

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月8日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2016～2018

課題番号：16KT0151

研究課題名(和文) 無農薬有機栽培の水田で地下水の硝酸性窒素汚染は減らせるか？

研究課題名(英文) Can nitrate contamination in groundwater be decreased by a natural-forming paddy field?

研究代表者

一柳 錦平 (Ichiyangi, Kimpei)

熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・准教授

研究者番号：50371737

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：農薬や化学肥料・有機肥料も一切使用しない自然栽培法による水田の窒素収支を明らかにするため、約1反の水田で自然栽培を行い、灌漑期の水収支と窒素収支の観測を行った。その結果、深度60cmの土壌水の硝酸性窒素濃度は低く、地下水への窒素負荷量は非常に小さいことが明らかとなった。また、水田土壌と生育したイネの窒素安定同位体比はどちらも+10‰であり、イネの窒素起源は土壌の有機物であると推定できた。そこで、熊本地域の水田をすべて自然栽培にしたと仮定して地下水モデルで解析した結果、水田付近の井戸では数年以内に、下流域の井戸でも20年以内に、地下水の硝酸性窒素濃度は低下することが推定できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然栽培水田は栽培が難しく、実際の水田で窒素収支を観測した研究はほとんど無い。また、水田土壌と生育したイネの窒素安定同位体比はどちらも+10‰であり、土壌の有機物起源であると推定できた。これらの成果は、日本初の貴重なデータである。さらに、熊本地域の水田をすべて自然栽培にする仮定で地下水シミュレーションを行った結果、地下水の硝酸性窒素濃度が下がるのは数年から20年程度という具体的な年数が明らかになった。また、モデルを検証するために収集した河川データより、江津湖の湧水量の再評価や熊本地震の影響を明らかにした。これらの成果は地下水汚染対策に有用であり、社会的な意義が大きいと言える。

研究成果の概要(英文)：In this study, the nitrogen and water budgets were investigated in a naturally-farmed paddy field covered an area of about 1,000 m² that was not treated with pesticides, or chemical and organic fertilizers. The nitrate ion concentrations in soil water at a depth of 60 cm were very low, so the nitrate load to groundwater was considered very low. Cause nitrogen isotope compositions in soil organic matter and rice paddy were both about +10‰, it was estimated that soil organic matter was the nitrogen source of rice paddy in this field. As a result of the groundwater model simulation in case that all paddy fields are changed to the naturally-farmed paddy, nitrate ion concentration of groundwater drops within several years around the paddy fields and within 20 years in the downstreams.

研究分野：同位体水文学

キーワード：地下水 窒素汚染 自然栽培水田

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、世界中で地下水の硝酸性窒素汚染が問題になっている。地下水はわが国の水道における年間取水量の 4 分の 1 を占めており、非常に重要な水資源となっている。調査地域である熊本市および周辺地域の人口 100 万人が、水道水源として 100%地下水を利用している。しかし、地下水の涵養域でも農業や畜産の盛んな地域では、硝酸性窒素濃度が環境基準の 10mg/L を超える井戸が報告されている。また、熊本県では減農薬・減化学肥料栽培を促進しており、2004 年より家畜排せつ物は堆肥化などによる適切な管理・処理が進んでいる。このような取り組みに関わらず、地下水の硝酸性窒素濃度は依然として上昇し続けている地点があることも報告されている。

一方、最近の農業では化学肥料を使わない有機栽培や、有機肥料も全く使わない自然栽培が行われているが、水田の無農薬無施肥栽培（自然栽培水田）は非常に手間がかかるため、ほとんど研究対象とされておらず、窒素肥料を使わないことによる地下水への窒素負荷の軽減についての研究は、ほとんど行われていない。

2. 研究の目的

そこで本研究では、地下水の硝酸性窒素汚染に対する調査や汚染対策が進んでいる、いわゆる“地下水の先進地域”である熊本地域を対象として、自然栽培水田を利用した地下水への硝酸性窒素の負荷軽減について評価することを目的とする。また、これまでほとんど研究例のない自然栽培水田について、水田土壌とそこで生育したイネの酸素・炭素・窒素同位体比を分析し、食品の産地や有機栽培の偽装を見破るための基礎データとする。

さらに、熊本地域の水田をすべて無農薬有機栽培にしたと仮定した場合、これまで硝酸性窒素濃度が高かった井戸が、何年後にどれだけ濃度が減少するかについて、地下水モデルによって推定する。その他にも、モデルの検証データとして収集した河川の水位や流量データについて、長期変化や熊本地震の影響についても考察する。

3. 研究の方法

観測研究は、H28 年度には水田での水文・気象観測の準備、H29 年度には自然栽培水田での水収支・窒素収支観測、そして H30 年度には水田の窒素収支や同位体分析を行った。農薬や化学肥料・有機肥料も一切使用しない自然栽培法による水田の窒素収支を明らかにするため、熊本県菊池市の中山間地における約 1,000 m² (約 1 反) の水田で水稻（ミルキークイーン）の自然栽培を行い、水収支および窒素収支の観測を行った。

生育期は 2017 年 6 月から 10 月までで、水田の流入口と流出口に三角堰を設置して流量を測定した。また、気象観測装置を設置して降水量を測定し、日蒸発量はペンマン法により推定した。さらに、降水および水田への流入水と流出水、土壌水を月 1~2 回の頻度で採水し、熊本大学水文学研究室において、水安定同位体比と主要溶存イオン濃度の分析を行った。水田土壌とイネは農研機構・食品研究所において、酸素（¹⁸O）・窒素（¹⁵N）・炭素（¹³C）同位体比の分析を行った。

地下水モデルは地圏環境テクノロジーの開発した 3 次元非定常モデル（GETFLOWS）を利用した。熊本地域全域の水田がすべて自然栽培を行うという仮定の下、水田からの窒素負荷をすべて無くした場合、現状の硝酸性窒素濃度が何年度にどう変化するか、シミュレーションを行った。さらに、熊本地域の河川水位や流量データを収集し、江津湖の湧水量の再考察や熊本地震後の河川水位や流量の変化についても解析を行った。

4. 研究成果

自然栽培水田の水収支と窒素収支を観測した結果を、表 1 にまとめて示す。その結果、灌漑期（2017 年 6 月 11 日から 9 月 6 日）における水田への灌漑水と降水の合計は 5012m³、水田からの排水は 4080m³、蒸発散量は 371m³、それらの差より土壌浸透量は 560m³（表 1 の Soil infiltration）と推定できた。土壌水（深度 60 cm）の硝酸性窒素濃度はほとんどが 1.0mg/L より低いいため、自然栽培水田による地下水への窒素負荷は非常に小さいことが明らかとなった。また、水田全体の窒素収支より、水田からの持ち出し窒素量は約 5.2 kg（表 1 最下段の 6.7-1.5 = 5.2 となる）と推定できた（成果 ，学会発表 ）。

表 1. 自然栽培水田で観測された灌漑期における水収支および窒素収支の結果。
(一柳ほか, 2019 の Table 2 を引用)

Input	Water (m ³)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Nitrogen (kg)	Output	Water (m ³)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Nitrogen (kg)
Precipitation	1,116	1.4	0.4	Evapotranspiration	371		
Inflow	3,896	1.3	1.1	Outflow	4,080	2.0	1.8
(Soil storage)	(447)			Soil infiltration	560	0.4	0.1
				Vegetation	<1		4.8
Sum	5,012		1.5	Sum	5,012		6.7

また、水田土壌とそこで生育したイネの ^{15}N はどちらも+10‰と有機物に近い値であり、イネの窒素起源は土壌中の有機物と推定できた。つまり、窒素収支の結果より推定した水田からの持ち出し窒素量は、土壌中の有機物が起源であることが示された。本研究で分析した精米の ^{18}O は 23.7~24.4‰、 ^{13}C は -29.0~-28.5‰であり、これらの測定値は自然栽培水田ではおそらく日本初の観測データである。このような安定同位体比データは、食品の産地や有機栽培の偽装を見破るための基礎データとして有効であり、今後もさまざまな栽培環境での各種安定同位体比の観測データを蓄積することにより、食品の産地や栽培法を判別する精度の向上が期待できる（成果）。

さらに、熊本地域の水田をすべて自然農法に変えると仮定した場合、地下水の硝酸性窒素濃度が何年後にどう変化するか、地下水モデル（GETFLOWS）によって長期シミュレーションを行った。水田の窒素負荷量を無くした場合の窒素負荷量の分布と、地下水モデルによる地下水の硝酸性窒素濃度の時系列変化の例を、図1に示す。その結果、水田に近い井戸では数年以内に、水田周辺域で濃度が高かった井戸でも15-20年以内に、地下水の硝酸性窒素濃度は低下することが明らかとなった。もちろん、すべての水田を自然栽培に変えることはできないが、水田からの窒素負荷を無くすと、その効果が数年から20年程度で現れるという結果は、今後の地下水政策に有用なデータであり、社会的意義は大きいと考えられる。

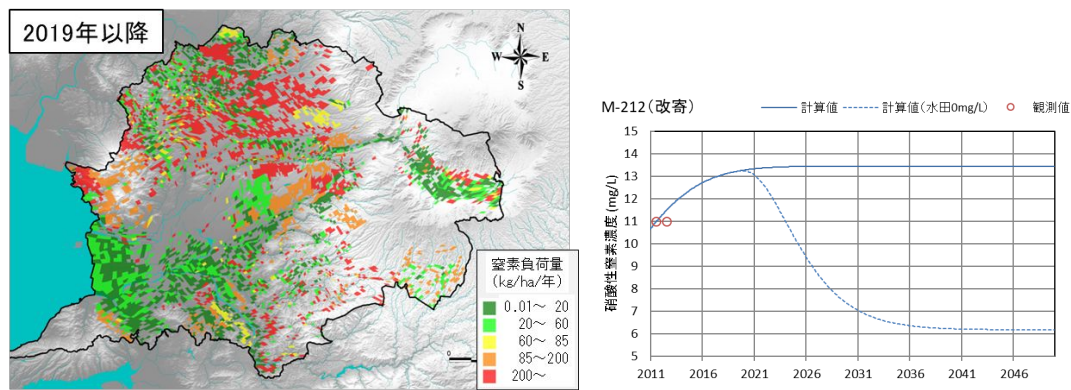


図1. 地下水モデル（GETFLOWS）に入力した地下水の窒素負荷量の分布（左）と、植木町の井戸（第1帯水層）の硝酸性窒素濃度の長期変化の例（右）。

その他にも、当初の計画には無かったが、モデルの検証用として収集した河川水や地下水のデータを解析した結果、江津湖湧水量の減少を過小評価していること（図2）や、熊本地震による河川水位の変化パターン（図3）も明らかにした（成果，学会発表～）。

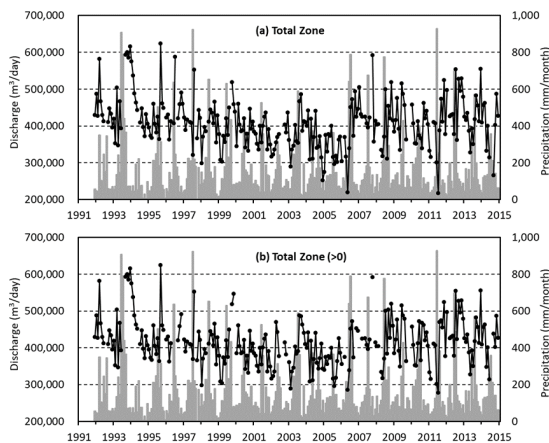


図2. 水前寺、江津湖周辺における全湧水量の長期変化。従来の方法（上）と湖底浸透量を考慮した方法（下）。

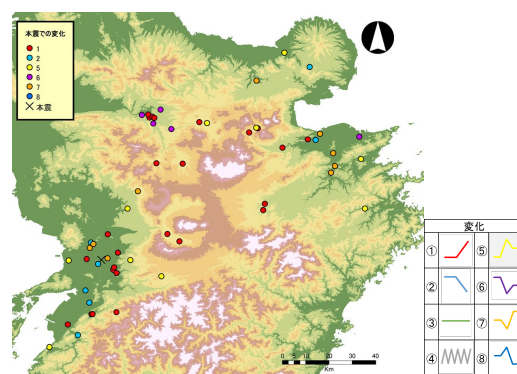


図3. 熊本地震（本震）直後における河川水位の変化パターン。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

一柳錦平, 安藤昭太郎 (2017), 熊本地震による河川水位の変化. 日本水文学会誌, 47(1), 11-15.

一柳錦平・泉太郎・上杉崇之・鈴木彌生子 (2019), 自然栽培水田における窒素収支および窒素起源の検討. 日本水文学会誌, 49(1), 19-35. <https://doi.org/10.4145/jahs.49.19>.

〔学会発表〕(計 5件)

2017年2月27-28日, 日本地下水学会熊本地震WG会議, 熊本大学, 熊本.

一柳錦平・安藤昭太郎, 熊本地震に伴う河川流量変化の実態.

2018年3月25日, 日本地下水学会熊本地震WG会議, 熊本大学, 熊本.

一柳錦平・今津皆人, 広域河川流量観測資料に基づく熊本地震に伴う河川水位・流量変化.

2018年5月20-24日, JpGU-AGU Joint Meeting 2018, 幕張メッセ, 千葉.

Kimpei Ichiyangi, Minato Imazu, Kiyoshi Ide, Jun Shimada, River water change after the 2016 Kumamoto earthquake. AHW24-08.

2018年9月10-14日, The 45th International Association of Hydrogeologists (IAH) Congress, Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea.

Kimpei Ichiyangi, Minato Imazu, Kiyoshi Ide, Jun Shimada, Changes of river water level and discharge affected by the 2016 Kumamoto earthquake. Oral presentation in the T3.6 Effect of 2016 Kumamoto Earthquake (M7_3) to the local groundwater system (JAGH special session).

2018年10月13-14日, 日本水文学会, 総合地球環境学研究所, 京都

上杉崇之・一柳錦平・泉太郎, 自然栽培水田における窒素収支の検討. ポスター, P6.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0件)

取得状況 (計 0件)

〔その他〕

ホームページ等 無し

6. 研究組織

(1) 研究分担者 無し

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 細野高啓

ローマ字氏名: Hososo Takahiro

研究協力者氏名: 鈴木彌生子

ローマ字氏名: Suzuki Yaeko

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。