

令和元年6月19日現在

機関番号：32604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00638

研究課題名(和文) 伝統的農法「稲田養魚」の高い米魚生産性を支える生態系プロセスの科学的検証

研究課題名(英文) Understanding ecosystem processes underlying high productivity of traditional "rice-fish culture" system

研究代表者

小関 右介 (Koseki, Yusuke)

大妻女子大学・家政学部・准教授

研究者番号：00513772

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：稲田養魚の高い生産性を支えるメカニズムを解明するため、炭素窒素安定同位体比を用いて水田内の有機物フローを評価した。養魚水田は慣行水田に比べて動物性有機物の供給が大きかった。この養魚水田の動物性有機物は、魚(フナ)のふんによってかなりの程度説明されたが、養魚飼料の食べ残しのほうがより大きな割合を占めた。フナの餌に占める天然餌料の割合は一定程度あるものの、養魚飼料の貢献のほうがより大きかった。以上のことから、養魚水田生態系内部の食物連鎖が土壌肥沃化に一定の役割を果たすことが示された一方、系外から投入される養魚飼料が土壌の栄養状態により大きく作用し、本農法の高い生産性をもたらしていることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、伝統的農法「稲田養魚」において、かつて「米魚両全」と評された高い単収の背後にある生態系プロセスを炭素窒素安定同位体を用いて調査し、魚が排泄するふんが有機肥料となり水稻の玄米生産に利用される「施肥効果」の過程を初めて科学的に明らかにした。米魚両全を支える生態系プロセスが明らかになったことで、今後稲田養魚を新たに自然共生型農法として位置付け、その普及推進を図っていくための科学的根拠が整備された。

研究成果の概要(英文)：To elucidate mechanisms underlying high productivity of rice-fish culture, organic matter flows in rice fields were estimated using carbon and nitrogen stable isotope ratios. Rice-fish fields were characterized by higher supply of animal-derived organic matter than conventional rice fields. The animal-derived organic matter in rice-fish fields was accounted for to a significant degree by fish (crucian carp) feces, but a larger proportion was accounted for by leftover feed. A certain proportion of crucian carp diet was accounted for by natural food, although fish feed contributed to a greater proportion. These results show that autochthonous food chain of the rice-fish ecosystem plays a certain role in soil enrichment but that allochthonous input of fish feed has a greater impact on soil nutritional status, resulting in high productivity of the culture system.

研究分野：生態学

キーワード：環境配慮型農法 環境保全型農法 稲田養魚 水田養魚 生態系機能 生態系サービス 安定同位体比 物質フロー

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年各地の水田において、自然再生と地域活性化の両立を目指した自然共生型農法の取り組みが進められている。この新たな農法に対しては大きな期待が寄せられる一方で、その生態系および生物多様性に及ぼす効果や水稲生産に与える影響についての科学的知見はいまだ十分ではない。経済的合理性が追求される営農の現場において、自然共生型農法の取り組みが一過性のものに終わらず、持続的に実践されるためには、農法の実践がどのように水田や周辺の生態系に影響し、どのような生態系サービスの向上がもたらされるのかについての科学的根拠を示す必要がある。

一つの水田で米と魚を同時に生産する「稲田養魚（とうでんようぎょ、Rice-fish culture）」は、モンスーンアジアを中心に世界中で行われてきた伝統的な農法であり、持続的な農村経済開発につながる技術として国際連合食糧農業機関（FAO）なども大きな関心を寄せている。稲田養魚の大きな特徴は、魚という副作物が得られるだけでなく、多くの場合稲の単収も上がるという生産性の高さにある。この優れた生産性は国内では「米魚両全（こめうおりょうぜん）」と評され、昭和の初め頃までその実践は全国各地に見られたが、戦後の農薬および化学肥料の普及にとともに急速に衰退し、現在では長野県など一部の地域にわずかに残るのみとなっている。しかし、上述のように水田の自然再生が重要な課題となった今日、環境親和性と生産性を兼ね備えた稲田養魚は自然共生型農法として新たな価値を発揮する可能性がある。

しかし、水田における養魚の営為がどのようにして水稲の単収向上につながるのかについてはまだよくわかっていない。有力な説明として、魚の排泄するふんが有機肥料となり土壌を肥沃にする（施肥効果）というものがあるが、この生態系サービスを定量的に評価した研究はない。本農法を新たに自然共生型農法として位置付け、その普及推進を図っていくためには、米魚両全を支える生態系サービスを科学的に検証する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、稲田養魚の高い生産性を支える生態学的プロセスを明らかにすることであった。このため、炭素窒素安定同位体比を指標として水田内の有機物フローを定量的に評価した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 水田調査

本研究の調査は、現在も地域の文化として稲田養魚（フナ養殖）が見られる長野県佐久地域で行った。面積 12-30 a のフナ養殖水田（以下、養魚水田）3 面を調査水田とし、2016 年と 2017 年の 2 作期において次に述べる安定同位体分析に用いる試料（土壌、水稲、フナ等）を採取した。また、各養魚水田と同じ農家が管理する水稲単一栽培水田（慣行水田）を養魚水田の比較対象とした。

#### (2) 炭素窒素安定同位体分析

得られた試料を乾燥・粉末化し、元素-質量分析計により炭素および窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$  および  $\delta^{15}\text{N}$ ）を測定した。土壌および水稲体の測定値について水田タイプ間で比較を行なった。安定同位体混合モデル SIAR を用いて、土壌有機物に対する各供給源の寄与およびフナに対する各餌料の寄与を推定し、水田内の有機物フローを定量的に評価した。

### 4. 研究成果

#### (1) 動物性有機物の供給と水稲による利用

水田土壌の窒素同位体比には水田タイプ間で有意な差がみられ、養魚水田は慣行水田に比べて  $\delta^{15}\text{N}$  値が高かった（図 1）。養魚水田にみられた高い窒素同位体比は、家畜ふん堆肥を施用した有機栽培水田に見られるものと同じであり、稲田養魚においても相当量の動物性有機物の供給があることが示された。

同様のパターンは水稲体にも認められ、養魚水田の水稲葉身の  $\delta^{15}\text{N}$  値は作期を通じて慣行水田のそれよりも高かった。さらに、玄米の  $\delta^{15}\text{N}$  値も土壌や葉身と一致した傾向を示したうえ（図 2）、一穂あたり稔実粒数（玄米収量構成要素）は慣行水田に比べて平均で 28 粒多かった。このことから、養魚水田に供給された動物性有機物は水稲に吸収利用され玄米生産に寄与していることが確認された。

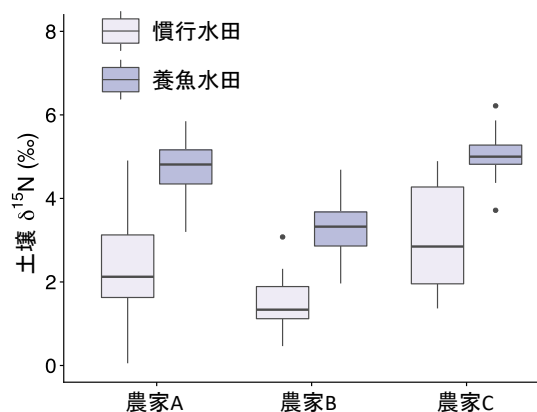


図 1. 慣行水田と養魚水田の土壌窒素同位体比の違いを表す箱ひげ図

## (2) 動物性有機物の供給源

養魚水田でみられた動物性有機物の由来を明らかにするため、安定同位体混合モデル SIAR により土壌有機物における①フナふん、②養魚飼料、③作期前の土壌および施用肥料の相対寄与率を推定した (図 3)。その結果、3 水田におけるフナふんの寄与率は、栽培初期 (6 月) で 9-26%、中期 (7 月) で 21-24%、後期 (8 月) で 34-41%を示し、魚の排泄による施肥効果はとくに栽培後期においてかなり大きいことが示された。一方で、養魚飼料の推定寄与率は初期 (6 月) 31-47%、中期 (7 月) 47-60%、後期 (8 月) 34-52%であり、食べ残された飼料がフナふん以上に大きな供給源であることが明らかとなった。

## (3) フナの餌料組成

フナの餌料組成を明らかにするため、安定同位体混合モデル SIAR により①天然餌料 (動物プランクトンおよび底生無脊椎動物) および②養魚飼料の割合を推定した (図 4)。その結果、3 水田における天然餌料の寄与率は、6 月で 40-90%、7 月で 42-54%、8 月で 38-53%であり、フナにおける天然餌料の寄与は小さくないものの、相対的には養魚飼料のほうが大きく寄与していることが示された。

(4) 天然餌料の効果および養魚飼料の効果  
上記 2 で求めた土壌有機物中のフナふん寄与率に 3 で求めた餌中の天然餌料比率を乗じて、土壌有機物における天然餌料の貢献割合を算出した。この値は 6 月で 3-24%、7 月で 10-13%、8 月で 13-19%となり、水田内の食物連鎖が土壌肥沃化に一定の役割を果たすことが示された。その一方で、系外から投入される養魚飼料が土壌の栄養状態に大きな影響を与え、稲田養魚の高い生産性を支えていることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3 件)

(1) 小関右介、松崎慎一郎「米魚同時栽培水田における水界食物網構造と物質フロー」日本生態学会第 66 回全国大会、2019 年 3 月 17 日、神戸

(2) 小関右介、松崎慎一郎「安定同位体比を用いた米魚同時栽培水田の物質フロー解析」日本生態学会第 65 回全国大会、2018 年 3 月 16 日、札幌

(3) 小関右介、松崎慎一郎「米魚同時栽培水田における生態系プロセス解明のための安定同位体比分析」日本生態学会第 64 回全国大会、2017 年 3 月 16 日、東京

[その他]

大妻女子大学総合情報センター図書館 ラーニングコモンズ・イベント 第 8 回「川や田んぼの魚を通して人の暮らしを考える」2016 年 12 月 17 日

<http://www.lib.otsuma.ac.jp/guide/learning/2016/2016-1128-1048-25.html>

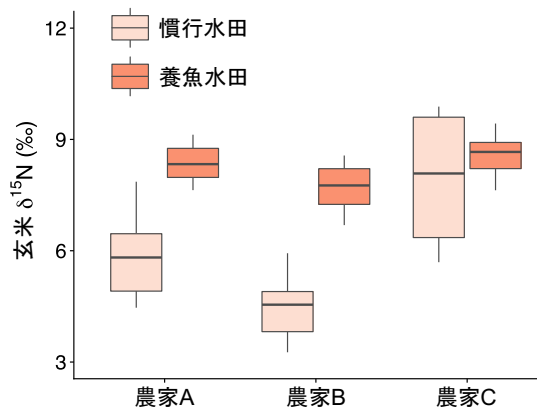


図 2. 慣行水田と養魚水田の玄米窒素同位体比の違いを表す箱ひげ図

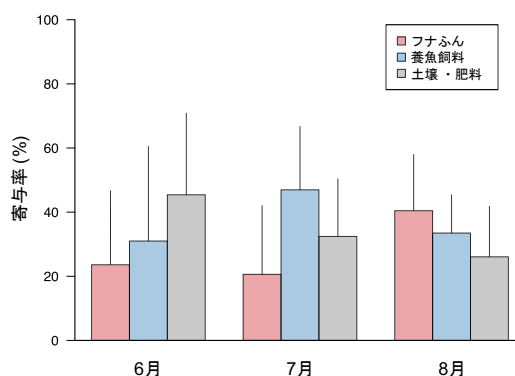


図 3. 養魚水田の土壌有機物に占める供給源の寄与率推定の例 (農家 A の養魚水田)

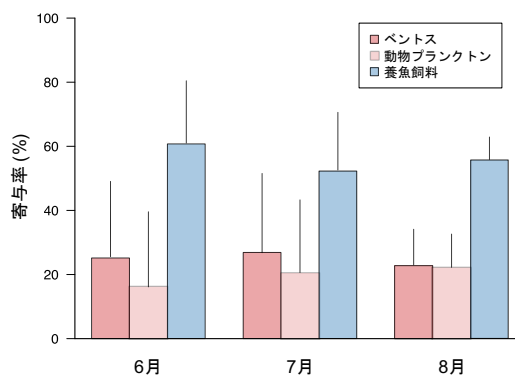


図 4. フナの餌料に占める餌種の寄与率推定の例 (農家 A の養魚水田)

※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。