

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450018

研究課題名(和文) 集約的畑栽培稲作における物質循環の地域間比較

研究課題名(英文) Interregional comparison of nitrogen dynamics of rice grown under aerobic culture

研究代表者

桂 圭佑 (Katsura, Keisuke)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20432338

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：集約的畑栽培稲作が地域によっては低収になる要因の解明を試みた。日本フィリピンで連絡試験を行ったところ、既報と同様に日本では畑条件下で多収が得られた一方でフィリピンでは畑条件下で低収となった。両地点とも収量は栄養生長期の窒素吸収速度に制限されていた。生殖成長期の窒素吸収速度はむしろフィリピンで高くなる傾向にあり、窒素の供給は収量の制限要因ではないことが示唆された。フィリピンでは土壌水分の低下や土壌の硬化を防ぐため頻繁に灌漑をしており、これがイネの根系が発達していない時期の窒素の系外への流亡をもたらしたと考えられた。同地域の安定多収のためには特に生育初期の水と窒素の利用効率の向上を図る必要がある。

研究成果の概要(英文)：To reveal the factors causing low yielding of aerobic rice culture in tropical environment, multi-locational trials were conducted in Osaka, Japan and in Los Banos, the Philippines. Yield of rice under aerobic culture was significantly lower than under flooded culture in Los Banos, while there was no significant difference in yield among two water regimes in Osaka. There was a significant correlation between yield and nitrogen uptake rate of rice during vegetative stage. We found that N supply was enough but rice plants under aerobic culture could not uptake nitrogen efficiently in vegetative stage in Los Banos. In aerobic culture in Los Banos, irrigation water was applied frequently to avoid the decrease in soil water potential and soil compaction, which might lead nitrogen leaching when root system was not fully developed. These results suggest that development of efficient water and nutrient management was necessary for high yielding aerobic rice system in tropical environments.

研究分野：作物学

キーワード：畑栽培稲作 節水 窒素

1. 研究開始当初の背景

世界的規模での水資源の枯渇が問題になっており、その栽培に他の主要作物の 2~3 倍の水資源を必要とする稲作では特に節水に対する需要が高まっている。このような背景のもと、近年多くの節水稻作栽培技術が開発されてきた。その中でも畑栽培条件に多収イネ品種を用いて適宜灌漑や施肥を行う集約的畑栽培稲作は、水田稲作とも遜色ない多収を水資源の投入を減らしながら達成できる稲作体系ということで近年注目を集めている。特に温帯地域では集約的畑栽培稲作の収量は 10 t/ha を超えることもあり、水田稲作と遜色のない多収事例が報告されている。一方で、熱帯地域においてはしばしば集約的畑栽培稲作の収量が水田稲作の収量を有意に下回ることが報告されている。つまり、イネの集約的畑栽培稲作に対する反応性は環境によって異なることを示している。したがって、集約的畑栽培稲作の安定多収技術の確立には、この地域固有の収量制限要因を解明し、安定多収のための栽培管理法の開発が求められている。

これまで、畑栽培稲作の収量制限要因の解明を目的として、畑条件下のイネの生育・収量を水田条件下のそれと比較することが多く行われてきた。しかし、畑条件下と水田条件下では窒素動態が全く異なることが知られており、畑栽培条件下のイネの収量制限要因の解明には窒素動態の違いも併せて解析する必要がある。

2. 研究の目的

そこで本研究では、集約的畑栽培での収量がしばしば水田稲作の収量を下回ることが報告されているフィリピンを対象にして、集約的畑栽培稲作でしばしば多収事例が報告されている日本とイネの生育を特に窒素動態に着目しながら解析することで、フィリピンでの低収要因を解明し、同地域での安定多収栽培技術を開発することを目的とした。また、集約的畑栽培稲作の知見の少ないアフリカでのパイロット試験として、ケニアにおいても栽培試験を行い、アフリカでの集約的畑栽培稲作の普及の可能性を探ることも目的とした。

3. 研究の方法

上述の日本(大阪府高槻市, 2014 年および 2015 年), フィリピン(ラグナ州ロスバニヨス, 2014 年雨季, 2015 年乾期および 2016 年乾期), ケニア(セントラル州キリニャガ県, 2015 年および 2016 年)の 3 地点において集約的畑栽培稲作に適した品種である APO を用いた栽培試験を行った。全地点において地下 20cm の水ポテンシャルが -20kPa を下回らないように維持した集約的畑栽培区(畑区)と常時湛水を維持した水田区を設け、それぞれについて無施肥区と各地点において多収を達成できる十分な施肥を施した

区(施肥区)を設けた。

幼穂分化期, 出穂期, 成熟期に植物体を刈り取り, 地上部乾物重とケルダール法によって窒素濃度を求めることで窒素吸収量を算出した。また, 2015 年の日本と 2016 年乾期のフィリピンにおいては, 生育期間中に土壤溶液を採取し, アンモニア態窒素(インドフェノール法)と硝酸態窒素(銅-カドミウムカラム還元法)を測定した。また, これらの 2 作期については, 貫入硬度計を用いて灌水後の土壤硬度の変化を調査した。全 3 地点において栽培開始前の作土層の土壤を採取して, インキュベーター内で 30~4 週間培養後のアンモニア態および硝酸態窒素の発現量を測定した。

4. 研究成果

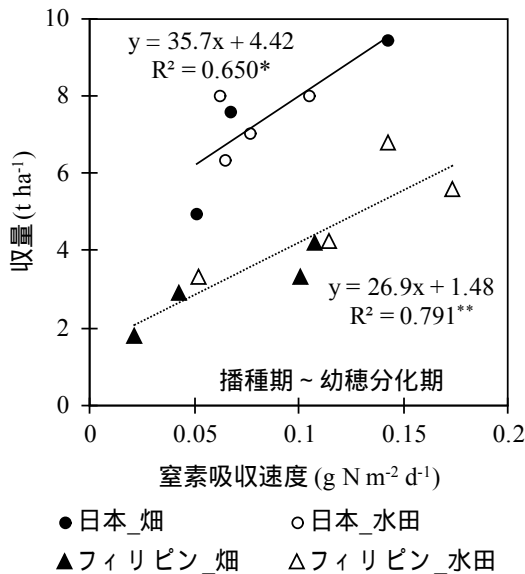
(1) 日本とフィリピンの比較

表 1. 日本とフィリピンにおける精初収量

	日本		フィリピン		
	2014	2015	2014	2015	2016
畑区					
無施肥区	7.6	5.0	1.8	2.0	2.9
施肥区	9.4	6.6	4.2	7.3	3.3
平均	8.5	5.8	3.0	4.6	3.1
水田区					
無施肥区	7.0	6.3	4.3	4.1	3.3
施肥区	8.0	8.0	5.6	6.7	6.8
平均	7.5	7.2	4.9	5.4	5.1
ANOVA (F ratio)					
Water	4.17 ^{NS}	16.36 ^{NS}	55.56 ^{**}	4 ^{NS}	22.93 [*]
Nitrogen	9.65 [*]	57.28 ^{**}	35.22 ^{**}	207.48 ^{***}	96.27 ^{***}
W x N	0.91 ^{NS}	0.01 ^{NS}	2.82 ^{NS}	23.43 ^{**}	57.46 ^{***}

日本では 2015 年の畑施肥区で倒伏が認められたが, 両年とも収量には水田区と畑区の間には有意な水環境の差異は認められず, また, 2014 年には畑施肥区で 9.4 t/ha という極めて多収を達成した(表 1)。一方でフィリピンでは 2015 年には畑区と水田区で収量に有意差は認められず, 畑施肥区で 7.3 t/ha という多収を達成したことから, 条件によっては集約的畑栽培稲作によって多収が達成できることが示された。一方で 2014 年と 2016 年には畑区の収量は有意に水田区を下回った。これまでの研究事例でもフィリピンではしばしば畑区の収量は水田区を有意に下回ることが報告されており, フィリピンは畑栽培稲作の収量が低下しやすいことが示された。

収量は収穫期までの窒素吸収量に制限されており, 特に生育初期(播種期から幼穂分化期)の窒素吸収速度によって制限されていることが明らかになった(図 1)。つまりフィリピンの畑区では同じ施肥区条件で比較す



●日本_畑 ○日本_水田
▲フィリピン_畑 △フィリピン_水田

図 1. 日本とフィリピンにおける播種期から幼穂分化期の窒素吸収速度と収量の関係。

ると水田区よりも窒素吸収速度が低かった。なお、一方で、生育が最も旺盛になる幼穂分化期から出穂期の窒素吸収速度はフィリピンの畑区で $0.34 \sim 0.36 \text{ g N/m}^2 \text{ d}$ と、過去の水稻の多収事例と比較しても低収年であっても極めて高い値を実現していた。

次に、このフィリピンでの畑区での生育初期の窒素吸収速度が土壌からの窒素供給が制限とイネによる吸収のどちらによって制限されているのかを解析した。まず、栽培開始前の土壌の好気条件での培養試験の結果では、硝酸態窒素の発現量は日本 (34.7 mg/kg soil) と比較してフィリピン (41.1 mg/kg soil) で有意に高かった。一方で圃場条件下では、フィリピンの畑区の無施肥条件下での土壌溶液中の硝酸態窒素濃度は日本よりも低く推移した(図2)。播種後60日目頃以降には両地点ともほとんど硝酸態窒素が検出されなかったが、イネの窒素吸収速度は生育期間中最も高い時期であったため、発

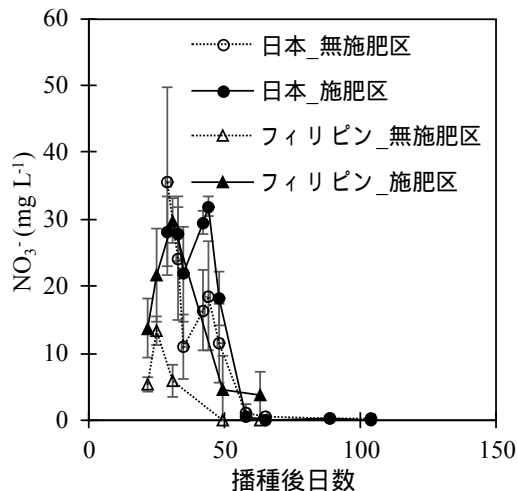
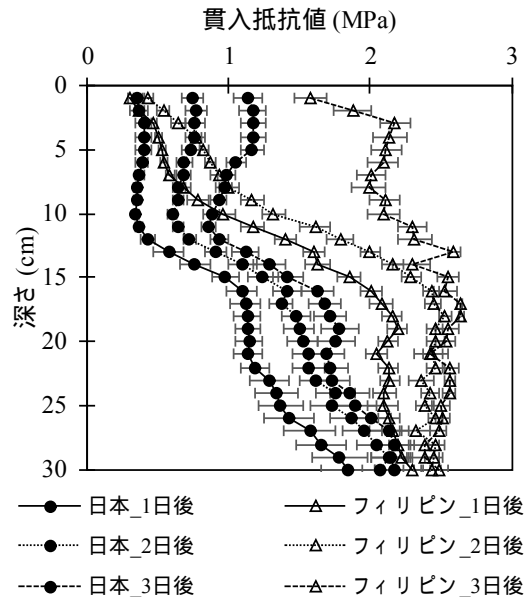


図 2. 日本とフィリピンの畑区における土壌溶液中の硝酸態窒素濃度の推移

現した窒素が速やかにイネに吸収されていたと考えられる。また、この時期(幼穂分化期から出穂期)のフィリピンの畑無施肥区の窒素吸収速度は $0.11 \text{ g N/m}^2 \text{ d}$ で、日本と有意な差はなかった。したがって土壌からの窒素の供給は、日本とフィリピンの間には大きな差異はなかったと考えられた。



●日本_1日後 ○日本_2日後 ●日本_3日後
▲フィリピン_1日後 △フィリピン_2日後 △フィリピン_3日後

図 3. 日本とフィリピンにおける灌水後の日数の経過に伴う土壌貫入抵抗値の変化

フィリピンでの生育初期の畑区の低い硝酸態窒素濃度の要因の一つとして、過剰な灌漑が考えられた。フィリピンでは水ポテンシャルが低下しやすいため、2~3日に一度は十分な灌漑を行っていた。一方で、蒸散量の少ない日本では生育初期には1週間に一度程度の灌漑しか行っていなかった。また、フィリピンの土壌は灌水後に土壌が硬くなりやすく(図3)、水ポテンシャルの低下のしやすさに加えて、この点もフィリピンで頻繁に灌漑を行わなければならない理由であると考えられた。過剰な灌漑により、根系が十分に発達していない生育初期には窒素が系外に流亡していた可能性がある。そのため、フィリピンのような環境では、できるだけ水の投入を抑制し、また窒素の利用効率を上げる必要があると考えられる。点滴灌漑や被服尿素肥料の利用、側条施肥などの技術が有効化もしれない。

一方で、この点を克服できればフィリピンでも水田と遜色ない多収を達成できることも明らかになった(表1, 2015年のフィリピン)。地上部乾物重と窒素濃度の関係を見たところ、フィリピンでは日本と比較して同じ地上部乾物中で比較すると窒素濃度が高く推移しており、イネでの過去の多収事例で得られた曲線(図4の Sheehy et al., 1998の曲線)に近い値を示していた。このことはつまり窒素が吸収できれば、フィリピンの潜在生産力は極めて高いことを示している。

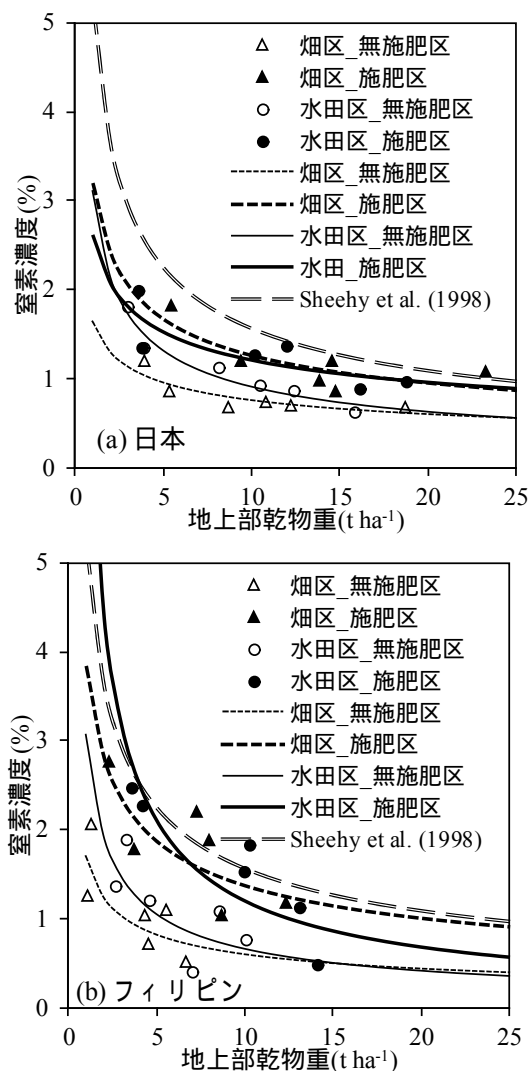


図 4. 日本(a)とフィリピン(b)における地上部乾物重と窒素濃度の関係

(2) ケニアにおける集約的畑栽培の導入可能性の検討

表 2. ケニアにおける精米収量

	ケニア	
	2014	2015
畑区		
無施肥区	1.6	2.8
施肥区	0.6	6.9
平均	4.6	3.1
水田区		
無施肥区	3.3	3.1
施肥区	4.1	3.6
平均	5.4	5.1
ANOVA (F ratio)		
Water	106.41**	118.75**
Nitrogen	0.15 ^{NS}	12.98*
W x N	10.47*	7.74*

ケニアにおいても畑区の収量は 6.9 t/ha と

水田区を有意に上回る多収を達成した(表 2)。2014 年の試験の結果は、畑区では施肥区の収量が無施肥区を下回り、0.6 t/ha と極めて低い収量となった。しかし成熟期地上部乾物重 18.9 t/ha と高く、施肥区と無施肥区間に有意差はなかった。またこの値は水田区の施肥区(18.1 t/ha)とも同程度の値となっていた。つまり、ケニアにおける集約的畑栽培稲作の潜在生産力は極めて高いと考えられる。ケニアでの 2014 年の畑区の施肥区は籾数も 3 万粒/m² 程度確保していたが、登熟歩合は 12% と低く、多くの低温不稔が発生していた。今回試験を行ったケニアのセントラル州キリニャガ県ではしばしば低温不稔がイネの収量を激減させることが報告されている。何故、水田区で問題とならなかった畑区で問題になったのかは今回の調査では明らかにできなかった。地温は水田区と比較して畑区では約 1 度程度低く推移していた。また、畑区のイネの窒素濃度は水田区よりも高くなる傾向にあった。イネの収量形成に及ぼす窒素栄養 × 水管理の相互作用が栽培環境の気温条件によって異なる可能性がある。今後、水管理と窒素の相互作用だけでなく、これらに及ぼす気温などの環境条件の影響も解明していく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Hyoda, T., K. Homma, T. Shiraiwa, K. Katsura, T. Horie, 2015. Adaptability of high-yielding rice cultivars in relation to biomass productivity under moderately water stressed upland conditions. *Agric. Sci.* 6, 352-364. (査読有)

[学会発表](計 3 件)

Samejima, H., M. Kikuta, K. Katsura, J. Kimani, A. Yamauchi, D. Makihara. 2016. Possibility of increasing rice grain yield by adopting aerobic rice system in Mwea, Kenya. SATREPS International Symposium "Taylor-made rice breeding and cultivation technology development for sub-Saharan Africa -Progress and future prospects of the SATREPS project in Kenya-", (6-7, Dec., 2016, KALRO Headquarter, Nairobi, Kenya)
 Katsura, K. 2015. Developing sustainable and high-yielding crop production system in tropical areas from a perspective of crop scientist. The 1st Bilateral symposium "Food, Environment and Life for the next generation", (16-17, Dec. 2015,

Kasetsart University, Bangkok,
Thailand)

牧口直樹・森塚直樹・B. Clerget・C.
Bueno・中崎鉄也・北島宣・桂圭佑 2015.
窒素動態に着目したフィリピンにおけ
る集約的畑栽培稲作の生産性制限要因
の解明. 日本作物学会第 240 回講演会
(2015.9.5~6, 信州大学長野(工学)
キャンパス)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桂 圭佑 (KATSURA, Keisuke)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 20432338

(2) 研究分担者

森塚 直樹 (MORITSUKA, Naoki)
京都大学・農学研究科・助教
研究者番号: 10554975

槇原 大悟 (Makihara, Daigo)
名古屋大学・農学国際教育協力研究センタ
ー・准教授
研究者番号: 70452183