

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K07626

研究課題名（和文）日本の稲作開始期における水田雑草の誕生プロセス解明についての分子生態遺伝学的研究

研究課題名（英文）Molecular ecogenetic study on the invasion process of weeds into paddy fields at the beginning of rice cultivation in Japan

研究代表者

保田 謙太郎（Yasuda, Kentaro）

秋田県立大学・アグリイノベーション教育研究センター・准教授

研究者番号：00549032

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）：本研究では、最近になって発見された4倍体の一年生ヒエ属植物（半直立型）の生態的特性や生育環境を栽培実験や探索調査から明らかにした。半直立型は、北海道～長野県まで分布し、路傍や畦畔、空き地、ガレ場などの二次遷移の初期段階となる攪乱環境に生育していた。生育環境の特徴からは、半直立型は、稲作渡来以前の日本にも十分に存在できたと推察される結果を得た。一方で、分子マーカ等を用いた変異解析からは、半直立型は、タイヌビエと同じ遺伝的に近い関係にあり、タイヌビエの亜種もしくは最近縁種となる関係であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の多くの水田雑草は、水田稲作の渡来に付随して日本国内に侵入し、拡散したと考えられてきた。本研究では、典型的な史前帰化植物とされているタイヌビエであっても、一部の系統は日本国内に生育していたものからの雑草化で誕生した可能性を示しており、日本における水田雑草の誕生過程を考える上で意義深い提案をしている。また、ヒエ属植物は多くの耕地雑草を含んでおり、雑草として重要な属である。新しいヒエ属植物の実態を解明したことはそれらの防除および管理を進める上でも重要と考える。

研究成果の概要（英文）：An annual *Echinochloa* with plagiotropic tillers (semi-erect type) was found on a paddy levee in Miyagi prefecture in Japan. This semi-erect type had tetraploid chromosome numbers ($2n = 36$) and would be expected to be *E. oryzicola*. However, its appearance was distinct from that of *E. oryzicola*. In this study, to clarify its distribution and habitat, exploration and collection surveys were carried out in the northern part of Honshu. In addition, the genetic relationships between the semi-erect type and other *Echinochloa* species was examined using phylogenetic analysis based on DNA sequence data. The semi-erect type was distributed from Hokkaido to Nagano Prefecture, and located in paddy fields, abandoned paddy fields, paddy levees, roadsides, vacant land, and scree slopes. Phylogenetic analysis indicated that the semi-erect type is a subspecies or a close relative of *E. oryzicola*.

研究分野：雑草科学

キーワード：水田雑草の誕生 タイヌビエ 半直立型

1. 研究開始当初の背景

日本の水田雑草の多くは、稲作とともに渡来した史前帰化植物に由来し、日本に自生していた野生植物から雑草化したものはわずかであると考えられてきた。しかし、侵入後、どのように耐冷性を獲得し、日長反応性を変化させながら日本列島を北進したのか。侵入後の拡散や適応は謎である。さらに、史前帰化植物に由来するとされていた水田雑草の中にも、稲作渡来以前の遺構から発掘されたものがあり、日本の水田雑草の誕生プロセスについては考古学分野からも修正が求められている。水田雑草は、日本の雑草フロアの主要な構成種であり、その誕生プロセスの解明は、雑草の歴史や進化を明らかにする学問領域である雑草科学での根本問題である。タイヌビエは、イネ科の一年生水田雑草である。東アジア原産であり、日本では水田以外に主だった生育地が見つかっていないことから、典型的な史前帰化植物であると考えられてきた。申請者らは、タイヌビエの日本への侵入・拡散経路を系統地理学的研究によって調べてきた (H22-25 年度、基盤 C (一般))。この研究では、タイヌビエは、遺伝的重層構造を持つことが明らかになり、日本のすべてのタイヌビエが稲作とともに渡来した史前帰化に由来するとは考えにくくなった。さらに、小穂型の地理的変異に加えて、葉緑体 DNA の地理的変異を解析すると、日本のタイヌビエは、稲作とともに渡来した史前帰化系統の拡散・北進と日本に自生する野生種から水田に適応した雑草化系統の両方によって誕生した可能性が高く、その過程で、両者の雑種化が進んだと考えられた。このような考え方は、これまでに提示されておらず、新説となる。この考え方は、北進時における耐冷性の獲得や日長反応性の問題、さらに、史前帰化植物とされていた水田雑草が稲作の渡来以前の日本に存在するという考古学から提示された問題を解決できる利点があり、日本の水田雑草の誕生プロセスを無理なく説明できる。しかし、この新説にも、稲作の渡来以前にタイヌビエが日本のどのような場所 (湿地、河川?) で生育できていたのか? 生育地の特定という未解決の問題がある。

2. 研究の目的

申請者は、特異的な外部形態を持つタイヌビエを東北地方の畦畔や路傍の 3ヶ所で発見した。草型は半直立性であり (通常は直立性)、小穂は F 型で有芒小型である。近縁種のイヌビエに極めて類似しているが、染色体数 ($2n=4x=36$) ではタイヌビエの特徴を示す (以降、半直立型と記述、通常のタイヌビエを普通型と記述)。この半直立型は稲作の渡来以前に日本で自生していた野生種の生き残りである可能性があり、稲作の渡来以前の日本での生育地の問題を解決し、新説を実証していく上での鍵となると考えられる。そこで、本研究では、半直立型を含む日本産および近隣諸国産のタイヌビエを研究対象に、日本での水田雑草の誕生プロセスについての新説を実証することを目的に以下の 4つの項目について明らかにする。

3. 研究の方法

1) 半直立型の探索調査: 湿地、河川、湖沼、路傍、水田畦畔での探索調査によって半直立型が水田以外の場所で近縁種イヌビエに混じって生育していることを明らかにする。これによって、半直立型が稲作の渡来以前に日本で生育できていたことを示す。
2) 半直立型と普通型との交配実験: 人工交配によって半直立型と普通型との雑種を作成し、両者に交配親和性があることを明らかにする。
3) 半直立型、普通型、雑種との比較栽培実験: 半直立型、普通型、雑種を水田、深水水田、畑地を想定したポット環境で比較栽培し、形態的および生態的特徴を解析する。半直立型は野生的な特徴が多く、水田以外の環境に適応的であり、普通型は雑草的な特徴を多く持ち、水田への適応的であることを示す。雑種 (F1) は、半直立型と普通型の間の特徴を示すが、F2、F3 世代では様々な特徴をもったものが分離し、その中には水田に適応した系統もあることを示す。
4) Mig-seq 分析: Mig-seq 分析は変異検出能力の高い DNA マーカーである。この分析を用いて、半直立型と普通型との遺伝的類縁性や日本や近隣諸国での地理的変異を解析する。さらに、GIS 地理空間分析によって、その地理的構造に史前帰化系統の拡散・北進、日本に自生する野生種からの雑草化、それらが雑種化した痕跡があることを示す。

4. 研究成果

1) 半直立型は、北海道～長野県まで分布し、路傍や畦畔、空き地、ガレ場などの二次遷移の初期段階となる攪乱環境に生育していた。生育環境の特徴からは、半直立型は、稲作渡来以前の日本にも十分に存在できたと推察される結果を得た。
2) 半直立型とタイヌビエとの雑種個体は、人工交雑によって誕生したが、F1 個体の花粉稔性と種子稔性はほぼなかった。
3) 雑種個体の分析はできなかったが、半直立型とタイヌビエとの形態的特徴の比較を行い、半直立型とタイヌビエの形態的特徴は異なっており、また、半直立型はイヌビエのように 2 次遷移の初期段階に適応した生育型であることを明らかにした。
4) Mig-seq 法などの DNA マーカーを用いた分析からは、半直立型とタイヌビエとは遺伝的に近い

関係にあり、タイヌビエの亜種もしくは最近縁種となる関係であることを明らかにした。

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 0件）

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名 Yasuda Kentaro, Mori Kaoru, Nakayama Yuichiro | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 A tetraploid <i>Echinochloa</i> with plagiotropic tillers: its distribution and habitat in northern part of the main island of Japan. | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Weed Biology and Management | 6. 最初と最後の頁 82～88 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/wbm.12207 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス 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 - |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1. 著者名 Yasuda, K. & Y. Nakayama | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 Misidentifications of <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>formosensis</i> as <i>Echinochloa oryzicola</i> as a result of similar cpDNA sequences. | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Weed Biology and Management | 6. 最初と最後の頁 93-102 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス 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 - |

| | |
|-------------------------------------------------|-------------------|
| 1. 著者名 保田謙太郎 | 4. 巻 52 (11) |
| 2. 論文標題 日本に生育する水田雑草タイヌビエの由来 小穂2型の地理的変異からの仮説. | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 植調 | 6. 最初と最後の頁 1-5 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス 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 - |

| | |
|----------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 保田謙太郎 | 4. 巻 93 |
| 2. 論文標題 日本に分布するヒエ属植物 水田雑草タイヌビエについて. | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 農業および園芸 | 6. 最初と最後の頁 799-807 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス 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 - |

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|-------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 保田謙太郎 |
| 2. 発表標題 半直立性の草型をもつ四倍体ヒエ属植物の日本での分布と系統分類上の位置づけ |
| 3. 学会等名 東北雑草研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------------|
| 1. 発表者名 保田謙太郎・森郁・中山祐一郎 |
| 2. 発表標題 半直立性の草型をもつ四倍体ヒエ属植物とタイヌビエとの遺伝的類縁性 |
| 3. 学会等名 日本雑草学会第59回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------------|
| 1. 発表者名 森郁・中山祐一郎・保田謙太郎 |
| 2. 発表標題 タイヌビエ型の葉緑体をもつヒメタイヌビエの分布と形態的特徴 |
| 3. 学会等名 日本雑草学会第59回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|----------------------------------------|
| 1. 発表者名 保田謙太郎・森郁・中山祐一郎 |
| 2. 発表標題 半直立性の草型をもつ四倍体ヒエ属植物の東北地方での分布 |
| 3. 学会等名 日本雑草学会第58回大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 森郁・中山祐一郎・保田謙太郎 |
| 2. 発表標題 半直立性の草型をもつ四倍体ヒユ属植物の生物学的特性 |
| 3. 学会等名 日本雑草学会第58回大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 保田謙太郎・中山祐一郎 |
| 2. 発表標題 東北地方には半直立性の草型を持つタイヌビエ (<i>Echinochloa oryzicola</i>) が存在する |
| 3. 学会等名 日本雑草学会第57回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|----|
| 研究 分 担 者 | 中山 祐一郎 (Nakayama Yuichiro) (50322368) | 大阪公立大学・大学院現代システム科学研究科 ・教授 (24405) | |

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 |
|---------|---------|