

	ホヤケイ
氏 名	細谷 啓太
本籍（国籍）	北海道
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第連研 691 号
学位授与年月日	平成 29 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 寒冷圏生命システム学
学位論文題目	自然栽培水田における窒素循環と収量成立機構（Nitrogen cycling and yield determination mechanism in no-input paddy fields）
学位審査委員	主査 弘前大学教授 杉山 修一 副査 山尾 僚(弘前 助教),下野 裕之(岩手 准教授),藤井 弘志 (山形 教授)

論文の内容の要旨

1) 近年の世界的な課題である環境低負荷な水稲生産技術の開発にあたり、肥料や農薬を使用しない自然栽培は大きな可能性をもつ。しかし外部から窒素を投入しない自然栽培では、収量性が低く農業経営を行うには課題が大きいとの指摘がある。本研究で調査対象とした北日本地域の自然栽培水田では生産者・水田・地域間で収量差が大きく、極めて低収の水田から、長期的に自然栽培を継続しているが慣行栽培に匹敵する収量を安定的に得られている高収水田まで幅広いケースが見られる。しかしこれらの収量差がどのようなメカニズムで生じているか、なぜ特定の水田では窒素を投入しないのに高い生産性が維持されるのかは明らかではなかった。本研究は、これらの課題を明らかにするため、北日本地域の農家自然栽培水田を対象に、収量に寄与する一般的な要因および特に窒素循環との関係を解析した。

2) 北日本地域の 16 自然栽培水田の収量解析の結果、自然栽培の収量は穂数に大きく依存しており、生育初期のイネの生育が最終的な収量に強く反映されていることが明らかとなった。また収量には地理的な変異があり、高緯度地域で低く、低緯度地域で高い傾向にあった。この現象は、移植後の気温が直接的・間接的にイネの分けつ発生に大きな正の効果をもつことに由来した。

3) 北日本地域の 16 自然栽培水田の雑草群集形成プロセスを解析した結果、潜在的には 8 種以上の雑草種が生育するが、実際の水田ではコナギ、カヤツ

リグサ科、オモダカ、ウリカワの4種の雑草のみが自然栽培水田で群集を形成していた。乾物重ベースで見ると、特にコナギ、カヤツリグサ科の優占率が高かった。また、収量への影響は雑草種間で異なっており、雑草全体とコナギの発生量は収量に深刻な害をもたらさないが、カヤツリグサ科雑草の発生は収量を有意に制限した。環境要因を説明変数とした重回帰分析の結果、コナギは等の様々な環境要因によって発生量が規定されているが、カヤツリグサ科雑草の発生量はいかなる環境要因からも有意な影響を受けなかったことから、自然栽培水田においては最も注意すべき雑草種であるが、同時に防除の難しい雑草であることが示された。

4) 収量性が異なる4長期自然栽培水田と1慣行水田の窒素動態を解析した結果、高収自然栽培水田では移植後のイネの窒素吸収量が他の自然栽培水田に比べ大きく、7月中旬までは慣行水田と同等であった。この結果は土壌の窒素供給力が高く、雑草が繁茂しないことでイネに十分量の窒素が供給されたことに由来した。稲藁分解試験の結果、高収自然栽培水田の土壌は湛水後すみやかに稲藁を分解し、稲藁周辺土壌の窒素量を飛躍的に高める特徴があった。このメカニズムとして、稲藁をエネルギー源とする微生物の窒素固定が高収自然栽培水田土壌では活性化している可能性が示唆されたが、現地水田土壌の微生物バイオマス量は低く推移していたことから、この微生物機能は微生物量によるのではなく、特定の微生物種や微生物コンソーシアムによることが考えられた。また、既存の無施肥水田の窒素収支と比較して、稲藁施用による窒素固定が活性化された場合、玄米収穫により搬出される窒素が十分に補われることが試算された。

5) 自然栽培水田における生物的窒素固定の活性化を実証するため、アセチレン還元法と窒素固定遺伝子の定量を行った。その結果、一般に水田土壌表層では下層よりも窒素固定活性が高く、慣行水田よりも自然栽培水田で高いことが示された。しかし窒素固定遺伝子のコピー数と窒素固定活性の間に有意な関係性は認められなかったことから、土壌の窒素固定活性は特定の微生物コンソーシアムによって活性化する可能性が示唆された。また、稲藁添加と光処理による室内実験の結果、窒素固定には特に光が大きな鍵要因となっていることが示唆されたが、土壌中窒素濃度や微生物組成との関係は不明のため、どのような環境要因が生物的窒素固定を制御しているかについては課題を残した。

6) 以上の結果から、自然栽培水田においても特定の条件を満たすことで高

い収量を安定的に得ることは可能であり、同時に生物的窒素固定の活性化を通じて環境への窒素負荷を飛躍的に抑えることが可能であることを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

自然栽培とは肥料・農薬を使わずに自然の力を利用して行う栽培である。長期無肥料では土壌の栄養塩が不足するため収量は激減すると考えられてきたが、長期無肥料でも慣行栽培に匹敵する収量を安定的に得ている水田農家が存在する。本研究は、長期無肥料で高収量が達成できるメカニズムを水田の窒素循環から解析したものである。

主に東北地方の16の自然栽培水田間の収量と収量成立要因を比較した。収量解析の結果、収量は穂数に大きく依存しており、分けつ数の確保が収量に強く影響していることが明らかとなった。高緯度にある水田では移植後の気温が低いため、最適温度の高いイネの生育抑制と微生物活性の低下による土壌窒素の無機化が抑えられることから収量が低い傾向にあった。

雑草害は自然栽培における収量抑制要因の一つである。上記16の自然栽培水田について雑草群集形成プロセスと収量抑制の関係を調べた。その結果、水田土壌には8種以上の雑草種が種子として存在するが、出穂期の水田にはコナギ、カヤツリグサ科、オモダカ、ウリカワの4種の雑草しか現れなかった。収量への影響は雑草種間で異なっており、コナギの発生量は収量の低下をもたらさなかったが、カヤツリグサ科雑草の発生は収量を大きく抑制し、自然栽培においては防除の必要な雑草種であることが示された。

収量性が異なる自然栽培水田と慣行水田の窒素動態を解析した結果、高収自然栽培水田では移植後の土壌窒素供給量が高く、雑草が繁茂しないことでイネに十分量の窒素が供給されていることが分かった。また、高収自然栽培水田の土壌は湛水後すみやかに稲藁を分解し、稲藁周辺土壌の窒素量を飛躍的に高める特徴があった。この窒素の増加は稲藁をエネルギー源とする微生物の窒素固定が高収自然栽培水田土壌では活性化していることを示唆していた。また、既存の無施肥水田の窒素収支と比較して、稲藁施用による窒素固定が活性化された場合、玄米収穫により搬出される窒素が十分に補われることが試算された。

自然栽培水田における生物的窒素固定の活性化を実証するため、アセチレン還元法と窒素固定遺伝子の定量を行った。その結果、一般に水田土壌表層では下層よりも窒素固定活性が高く、慣行水田よりも自然栽培水田で高いことが示された。

以上の結果から、自然栽培水田において初期の雑草抑制と生物的窒素固定の活性化を

通じて無肥料でも長期間の高収量が達成できることが示された。

以上の結果は、科学的に高い新規性を有していることから、本審査委員会は、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

主論文

細谷啓太・杉山修一（2016）

北日本の無施肥栽培における水稻収量の地域間変異とその寄与要因. 日本作物学会記事 85 : 266-273.