

平成30年6月11日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2015～2017

課題番号：15KT0120

研究課題名(和文) ソシオ・ハイドロロジーによる農業由来水環境汚染の解決策の検討

研究課題名(英文) Socio-hydrological investigation of mitigations for agricultural-origin water pollution

研究代表者

中川 啓 (NAKAGAWA, Kei)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・教授

研究者番号：90315135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：理工学的視点と社会科学的視点の両面から取り組むことにより、地下水汚染の改善と農畜産業の振興の両立を志向する改善策を立案することを目指し、汚染の初動期から現在に至る地下水汚染の推移の把握とともに、それに対する人々の意識と行動を明らかにすることを目的とし、課題I. 汚染の時空間構造の解明と、課題II. 地下水への意識と行動の解明に取り組んだ。汚染原因となる窒素供給量は減少しているが、汚染源近傍と考えられる地点における硝酸性窒素濃度は依然として高い傾向にあることが明らかにされた。また、人々の行動としての窒素負荷低減に向けた対策は、進められているものの、問題解決に向けて残された課題が明らかにされた。

研究成果の概要(英文)：This study considered strategies to enhance compatibility between mitigating groundwater pollution and promoting the agricultural/livestock industry from both scientific and social perspectives. We investigated spatial and temporal changes in groundwater pollution from the beginning of the problem to the present and investigated stakeholder's awareness and responses to the pollution problem. The following two topics were considered: 1) elucidation of the spatiotemporal structure of pollution, and 2) elucidation of the awareness and response to groundwater pollution. We found that although the supply of nitrogen to groundwater is decreasing, the nitrate concentration remains high in areas near the pollution source. Alongside measures to reduce nitrogen load as people's responses to pollution levels changed, the remaining approaches required to solve the pollution problem were clarified.

研究分野：環境地下水学・地盤環境工学

キーワード：硝酸性窒素 地下水汚染 窒素負荷ポテンシャル GIS(地理情報システム)

1. 研究開始当初の背景

食料生産，すなわち農業活動由来の地下水汚染として，硝酸態窒素汚染に悩まされている地域は，依然としてわが国に数多く存在している．とりわけ，農業活動の特に盛んな九州地域においては，鹿児島や宮崎，熊本と並び，長崎県の島原半島における地下水の硝酸態窒素汚染は，住民の飲料水源でもあり，深刻な状態が続いている．島原半島は全国有数の地下水汚染地域ともいわれており，当地域における地下水汚染の改善は，持続可能な地域環境の形成にとって，重要な課題である．問題の改善に向けては，2006年に策定された「島原半島窒素負荷低減計画」をはじめとして，様々な取り組みが展開されてきた．このような中，研究代表者(中川)は，島原半島の窒素負荷低減対策会議の委員を務めており，また自らの研究課題として，硝酸態窒素汚染のフィールドを利用した試験を実施し，現場の地下水汚染状況および地下水流動状況を把握しようと，研究を継続している(中川・今村, 2012; 中川・天野, 2013)．しかしながら，依然として地下水中の硝酸態窒素濃度が環境基準を超過する地点が多数存在しており，抜本的な解決には至っていない．従来の理系的な視点からの解決策の追及は限界に来ており，このようなノンポイントソースといわれる面的な水環境の汚染を解決するためには，汚染の進展や対策効果の理工学的な評価のみでなく，農家や経営体など主な汚染原因者や地域住民といったステークホルダーが，理工学的な研究成果を，どのように考え，行動に移すのかといった住民意識・行動の評価や，政策立案へどのように反映させるのかといった環境政策など，社会科学の検討が重要であると考えられる．

2. 研究の目的

上で述べたように，長崎県島原半島は，県内有数の農業地域である．島原半島において生産される農畜産物は，食料供給と地域経済の振興という点から，持続可能な社会の形成に不可欠な資源である．しかしながら農作物生産に用いられる肥料や家畜から排出される糞尿に含まれる硝酸態窒素は地下水汚染を引き起こしており，島原半島は全国有数の地下水汚染地域ともいわれている．当地域における地下水汚染の改善は，持続可能な地域環境の形成にとって，重要な課題である．

本研究は，理工学的視点と社会科学の視点の両面から取り組むソシオ・ハイドロロジー(Socio-Hydrology, 社会水文学)により，地下水汚染の改善と農畜産業の振興の両立を志向する改善策を立案することを目指し，汚染の初動期から現在に至る地下水汚染の推移の把握とともに，それに対する人々の意識と行動を明らかにすることを目的としている．本研究では，島原半島にある地方自治体のなかでも，特に地下水汚染が深刻である島原市を対象とする．本研究では，課題Ⅰ. 汚染の時

空間構造の解明と，課題Ⅱ. 地下水への意識と行動の解明に取り組む．最終的には，課題Ⅰ, 課題Ⅱの双方から得られた知見から，地下水汚染の改善と農畜産業の振興の両立を志向した地下水汚染の改善策を導き出すことを目的とした．

3. 研究の方法

島原市を対象に，GIS(地理情報システム)による硝酸態窒素濃度の推移の可視化，水質データの整備・地下水診断カルテの作成と地下水診断カルテを通じた水質に係る情報提供が地下水利用者の意識に与える影響及び農畜産業の従事者の地下水汚染に係る行動の変遷の解明などに文理両面(課題Ⅰ及び課題Ⅱ)から取り組むこととした．

4. 研究成果

(1) 課題Ⅰ

島原市の硝酸態窒素汚染が深刻な地域を中心に，複数回の地下水のサンプリングを実施し，空間分布を可視化した．また，汚染の経時的な推移を明らかにするため，水道局において，水道水源の硝酸態窒素濃度のデータを収集し，それと統計データにもとづく負荷ポテンシャルの推移との対比を行い，それらの関係性を明らかにした．

島原半島における硝酸態窒素の地下水汚染の原因となる窒素供給量に着目し，その変化量がどのような要因によって影響を受けているかを明らかにした．特に，農業，家畜，生活排水の3つの部門に由来する窒素供給量について，窒素強度，構造変化，規模変化の要因に分解を行った．その結果，2005年度から2010年度における窒素供給量の変化は家畜頭数の上昇によってもたらされている一方で，2010年から2013年にかけての大幅な窒素供給量の減少は作付面積及び家畜頭数の減少に加えて，作付け対象の品種が栽培過程で窒素供給量が少ないものへ移行する構造変化要因も貢献していることが明らかとなった(図1)．

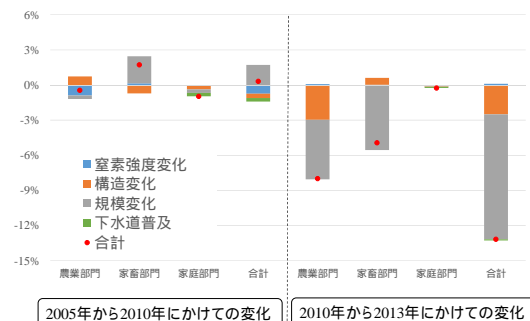


図1 農業・家畜・家庭の各部門における要因分解結果

地下水と土壌をサンプリングする特定の地域を決定し，平成29年4月から1年間，継続的にサンプリングを行った(地下水は毎月，土壌は隔月)．地下水試料の分析により，

主要イオンの変化について明らかにした。また土壌試料は、水抽出により降雨で容易に洗い出される成分と、その残渣に対して交換性の成分を抽出した。その結果、硝酸性窒素については、汚染源近傍と考えられる山側の地点において、7月を除くと、20~30 mg/Lの範囲で変化した。7月の濃度低下は、梅雨時期の降雨による希釈のためと考えられる。この地点近傍の表層土壌のアンモニウムイオン濃度は、春から冬にかけて増加する傾向にあった(図2)。この地点近くの旧蒸散処理施設内における硝酸性窒素濃度は、35~45 mg/Lの高濃度で推移した(図3)。これらの地点の下流側の地点においては、基準値(亜硝酸性窒素との合計で、10mg/L)は満たしているものの、6~8mg/Lと比較的高濃度で推移していることが分かった。これらの結果は、今後、ステークホルダーが参加する会議の場で説明し、適切な対策を講ずることができるよう活用したい。

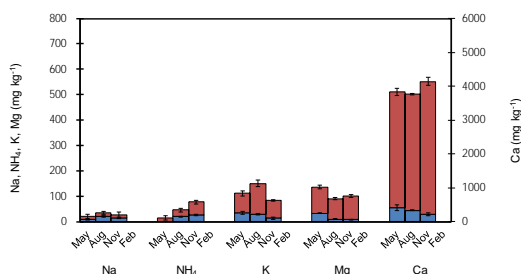


図2 調査地点の表層土壌における固相陽イオン(一例)

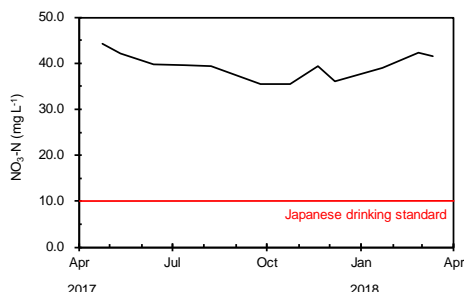


図3 調査地点の地下水中の硝酸性窒素濃度変化(一例)

(2) 課題II

課題Iによって明らかにされた硝酸態窒素の濃度の推移に係る要因の特定に向けて、要因に関わる資料収集を行った。資料収集に際して、濃度の推移に係る要因の定量的な解明に必要な公刊されている統計と比べて微細スケールの家畜飼養頭数と農作物作付面積のデータの収集を試みた。また先のデータの増減に関わる対象地域の社会情勢や行政施策の動向については、市史や報告書等から取得した。農畜産業の従事者と地下水利用者の意識と行動を解明するために、先に取得したデータ、現地踏査、そして文献レビューにより、申請書に記載した研究計画の精緻化に努めた。その結果、課題IIの目的を達成するためには、まず地下水汚染を地域が「問題」と認識するに至った過程の解明とともに、地

下水汚染に係る行政施策及び予算の変遷と制度運用上の課題を解明することが必要と考えられた。そして先の成果をもとに、課題Iと関係する地下水汚染に対する地域住民の認識と行動に係るヒアリング・アンケート票を設計し、調査を実施しそのデータを解析することによって達成されるとの見通しが立った。

地下水の硝酸性窒素濃度の推移と地下水利用に係る主体の行動の対応関係を把握した。環境基準値を超過したのは、2001年である。それに対して市議会では、1998年以前は主に水量に係る発言しかみられなかった。以降は、毎年水質に関する発言がみられ、発言数が最も多くなったのは環境基準値を超過した4年後の2005年である。行政は、長崎県が同年に島原半島窒素負荷低減対策会議を設置した。これらの結果は、地下水汚染の発生と地域住民の認識には時間的ズレが生じることを示唆するものである。

窒素負荷低減に向けた長崎県の取り組みを、ヒアリングから明らかにした。主要な成果は、次の3点である。窒素負荷低減に係る対策は、島原半島窒素負荷低減対策会議の構成員の連携により進められている。同会議の設定は、事業者の自律的な対策の推進に寄与している。しかしながら依然として住民からの苦情がみられ、家畜排せつ物の管理に資する実効性ある事業者の監視が課題となっている。窒素負荷低減に向けた住民参加は、推進に向けた働きかけが行われているが、窒素負荷低減を直接の目的とした活動は確認されていない。窒素負荷低減に向けた主要な課題は、環境基準の達成率以外の成果指標の設定、窒素負荷低減と産業振興とのバランス、窒素負荷低減の最終的な到達点に対する社会の合意形成が挙げられた。

以上 課題I及び課題IIの成果をもって、双方から得られた知見から、この問題に係わるステークホルダーを交え、地下水汚染の改善と農畜産業の振興の両立を志向した地下水汚染の改善策を導き出したいと考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計9件)

中川 啓, 天野弘基, 齋藤雅彦. 単孔式の多深度希釈試験と数値計算による水理パラメータ分布の推定, 土木学会論文集B1(水工学), 74(4), 1_19-1_24, 2018(査読有).

Nakagawa, K., S.-I. Wada, R. Kitamura and R. Berndtsson. Modeling of salt sorption in volcanic ash soil, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 48, 2594-2600, 2017(査読有).

Nakagawa, K., H. Amano, Y. Takao, T. Hosono and R. Berndtsson. On the use of coprostanol to identify source of nitrate pollution in groundwater, *Journal of Hydrology*, 550, 663-668, 2017 (査読有).

Nakagawa, K., H. Amano, A. Kawamura and R. Berndtsson. Classification of groundwater chemistry in Shimabara, using self-organizing maps, *Hydrology Research*, 48(3), 840-850, 2017 (査読有).

天野弘基, 中川 啓. 長崎県島原市における地下水水質形成機構についての一考察, *土木学会論文集 B1(水工学)*, 73(4), I_73-I_78, 2017 (査読有).

Fujii, H., K. Nakagawa and M. Kagabu. Decomposition approach of the nitrogen generation process: Empirical study on the Shimabara Peninsula in Japan, *Environmental Science and Pollution Research*, 23(22), 23249-23261, 2016 (査読有).

Amano, H., K. Nakagawa and R. Berndtsson. Groundwater geochemistry of a nitrate contaminated agricultural site, *Environmental Earth Sciences*, 75:1145, 2016 (査読有).

天野弘基, 中川 啓, 河村 明. 多変量解析による地下水水質の分類特性-島原市における事例-, *土木学会論文集 G(環境)*, 72(5), I_127-I_135, 2016 (査読有).

中川 啓, 渡辺貴史, 天野弘基. 長崎県島原市を対象とした地下水に対する農業由来の窒素負荷ポテンシャルマップの妥当性について, *地下水学会誌*, 57, 483-493, 2015 (査読有).

[学会発表](計 20 件)

中川 啓, 天野弘基, 齋藤雅彦. 単孔式の高深度希釈試験と数値計算による水理パラメータ分布の推定, 第 62 回水工学講演会, 岡山大学(岡山県岡山市), 2018.3.5-2018.3.7

Nakagawa, K. and H. Amano. Nitrate pollution and surface water chemistry in Shimabara, Nagasaki Prefecture, Japan, AGU Fall Meeting, Morial Convention Center (New Orleans, USA), 2017.12.11-2017.12.15

天野弘基, 中川 啓. コプロスタノールによる河川水の硝酸性窒素汚染源の推定, 水文・水資源学会 2017 年度研究発表会, 北見工業大学(北海道北見市) 2017.9.19-2017.9.21

中川 啓, 天野弘基. 島原市における河川水の水質特性について, 水文・水資源学会 2017 年度研究発表会, 北見工業

大学(北海道北見市), 2017.9.19-2017.9.21

Nakagawa, K., H. Amano, and R. Berndtsson. Status of Nitrate Pollution and Groundwater Chemistry in Shimabara, Nagasaki, Japan, 14th Annual Meeting AOGS, 2017.8.6-2017.8.11

中川 啓, 天野弘基. 島原市内の河川水質および硝酸性窒素汚染の状況について, 第 18 回地下環境水文学に関する研究集会, 和歌山県民会館(和歌山県和歌山市), 2017.7.8-2017.7.9

中川 啓, 天野弘基, 齋藤雅彦. ポイントダイリューション法による透水係数と分散長の推定, 日本地下水学会 2017 年春季講演会, 日本大学(東京都世田谷区), 2017.5.20

中川 啓. 島原市における地下水汚染の現状, 第 111 回ジオラボ(地盤工学会九州支部長崎地盤研究会), 長崎大学(長崎県長崎市), 2017.4.14

天野弘基, 中川 啓. 長崎県島原市における地下水水質形成機構についての一考察, 第 61 回水工学講演会, 九州大学(福岡県福岡市), 2017.3.15-2017.3.17

Nakagawa, K., A. Hiroki, Y. Takao and T. Hosono. Feasibility study on the use of Coprostanol to identify the source of nitrate groundwater pollution, American Geophysical Union (AGU) 2016 Fall meeting, Moscone Center (San Francisco, USA), 2016.12.12-2016.12.16

中川 啓, 天野弘基, 齋藤雅彦. ポイントダイリューション法と数値計算による透水係数鉛直分布の評価, 第 17 回地下環境水文学に関する研究集会, 筑波大学(茨城県つくば市), 2016.11.26-2016.11.27

山本紘平, 利部 慎, 中川 啓. 雲仙岳の噴火直後および 2016 年における島原市湧水水質の比較, 日本地下水学会 2016 年秋季講演会, 長崎新聞文化ホール(長崎県長崎市), 2016.10.20-2016.10.22

藤井秀道, 中川 啓, 利部 慎. 窒素負荷ポテンシャルの要因分解分析: 島原半島の事例研究, 日本地下水学会 2016 年秋季講演会, 長崎新聞文化ホール(長崎県長崎市), 2016.10.20-2016.10.22

中川 啓, 渡辺貴史, 藤井秀道, 利部 慎. 文理融合アプローチによる長崎県島原半島における地下水汚染の改善に係る検討, 日本地下水学会 2016 年秋季講演会, 長崎新聞文化ホール(長崎県長崎市), 2016.10.20-2016.10.22

天野弘基, 中川 啓. 硝酸性窒素汚染地域における鉛直地下水水質の地化学特

性, 日本地下水学会 2016 年秋季講演会,
長崎新聞文化ホール(長崎県長崎市),
2016.10.20-2016.10.22

Nakagawa, K., M. Saito and H. Amano.
Point dilution test and numerical
evaluation of the hydraulic
conductivity, 43rd IAH CONGRESS (第
43 回国際水文地質学会), le Corum
(Montpellier, France), 2016.9.25-
2016.9.29

Amano H., K. Nakagawa and R.
Berndtsson. Vertical characteristics
of groundwater chemistry at the
nitrate polluted site, 43rd IAH
CONGRESS (第 43 回国際水文地質学会),
le Corum (Montpellier, France),
2016.9.25-2016.9.29

中川 啓, 天野弘基, 高尾雄二, 細野
高啓. 硝酸性窒素による地下水汚染源
を推定するためにコプロスタノールを
利用することの検討, 水文・水資源学会
2016 年度総会・研究発表会, コラッセふ
くしま(福島県福島市), 2016.9.15-
2016.9.17

天野弘基, 中川 啓. 島原市における水
道水源の水質形成機構に関する考察,
水文・水資源学会 2016 年度総会・研究
発表会, コラッセふくしま(福島県福島
市), 2016.9.15-2016.9.17

天野弘基, 中川 啓. 多変量解析による
地下水水質の分類特性-島原市における
事例-, 第 24 回地球環境シンポジウム,
首都大学東京(東京都八王子市),
2016.8.31-2016.9.2

[その他](計 1 件)

中川 啓. 地域の地下水問題に挑む,
長崎県立西陵高等学校創立 30 周年記念
講演, 長崎県立西陵高等学校(長崎県諫
早市), 2016.11.5

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川 啓 (NAKAGAWA, Kei)
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環
境)・教授
研究者番号: 90315135

(2) 研究分担者

渡辺貴史 (WATANABE, Takashi)
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環
境)・教授
研究者番号: 50435468