち上げと安定運転に関する研究. 日本水処理生物学会, 立命館大学琵琶湖・草津キャンパス, 2011 年 11 月 16 日-18 日.
- 13 水田尚哉, 河原正泰: 銅スラグからの鉛溶出性に関する研究. 資源・素材学会九州支部平成 23 年度春季例会, 九州大学, 2011 年 6 月 3 日.
- 14 池尻貴裕, 河原正泰: Mg-Zn-Y-Nd 合金からの希土類元素の分離. 資源・素材学会九州支部平成 23 年度春季例会, 九州大学, 2011 年 6 月 3 日.
- 15 川越保徳, 友重勇氣, 山城建人, Wei Qiaoyan, Luong V. Duc, 海洋性嫌気性 Ammonium 酸化細菌の培養系に与える温度の影響. 日本水処理生物学会第 48 回大会, 日本水処理生物学会誌, 31, 49. 立命館大学, 2011 年 11 月 16 日~18 日.
- 16 川越保徳, 富家和男, 柿本竜二, 糸密尚貴, 窒素安定同位体比と行政データによる地下水硝酸性窒素汚染の負荷要因推定. 第 46 回日本水環境学会年会講演集, 296. 東洋大学, 2012 年 3 月 14-16.
- 17 葎原孝雄, 森村 茂, 太田広人, 木田建次, 増田龍哉, 滝川 清: 白川および緑川河口干潟で検出された特徴的な硫黄酸化細菌群の解析. 第 63 回日本生物工学会大会講演要旨 p.126, 東京農工大学, 2011 年 9 月 27 日.
- 18 渡邊千夏, 森村 茂, 中野光暁, 葎原孝雄, 太田広人, 木田建次, 増田龍哉, 嶋永元裕, 逸見泰久, 滝川 清: 八代海の環境改善技術開発に向けた底質部の微生物群集解析. 第 63 回日本生物工学会大会講演要旨 p.127, 東京農工大学, 2011 年 9 月 27 日.
- 19 中當 寛, 北垣将泰, 松浦博孝, 城 昭典, 玉田正男, 瀬古典明, 反応速度論的に優れた硝酸イオン選択性陰イオン交換繊維の開発, 第 20 回環境化学討論会要旨集, 熊本県立大学, 7 月 18 日.
- 20 北野健.(招待講演) 温度依存性決定の分子メカニズム. 平成 23 年度温熱生理研究会(岡崎). 2011 年 9 月 2 日.

- 21 Hanif and Kishida M., Progesterone decreased the tyrosine hydroxylase expression in dopaminergic neuron in zebrafish (*Danio rerio*) embryo. 平成 23 年度日本水産学会秋季大会(長崎). 2011 年 9 月 30 日.
- 22 Aurora H. and Kishida M., Genistein affects dopaminergic neurons in early development of zebrafish (*Danio rerio*) 平成 23 年度日本水産学会秋季大会(長崎). 2011 年 9 月 30 日.
- 23 Riawan W. and Kishida M., Effects of Cadmium on Expression of the Genes Related to Estrogen Signaling in Zebrafish Embryos. 平成 23 年度日本水産学会秋季大会(長崎). 2011 年 9 月 30 日.
- 24 Khotimah H. and Kishida M., LPS-induced Cell Death in Early Development of Zebrafish (*Danio rerio*). 平成 23 年度日本水産学会秋季大会(長崎). 2011 年 9 月 30 日.
- 25 北野健, 林裕輝, 白石絵吏. コルチゾルは高温によるメダカの雄化に関与する. 第 36 回日本比較内分泌学会大会(東京). 2011 年 11 月 23-24 日.
- 26 木寺智則, 白石絵吏, 松田勝, 井尻成保, 北野健. メダカにおける Gonadal Soma-Derived Factor(GSDF)の機能解析. 第 36 回日本比較内分泌学会大会(東京). 2011 年 11 月 23-24 日.
- 27 Jannat, M. and Kishida, M. (2011) Exposure to nitrate decreases activity of dopaminergic neuron in early development of zebrafish (*Danio rerio*). 第 36 回日本比較内分泌学会大会(東京). 2011 年 11 月 23-24 日.
- 28 Kishida, M. and Hanif (2011) Progesterone up regulates brain aromatase to affect dopaminergic neuron in early development of zebrafish (*Danio rerio*). 第 36 回日本比較内分泌学会大会(東京). 2011 年 11 月 23-24 日.
- 29 亀井保博, 浦和博子, 山本和彦, 金子拓也, 木村英二, 出口友則, 弓場俊輔, 北野健, 尾田正二等. 赤外レーザーによる遺伝子発現システム(IR-LEGO)の様々なモデル生物への応用. 第 34 回日本分子生物学会年会(横浜). 2011 年 12 月 13 日.
- 30 Ansai S., Gou Y., Kitano T., Ochiai H., Kamei Y., Yamamoto T. and Kinoshita M. Targeted gene disruption in medaka using zinc-finger nucleases-knock out of GFP gene. 第 34 回日本分子生物学会年会(横浜). 2011 年 12 月 13 日.
- 31 内川拓, 小平博史, 平井俊朗, 北野健. メダカ濾胞刺激ホルモン受容体の発現制御機構の解析. 平成 24 年度日本水産学会大会(東京). 2012 年 3 月 27 日.
- 32 木寺智則, 内川拓, 白石絵吏, 松田勝, 井尻成保, 北野健. GSDF(gonadal soma-derived growth factor)はメダカ遺伝的雌の雄化を引き起こす. 平成 24 年度日本水産学会大会(東京). 2012 年 3 月 27 日.
- 33 山口寿哉, 平井俊朗, 北野健. 高水温による csf-1 受容体の発現誘導とコルチゾルとの関係. 平成 24 年度日本水産学会大会(東京). 2012 年 3 月 27 日.
- 34 一柳錦平, 同位体マッピング・ワーキンググループ活動報告, 日本水文科学会学術大会, 神奈川県温泉地学研究所, 2012 年 10 月 27-28 日.
- 35 田上雅浩, 一柳錦平, 嶋田純, 日本における降水安定同位体組成の時空間変動特性, 日本水文科学会学術大会, 神奈川県温泉地学研究所, 2012 年 10 月 27-28 日.
- 36 一柳錦平, 日本全国における降水同位体比の集中観測, 第 2 回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境科学研究所, 2013 年 2 月 18-19 日.
- 37 細野高啓, 徳永貴大, 利部 慎, 中田晴彦, 折式田崇仁, 嶋田 純. 熊本地域における地下水硝酸の起源と流動に伴う汚染減衰メカニズム, 2012 年度日本水文科学会, 神奈川県温泉地学研究所, 2012 年 10 月 27-28 日.
- 38 松永緑, 嶋田純, 三上久美子, 細野高啓, 利部慎, 岩佐耕次, 宮崎県都城盆地における地下水流動を踏まえた地下水中の硝酸イオンの挙動, 2012 年度秋季地下水学会, 鹿児島大学, 2012 年 9 月 27-29 日.
- 39 細野高啓, 熊本地域の被圧地下水帯水層中の脱窒機構, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム領域」, 熊本大学・埼玉大学 CREST 合同ワークショップ『地下水帯水層中での脱窒菌の振る舞い』, 熊本大学, 2012 年 11 月

17 日.

40 細野高啓, Lin, I-T., 実験室レベルでのマルチトレーサーを用いた脱窒機構の解明, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム領域」, 熊本大学・埼玉大学 CREST 合同ワークショップ『地下水帯水層中での脱窒菌の振る舞い』, 熊本大学, 2012 年 11 月 17 日.

41 利部慎, 嶋田純, 細野高啓, 松永緑, 熊本地域における若い年代トレーサーの濃度分布特性と濃度上昇の要因検討, 2012 年度日本水文科学会, 神奈川県温泉地学研究所, 2012 年 10 月 27-28 日.

42 折式田崇仁, 中田晴彦, 細野高啓, 利部慎, 小野昌彦, 徳永貴大, 嶋田純, 地下水および河川水中の人工甘味料をトレーサーとした熊本地域の水流動機構の推定, 第 21 回環境化学討論会, 愛媛県文化会館, 2012 年 7 月 11-13 日.

43 小金丸重徳, 河原正泰, 溶媒抽出におけるミッシュメタルからの希土類金属の分離, 資源・素材学会九州支部平成 24 年度春季例会, 九州大学, 2012 年 5 月 25 日. 《優秀発表賞受賞》

44 中村俊大, 河原正泰, 廃ブラウン管ファンネルガラスの Pb 回収後残渣からの Pb 溶出性, 資源・素材学会九州支部平成 24 年度春季例会, 九州大学, 2012 年 5 月 25 日.

45 河原正泰, 銅製錬スラグからの重金属の溶出挙動, 資源・素材 2012(堺)講演資料, 375-378, 2012 年 9 月 12 日.

46 麻植久史, 比抵抗法による沿岸域断層構造推定, 資源・素材学会, 資源素材 2012(秋季大会)秋季大会講演集, 75-76. 2012 年.

47 工藤圭史, 嶋田純, 丸山篤, 田中伸広, 異なる地表面植生条件下における置き換え流モデル (DFM) と水収支法から求めた地下水涵養量の定量的把握, 2012 年度地球惑星連合大会 U-05-08, 2012 年 5 月 20-25 日.

48 松永緑, 嶋田純, 利部慎, 三上久美子, 細野高啓, 岩佐耕次, 浅層不圧地下水の硝酸性窒素汚染の深層被圧地下水への影響—都城盆地における調査事例に基づく考察—, 日本応用地質学会九州支部平成 24 年度研究発表会要旨, 3, 9-14, 熊本大学工学部百周年記念館, 2012 年 11 月.

49 工藤圭史, 嶋田純, 丸山篤, 田中伸広, 森林流域およびそれに隣接する牧草流域における流域水収支観測と土壌同位体プロファイル法に基づく地下水涵養量の比較, 日本応用地質学会九州支部平成 24 年度研究発表会要旨, 4, 15-20, 熊本大学工学部百周年記念館, 2012 年 11 月.

50 内川拓, 小平博史, 平井敏朗, 北野健, メダカ濾胞刺激ホルモン受容体の発現制御機構の解析, 平成 24 年度日本水産学会大会, 東京都, 2012 年 3 月 27 日.

51 木寺智則, 内川拓, 白石絵吏, 松田勝, 井尻成保, 北野健, GSDF (gonadal soma-derived growth factor) はメダカ遺伝的雌の雄化を引き起こす, 平成 24 年度日本水産学会大会, 東京都, 2012 年 3 月 27 日.

52 生塩文子, 江頭恒, 安部眞一, RNA 結合タンパク質 RBM3 の発現制御機構と細胞の生存における機能の解析, 日本動物学会第 83 回大会, 大阪市, 2012 年 9 月 13 日.

53 天辰奏太, 江頭恒, 安部眞一, 細胞増殖における RNA 結合タンパク質 RBM3 の機能解析, 日本動物学会第 83 回大会, 大阪市, 2012 年 9 月 13 日.

54 吉田千恵, 徳永貴大, 細野高啓, 太田広人, 森村茂, 硝酸性窒素汚染が懸念される畑地土壌の菌叢解析, 第 19 回日本生物工学会九州支部大会講演要旨集, 25, 別府大学, 2012 年 12 月 1 日.

55 村上祐也, 木良祐輔, 川越保徳, 地下水中硝酸性窒素濃度へのシミュレーションモデル適用可能性, 平成 24 年度日本水環境学会年会, 大阪工業大学, 2013 年 3 月 11 日.

56 木良祐輔, 川越保徳, 村上祐也, 地下水中硝酸性窒素濃度と降雨および地下水位との関係, 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集(CD-ROM), VII-1, 2013 年 3 月 9 日.

57 松浦博孝, 中當寛, 金丸亮太, 井原敏博, 城昭典, 瀬古典明, トリペンチルベンジルアンモニウムを交換基とする強塩基性陰イオン交換繊維による地下水中硝酸イオンの高速除去, 第 28 回日本イオン交換研究発表会, 東京工業大学, 2012 年 10 月 19 日.

58 工藤圭史, 森川晋太, 嶋田純, 壁谷直記, 田中伸廣, 比抵抗探査と安定同位体比滞留

- 時間解析に基づく流域貯留構造の比較. 日本地下水学会 2013 年度春季学術大会講演要旨 11, 千葉大・松戸, 2013 年 5 月 18 日 (地下水学会優秀発表賞受賞)
- 59 松永 緑, 嶋田 純, 三上久美子, 細野高啓, 利部 慎, 岩佐耕次, 都城盆地における地下水流動に伴う硝酸性窒素の挙動. 日本地下水学会 2013 年度春季学術大会講演要旨 16, 千葉大・松戸, 2013 年 5 月 18 日
- 60 梁 熙俊, 嶋田 純, 利部 慎, 沖縄県南大東島における地下水の現状及び淡水レンズの推定. 日本地下水学会 2013 年度春季学術大会講演要旨 34, 千葉大・松戸, 2013 年 5 月 18 日.
- 61 内村友哉, 田代真也, 白石絵吏, 矢澤隆志, 北野健, メダカ副腎皮質ホルモン放出ホルモンの発現制御におけるヒートショックプロテインの関与, 平成 25 年度日本水産学会大会, 東京都, 2013 年 3 月 27 日.
- 62 室積典和, 中島良, 平井敏朗, 亀井保博, 石川智子, 藤堂剛, 北野健, 濾胞刺激ホルモン受容体の機能欠損はメダカ雌の性成熟を阻害する, 平成 25 年度日本水産学会大会, 東京都, 2013 年 3 月 27 日.
- 63 渡辺裕太, 折式田崇仁, 中田晴彦, 細野高啓, 利部慎, 小野昌彦, 徳永貴大, 嶋田純. 地下水への漏出評価法検討 -水溶性難分解物質を指標にして-. 第 22 回環境化学討論会, 東京農業工業大学, 2013 年 7 月 31 日-8 月 2 日 (発表日: 31 日) .
- 64 聖川健斗, 安元 純, 中野拓治, 細野高啓, 嘉森裕史, 真謝孝正. 琉球石灰岩帯水層における地下水中の硝酸性窒素と脱窒メカニズム. 2013 年度春季地下水学会, 千葉大学, 2013 年 5 月 18 日 (発表日: 18 日)
- 65 工藤圭史・永松拓士・嶋田 純・田中. 水収支データに基づく異なる植生流域における地下水貯留変動の比較. 日本地下水学会 2013 年度秋季学術大会講演要旨 53. 2013 年 10 月.
- 66 利部 慎, 嶋田 純, 松永 緑, 井手 淨, 井川怜欧, 小野昌彦. ^{85}Kr により推定された熊本地域における地下水の滞留時間. 日本地下水学会 2013 年度秋季学術大会講演要旨 55. 秋田県民会館, 2013 年 10 月 11 日.
- 67 一柳錦平, 田上雅浩. 日本全国における降水安定同位体の 2013 年集中観測, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2013 年 5 月 19-24 日.
- 68 田上雅浩, 一柳錦平, 芳村圭, 嶋田 純. 冬季日本における同位体領域モデルを用いた水蒸気起源の推定. 日本水文科学会 2013 年度学術大会, 25-26, 2013 年 10 月 19-20 日. <優秀発表賞受賞>
- 69 聖川健斗, 安元 純, 細野高啓, 中野拓治. 沖縄本島南部地域における地下水の水質形成機構. 第 16 回日本水環境学会シンポジウム. 沖縄県立博物館, 2013 年 11 月 9-10 日 (発表日: 10 日) .
- 70 細野高啓, 徳永貴大, 對馬あかね, 嶋田純. C-N-S 安定同位体システムティクスの帯水層嫌気性微生物還元プロセス研究への応用. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉幕張メッセ, HTT32-P16, 2013 年 5 月 23 日.
- 71 國栖 真, 河原正泰. Cu スラグからの Pb 溶出性に及ぼす各種酸化物の影響, 資源・素材学会九州支部平成 25 年度春季例会, 熊本大学, 2013 年 5 月 31 日.
- 72 本田莊司, 河原正泰. 廃棄携帯電話からの金の回収, 資源・素材学会九州支部平成 25 年度春季例会, 熊本大学, 2013 年 5 月 31 日.
- 73 竹本 隼, 河原正泰. 多孔質酸化鉄粒子による水溶液中からの As の除去, 資源・素材学会九州支部平成 25 年度春季例会, 熊本大学, 2013 年 5 月 31 日. <優秀発表賞受賞>
- 74 吉田千恵, 細野高啓, 太田広人, 新留琢郎, 嶋田 純, 森村 茂: 地下水中で硝酸性窒素除去が予想される地点の菌叢解析. 第 20 回日本生物工学会九州支部佐賀大会, 佐賀大学, 2013 年 12 月 7 日.
- 75 金丸亮太, 中當 寛, 松浦博孝, 井原敏博, 城 昭典, 瀬古典明, 「硝酸イオン選択性陰イオン交換繊維を用いた硝酸イオンの高速除去」, 第 50 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, 平成 25 年 7 月 6 日.
- 76 浦田康平, 黄曉武, 韋巧艶, 濱武英, 川越保徳, 海洋性アナモックス細菌培養系の窒素

- 除去とバイオマス増殖に関する動力学的解析, 日本水処理生物学会第 50 回大会, 神戸市水道局たちばな職員研修センター, 2013 年 11 月 14 日.
- 77 山下敬裕, 芳野裕一郎, 松山みどり, 川越保徳, 植種源の違いと前集積培養が微生物燃料電池 (MFCs) の性能に与える影響, 日本水処理生物学会第 50 回大会, 神戸市水道局たちばな職員研修センター, 2013 年 11 月 14 日.
- 78 川越保徳, 濱武英, 北島隆, 木良祐輔, 地下水中硝酸性窒素濃度の週変動と地下水位との関係, 日本水処理生物学会第 50 回大会, 神戸市水道局たちばな職員研修センター, 2013 年 11 月 14 日.
- 79 御園生敏治, 麻植久史, 小池克明, 嶋田 純, 吉永 徹, 井上 誠, 「電気探査を用いた浅海域の水理地質構造のイメージング」, 平成 25 年度資源素材学会春季大会, 千葉工業大学, 平成 25 年 3 月 29 日.
- 80 松田博貴・佐藤祐也・栗崎弘輔・吉村和久, 鍾乳石に記録された表層環境変遷史の解説—沖縄県南大東島今村洞を例として. 地質学会第 120 年学術大会, 仙台, 平成 25 年 9 月 14 日.
- 81 島津 崇・八木正彦・松田博貴・橋本直明・水永泰介, 南大東島大東層の貯留岩性状と孔隙システム. 地質学会第 120 年学術大会, 仙台, 平成 25 年 9 月 14 日.
- 82 室積典和, 中島良, 平井俊朗, 亀井保博, 石川智子, 藤堂剛, 北野健. 性分化時期における濾胞刺激ホルモン受容体機能欠損メダカの表現型解析. 日本水産学会春季大会, 2014 年 3 月 28 日.
- 83 内川拓, 小平博史, 平井俊朗, 北野健. メダカ gonadal soma-derived growth factor による濾胞刺激ホルモン受容体の発現抑制機構の解析. 日本水産学会春季大会, 2014 年 3 月 28 日.
- 84 細野高啓, アルバレスケリー, 林 殷田, 嶋田 純. 脱窒菌培養実験に基づく、窒素・炭素・硫黄同位体比の変化傾向: 地下水硝酸汚染研究への応用, 2015 年度地球惑星連合大会 MIS26-23. 2015 年 5 月 29 日.
- 85 利部 慎, 松永 緑, 石井 智久, 嶋田 純. Kr85 を用いた地下水の滞留時間推定と他の水文トレーサーによるその検証. 2015 年度地球惑星連合大会 AHW24-11. 2015 年 5 月 29 日.
- 86 井手 淨, Hossain, S., 細野高啓, 嶋田 純. 地下水の滞留時間および飽和指数を用いた水-鉱物反応と飽和速度—霧島地域の事例—. 日本地下水学会 2014 年度秋季学術大会, 熊本パレア, 2014 年 11 月 7 日.
- 87 Hossain, S.; Hosono, T.; Matsunaga, M.; Ide, K.; Shimada, J. Distribution, Speciation and Release Mechanism of Arsenic into the Groundwater in Western Part of Kumamoto Area, Japan. 日本地下水学会 2014 年度秋季学術大会, 熊本パレア, 2014 年 11 月 6 日.
- 88 井手 淨, 利部 慎, 細野高啓, 嶋田 純. 繰り返し採水に基づく霧島火山周辺湧水の流動モデルと平均滞留時間推定, 2014 年度日本水文学会, 広島大学, 2014 年 10 月 4 日.
- 89 中野拓治, 安元 純, 聖川健斗, 廣瀬美奈, 細野高啓, 琉球石灰岩帯水層地下水の硝化・脱窒メカニズムの解明, 第 48 回日本水環境学会年会, 東北大学, 2014 年 3 月 17 日.
- 90 聖川健斗, 安元 純, 細野高啓, 長谷祥子, 松永 緑, 嶋田 純, 中野拓治, 石灰岩帯水層における地下水中の硝酸濃度と脱窒の季節変動特性, 日本地下水学会 2014 年度春季学術大会, 東京大学, 2014 年 5 月 24 日.
- 91 安元 純, 廣瀬(安元)美奈, 聖川健斗, 細野高啓, 松永 緑, 嶋田 純, 中野拓治, 微生物相解析からみる石灰岩帯水層における脱窒特性, 日本地下水学会 2014 年度春季学術大会, 東京大学, 2014 年 5 月 24 日.
- 92 松田博貴, 鹿島美香, 佐藤祐也, 吉村和久, 嶋田 純, 異なる地表植生下における鍾乳石成長過程と地下水浸透メカニズムの相違 —沖縄県南大東島を例として—, 地質学会第 121 年学術大会, 鹿児島, 平成 26 年 9 月 15 日.
- 93 持原光景, 島津 崇, 松田博貴, 沖縄県南大東島大東層試錐試料の苦灰岩に見られる続成シーケンスの検討, 炭酸塩コロキウム 2015 in 宮島, 広島, 平成 27 年 3 月 7 日.

- 94 鹿島美香, 嶋田 純, 松田博貴, 異なる地表植生下での鍾乳石成長過程と洞内環境・滴下水の化学的性質, 炭酸塩コロキウム 2015 in 宮島, 広島, 平成 27 年 3 月 8 日.
- 95 津留崎皓平, 鹿島美香, 嶋田 純, 松田博貴, 南大東島山下洞産鍾乳石の炭素・酸素同位体組成と Mg/Ca 比に基づく地表環境変遷の解明, 炭酸塩コロキウム 2015 in 宮島, 広島, 平成 27 年 3 月 8 日.
- 96 梁 熙俊, 田原康博, 松田博貴, 嶋田 純, 数値シミュレーションによる透水係数分布の適合性の評価-沖縄県南大東島の炭酸塩岩帯水層の事例-, 日本地下水学会 2014 年秋季講演会, 熊本, 平成 26 年 11 月 6-8 日.
- 97 上野眞也, 熊本の地下水保全政策自己組織性について, 日本公共政策学会, 2014 年 6 月 8 日.
- 98 久米田大樹, 河原正泰, スラグからの Pb 溶出性に関する研究, 資源・素材学会平成26年度「若手研究者および技術者の研究発表会」, 九州大学, 2014 年 5 月 30 日.
- 99 村上貴浩, 高崎裕太, 長船奈津美, 高木久徳, 井尻成保, 山本 卓, 北野 健, 卵巣型 aromatase ノックアウトメダカの作製とその表現型解析, 日本水産学会春季大会, 2015 年 3 月 28 日.
- 100 永田大生, 木村武志, 松川 誠, 内川 拓, 北野 健, シカメガキにおける hsp70 の発現, 日本水産学会春季大会, 2015 年 3 月 28 日.
- 101 麻植久史, 地下水脈探査のための特性周波数電気探査法, 平成 26 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 熊本, 9 月 15 日.
- 102 田上雅浩, 一柳錦平, 芳村 圭, 嶋田 純, 同位体領域モデルによって推定された冬季日本列島における水蒸気の起源, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜, 神奈川, 2014 年 4 月 28-5 月 2 日.
- 103 一柳錦平, 田上雅浩, 2013 年に観測した日本全国の降水安定同位体比の初期解析の結果, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜, 神奈川, 2014 年 4 月 28-5 月 2 日.
- 104 田上雅浩, 一柳錦平, 芳村 圭, 日本全国で一斉観測された降水同位体比データを用いた同位体領域気候モデルの検証, 第 4 回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 2014 年 12 月 22 日.
- 105 田上雅浩, 一柳錦平, 日本全国における水蒸気起源の季節変動パターン, 2014 年度日本水文科学学会学術大会, 広島大学, 2014 年 10 月 4-5 日.
- 106 工藤圭史, 嶋田 純, 田中伸宏, 源流域における降雨イベント規模に応じた河川流出機構の変化, 2014 年度地球惑星連合大会, パシフィコ横浜, 神奈川, 2014 年 4 月 28-5 月 2 日.
- 107 安元純, 廣瀬(安元)美奈, 細野高啓, 安元剛. 微生物相解析を用いた石灰岩帯水層における脱窒評価の試み. 17 回マリンバイオテクノロジー学会大会, 東京海洋大学, 2015 年 5 月 30 日.
- 108 細野高啓, Alvarez, K., 林殷田, 嶋田純. 脱窒菌培養実験に基づく、窒素・炭素・硫黄同位体比の変化傾向:地下水硝酸汚染研究への応用. 日本地球惑星科学連合大会 (JpGU 2015, 2015 年 5 月 24~28 日), 千葉県, 幕張メッセ, 国際会議場, 2015 年 5 月 28 日.
- 109 本田尚美, 谷口真人, 小野昌彦, 細野高啓, 梅澤有, 杉本亮, 山田誠. 日本沿岸域におけるラドン濃度の地域的差異に関わる環境要因の検討. 日本地球惑星科学連合年大会 (JpGU 2015, 2015 年 5 月 24~28 日), 千葉県, 幕張メッセ, 国際会議場, 2015 年 5 月 26 日.
- 110 Hossain, S., 細野高啓, 井手浄, 梁熙俊, 嶋田純. 熊本地域西部の地下水における高フッ素濃度の要因評価. 日本地球惑星科学連合年大会 (JpGU 2015, 2015 年 5 月 24~28 日), 千葉県, 幕張メッセ, 国際会議場, 2015 年 5 月 24 日.
- 111 田上雅浩, 一柳錦平, 高密度降水同位体比データを用いた同位体領域気候モデルの検証. 日本気象学会 2015 年度春季大会, つくば国際会議場, 2015 年 5 月 21-24 日.
- 112 一柳 錦平・田上 雅浩・吉國 司, 2013 年集中観測における日本全域の降水安定同位体比. 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, 2015 年 5 月 24-28 日. 113 田上 雅浩・一柳 錦平, 同位体領域気候モデルと日本全国で集中観測された降水安定同位体比との比較. 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,

2015年5月24-28日.

114 津留崎皓平・鹿島美香・嶋田 純・松田博貴, 南大東島山下洞鍾乳石の炭素・酸素同位体組成と Mg/Ca 比に基づく地表環境変遷の解明, 日本堆積学会つくば大会, つくば, 2015年4月26日.

115 津留崎皓平・鹿島美香・嶋田 純・松田博貴, 南大東島山下洞鍾乳石の炭素・酸素同位体組成と Mg/Ca 比に基づく地表環境変遷の解明, 第2回「カルストと鍾乳石の科学」研究会, 福岡, 2015年7月25日.

116 鹿島美香・嶋田 純・松田博貴, 異なる地表植生下での鍾乳石成長過程と洞内環境・滴下水の化学的性質, 第2回「カルストと鍾乳石の科学」研究会, 福岡, 2015年7月25日.

117 松田博貴・鹿島美香・梁 熙俊・利部 慎・嶋田 純, 鍾乳洞内滴下水量変化に基づく異なる植生下における地下水涵養メカニズムの検討 - 沖縄県南大東島を例として -, 第2回「カルストと鍾乳石の科学」研究会, 福岡, 2015年7月25日.

118 島津 崇・松田博貴・浅原良浩・八木正彦, 沖縄県南大東島大東層における上部中新統～鮮新統炭酸塩岩の堆積様式とドロマイト化作用, 日本地質学会第122年学術大会, 長野, 2015年9月12日.

119 松田博貴・鹿島美香・梁 熙俊・利部 慎・嶋田 純, 異なる植生下における鍾乳洞の洞内環境と地下水涵養メカニズム - 沖縄県南大東島を例として -, 日本地質学会第122年学術大会, 長野, 2015年9月12日.

120 利部 慎・松永 緑・石井 智久・嶋田 純, Kr85 を用いた地下水の滞留時間推定と他の水文トレーサーによるその検証. 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, 2015年5月24-28日.

121 利部 慎・松永 緑・嶋田 純, 若い年代トレーサーとしての ^{85}Kr の有効性, 日本地下水学会秋季講演会, 42, 福井県大野市多田記念大野有終会館, 福井, 2015年10月.

〈国際〉

1 T. Tokunaga, J. Shimada, T. Hosono, H. Nakata, T. Masuda, M. Ono, T. Orisikida; Estimation of nitrogen source and fate of contaminant in the groundwater system in Kumamoto area, Japan, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) international conference, Taipei International Convention Centre, Taipei, Taiwan, 8-12 Aug, 2011.

2 M. Taniguchi, T. Hosono, M. Ono, W.C. Burnett, T. Nakano; Effects of Submarine Groundwater Discharge on Seashell Ecosystem in the Coastal Zone Near Mt. Chokai, Japan, 2011 XXV International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia, 28 Jun - 7 Jul (Presentation day: 2 July), 2011.

3 M. Matsunaga, J. Shimada, M. Kagabu, R. Ikawa, S. Morita, N. Momoshima, M. Tsujimura; The validation of groundwater age using ^{85}Kr at the Kamaishi Mine, Japan, XXV International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia, 28 Jun - 7 Jul (Presentation day: 4 July), 2011.

4 Orishikida, T., Nakata, H., Hosono, T., Ono, M., Tokunaga, T., Kagabu, M., Shimada, J. Occurrence and geographical distribution of artificial sweeteners, acesulfam K and saccharin Na, in groundwater samples. 20th Symposium on Environmental Chemistry, Kumamoto, 16-18 July, 2011.

5 Yoshinobu Yamagiwa and Kenji Furukawa: Single-stage nitrogen removal using anammox and partial nitrification (SNAP) with acrylic pile fabrics as biomass carriers, Proceedings of First International Anammox Symposium, Kumamoto University, 20 May, 2011.

6 Masashi Kakekawa, Satoshi Ohta, Daisuke Yoshida, Takahiro Sato, Kenji Furukawa, Daisuke Hira, Takashi Nishiyama and Takao Fujii, Influence of changes in operational condition on SNAP treatment, International Workshop on “Toward to Construction of Sustainable Water Environment in South East Asia”, Kumamoto University, 28 Feb,

2012

7 Kento Yamashiro, Yasuno Kawagoshi, Yuki Tomoshige, Wenhao Zhu, Qiaoyan Wei, Koichiro Fujisaki, Effects of temperature and salinity on nitrogen removal ability of the culture of marine anammox bacteria, The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, p.21, Tokyo, 2-5 Oct, 2011.

8 Guangyu Zhou, Naoki Yokoyama, Yuichiro Yoshino, Takahiro Yamashita, and Yasunori Kawagoshi, Performance and anode bacterial community analysis in electrolytic stimulation microbial fuel cells with different membranes, The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, p.492, Tokyo, 2-5 Oct, 2011.

9 Guangyu Zhou, Naoki Yokoyama, Yuichiro Yoshino, and Yasunori Kawagoshi, Performance of microbial fuel cells (MFCs) with three types of membranes, BIT's 1st Annual World Congress of Bioenergy, p.362, Dalian, China, 25-29 Apr, 2011.

10 Guangyu Zhou, Yuichiro Yoshino, Naoki Yokoyama, Takahiro Yamashita, and Yasunori Kawagoshi, Investigation of temperature and different membranes for electrolytic stimulation microbial fuel cells, 11th International Conference on Clean Energy 2011, p.135, Taiwan, 2-5 Nov, 2011.

11 Guangyu Zhou, Yuichiro Yoshino, Takahiro Yamashita, and Yasunori Kawagoshi, Investigation of shutdown period on microbial fuel cells, Proceeding of GelK-EDL-APIEL Joinr International Symposium, pp. 35-36, Kumamoto, 30 Nov, 2011.

12 Akinori Jyo, Hiroshi Nakaatari, Ruriko Fujimoto, Masahiro Kitagaki, Hirotaka Matsuura, Masao Tamada, Noriaki Seko, "Kinetically Excellent Nitrate Selective Anion Exchange Fibers Derived from Chloromethylstyrene Grafted Polyolefin Fiber", Proceedings of the 1st International Conference on Methods and Materials for Separation Science, pp. 44-47, Kudowa-Zdroj, Poland. 6 Jun, 2011.

13 Hirotaka Matsuura, Hiromi Yonekawa, Akinori Jyo, Masao Tamada, Noriaki Seko and Yuji Ueki, "Preparation and Properties of Bifunctional Chelating Fibers Containing Iminodiacetate and Hydrophilic Moieties", Proceedings of the 1st International Conference on Methods and Materials for Separation Science, pp. 59-62, Kudowa-Zdroj, Poland. 6 Jun, 2011.

14 Kitano T., Hayashi H., Yamaguchi T. and Shiraishi E. High temperature causes masculinization of genetically female medaka by elevation of cortisol level. 9th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, India, 9-10 Aug, 2011.

15 Uchikawa T., Kobira H., Hirai T. and Kitano T. Analysis of regulation mechanism of follicle-stimulating hormone receptor (fshr) expression using fshr-GFP transgenic medaka. 9th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, India, 9-10 Aug, 2011.

16 Uchimura T., Hayashi Y., Tashiro S., Shiraishi E. and Kitano T. Analysis of genes regulated by high temperature in medaka. 9th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, India, 9-10 Aug, 2011.

17 Jannat M. and Kishida M. Exposure to nitrate decreases activity of dopaminergic neuron in early development of zebrafish (*Danio rerio*). The 7th Asia and Oceania Society for Comparative Endocrinology, Malaysia, 4-5 Mar, 2012.

18 Hanif and Kishida M. Progesterone up regulates brain aromatase to affect dopaminergic neuron in early development of zebrafish (*Danio rerio*). The 7th Asia and Oceania Society for Comparative Endocrinology, Malaysia, 4-5 Mar, 2012.

19 Aurora H., Ratnawati R., Soeharto S. and Kishida M. (2012) Genistein affects dopaminergic neuron and aromatase expression in early development of zebrafish. International Conference on Biomedical Science, Institut Teknologi Bandung 2012.

20 Hosono, T., Tokunaga, T., Nakata, H., Kagabu, M., Orishikida, T., Lin, I-T. and Shimada, J., Contamination and attenuation processes of groundwater nitrate pollution in Kumamoto volcanic aquifer, southern Japan, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)-American Geophysical Union (AGU) Joint Assembly, World Convention Centre in Resorts World Sentosa, Singapore, 13-17 Aug, 2012.

- 21 Matsunaga, M., Shimada, J., Mikami, K., Hosono, T., Kagabu, M., Tashiro, S. and Iwasa, K., Natural Attenuation of Nitrate-nitrogen in Groundwater Aquifer Revealed by Nitrate Isotope Techniques in Miyakonojo Basin, Southern Japan. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)-American Geophysical Union (AGU) Joint Assembly, World Convention Centre in Resorts World Sentosa, Singapore, 13-17 Aug, 2012.
- 22 Shimada, J., Ichiyanagi, K., Kagabu, M., Saita, S. and Mori, K., Effect of artificial recharge using abandoned rice paddies for the sustainable groundwater management in Kumamoto, Japan, 2012 World Environmental & Water Resources Congress, Albuquerque, New Mexico, USA., May, 2012.
- 23 Shimada, J., Ichiyanagi, K., Kagabu, M., Saita, S. and Mori, K., Evaluation of long-term artificial groundwater recharge through leaky rice paddies with a 500 year history, IAHS2012 congress, Niagarafalls, Canada, 12-16 Sep, 2012.
- 24 Fatimah, R. and Kishida, M., Fadrozole, an aromatase inhibitor, decreases motor activity through dopamine signaling in zebrafish larvae, 7th International Student Conference on Advanced Science and Technology, Seoul, 23-30 Oct, 2012.
- 25 Sugiyono, and Kishida, M., Cadmium perturbs motor behavior of zebrafish larvae, 7th International Student Conference on Advanced Science and Technology, Seoul, 23-30 Oct, 2012.
- 26 Kawagoshi, Y., Groundwater Contamination by Nitrate and Its Causes in Kumamoto-City Region, International Symposium of Integral Approach Towards Water Resources Management for Sustainable Development, Cooperation with University of Tokyo and other institutes, Jiaheng Hotel, Zhangye City, China, 13 Aug, 2012.
- 27 Kudo, K.; Nagamatsu, T.; Shimada, J.; Kabeya, N.; Tanaka N.(2013): Subsurface water storage for the different land-use catchments evaluated by deuterium excess dispersion model of stream water - Observation by the paired small forest and grassland catchments - Abst. No. H01S8.06 , IAHS/IAPSO/IASPEI Joint Assembly, Gothenburg, Sweden, 22-26 Jul, 2013.
- 28 Kitano T, Hayashi Y, Shiraishi E, High temperature and cortisol cause masculinization of genetically female medaka by suppression of *cyp19a1* expression, 17th International Congress of Comparative Endocrinology, Spain, 16 Jul, 2013.
- 29 Uchikawa T, Kobira H, Hirai T, Kitano T, Down-regulation of follicle-stimulating hormone receptor expression by gonadal soma-derived growth factor in medaka, 17th International Congress of Comparative Endocrinology, Spain, 16 Jul, 2013.
- 30 Hirotaka Matsuura, Ryota Kanemaru, Hiroshi Nakaatari, Toshihiro Ihara, Akinori Jyo, Noriaki Seko, "Strongly Basic Anion Exchange Fiber for Rapid and Selective Removal of Nitrate from Groundwater" The Twelfth Asian Conference on Analytical Sciences (ASIANALYSIS XII), Fukuoka, 24 Aug, 2013.
- 31 Nikpeyman, Y.; Ono, M.; Hosono, T.; Yang, H.; Takikawa, K.; Shimada, J. Evaluating the contribution of rivers ²²²Rn activity and submarine groundwater discharge (SDG) in Yatsushiro Sea, Japan. *IAHS-IAPSO-IAPSEI*, Gothenburg, Sweden, 22-26 Jul, 2013.
- 32 Shimada, J.; Masaki, M.; Kudo, K.; Hosono, T.; Tanoue, M.; Tawara, ; Mori, K. Evaluation of the groundwater recharge rate for different land use by using stable water isotopes profiles in unsaturated soil. *IAHS-IAPSO-IAPSEI*, Gothenburg, Sweden, 22-26 Jul, 2013.
- 33 Hosono, T.; Tokunaga, T.; Tsushima, A.; Kagabu, M.; Nakata, H.; Shimada, J. Multiple use of stable isotope ratios to understand groundwater quality changes and attenuation processes in Kumamoto area, southern Japan. *IAHS-IAPSO-IAPSEI*, Gothenburg, Sweden, 22-26 Jul, 2013.
- 34 Hosono, T.; Tokunaga, T., Nakata, H.; Kagabu, M.; Shimada, J. Introduction of the groundwater nitrate pollution study in Kumamoto, southern Japan. *Environmental Isotope Course 2013*, Barcelona University, 1-5 Jul, 2013 (Presentation day: 1st July).
- 35 Ichiyanagi, K., Shimada, J., Kagabu, M., Saita, S. Simulation of groundwater $\delta^{18}O$

by the surface-subsurface coupling full-3D distribution model (GETFLOWS) with mechanical dispersion in porous media in Kumamoto, Japan. IAH 2013 Perth Australia, 15-20 Sep, 2013.

36

Ichianagi, K., Momoka Nishimati, Kishishi Ide, Masahiro Tanoue, and Jun Shimada, The altitude effect of the precipitation and spring water around Kimpo Mountains near Kumamoto City, Japan. IAH 2013 Perth Australia, 15-20 Sep, 2013.

37 Ichianagi, K., Masahiro Tanoue, and Jun Shimada, Estimation of water vapor origins by using observed stable isotopes in precipitation over Japan. International Geographical Union (IGU) Regional Conference in Kyoto, Kyoto International Conference Center. 4-9 Aug, 2013.

38 Watanabe, Y., Orishikida, T., Nakata, H., Hosono, T., Kagabu, M., Ono, M., Tokunaga, T., Shimada, J. An artificial sweetener, acesulfame: Candidate of chemical tracers for evaluation of sewage exfiltration in groundwater. Setac North America 34th Annual Meeting, Nashville, TN, USA, 17-21 November 2013.

39 Shinya, Ueno, Common Pool Resources and Social Dilemmas: Case Study of Effective Groundwater Management Policy, Euro Mediterranean Dialogue on Public Management, MED 6, Marseille, France, 8 Oct, 2013.

40 Qiaoyan Wei, Xiaowu Huang, Koichiro Fujisaki, Takehide Hama, and Yasunori Kawagoshi, Study on effects of salinity on nitrogen removal performance in marine anammox reactor, Proceedings of the 5th International Symposium of Gifu University Reading Program for Basin Water Environmental Leaders, pp.70-71, Gifu Univ., 8 Nov, 2013.

41 M. Matsunaga, J. Shimada, K. Mikami, T. Hosono, M. Kagabu and K. Iwasa. The origin and behavior of Nitrate in Groundwater Revealed by Groundwater Flow and Nitrate Isotope Techniques in Miyakonojo Basin, Southern Japan. Abst. No. 63, IAH 2013 Perth Australia, 15-20 Sep, 2013.

42 Meshkatul Jannat and Mitsuyo Kishida. Nitrate (NO₃) and nitrite (NO₂) perturb the activity of dopaminergic neuron during early development of zebrafish. 7th Intercongress Symposium of the Asia and Oceania Society for Comparative Endocrinology, Keelung, Taiwan, 18-23 Mar, 2014.

43 Matsuda, H., Yagi, M., Shimazu, T., Hashimoto, N. and Mizunaga T., Improvement and deterioration of porosity and permeability of carbonate reservoir rocks by early carbonate diagenesis with subaerial exposure and dolomitization; a case study on Minami-Daito Island, southwest Japan. 1st West Pacific Sedimentology Meeting, Taoyuan, 14 May, 2013

44 Matsuda, H.1, Sato, Y.1, Kurisaki, K., Yoshimura, K., Reconstruction of environmental changes based on growth rates and carbon and oxygen isotopic compositions of a stalagmite in Imamura Cave, Minami-Daito Island, southwest Japan. 1st West Pacific Sedimentology Meeting, Taoyuan, 14 May, 2013

45 Matsuda, H.1, Sato, Y.1, Kurisaki, K., Yoshimura, K., Reconstruction of environmental changes based on growth rates and carbon and oxygen isotopic compositions of a stalagmite. 30th Annual Meeting of International Association of Sedimentologists, Manchester, 3 Sep, 2013.

46 Matsuda, H.1, Sato, Y.1, Kosuke Kurisaki, K.2, Kazuhisa Yoshimura, K., Reconstruction of environmental changes based on growth rates and carbon and oxygen isotopic compositions of a stalagmite. 30th Annual Meeting of International Association of Sedimentologists, Manchester, 3 Sep, 2013.

47 Zeng, X.Y., Hosono, T., Yoshida, C., Ohta, H., Niidome, T., Shimada, J. and Morimura, S. (2014) Phylogenetic analysis and distribution of bacterial community in groundwater in Kumamoto prefecture. The 66th Annual Meeting of the Society for Biotechnology, Sapporo, Japan, 11 Sep, 2014.

48 Tase, N., Onodera, S., Yamanaka, T., Saraiva, F., Terada, R., Hirata, R., Shirota, R.,

- Hosono, T., Lee, S., 2014. Dynamics of water and nutrients around border of eucalyptus forest and sugar cane field in Rio Claro, São Paulo. Workshop on Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of São Paulo, Brazil, Tsukuba, Japan, 28 Feb, 2014.
- 49 Watanabe, Y. Bach, L. T. Dinh, P. V., Nakata, H., Artificial sweeteners and persistent pharmaceuticals in aquatic environment from Asian regions: Comparison of detection profiles between urbanized cities with adequate and inadequate sewage treatment systems. 35th SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) North America, Vancouver, Canada, 11 Jan, 2014.
- 50 M. Matsunaga, J. Shimada, K. Mikami, T. Hosono, M. Kagabu and K. Iwasa, The Behavior Of Nitrate In Confined Groundwater Under The Anaerobic Environment Revealed By Using 3D Groundwater Flow Simulation Based On Observed Data In Miyakonojo Basin, Japan, IAH 2014, Marrakech, Maroc, 15 Sep, 2014. (http://iah2014.org/images/pdf/IAH2014_Scientific_Program%20.pdf)
- 51 Uchikawa T, Kobira H, Hirai T, Kitano T. Gonadal soma-derived growth factor suppresses the expression of follicle-stimulating hormone receptor in medaka. 10th International Symposium of on Reproductive Physiology of Fish, Portugal, 27 May, 2014.
- 52 Kimpei Ichianagi, Masahiro Tanoue, Jun Shimada, Deuterium excess in precipitation during the winter monsoon season observed in Japan. AOGS2014, Royton Sapporo Hotel, Japan. 28 Jul - 1 Aug, 2014.
- 53 Masahiro Tanoue, Kimpei Ichianagi, Kei Yoshimura, Jun Shimada, Water vapor origins in the Japanese Archipelago in winter estimated by a regional isotope circulation model. AOGS2014, Royton Sapporo Hotel, Japan. 28 Jul - 1 Aug, 2014.
- 54 Ito, S., Shimada, J., Arakawa, Y., Tada, K., Quantitative evaluation of seasonal changes in Nitrate-Nitrogen concentration in shallow groundwater of double-cropped paddy fields in southern Japan., Abst. No. T3159, IAH 2014 Marrakech, Morocco, 15-19 Sep, 2014.
- 55 Nikpeyman, Y., Hosono, T., Ono, M., Yang, H., Shimada, J., Takikawa, K. The Evaluation of submarine groundwater discharge (SGD) input toward the Yatsushiro inland sea by combining the ²²²Rn spatial distribution and temporal fluctuations, Method and applications of Radioanalytical chemistry - MARC X, 17 Apr, 2015.
- 56 Alvarez, K., Hosono, T., and Kuwae, M., Lead isotopes ratios in six lake sediments cores from Japan archipelago: historical record of trans-boundary pollution sources. Summer visiting in Kumamoto University by NTU, 10 Aug, 2015.
- 57 Hosono, T., Spatial distribution and potential flux of SGD in the Yatsushiro Bay, southern Japan, using continues ²²²Rn measurement and simulation model. Summer visiting in Kumamoto University by NTU, 10 Aug, 2015.
- 58 Kojima, T., Hosono, T., and Zhang, D., Sulfur and Oxygen Isotope Analysis of PM_{2.5} in Kumamoto Prefecture, Southwest Japan. 2015 Asian Aerosol Conference (AAC2015 from 24/6-26/6), in Kanazawa, Japan, 24 Jun, 2015.
- 59 Honda, H., Taniguchi, M., Ono, M., Hosono, T., Umezawa, Y., Sugimoto, R., Yamada, M., Radon-222 concentrations in coastal water and environmental conditions in Japan, Methods and Applications of Radio analytical Chemistry (MARC X 2015 Conference, from 12/4-17/4), in Kailua-Kona, Hawaii, USA, 15 Apr, 2015.
- 60 Belgama halda Aditya, Ichianagi Kimpei, Tanoue Masahiro, Suwarman Rusmawan, Yoshimura Kei, Mori Shuichi, Kurita Naoyuki, MJO role on Intraseasonal variation of stable isotope of Precipitation in Indonesia Maritime Continent. 02710 (ACG06-02), Chiba, 24-28 May, 2015
- 61 Kimpei Ichianagi, Masahiro Tanoue, Spatio-temporal variations of stable isotopes in precipitation across Japan observed in 2013. APHW04-A002, AOGS 2015, Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre, Singapore, 2-7 Jul, 2015.
- 62 Shimada, J., Success story of transboundary management of quantity and challenge

for its qualitative management through agricultural activities under the warm humid climate of Kumamoto, Japan, ID No535, IAH 2015, from 9/13-9/18, Rome, Italy, 17 Sep, 2015.

(3)ポスター発表 (国内会議 48 件、国際会議 53 件)

1.発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

〈国内〉

1 田上雅浩, 一柳錦平, 嶋田 純:日本における降水安定同位体比の特徴. 2011 年度地球惑星連合大会, AHW023-1 5月25日.

2 御園生, 松隈, 小池, 嶋田 純:電気探査による沿岸域での断層構造と塩淡水境界のイメージング. 2011 年度地球惑星連合大会, STT056-P05 コンベンションホール:5月26日16:15-18:45.

3 嶋田 純, 熊本大学水循環CRESTチーム:域水循環を踏まえた地下水持続利用システムの構築. 日本水文科学会 2011 年学術大会発表要旨集. P1. 2011 年 10 月

4 工藤, 嶋田 純, 田中:水文条件・地形地質構造を同じくする隣接した森林流域と牧草流域における降雨・流出特性の比較. 日本水文科学会 2011 年学術大会発表要旨集. P3. 2011 年 10 月.

5 利部 慎, 徳永貴大, 小野昌彦, 嶋田 純:熊本市西部に位置する金峰山湧水の水質及び湧出特性. 日本水文科学会 2011 年学術大会発表要旨集. P14. 2011 年 10 月.

6 小野昌彦, 徳永貴大, 嶋田 純, 一柳錦平:曳航型ラドン濃度観測からみた江津湖における地下水湧出の特性. 日本水文科学会 2011 年学術大会発表要旨集. P15. 2011 年 10 月.

7 田上雅浩, 一柳錦平, 嶋田 純:日本における降水安定同位体比の空間分布. 日本水文科学会 2011 年学術大会発表要旨集. P22. 2011 年 10 月.

8 大田哲, 古川憲治, SNAP プロセスの実用化に向けたスケールアップに関する研究. 平成 23 年度廃棄物資源循環学会九州支部研究ポスター発表会, 2011.5.14(福岡大学)

9 馬場健一郎, 河原正泰:「廃棄携帯電話基板からの有価金属回収における浸出条件の最適化」, 資源・素材 2011(堺), 大阪府立大学, 2011 年 9 月 26 日.

10 池尻貴裕, 河原正泰:「Mg-Zn-Y-Nd 合金からの希土類元素の分離・回収」, 資源・素材 2011(堺), 大阪府立大学, 2011 年 9 月 26 日.

11 水田尚哉, 河原正泰:「銅スラグからの鉛溶出性の調査」, 資源・素材 2011(堺), 大阪府立大学, 2011 年 9 月 26 日.

12 今林直規, 河原正泰:「マンガンジュールからの有価金属の分離」, 資源・素材 2011(堺), 大阪府立大学, 2011 年 9 月 26 日.

13 清水京治, 小塚敏之, 河原正泰, 定電流電解における ZnTe 薄膜の電析挙動と磁場印加の影響. 日本金属学会・日本鉄鋼協会九州支部合同学術講演会, 九州工業大学, 2012 年 6 月 9 日.

14 中村俊大, 河原正泰, 廃ブラウン管ファンネルガラスの Pb 回収後残渣からの Pb 溶出性. 資源・素材 2012(秋田), 秋田大学, 2012 年 9 月 11 日

15 一柳錦平, 田上雅浩, 嶋田純, 日本の降水安定同位体比の空間分布と季節変動, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2012 年 5 月 20-25 日.

16 一柳錦平, 同位体マッピング・ワーキンググループ活動報告, 日本水文科学会学術大会, 神奈川県温泉地学研究所, 2012 年 10 月 27-28 日.

17 徳永貴大, 嶋田純, 細野高啓, 中田晴彦, 利部慎, 小野昌彦, 折式田崇仁, 熊本地域における地下水中の硝酸性窒素の起源および流動に伴う挙動の解明, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 千葉幕張メッセ, AHW30- P17, 2012 年 5 月 20-25 日.

18 Ulhaq, Z. S., and Kishida, M., Estrogen modulates serotonergic neurons in early development of zebrafish (*Danio rerio*), 平成 24 年度日本水産学会秋季大会, 下関市, 2012 年 9 月 14-17 日.

19 Mustika, D., and Kishida, M., Estrogen protects from apoptosis in brain caused by glucose exposure during early development of zebrafish (*Danio rerio*), 平成 24 年度日本水産学会秋季大会, 下関市, 2012 年 9 月 14-17 日.

20 Ulhaq, Z. S., and Kishida, M., Brain-formed estrogen regulates serotonergic

- neurons in early development of zebrafish, 第 37 回日本比較内分泌学会大会, 福井市, 2012 年 11 月 30 日.
- 21 Fatimah, R. and Kishida, M., Brain-formed estrogen regulates motor activity through dopamine signaling in early development of zebrafish, 第 37 回日本比較内分泌学会大会, 福井市, 2012 年 11 月 30 日.
- 22 Sugiyono, and Kishida, M., Cadmium perturbs motor behavior of zebrafish larvae, 第 37 回日本比較内分泌学会大会, 福井市, 2012 年 11 月 30 日.
- 23 内村友哉, 田代真也, 白石絵吏, 矢澤隆志, 北野健, メダカにおける副腎皮質ホルモン放出ホルモンの発現制御機構の解析, 第 37 回日本比較内分泌学会大会, 福井市, 2012 年 11 月 30 日. 若手研究者最優秀発表賞受賞
- 24 室積典和, 中島良, 平井敏朗, 亀井保博, 石川智子, 藤堂剛, 北野健, 濾胞刺激ホルモン受容体の機能欠損メダカの表現型解析, 第 37 回日本比較内分泌学会大会, 福井市, 2012 年 11 月 30 日.
- 25 Ushio, A., Eto, K., and Abe, S., The RNA-binding Protein RBM3 Inhibits Apoptosis Through Pcd4-mediated Regulatory Mechanism and is Induced Through NF- κ B-mediated Transcriptional Activation, The 35th Annual Meeting of the Molecular Biology Society of Japan, Fukuoka, 2012 年 12 月 12 日.
- 26 Yamada, S., Inoue, M., Eto, K., and Abe, S., The ErbB4 Intracellular Domain p80 is Involved in Cell Differentiation, The 35th Annual Meeting of the Molecular Biology Society of Japan, Fukuoka, 2012 年 12 月 12 日.
- 27 Anai, C., Eto, K., and Abe, S., DYRK1A Induces Apoptosis by Phosphorylating Histone H3, The 35th Annual Meeting of the Molecular Biology Society of Japan, Fukuoka, 2012 年 12 月 12 日.
- 28 Amatatsu, S., Eto, K., and Abe, S., Functional Analysis of the RNA-binding Protein RBM3 in Cell Proliferation, The 35th Annual Meeting of the Molecular Biology Society of Japan, Fukuoka, 2012 年 12 月 12 日.
- 29 川辺敏晃, 江祐紀, 白石絵吏, 宮崎誠生, 柳美穂, 井上聖也, 北野健, メダカ始原生殖細胞の体外培養法の検討, 平成 25 年度日本水産学会大会, 東京都, 2013 年 3 月 28 日.
- 30 細野高啓, 徳永貴大, 對馬あかね, 嶋田純. C-N-S 安定同位体システムティクスの帯水層嫌気性微生物還元プロセス研究への応用. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉幕張メッセ, HTT32-P16, 2013 年 5 月 23 日.
- 31 一柳錦平. 日本水文科学会同位体マッピングワーキンググループ (Isotope Mapping Working Group ; JAHS-IMWG) 2012 年度活動報告. 本水文科学会 2013 年度学術大会, 千葉商科大学, 2013 年 10 月 19-20 日.
- 32 本田荘司, 河原正泰. 廃棄携帯電話からの金の回収, 資源・素材 2013 (札幌), 北海道大学, 2013 年 9 月 3 日.
- 33 竹本 隼, 河原正泰. 多孔質酸化鉄吸着剤による水溶液中のヒ素の除去, 資源・素材 2013 (札幌), 北海道大学, 2013 年 9 月 3 日.
- 34 國栖 真, 河原正泰. Cu スラグからの Pb 溶出性に及ぼす各種酸化物の影響, 資源・素材 2013 (札幌), 北海道大学, 2013 年 9 月 3 日.
- 35 金丸亮太, 中當 寛, 松浦博孝, 井原敏博, 城 昭典, 瀬古典明, 「硝酸イオン選択性陰イオン交換繊維を用いた硝酸イオンの高速除去」, 第 50 回化学関連支部合同九州大会, 北九州, 2013 年 7 月 6 日.
- 36 内川拓, 小平博史, 平井俊朗, 北野 健, メダカ性分化における gonadal soma-derived growth factor による濾胞刺激ホルモン受容体の発現制御, 第 38 回日本比較内分泌学会大会, 宮崎市, 2013 年 10 月 25 日.
- 37 川辺敏晃, 長船奈津美, 白石絵吏, 宮崎誠生, 柳美穂, 井上聖也, 北野健. 体外培養したメダカ始原生殖細胞の遺伝子発現パターンの解析. 日本水産学会春季大会, 2014 年 3 月 28 日.

- 38 田瀬則雄, 林 久喜, 山中 勤, 田村憲司, 滝澤紗史, 小野寺真一, 仁平尊明, 李 盛源, 細野高啓, ヒカルド ヒラタ, ユーカリ林を組み込んだ土地利用連鎖系による持続的土地利用の実証と体系化, 2014 年度日本水文科学会, 広島大学, 2014 年 10 月 4 日.
- 39 金丸亮太, 佐々木昇司, 松浦博孝, 井原敏博, 瀬古典明, 硝酸イオンの選択的吸着を目的とした陰イオン交換繊維の合成と評価, 第 51 回化学関連支部合同九州大会, 北九州国際会議場, 2014 年 6 月 28 日.
- 40 佐々木昇司, 金丸亮太, 松浦博孝, 井原敏博, 瀬古典明, 硝酸イオン選択性繊維の合成と硝酸イオン吸脱着挙動の検討, 第 51 回化学関連支部合同九州大会, 北九州国際会議場, 2014 年 6 月 28 日.
- 41 Zeng, X.Y., Hosono, T., Yoshida, C., Ohta, H., Niidome, T., Shimada, J., Morimura, S., Phylogenetic analysis and distribution of bacterial community in groundwater in Kumamoto prefecture, 第 66 回日本生物工学会大会, 札幌コンベンションセンター, 2014 年 9 月 11 日.
- 42 竹中亨彰, 濱崎 心, 内村友哉, 長船奈津美, 高木久徳, 佐久間哲史, 山本 卓, 北野 健, TALEN を用いたメダカの実験的性決定機構の解析, 第4回ゲノム編集研究会, 2014 年 10 月 6 日.
- 43 Saputra, F., Jannat, M., Kishida, M. Apoptosis in Brain of Zebrafish (Danio rerio) Larvae Occurs through Oxidative Stress Following Exposure to Nitrate (NO₃) and Nitrite (NO₂), The Japanese Society of Fisheries Science, Autumn Meeting, Kyushu University, 2014 年 9 月 19-22 日.
- 44 一柳錦平, 重信裕美, 田上雅浩, 佐々木佳明, 秋田における降水同位体比の変動要因について, 日本気象学会 2014 年度春季大会, 開港記念会館・情報文化センター, 横浜. 2014 年 5 月 21-24 日.
- 45 田上雅浩, 一柳錦平, 芳村圭, 嶋田純, 降水の安定同位体比を用いた冬季日本列島における水蒸気起源の推定, 日本気象学会 2014 年度春季大会, 開港記念会館・情報文化センター, 横浜. 2014 年 5 月 21-24 日.
- 46 田上雅浩, 一柳錦平, 芳村圭, 日本全国における降水の安定同位体比を用いた水蒸気起源の推定. 日本気象学会 2014 年度秋季大会, 福岡国際会議場, 2014 年 10 月 21-23 日.
- 47 伊藤沙希, 嶋田 純, 利部 慎, 荒川裕介, 二毛作水田地域における浅層地下水中の硝酸性窒素濃度季節変化の定量的評価, 日本地下水学会 2014 年度春季学術大会講演予稿, 10, 134-139, 東京大学, 2014 年 5 月 24 日.
- 48 Hossain, Shahadat, Hosono, Takahiro, Ide, Kiyoshi, Jun Shimada, Factors controlling elevated fluoride concentrations in groundwaters at the western part of Kumamoto area, Japan. 2015 年度地球惑星連合大会 AHW27-P07. 2015 年 5 月 29 日.

〈国際〉

- 1 Ono, M., Shimada, J., Ichikawa, T., Determination of Spatial distribution of direct groundwater discharge by Radon-222 and evaluation of mixing components in lake Ezu, Japan. #3441. IAHS/IUGG Melbourne, Australia, Jul, 2011.
- 2 Kagabu, M., Shimada, J. et al., Groundwater age rejuvenation caused by the excessive urban pumping shown in the groundwater flow system of Jakarta Area, Indonesia. #2150. IAHS/IUGG Melbourne, Australia, Jul, 2011.
- 3 Tanoue, M., Ichiyangi, K., Shimada, J., Spatial variation of stable isotopes in precipitation at Kumamoto, Japan. #3810. IAHS/IUGG Melbourne, Australia, Jul, 2011.
- 4 Kimpei Ichiyangi, Masahiro Tanoue, and Jun Shimada, Stable isotopes in precipitation over Japan. XXV International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia, 28 Jun - 7 Jul, 2011. (Presentation day: 30 July)
- 5 J. Shimada, CREST member, Sustainable groundwater management system based on the regional hydrological cycle in the warm humid country, Japan, AGU Fall Meeting

December at San Francisco, USA. H11F 1119, 5-9 Dec, 2011

6 K. Kudo, J. Shimada, N. Tanaka, Effect to groundwater recharge caused by land use change- comparative runoff observation in forest and grassland water sheds, southwest Japan - , AGU Fall Meeting December at San Francisco, USA. H41E 1091, 5-9 Dec, 2011.

7 T. Tokunaga, J. Shimada, T. Hosono, H. Nakata, T. Masuda, M. Kagabu, M. Ono, T. Orishikida; Source and fate of nitrate contamination in the groundwater along its flow in Kumamoto area, Japan using $\delta^{15}\text{NNO}_3$ and $\delta^{18}\text{ONO}_3$, American Geophysical Union (AGU) 2011 Fall meeting, abstract, H41B-1027, 5-9 Dec, 2011.

8 T. Hosono; Sulfate Isotope Ratios of Groundwater in Asian Metropolitan Area, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) international conference, Taipei International Convention Centre, Taipei, Taiwan, 8-12 Aug, 2011.

9 T. Hosono, M. Taniguchi, W.C. Burnett, M. Ono, T. Tokunaga, T. Masuda, T. Akimichi; Distribution of submarine groundwater discharge investigated by ^{222}Rn survey along the coastal line of Mt. Chokai, North Japan, 2011 XXV International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia, 28 Jun - 7 Jul, 2011(Presentation day: 3 July).

10 Orishikida, T., Nakata, H., Hosono, T., Ono, M., Tokunaga, T., Kagabu, M., Shimada, J., Occurrence and environmental distribution of artificial sweeteners in the aquatic ecosystems in Japan. 32nd SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) North America, Boston, USA, 13-17 Nov, 2011.

11 Masashi Takekawa, Satoshi Ohta, Takahiro Sato, Daisuke Hira, Takashi Nishiyama, Takao Fujii, Kenji Furukawa: Start up of 80L SNAP reactor and its stable operation., Proceedings of First International Anammox Symposium, pp.325-326, 20 May, 2011.

12 Ichiyangi, K., Tanoue, M., and Shimada, J., Spatial Distribution and Seasonal Variation of Stable Isotopes in Precipitation Over Japan, AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly, Resorts World Sentosa, Singapore, 13-17 Aug, 2012.

13 Seguchi, N., Ichiyangi, K., Maruyama, A., and Shimada, J., Change of Evaporation/Transpiration contributions during maize growth based on stable isotopic measurements in water and vapor, International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM), Ishikawa, Japan, 27-29 Mar, 2013.

14 Lin, I-T., Hosono, T., and Shimada, J., Anaerobic batch experiments of autotrophic and heterotrophic denitrification processes: a multi-isotope approach, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)-American Geophysical Union (AGU) Joint Assembly, World Convention Centre in Resorts World Sentosa, Singapore, 13-17 Aug, 2012.

15 Orishikida, T., Nakata, H., Hosono, T., Kagabu, M., Ono, M., Tokunaga, T., and Shimada, J., Estimation of groundwater flow systems in Kumamoto area using persistent water-soluble compounds (PWCs), artificial sweeteners, as chemical tracers. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Asia/Pacific 2012, Kumamoto, Japan, 23-27 Sep, 2012.

16 Kudo, K., Shimada, J., and Tanaka, N., The estimation of groundwater recharge rate for different land use – observation study at paired forest and grassland watersheds, IAHS2012 congress, Niagarafalls, Canada, 12-16 Sep, 2012.

17 Tanoue, M., Ichiyangi, K., Shimada, J., Terao, T., Hayashi, T., Murata, F., Kiguchi, M., and Yamane, Y., Intra-seasonal and diurnal cycle of stable isotopic components in precipitation over Bangladesh, AOGS 2012 meeting, Singapore, AS35-A022, 13-17 Aug, 2012.

18 Uchikawa T., Kobira H., and Kitano T. Analysis of follicle-stimulating hormone receptor (fshr)-GFP transgenic medaka, 3rd GelK International Symposium, Kumamoto, 5 Mar, 2013.

19 Uchimura T., Hayashi Y., Tashiro S., Shiraiishi E., and Kitano T. Analysis of genes

- regulated by heat stress in medaka (*Oryzias latipes*), 3rd GelK International Symposium. Kumamoto, 5 Mar, 2013. Best Poster Presentation Award 受賞
- 20 Kawabe T., and Kitano T., Developments of *in vitro* culture of primordial germ cells and cryopreservation of early embryos in medaka, 3rd GelK International Symposium, Kumamoto, 5 Mar, 2013.
- 21 Kudo, K., Shimada, J., Kabeya, N. and Tanaka, N. Effect of surface land use for the storage structure of the shallow groundwater aquifer -observation by small paired forest and grassland catchments-. 3rd GelK International Symposium. Kumamoto, 5 Mar, 2013. Best Poster Presentation Award 受賞
- 22 Rusmawan S., Ichianagi K. and Tanoue M. Water Origin over Indonesia Maritime Continent with Isotope Circulation Model. 3rd GelK International Symposium. Kumamoto, 5 Mar, 2013.
- 23 Nikpeyman Y., Ono M., Hosono T., Heejun Y. and Shimada J. The evaluation of rivers ^{222}Rn activity effect on SGD measurements in Yatsushiro Sea. 3rd GelK International Symposium. Kumamoto, 5 Mar, 2013.
- 24 Dong L., Shimada J. and Kagabu M. Thermal effects on subsurface temperature perturbation in Kumamoto Plain. 3rd GelK International Symposium. Kumamoto, 5 Mar, 2013.
- 25 Tanoue M., Ichianagi K., Yoshimura K. and Shimada J. Impact of water vapor transported from tropical sea on the latitude effect of stable isotopes in precipitation around Japan region. 3rd GelK International Symposium. Kumamoto, 5 Mar, 2013.
- 26 Shiraishi E., Kitano T., Generation of *nanog-GFP* transgenic medaka line, 17th International Congress of Comparative Endocrinology, Spain, 16 Jul, 2013.
- 27 Murozumi N., Nakashima R., Hirai T., Kamei Y., Ishikawa T., Todo T., Kitano T., Loss-of-function of follicle-stimulating hormone receptor causes suppression of ovarian development in medaka (*Oryzias latipes*), 17th International Congress of Comparative Endocrinology, Spain, 16 Jul, 2013.
- 28 Sugino, Kishida M., Behavioral alteration in zebrafish larvae (*Danio rerio*) exposed to cadmium, 17th International Congress of Comparative Endocrinology, Spain, 16 Jul, 2013.
- 29 Kishida M., Ulhaq Z., Effects of estrogen exposure on serotonergic neurons during early development of zebrafish, 17th International Congress of Comparative Endocrinology, Spain, 18 Jul, 2013.
- 30 Fatimah R., Kishida M., Effect of aromatase inhibition on dopaminergic neurons during early development of zebrafish, 17th International Congress of Comparative Endocrinology, Spain, 18 Jul, 2013.
- 31 Ide, K.; Shimada, J.; Hosono, T.; Kagabu, M.; Kudo, K. Residence time and hydrogeochemical evolution of natural spring water in the Kirishima Volcano, southern Japan. *IAHS-IAPSO-IAPSEI*, Gothenburg, Sweden, 22-26 Jul, 2013.
- 32 Kagabu, M., M. Matsunaga, J. Shimada, K. Mori and N. Momoshima. Groundwater Age determination by using ^{85}Kr in groundwater- Development of on-site Kr gas extraction system and age confirmation by 3D groundwater modeling-. Abst. No. 40, IAH 2013 Perth Australia, 15-20 Sep, 2013. 《優秀ポスター発表受賞》
- 33 Xiaowu Huang, Qiaoyan Wei, Kohei Urata, Takehide Hama, and Yasunori Kawagoshi, Fast start-up and potential evaluation of marine anammox reactor, Proceedings of the 5th International Symposium of Gifu University Reading Program for Basin Water Environmental Leaders, pp.66-67, Gifu Univ., 8 Nov, 2013. 《優秀ポスター発表受賞》
- 34 Hossain, S., Hosono, T., Tokunaga, T., Ide, K., Shimada, J. Geochemical modeling of groundwater evolution in a volcanic aquifer system of Kumamoto area, Japan. American Geophysical Union (AGU) 2013 Fall meeting, San Francisco, USA, 9-13 Dec, 2013 (abstract: H11H-1247).

- 35 Meshkatul Jannat and Mitsuyo Kishida Nitrate (NO₃⁻) and nitrite (NO₂⁻) perturb the activity of dopaminergic neuron during early development of zebrafish (*Danio rerio*). The XIII International Congress of Toxicology. COEX, Seoul, Korea, Jun 30-Jul 4, 2013.
- 36 H. Matsuda, M. Kashima, Y. Sato, K. Yoshimura and J. Shimada, Differences of the growth mechanism of stalagmites beneath different vegetation in Minami-Daito Island, southwest Japan, 19th International Sedimentological Congress, Geneva, 9 Aug, 2014.
- 37 Murozumi N, Nakashima R, Hirai, Kamei Y, Ishikawa T, Todo T, Kitano T. Loss of follicle-stimulating hormone receptor function causes masculinization and suppression of ovarian development in genetically female medaka. 10th International Symposium of on Reproductive Physiology of Fish, Portugal, 27 May, 2014.
- 38 Halda Aditya Belgaman, Kimpei Ichiyanagi, Shuichi Mori, Manabu D. Yamanaka, Rusmawan SUWARMAN, Masahiro TANOUE, Fadli SYAMSUDIN, Precipitation isotopes in Maritaima Continent. AOGS2014, Royton Sapporo Hotel, Japan. 28 Jul-1 Aug, 2014.
- 39 Rusmawan Suwarman, Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Kei Yoshimura, Shuichi Mori, Manabu D. Yamanaka, Fadli SYAMSUDIN, Halda Aditya Belgaman, ENSO signature in stable isotopes of precipitation over Maritime Continent during wet season. AOGS2014, Royton Sapporo Hotel, Japan. 28 Jul-1 Aug, 2014.
- 40 A. Okumura, J. Shimada, H. Yang, K. Kudo, M. Kagabu, Shape of freshwater lens in the uplifted coral atoll island confirmed by observation bores and resistivity survey, Minami-Daito Island, JAPAN. P-08, IAH 2015 Asia-Pacific regional conference, Cheju, Korea, 10-12 Apr, 2015.
- 41 Makoto Kagabu, Midori Matsunaga, Tomohisa Ishii, Jun Shimada, Noriyuki MOMOSHIMA, Groundwater age determination by using ⁸⁵Kr and its verification by other hydrogeochemical age tracers. P-29, IAH 2015 Asia-Pacific regional conference, Cheju, Korea, 10-12 Apr, 2015.
- 42 Heejun Yang, Jun Shimada, Yasuhiro Tawara, Hiroki Matsuda and Koji Mori, Evaluation of the hydraulic conductivity in a heterogeneous carbonate aquifer using numerical models: The case of Minami-Daito Island, Japan-. P-25, IAH 2015 Asia-Pacific regional conference, Cheju, Korea, 10-12 Apr, 2015.
- 43 Midori Matsunaga, Jun Shimada, Takahiro Hosono, Yasuhiro Tawara, Koji Iwasa, Visualization of nitrate behavior in groundwater by using 3D groundwater flow simulation based on observed data in Miyakonojo basin, Japan. P-37, IAH 2015 Asia-Pacific regional conference, Cheju, Korea, 10-12 Apr, 2015.
- 44 Mika Kashima, Jun Shimada, Hiroki Matsuda, Growth mechanism of stalagmites, cave environment and water chemistry of the drip waters in limestone caves beneath different vegetation, 31st International Association of Sedimentology meeting, Krakow, Poland, 22-25 Jun, 2015.
- 45 Hosono, T., Alvarez, K., and Kuwae, M., Trans-boundary Pb pollution history in Japan archipelago deduced by lake sediment core analysis. Goldschmidt 2015 from 16/8-21/8 in Prague Congress Centre, Czech Republic, 19 Aug, 2015.
- 46 Tanimizu, M., Kohno, M., Asahara, Y., Minami, M. and Hosono, T., Reconstruction of heavy element emission history from a peat-rich pond in the western pacific region. Goldschmidt 2015 from 16/8-21/8 in Prague Congress Centre, Czech Republic, 18 Aug, 2015.
- 47 Hossain, S., Hosono, T., and Shimada, J., Geochemistry of Arsenic and Other Trace Elements in a Volcanic Aquifer System of Kumamoto Area, Japan. Goldschmidt 2015 from 16/8-21/8 in Prague Congress Centre, Czech Republic, 18 Aug, 2015.
- 48 Masahiro Tanoue, Kimpei Ichiyanagi, Verification of a regional isotope circulation model throughout Japan, Internatioanl Symposium on Isotope Hydrology 'Revisiting Foundations and Exploring Frontiers' (IAEA-CN-225), IAEA Headquarters, Vienna, Austria. In Book of Extended Symposes, Poster session 3, 109-112, 11-15 May, 2015

(Abstract ID; IAEA-CN-225-354).

49 Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Tsukasa Yoshikuni, Stable isotopes in precipitation across Japan based on the intensive observation in 2013.

In Book of Extended Symposies, Internatioanl Symposium on Isotope Hydrology -Revisiting Foundations and Exploring Frontiers- (IAEA-CN-225), IAEA Headquarters, Vienna, Austria. 11-15 May, 2015 (Abstract ID; IAEA-CN-225-127).

50 Masahiro Tanoue, Kimpei Ichiyanagi, Toru Terao, Taiichi Hayashi, Fumie Murata, Masashi Kigushi, Azusa Fukushima, Yusuke Yamane, Relationship between isotopic composition of precipitation and atmospheric moisture transportation in Bangladesh, AOGS 2015, Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre, Singapore, 2-7 Jul, 2015. APHW04-A011.

51 Halda Aditya Belgaman, Kimpei Ichiyanagi, Masahiro Tanoue, Rusmawan Suwarman, Shuichi Mori, Manabu D. Yamanaka, Fadli Syamsudin, Intraseasonal Variability of Oxygen-18 of Precipitation in Indonesia Maritime Continent. AOGS 2015, Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre, Singapore, 2-7 Jul, 2015. APHW04-A003.

52 Kashima, M., Shimada, J. and Matsuda, H. (Kumamoto Univ.), Growth mechanism of stalagmites, cave environment and water chemistry of the drip waters in limestone caves beneath different vegetation. 31st IAS Meeting of Sedimentology, Krakow, 22-25 June, 2015.

53 Shimazu, T., Matsuda, H., Asahara, Y., Yagi, M., Carbonate depositional system and distribution of dolomite of a carbonate buildup - an example from the Upper Miocene to Pleistocene Daito Formation (Minami-daito-jima, southwestern Japan) 15st Bathurst Meeting, Edinburgh, 13-16 July, 2015.

4. 知財出願

(1) 国内出願 (1件)

① 物理探査方法, 2013-247653 (申請中: 2013年8月),

発明者: 吉田紘彬, 麻植久史, 能塚五郎.

ダイポール・ダイポール法の電流電極および電位電極を選択的に切り替える装置と, 電流電極の周波数を変換する周波数変換器によって, 複数の周波数に対する比抵抗を測定することによって地下水脈を検知する方法.

(2) 海外出願 (0件)

なし

5. 受賞・報道等

(1) 受賞

1 折式田崇仁, 第20回環境化学討論会 最優秀学生賞(修士の部 エントリー数: 39名), 2011年7月17日(指導教官: 中田晴彦).

2 古川憲治, 日本水処理生物学会賞, 2011年11月17日(立命館大学びわこ・くさつキャンパス).

3 楊 嘉春, 中国優秀留学生奨学金(Government Award for Outstanding Self-financed Chinese Students Study Abroad by China Scholarship Council(CSC)), 2011年6月(指導教官: 古川憲治).

4 武川将士, 80L SNAP リアクタの立ち上げと安定運転に関する研究, 日本水処理生物学会ベストプレゼンテーション賞, 2011年11月17日(共著, 指導教官: 古川憲治).

5 Do Phuong Khan, Best Poster Award MISSION 201, 2011.12.6(共著, 指導教官: 古川憲治).

6 利部 慎, 日本水文科学会 2010年度研究奨励賞, 2011年10月8日(共著: 嶋田 純).

- 7 2012年5月15日, 熊本大学特別表彰(研究活動表彰), 嶋田純.
- 8 2012年5月15日, 熊本大学特別表彰(研究活動表彰), 北野健.
- 9 2012年5月25日, 資源・素材学会九州支部 優秀発表賞, 小金丸重徳, 河原正泰, 溶媒抽出におけるミッシュメタルからの希土類金属の分離.
- 10 2012年11月30日, 第37回日本比較内分泌学会大会 若手研究者最優秀発表賞, 内村友哉, 田代真也, 白石絵吏, 矢澤隆志, 北野健, メダカにおける副腎皮質ホルモン放出ホルモンの発現制御機構の解析.
- 11 2012年6月, 中国優秀留学生奨学金(Government Award for Outstanding Self-financed Chinese Students Study Abroad by China Scholarship Council(CSC)), 張莉, 古川憲治.
- 12 2012年10月23日, 第1回生物工学アジア若手研究奨励賞(The DaSilva Award), 神戸国際会議場, 張莉, 古川憲治.
- 13 2013年3月5日, 3rd GelK International Symposium Best Poster Presentation Award, Uchimura T., Hayashi Y., Tashiro S., Shiraishi E., and Kitano T. Analysis of genes regulated by heat stress in medaka (*Oryzias latipes*). Kumamoto.
- 14 2013年3月5日, 3rd GelK International Symposium Best Poster Presentation Award, Kudo K., Shimada, J., Morikawa, K., Kabeya, N., and Tanaka, N., Effect of surface land use for the storage structure of the shallow groundwater aquifer -observation by small paired forest and grassland catchment-.
- 15 2013年5月30日, 熊本大学特別表彰(研究活動表彰), 嶋田純.
- 16 2013年5月18日, 日本地下水学会 2013年春季学術大会優秀発表賞, 千葉大学園芸学部、工藤圭史, 森川晋太, 嶋田 純, 壁谷直記, 田中伸廣, 比抵抗探査と安定同位体比滞留時間解析に基づく流域貯留構造の比較.
- * 17 Kagabu, M., M. Matsunaga, J. Shimada, K. Mori and N. Momoshima. Groundwater Age determination by using ⁸⁵Kr in groundwater- Development of on-site Kr gas extraction system and age confirmation by 3D groundwater modeling-. Abst. No. 40, IAH 2013 Perth Australia, 15-20, September 2013. 《優秀ポスター発表賞受賞》
- 18 田上雅浩, 一柳錦平, 芳村 圭, 嶋田 純. 冬季日本における同位体領域モデルを用いた水蒸気起源の推定. 日本水文科学会 2013年度学術大会, 2013年10月19-20日. 《優秀発表賞受賞》
- 19 Xiaowu Huang, Qiaoyan Wei, Kohei Urata, Takehide Hama, and Yasunori Kawagoshi, Fast start-up and potential evaluation of marine anammox reactor, Best Poster Award in The 5th International Symposium of Gifu University Reading Program for Basin Water Environmental Leaders, River Basin Research Center, Gifu University, 2013年11月8日. 《優秀ポスター発表賞受賞》
- 20 麻植久史, 小池克明, 吉永 徹, 高倉伸一. MT法とAMT法の組み合わせによる広域3次元比抵抗モデリングと水理地質構造解明への応用, 情報地質, vol. 23, no. 3, pp. 121-129. 2012年に対して(2013年6月)《論文賞》
- 21 竹本 隼, 河原正泰. 多孔質酸化鉄粒子による水溶液中からのAsの除去, 資源・素材学会九州支部平成25年度春季例会, 熊本大学, 2013年5月31日. 《優秀発表賞受賞》
- 22 嶋田 純. 2014年度熊本大学特別表彰(研究活動表彰), 2014年11月10日 熊本大学
- *23 伊藤沙希, 嶋田 純, 利部 慎, 荒川裕介, 二毛作水田地域における浅層地下水の硝酸性窒素濃度季節変化の定量的評価. 日本地下水学会 2014年度春季学術大会講演. 《優秀ポスター発表賞受賞》
- *24 田上雅浩, 日本水文科学会 2013年度研究奨励賞, 2014年7月25日(共著: 一柳錦平・嶋田 純).
- 25 嶋田 純. 2015年度熊本大学特別表彰(研究活動表彰), 2015年11月5日 熊本大学

(2) マスコミ(新聞・TV等)報道

- 1 2011年9月29日 地域水循環を踏まえた地下水利用システムの構築, 研究代表嶋田純, 水道産業新聞.
- 2 2011年11月24日 JST-CREST 革新的水利用の創出へ, 嶋田純 (熊本大学) チーム, 日本水道新聞.
- 3 2012年2月21日 熊本のかたち④, 地下水・循環型のモデルに 西日本新聞.
- 4 2012年3月13日 かけがえのないくまもとの地下水を未来に・・・(公財) くまもと地下水財団設立へ 熊本日新聞 全面広告.
- 5 2012年6月5日, A study of transgenic fish to identify pollution of groundwater, Exclusive interview with Prof. Jun Shimada of Kumamoto University, by Marisha Wojciechowska-Shibuya (Maxims NewsNetwork), UNITED NATIONS, MaximsNews Network, 2012年6月5日.
- 6 2013年1月24日, 水の未来 50年後の姿 (帯水層中で硝酸性窒素低減) CREST 研究領域, 嶋田純 (熊本大学) チーム, 日本水道新聞.
- 7 2013年5月 Groundwater management receives UN=Water Best Practice Award. IAH News, May 2013.5-6.
- 8 地下水守る農業推進, 農畜産物消費で県民も協力を (コメント), 読売新聞熊本版, 2015年1月18日.

(3) その他

- 1 熊本大学自然科学研究科だより(CREST 研究の紹介-嶋田), No.9, 2011年11月.
- 2 嶋田 純, 「熊本地域における広域地下水流動の実態とその持続的管理を目指した取り組み」, 全国環境研協議会 2012年熊本大会, 特別講演, 熊本市国際交流会館ホール, 2012年11月21日.
- 3 嶋田 純, 「地域水循環機構を踏まえた地下水持続利用システムの構築 (嶋田 CREST の紹介)」, CREST 水利用研究領域・農学分野第2回合同ワークショップ, 招待講演, 高知大学農学部, 2012年12月14日.
- 4 川越保徳, 「熊本市近郊の地下水における硝酸性窒素濃度の現状と窒素負荷要因」, 硝酸態窒素汚染の改善シミュレーションと対策技術に係る研究開発動向に関する意見交換会, 九州沖縄農業研究センター・熊本大学, 2013年2月4日.
- 5 熊本ちかすい財団, 水の日記念シンポジウム, パネル討論『おいしい水が育むくまもとの未来』コーディネーター, 熊本キャッスルホテル, 2015年8月5日.

6. 成果展開事例

(1) 実用化に向けての展開

・Anammox 法による窒素負荷軽減技術の開発に関して、(株)タクマ・(株)明電舎は熊本大学が所有する SNAP の特許に関し、オプション契約を熊本大学との間で締結し、SNAP を実用化させるための研究を実施している。また和歌山県工業技術センターとSNAPに適用する担体として、パイル織物を素材として活用する実用化研究を実施している。中国・遼寧省の遼寧省機械研究院では、同国での SNAP の実用化を目指し、1m³の SNAP リアクタを運転すると共に、実施の受注に向け営業活動を行っている。

・周波数変換型 3次元高精度電気探査装置の開発に関して、周波数 1~40Hz の比抵抗値を用いた測定とデータ解析により、地下水帯水層の検出が可能になったことについて、株式会社 SSPG と共に以下の特許を申請中である。「複数周波数を用いた電気探査による地下水探査技術 (申請中:2013年8月)」出願人:麻植久史, 能塚五郎, 発明者:麻植久史, 吉田紘彬

(2) 社会還元的な展開活動

・熊本地域での地下水管理システムが成功した背景について、3次元地下水流動シミュレーションを用いた歴史時代に遡るモデル解析を行い自然の地下水流動と人間活動の相互依存系の上に

地域の地下水流動が成立していることを明らかにすると共に、地下水管理はこのような観点を踏まえて実施してゆくことが肝要であることを明示し、関連国際学会にて発表した。熊本市がこれまでに取り組んできた持続的な地下水利用法の構築に関する実績を評価すべく、国連による“UN-Best Water Practices Award”に推挙した結果、H25年3月に水管理部門で熊本市が世界1位に表彰されるに至った。

(<http://www.un.org/waterforlifedecade/winners2013.shtml#Kumamoto>)(図 3-1-6)。

これらの推挙にあたっての地域地下水関連研究として我々の CREST による成果が多く含まれており、受賞の背景に研究成果が大きく貢献していると考えている。

(3) 他分野への波及効果

・水循環基本法・基本計画が策定され、地下水と地表水の統合的利用が求められている今日、本 CREST で提示された地下水の水量に関する持続的利用の考え方は、今後各地の地下水資源評価とその持続的利用策の構築に、十分活用できると自負している。但し、それぞれの地域の地下水流動モデルの再現性を高めることが肝要であり、そのためには、地下水観測井戸の整備と継続モニタリングの実施に加えて、水質や環境同位体トレーサー等の定期的な観測も不可欠であり、ここでもまた本 CREST で開発された ^{85}Kr 年代やマルチ同位体法、土壌水の降下浸透把握のための DFM 法等が活用される機会が増えると思われる。

§ 5. 研究期間中の活動

1. 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2011年5月19日～ 21日	First International Anammox Symposium 2011	熊本大学	200人	アナモックスに関する国際シンポジウム
2011年9月21日	サイトビジット	熊本大学	20人	研究紹介&質疑応答, 施設見学, 野外巡検
2011年10月23日	熊本大学水循環 CREST シンポジウム	熊本大学工学部 100周年記念館	100人	地下水の硝酸性窒素汚染に関するシンポジウム

2012年2月28日	International Workshop on “Toward to Construction of Sustainable Water Environment in South East Asia“	熊本大学	50人	東南アジアの水環境汚染に関するワークショップ
2012年3月1日～2日	Inter University	熊本大学	50人	関西5大学の水文学研究室による研究発表会
2012年11月17-18日	熊本大学・埼玉大学CREST合同ワークショップ	熊本大学	30人	「地下水帯水層中での脱窒菌の振る舞い」に関するワークショップを行った。 18日は熊本の地下水巡検を行った。
2013年3月9日～10日	Inter-Univ. Hydro.Seminar	山口大学	50人	関西5大学の水文学研究室による研究発表会
2014年11月7日	CREST 公開シンポジウム「地下水流動に伴う帯水層中での硝酸性窒素の振る舞い」(公開)	熊本県民交流館、パレアホール	約200人	硝酸性窒素の振る舞いに関する公開シンポジウム

2015年6月8日	CREST 南 大東島地下水調査に関する報告会	南大東村 役場	25人	造と帯水層構造の把握，ならびに地下水の涵養特性とその資源量の推定の報告地 下地質構
-----------	----------------------------	------------	-----	--

§ 6. 最後に

本 CREST 研究は、熊本大学の学内拠点形成研究の取り組みの一環として、関連する教員の研究テーマを網羅できるような内容の研究を構築し申請し採択されたものであるが、同じグループから CREST 研究と同時期に JST による『地下水環境リーダー育成国際共同教育拠点 (GeIK) プロジェクト』(H22-H26 年度)にも申請・採択されたため、この 2 つの研究プロジェクト・教育プロジェクトを有効に活用することができたことが幸いと感じている。さらに、熊本県・熊本市においても UN-Water Best Practice 賞の申請等を通して、相互協力の体制が確立でき、また中流域水張り事業や地下水条例の改定等にも深く関与する機会があったため、これらの情報も CREST 研究に有効に生かすことができた。また、H26-H27 年度にかけては、水循環基本法の制定や、同基本計画、地下水保全法（案）の検討等に関して、嶋田が地下水学会長であったこともあり、多方面からの情報取得や提案を行える機会に恵まれ、地下水法は目の目を見ることができなかったものの、CREST 研究からの成果や考え方をまとめる良い機会とすることができたことも結果的に幸いだったと感じている。H27 年 9 月にイタリアで開催された国際水文地質学会 (IAH) においても、地下水資源の持続的利用のための仕組みづくりは既に世界的な課題となっており、本 CREST で狙った流れは、まさしく今後の地下水利用のあるべき方向性であると確信している。