

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：23303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06004

研究課題名(和文) イネにおける子実窒素集積性の実証とその生理・生態学解明のための基礎研究

研究課題名(英文) Genetical and eco-physiological study on the ability of grain protein accumulation in rice

研究代表者

塚口 直史 (Tsukaguchi, Tadashi Tadashi)

石川県立大学・生物資源環境学部・准教授

研究者番号：40345492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：イネにおいて、窒素の転流や蓄積過程に関する潜在的能力を反映する子実への窒素集積性は、登熟期における子実と栄養器官の間の窒素分配に強くかかわり、窒素利用効率や収量性に強く影響すると考えられる。これまでに子実窒素集積性の定量的評価法を提案し、本評価法に基づいて子実窒素集積性への関与が推定される2つの量的形質遺伝子座(QTL)を見出した。本課題では、推定されたQTLを含む染色体領域に関する準同質遺伝子系統(NILs)の育成とNILsを用いて推定領域の子実窒素集積性への関与の実証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イネなどの作物において子実への窒素分配は収量性や窒素利用効率に強く影響する。イネにおいて窒素分配に関わると考えられる子実の窒素集積性が遺伝形質であることを明らかにし、その定量評価法の確立およびその評価法による量的形質遺伝子座(QTL)の推定を行ってきた。本課題においてこのQTLの子実窒素集積性への効果が実証され、子実への窒素分配を通じた収量性や窒素利用効率の向上につながることを期待される。

研究成果の概要(英文)：Nitrogen accumulation in grain is associated with N partitioning in the grain-filling period in rice plants, affecting yield and N use efficiency because it accompanies N remobilization and translocation from vegetative parts. We found a close relation between N content in total plants per grain dry weight (TNA/GW) and grain nitrogen concentration (GNC) and a large cultivar difference in the regression coefficient (A) between them. Using the population derived from Momiroman, with low A, and Takanari, with high A, we found quantitative trait loci (QTLs) for A on chromosomes 6 and 10, the Takanari alleles of both QTLs increased the value. We produced near isogenic lines (NILs) to validate the effect of the QTLs. NILs with the Takanari allele in each region had higher A than NILs with the Momiroman alleles, verifying the effect of the QTLs on A.

研究分野：作物学

キーワード：イネ 子実 窒素 分配 QTL 子実窒素集積性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

イネの子実にはその乾物重の1~2%の窒素が貯蔵タンパク質として蓄積される。子実への窒素分配は茎葉からの窒素の移行を通じて収量や窒素利用効率に強く影響すると考えられる。しかしながら、子実への窒素分配は植物体の窒素吸収量、子実数および植物体の大きさにたいする子実の割合等に影響されるため、子実への窒素分配特性の遺伝解析は難しい。そのため子実への窒素分配特性と収量や窒素利用効率との関連に関する研究はあまり進んでいない

子実への窒素蓄積はイネ植物体の子実への窒素供給量と子実の窒素蓄積能力によって決まるとの仮説の下、子実重当たりの植物体の供給可能な窒素量をそろえた条件下では子実窒素濃度には大きな品種間差があることがわかった (Tsukaguchi et al. 2016)。子実重当たりのイネ体窒素量と子実窒素濃度との間の関係にも品種間差があり、その回帰係数(A)には大きな品種間差が認められた。係数Aは、子実数や窒素吸収量などの他の形質の影響を受けない、子実の窒素蓄積および茎葉からの窒素の転流・再転流を含む子実への窒素集積能力を示す品種固有の性質と考えられ、係数Aすなわち子実窒素集積性を表現型値とする遺伝解析が可能と考えられた。係数Aが大きく異なったモミロマンとタカナリを材料に育成した集団を用いた解析により、係数Aに関する複数の量的形質遺伝子座(QTL)を見出した。本QTLは子実への窒素分配に関わるものと考えられた。

### 2. 研究の目的

子実への窒素分配に関わる子実への窒素集積性を示すと考えられた係数Aに関する第6染色体および第10染色体上のQTLそれぞれについての準同質遺伝子系統(NILs)の育成、およびNILsを用いたAに関するQTLの効果の実証とAと関連する形質の解明を目的とした。

#### (1) NILsの育成

モミロマンの遺伝背景に子実窒素集積性に関するQTLを含む染色体領域がタカナリ型に置換されたNILs(BC4F3)の育成を目的とした。

#### (2) NILsを用いた子実窒素集積性の検証

育成されたNILsを用いて、推定されたQTLが子実窒素集積性に関わることの実証を行うとともに、他の形質との関連の解明を目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 子実窒素集積性評価法の開発と品種間差

モミロマンを種子親、タカナリを花粉親として育成したF1にモミロマンを戻し交雑した。各世代において係数Aに関するQTLと推定された領域がヘテロの個体を選抜した。BC4F2世代において背景領域の遺伝子型選抜を行い、目的とする染色体領域にタカナリ型アリルを持ち、背景領域がモミロマン型アリルに置換された個体を選抜した。

#### (2) 子実窒素集積性に関するQTL解析

2020年および2021年に圃場実験を行い、多窒素および小窒素条件で登熟させた。2020年は各窒素水準で各系統を3条×10株(1株個体)で栽培した。2021年は窒素水準を主区、系統を副区とする3反復の分割区法とした。成熟期に刈取り、器官別の窒素含量、茎葉の非構造的炭水化物(NSC)含量、収量および収量構成要素を調査し、これらの値から係数Aを算出した。

### 4. 研究成果

#### (1) 子実窒素集積性評価法の開発と品種間差

第6染色体および第10染色体の推定QTL領域にタカナリ型アリルおよびモミロマン型アリルを持つものを選抜した。第6染色体の推定領域にタカナリ型アリルを持つものをNIL6B、モミロマン型アリルを持つものをNIL6Aとし、第10染色体の推定領域にタカナリ型アリルを持つものをNIL10B、モミロマン型アリルを持つものをNIL10Aとした。

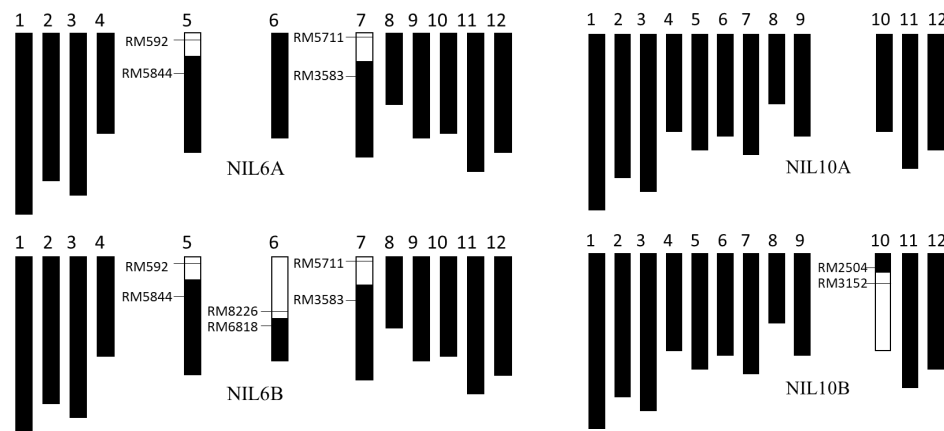


図1 純同質遺伝子系統(NILs)の遺伝子型  
黒塗りはモミロマン型、白抜きはタカナリ型アリルを示す。

## (2) 子実窒素集積性に関する QTL 解析

2020 年および 2021 年ともに第 6 染色体にタカナリ型アリルを持つ NIL6B はそれぞれモミロマン型アリルを持つ NIL6A よりも高い係数 A を示した。同様に第 10 染色体にタカナリ型アリルを持つ NIL10B はモミロマン型アリルを持つ NIL10A よりも高い係数 A を示した。子実重当たりのイネ体窒素量は NIL6B で NIL6A より有意に低く、したがって NIL6B が NIL6A より高い傾向を示したものの子実窒素濃度には有意差は認められなかった。一方、子実重当たりのイネ体窒素量には NIL10A と NIL10B の間に有意差は認められず、子実窒素濃度は NIL10B で有意に高かった。これらのことから第 6 および第 10 染色体における子実への窒素分配に関与が推定された QTL の効果を実証された。

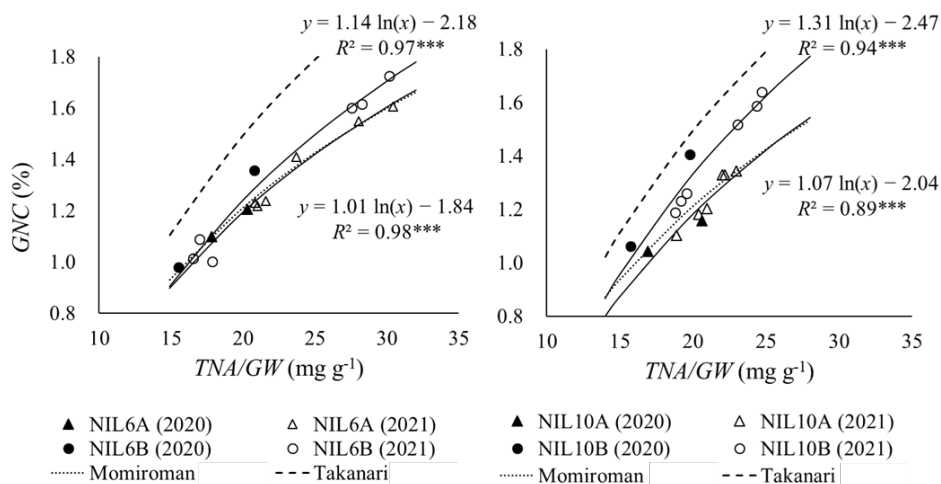


図 2 子実重当たりのイネ体窒素量と子実窒素濃度の関係

## (3) 子実窒素集積性と他の形質との関係

NIL6B は NIL6A より、また NIL10B は NIL10A より 6 日程度出穂期が遅かった。これは係数 A の近傍に検出されたタカナリ型アリルが出穂期を早める QTL の効果である。籾数は NIL6A と NIL6B の間および NIL10A と NIL10B の間で差は認められなかった一方で、登熟歩合は NIL10B で NIL10A より有意に高かった。さらに、NIL6B で NIL6A より、NIL10B で NIL10A より成熟期の茎葉残存 NSC 量が大きかった。このように本研究で育成された NILs では窒素だけではなく炭水化物の分配においても差が認められた。この炭水化物の分配については、出穂期の影響、窒素分配の間接的な影響、および置換領域に炭水化物分配に関与する QTL の存在のいずれかあるいはそれらの複合的な結果と考えられ、今後慎重に解析を進めていく必要がある。

以上のように、本研究において子実窒素集積性に関与すると推定された QTL の効果を実証した。また本研究遂行において育成した NILs において、収量性に強くかわる炭水化物分配に関する興味深い傾向が認められた。今後これらに対する出穂期および子実窒素集積性の影響を明らかにする必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 西田和弘・岩崎里子・塚口直史・吉田修一郎	4. 巻 88
2. 論文標題 水稻の登熟期の掛流し灌漑が水田の窒素環境に与える影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業農村工学会誌	6. 最初と最後の頁 15-18
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 丹保彩香・島田雅博・吉藤昭紀・今本裕士・永畠秀樹・藤原洋一・塚口直史	4. 巻 90
2. 論文標題 空撮によって得られた生殖成長期の植生指数によるダイズ子実収量の解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本作物学会紀事	6. 最初と最後の頁 261-268
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1626/jcs.90.261	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 宇野史生・島田雅博・中村弘和・吉田翔伍・塚口直史	4. 巻 90
2. 論文標題 石川県における水稻多収品種の生産費が最小になる育苗箱当たり播種量および栽植密度	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本作物学会紀事	6. 最初と最後の頁 252-260
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1626/jcs.90.252	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 西田和弘・塚口直史・柴田里子・吉田修一郎・塩沢昌	4. 巻 309
2. 論文標題 低温・低窒素濃度の灌漑水を用いたかけ流し灌漑が玄米タンパク質濃度および白未熟粒割合に与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 219-226
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11408/jsidre.87.l_219	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 藤原洋一・塚口直史・長野峻介	4. 巻 309
2. 論文標題 普及型マルチスペクトルカメラによる水稲生育診断 窒素吸収量の評価を事例として	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 7-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11408/jsidre.87.IV_7	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 宇野史生・島田雅博・吉田ひろえ・中川博視・塚口直史	4. 巻 54
2. 論文標題 発育予測モデルによる水稲品種「石川65号」の出穂期推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 北陸作物学会報	6. 最初と最後の頁 38-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.19016/hokurikucs.54.0_38	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Tsukaguchi, T., Kobayashi, H., Fujihara, Y., Chono, S.	4. 巻 25
2. 論文標題 Estimation of spikelet number per area by UAV-acquired vegetation index in rice ( <i>Oryza sativa</i> L.).	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 20-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/1343943X.2021.1943467	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Tsukaguchi, T., Matsuno, Y., Kobayashi, H., Kameda, N., and Matsue, N.	4. 巻 26
2. 論文標題 Identification and validation of quantitative trait loci for a parameter associated with nitrogen partitioning to grain using a population derived from japonica- and indica-type cultivars of rice ( <i>Oryza sativa</i> L.).	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 印刷中(採択)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/1343943X.2022.2086590	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 澤邊穂乃佳・小林春香・藤原洋一・長野峻介・塚口直史
2. 発表標題 UAVによる植生指数と水稻窒素吸収量の関係
3. 学会等名 日本作物学会第248回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丹保彩香・三納礼奈・今本裕士・永島秀樹・塚口直史
2. 発表標題 植生指数を用いたダイズ品質に関わる生育評価
3. 学会等名 日本作物学会第248回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林春香・土山優衣・澤邊穂乃佳・塚口直史
2. 発表標題 UAVによる植生指数と植被率およびSPAD値の関係
3. 学会等名 日本作物学会第248回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田和弘・松本悠志・塚口直史・吉田修一郎
2. 発表標題 灌漑水の窒素濃度が冷水掛流し灌漑水田の 玄米タンパク質濃度および白未熟粒割合に与える影響
3. 学会等名 令和元年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山拓巳・藤原洋一・塚口直史・長野峻介・一恩英二
2. 発表標題 スペクトルカメラを搭載した UAV による水稻診断法の確立
3. 学会等名 日本生態学会中部地区大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsukaguchi, T., Uno, F., Fujihara, Y.
2. 発表標題 Detection of Lodging Area in a Paddy Field from a Digital Surface Model (DSM).
3. 学会等名 The 10th Asian Crop Science Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 元川開斗・藤原洋一・塚口直史
2. 発表標題 ドローン空撮に基づいた水稻の倒伏評価
3. 学会等名 第57回北陸作物・育種学会講演会.
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------