

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19860

研究課題名（和文）里山の竹バイオマスを活用した資源循環型稲作農法の開発

研究課題名（英文）Developing resource-circulation rice farming using bamboo biomass in Satoyama

研究代表者

西川 潮（Nisikawa, Usio）

金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授

研究者番号：00391136

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、竹粉から生成・溶出する無機物・有機物を探索し、これらの有機物・無機物が水田雑草やイネ、生物多様性に与える影響を調べた。3年間に及ぶ圃場実験から、実験1年目は竹粉の施用により米の収量が増加したが、実験2年目以降は増収効果が認められなかった。竹粉の施用が水稻収量を向上させるための条件として、イネによるケイ酸吸収に土壤中のリン酸や遊離酸化鉄が影響していると考えられるほか、新たに土壤中の鉄還元菌による窒素固定も影響している可能性が浮上した。竹粉の施用により、アシナガグモ類の生息数は増加傾向を示したが、底生動物に与える影響は分類群によって異なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

竹の粉砕物を水稻農業に活用する試みは、一部の篤農家の間で行われているが、竹粉砕物が水稻収量に与える影響の安定性評価や、米の収量の増加をもたらすメカニズムに関してはこれまで解明されてこなかった。本研究でも、メカニズムの解明までは至っていないが、いくつか有力な仮説を提示することができた。今後、竹を活用した無農薬稲作技術が確立されれば、米の品質を損なわずに安全・安心な米の収量を向上させることが可能となり、米の品質の低下や化学物質・重金属の残留が懸念される既存の循環農法と差別化が図れる。これにより、里山のバイオマスの利活用を軸とした、資源循環型農林業の創生への新展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：This study explored the inorganic and organic substances produced or leached from bamboo powder and the effects of these substances on weeds, rice yield and biodiversity. Three years of field experiments showed that the application of bamboo powder increased rice yield in the first year of the experiment, but such positive effects on rice yield was not observed after the second year of the experiment. We hypothesized that available phosphate or free iron oxide in the soil affected silicon uptake by rice plants, that in turn, led to enhanced rice yield. In addition, another hypothesis emerged - nitrogen fixation by iron-reducing bacteria in the soil led to enhanced rice yield following ground bamboo application. Ground bamboo application had positive effects on the abundance of Tetragnatha spiders, but effects on macroinvertebrates were variable among taxa.

研究分野：保全生物学

キーワード：環境配慮型農業 里山資源 無農薬稲作 モウソウチク ケイ酸

## 1. 研究開始当初の背景

近年、西日本の里山を中心として放棄竹林の拡大が問題となっている。申請者らは、タケ類の窒素含有率の低さ(約 0.2%)と、畑作での土壌改良効果に着目し、これらを粉砕化して水田に施用することにより、米の品質を損なわないマルチング資材(覆い)または土壌改良剤としての効果が期待できると考え準備研究を進めてきた。結果、竹粉を施用した処理区では、竹粉を施用しない処理区と比べ、米の収量が1.7~1.8倍程度向上することが示された。竹粉の施用により産出された米はいずれも高品質であった。しかし、竹粉施用による水稲収量向上および高品質米の生産効果に関しては、メカニズムが不明であるとともに、効果の安定性についても課題が残る。竹粉施用による水田生物多様性への影響も未知である。

竹粉の施用による米の増収効果のメカニズムとして、竹粉の：1)肥料効果、2)分解過程で発生する芳香族カルボン酸による水田雑草の生育阻害、が考えられた。圃場実験では、実験1年目に竹粉の施用により米の収量が増加したが、実験2年目以降は増収効果が認められなかった。

モウソウチクを例にとると、稈で0.2%、葉で4.5%のケイ酸が含まれる。1)に関しては、竹粉施用区では実験後に稲体および水田土壌のケイ酸含量が減少していたことから、稲体へのケイ酸吸収が促進されて米生産に使われた可能性が高い。また、実験2年目以降は土壌中のリン酸が米の収量の制限栄養塩となっていたことから、土壌中のリン酸が不足しない条件下で稲体へのケイ酸吸収が促進され、収量の安定化につながる可能性が高いと考えている。しかし、2)に関して有機物の分解に伴う芳香族カルボン酸類の発生が、水田雑草の根の生育阻害を起し、イネの栄養塩吸収および成長を助長したとする代替仮説も有力である。

以上より、竹粉は特定の条件下で、稲体のケイ酸吸収、または芳香族カルボン酸の生成を介した水田雑草の根の生育阻害を通じて米の収量を向上させると考え、本計画を着想した。その際、水田の生物多様性を低下させないことも重要となるため、生物共生農法としての有効性も併せて評価した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、竹粉から生成・溶出する無機物・有機物を探索し、これらの有機物・無機物が水田雑草やイネ、生物多様性に与える影響を調べ、無農薬稲作への応用を図ることである。

## 3. 研究の方法

事前準備として、金沢大学の里山でモウソウチクを伐採し、樹木粉碎機を用いて粉末化した。

### 室内実験

(1)竹粉からの芳香族カルボン酸類の生成ポテンシャルの評価 - 100mL 容 UM ビーカーに乾土 20g 相当の未風乾土および竹粉(葉あるいは稈)0.2g を添加し、5~25℃ で0~112日間湛水培養した。培養終了した試料のpH および Eh をガラス電極および白金電極で測定し、上澄み液に含まれる主要陽イオン(Ca、Mg、K)を ICP-OES を用いて測定した。芳香族カルボン酸は HPLC で定量した。

(2)芳香族カルボン酸類による水田雑草の初期成長の抑制メカニズムの解明 - 芳香族カルボン酸類が優占雑草の初期成長に与える影響を明らかにするため、プラントボックス法をコナギ生物検定法、および乾燥植物粉末を用いた他感作用の検定法に従い改良して、竹粉(稈のみ)、竹粉(葉のみ)、

コントロールの3区(各区3反復)において、コナギ(水田雑草の優占種)種子根の生長比較実験を行った。コナギの種子根の成長量(阻害度)を測定し、各処理区の根の生育抑制効果を評価することとした。実験に用いたコナギ種子は、水田にて採取したコナギ蒴果を水深3cmのプラスチックケース内に入れ冬季期間中、野外気温下(岐阜市)に置くことで休眠覚醒を図った。

### 圃場実験

金沢大学の16筆の実験田(各30m<sup>2</sup>)を用いて、3つの圃場実験を実施した。最初に、(1)竹粉の施用が玄米収量の安定性に及ぼす影響を3年間に渡って調査するため、本研究課題では、3年目の圃場実験を実施した。実験処理区として、1)対照区(竹粉無施用、無除草)、2)手作業除草区(出穂前に1回手除草を実施)、3)竹粉少量施用区(500 kg/0.1 ha)、4)竹粉中量施用区(1000 kg/0.1 ha)、5)竹粉多量施用区(2000 kg/0.1 ha)を設定し、各処理区につき3または4反復を設けた。

次に、(2)竹粉の施用時期の違いが、水稲収量、米の外観品質・食味成分および水田の生物多様性に与える影響を明らかにした。実験処理区として、1)対照区(竹粉無施用)、2)基肥施用区(1000 kg/0.1 ha)、3)穂肥施用区(1000 kg/0.1 ha)、4)基肥(基肥500 kg/0.1 ha)+穂肥(500 kg/0.1 ha)施用区を設けた。田植時(6/4)に竹粉を基肥として施用を、出穂前(7/25)に竹粉を穂肥として水田に表面施用した。水田の生物多様性指標にはアシナガゲモ類を用いた。

さらに、土壌中の制限栄養素としてリン酸が有力であったため、(3)竹粉と米糠(リン酸肥料)の単体施用と複合施用が、水稲収量、米の外観品質・食味成分、および水田の生物多様性に与える影響を調査した。実験処理区として、1)対照区(竹粉無施用、米糠無施用)、2)竹粉施用区(1500 kg/0.1 ha)、3)米糠施用区(13 kg/0.1 ha)、4)竹粉(1500 kg/0.1 ha)+米糠(13.3 kg/0.1

ha) 施用区を設けた。水田の生物多様性指標にはアシナガグモ類と底生動物を用いた。

実験処理区間で、イネの生育パラメータ(草丈、茎数、SPAD 値)、水生植物の現存量、田面水・土・イネの無機成分の含量、アシナガグモ類・底生動物の生息数・分類群多様度を比較した。また、石川県農業試験場の協力を得て、米の外観品質(千粒重、整粒歩合、被害粒率等 約 20 項目)と食味成分(タンパク質含量)の分析を行った。

#### 4. 研究成果

##### 室内実験

(1) 竹粉からの芳香族カルボン酸類の生成ポテンシャルの評価 - 培養 112 日後において、竹粉施用区では対照区と比較して溶液中の K 濃度は増加したものの、Si 濃度は差がなかった。また、竹粉施用区と対照区の Eh はほぼ同等だったため、本培養系では竹粉の分解が進行していないことが示唆された。事実、溶液中の芳香族カルボン酸の濃度は検出限界以下だった。一方、圃場実験中の水田の田面水を定期的に採取し、主要陽イオンや Si 濃度などの一般的な水質項目を分析すると、竹粉施用によって田面水中の K 濃度、Si 濃度および溶存有機炭素濃度が上昇していたため、実際の圃場では竹粉の分解が進んでいると考えられる。そのため、実際の圃場を室内で再現できる培養条件を確立し、芳香族カルボン酸類の生成ポテンシャルを評価する必要がある。

(2) 芳香族カルボン酸類による水田雑草の初期成長の抑制メカニズムの解明 - 水田強害草であるコナギに対する竹粉の成長抑制効果を検証する実験を 2 年間にわたり実施したものの、コントロール区も含めコナギの発芽が認められず、検証可能なデータが得られなかった。イネ初浸出液によるコナギ種子の発芽促進を施したにもかかわらず、供試種子に休眠覚醒が充分でないものが含まれているなどの要因が考えられた。

##### 圃場実験

(1) 竹粉の施用が水稻収量の安定性に及ぼす影響 - 3 年間に及ぶ圃場実験の結果から、実験 1 年目は竹粉の施用により米の収量が増加したが、実験 2 年目以降は増収効果が認められなかった。竹粉施用区では、実験後に稲体および水田土壌のケイ酸含量が著しく減少していたことから、もみ殻・玄米へのケイ酸吸収が促進されて米生産に使われた可能性が示された。一方で、芳香族カルボン酸類や揮発性脂肪酸等の発生が水田雑草の根の発育阻害を起し、イネの栄養塩吸収および成長を助長したとする代替仮説も有力である。実験 2 年目および 3 年目は土壌中のリン酸が米収量の制限栄養塩となっていたことから、土壌中のリン酸が不足しない条件下で稲体へのケイ酸吸収が促進され、収量の安定化につながる可能性が示された。

(2) 竹粉の施用時期の違いが、水稻収量、米の外観品質・食味成分、および水田の生物多様性に与える影響 - 圃場実験の結果、竹粉の施用の有無や施用時期を変えた 4 処理間でイネの成長パラメーターには有意差が認められなかった。しかし、穂肥の時期に竹粉を施用した処理区では、対照区と比べて玄米収量が少ない傾向が認められ、千粒重も小さかった。玄米収量と、実験後の土壌 P、N、K 含量との間には有意な相関は認められなかったが、玄米収量と土壌 Si 含量との間には有意な負の相関が認められた。さらに、玄米収量とイネの Si 吸収量との関係性を調べたところ、両者の間に正の相関が認められた。一般化線型モデルとモデル選択を用いて、イネの Si 吸収量を説明する土壌の理化学的要因を検討したところ、土壌の遊離酸化鉄含量を説明変数とするモデルが最適モデルとなった。以上より、イネの Si 吸収量が玄米収量の制限要因となっていること、イネの Si 吸収量は土壌の遊離酸化鉄含量の影響を受けている可能性が示された。さらに、水田の生物多様性調査から、竹粉の施用はアシナガグモ類とシャジクモ類の多様性の増加につながる可能性が示された。

(3) 竹粉とリン酸肥料の単体施用と複合施用が、水稻収量、米の外観品質・食味成分、および水田の生物多様性に与える影響 - 圃場実験の結果、4 処理間でイネの草丈と茎数には有意差が認められなかった。葉の SPAD 値は、竹粉を施用しなかった 2 処理区(対照区、米糠区)と比べて、竹粉を施用した 2 処理区(竹粉区、竹粉+米糠区)で出穂前にかけて高くなる傾向が認められた。竹粉を施用しなかった 2 処理区と比べて、施用した 2 処理区で、出穂前にイネによる窒素吸収が促進された可能性がある。しかし、処理区間で、玄米収量、米粒の外観品質、および米粒のタンパク質含量に差が見られなかった。また、処理区間で田植前と収穫後の土壌の N、P、K、Si に差は認められなかった。水田強害草に対しては、コナギやタイヌビエでは竹粉施用の有無による抑制効果は、対照区と比較して差が認められなかった。また、サンプル数が少なく統計的有意差は認められなかったものの、竹粉の施用は特にシャジクモの現存量を増加させる傾向が認められた。竹粉の施用が底生動物に与える影響に関しては、分類群によって大きく異なった。

竹粉の施用が水稻収量を向上させるための条件として、イネによるケイ酸吸収に土壌中のリン酸や遊離酸化鉄が影響していると考えられるほか、新たに土壌中の鉄還元菌による窒素固定も影響している可能性が浮上した。今後は、土壌中のリン酸含量・遊離酸化鉄とイネによるケイ酸吸収の関係性、および鉄還元菌の窒素固定の影響の双方に着目して、実験を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Nakanishi Kosuke, Usio Nisikawa, Yokomizo Hiroyuki, Takashima Tadao, Hayashi Takehiko I.                              | 4. 巻<br>20            |
| 2. 論文標題<br>Chlorantraniliprole application differentially affects adult emergence of Sympetrum dragonflies in rice paddy fields | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Paddy and Water Environment   | 6. 最初と最後の頁<br>177-183 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/s10333-021-00880-5   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>-             |

|   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. 著者名<br>Masfiro Lailati, Yichen Shang, Thien Quang Huynh, Koji Ito, Naoya Katsumi, Yumiko Mizuuchi, Masaya Ino, Tadao Takashima and Nisikawa Usio | 4. 巻<br>NA                   |
| 2. 論文標題<br>Effects of ground bamboo application on weed suppression and rice production: a 3-year paddy field experiment                            | 5. 発行年<br>2022年              |
| 3. 雑誌名<br>CABI Agriculture and Bioscience   | 6. 最初と最後の頁<br>Article No. 87 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1186/s43170-022-00087-6   | 査読の有無<br>有                   |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>-                    |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Usio Nisikawa   | 4. 巻<br>1               |
| 2. 論文標題<br>Assessing Stream Water Quality Using Macroinvertebrates  | 5. 発行年<br>2023年         |
| 3. 雑誌名<br>In: Hasebe, N., Honda, M., Fukushi, K., Nagao, S. (eds) Field Work and Laboratory Experiments in Integrated Environmental Sciences. Springer, Singapore | 6. 最初と最後の頁<br>171 ~ 196 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/978-981-99-6532-8_11   | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Ito Koji, Usio Nisikawa   | 4. 巻<br>1               |
| 2. 論文標題<br>Vegetation Surveys, Environmental Measurement, and Analysis: Biodiversity Conservation in Satoyama   | 5. 発行年<br>2023年         |
| 3. 雑誌名<br>In: Hasebe, N., Honda, M., Fukushi, K., Nagao, S. (eds) Field Work and Laboratory Experiments in Integrated Environmental Sciences. Springer, Singapore | 6. 最初と最後の頁<br>197 ~ 219 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/978-981-99-6532-8_12   | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-               |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>西川潮                           |
| 2. 発表標題<br>水田地帯の自然再生と生物共生農業－佐渡世界農業遺産の事例－ |
| 3. 学会等名<br>滋賀大学環境総合研究センター（招待講演）          |
| 4. 発表年<br>2022年                          |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Lailati M, Huynh TQ, Shang Y, Ito K, Katsumi N, Mizuuchi Y, Ino M, Takashima T, Usio N                                 |
| 2. 発表標題<br>Effectiveness of ground bamboo application on weed supression and rice production: a three-year paddy field experiment |
| 3. 学会等名<br>PAWEES 2021 International Conference（国際学会）   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>西川潮                                    |
| 2. 発表標題<br>I. 生物多様性とは何か                           |
| 3. 学会等名<br>石川県立七尾高校文系フロンティアコース「論述錬磨」に係る講義II（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2021年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>西川潮                                    |
| 2. 発表標題<br>II. 環境配慮型農業と生物多様性                      |
| 3. 学会等名<br>石川県立七尾高校文系フロンティアコース「論述錬磨」に係る講義II（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2021年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Usio N   |
| 2. 発表標題<br>Management and restoration of semi-natural aquatic habitats in Japanese paddy field landscapes |
| 3. 学会等名<br>National Taiwan University IEEB Seminar (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                  | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 勝見 尚也<br><br>(Katsumi Naoya)<br><br>(40769767) | 石川県立大学・生物資源環境学部・准教授<br><br><br>(23303) |    |
| 研究分担者 | 伊藤 浩二<br><br>(Ito Koji)<br><br>(30530141)      | 岐阜大学・地域協学センター・助教<br><br><br>(13701)    |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

|         |         |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|