

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15816

研究課題名(和文)環境変化によるオオムギ穂形質可塑性の分子機構の解明

研究課題名(英文)Elucidation of the molecular mechanism of barley inflorescence plasticity due to environmental changes

研究代表者

佐久間 俊(SAKUMA, Shun)

鳥取大学・農学部・助教

研究者番号：40717352

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：オオムギの穂は二条性と六条性に大別されるが、六条性品種の中には側列小花が不規則に退化する「不斉条」がある。不斉条系統は作期の違いや年毎の環境変動によって六条性あるいは二条性に近い穂形態を示す。環境応答性を解析する上で格好の素材と考えられるが、詳細な分子遺伝機構は明らかになっていない。そこで、本研究では不斉条遺伝子を単離し、環境に応答した穂形態の可塑性を制御する分子機構を明らかにすることを目的とした。準同質遺伝子系統およびコアコレクションを用いて不斉条を制御する遺伝子をマッピングし、候補領域を絞り込んだ。各種栄養条件における水耕栽培により、形質発現に影響を及ぼす環境因子を同定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球規模の温暖化が顕在化しつつある今日、作物の安定生産の確保は喫緊の課題である。本研究により、オオムギの穂形質を制御する不斉条遺伝子の座乗する位置及び候補遺伝子が明らかになった。また、この遺伝子の発現を制御する環境因子候補も同定することができた。今後、不斉条遺伝子の原因分子を単離することで穂の形質可塑性に関する基礎的知見が得られる。こうした知見の集積により収量安定性の向上に資する育種技術の開発が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Barley inflorescences are mainly divided into two-rowed and six-rowed forms, and among the six-rowed varieties, there is a "labile" in which florets in the lateral spikelet irregularly degenerate. Labile barleys show spikes that are close to six-rowed or two-rowed due to differences in cropping season and annual environmental changes, so they are good material for analyzing environmental responsiveness. However, little is known about the molecular mechanism. Therefore, the aim of this study was to isolate the labile spike gene and clarify the molecular mechanism that controls the plasticity of the spike morphology in response to the environment. We have succeeded in the whole-genome mapping of the gene that controls labile spikes using near-isogenic lines and a core collection. Environmental factors affecting trait expression were identified by hydroponics under various nutritional conditions.

研究分野：遺伝育種科学

キーワード：穂形態 環境変動 表現型可塑性 収量

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

六条オオムギ品種の中には栽培される環境によって側列小花が不規則に欠落する系統が存在し、「不斉条」と呼ばれる(図1)。不斉条オオムギでは一般に主列小穂は正常で側列小花だけが欠落し、ほとんどすべての側列小花が生育停止する穂(欠落歩合が高い)から、極めて稀に生育停止が起こる(欠落歩合が低い)穂まで、連続的な変異が認められる。岡山大学資源植物科学研究所が保有する世界各地のオオムギ品種約 3,000 系統を対象にした調査の結果、不斉条はエチオピア、北インド、パキスタンの品種に固有の形質であることが確認された(武田・斉藤 1987)。エチオピアの六条オオムギでは半数以上(218 品種中 121 品種)が不斉条を示し、欠落歩合の品種変異は 1~90%と広範囲であった。また、不斉条はエチオピア全土に分布していたことから、この形質が栽培上何らかの有利性を持っていることが示唆された。一方で、北インド、パキスタンから集められた六条オオムギでは 30%(296 品種中 89 品種)が不斉条を示し、欠落歩合もエチオピア型より低い系統が多かった。エチオピアの不斉条品種に関する *Vrs1* 遺伝子のリシークエンスの結果、全ての系統が機能喪失型アリル(*vrs1.a1*)を持っていることから不斉条品種は六条性の遺伝的背景をもつことがわかった(Saisho et al. 2009; Youssef et al. 2012)。さらに、不斉条品種では春播き栽培による栄養生長期の短縮や幼穂形成期の高温が欠落歩合を高めるという報告もあるが、詳細は明らかでない。

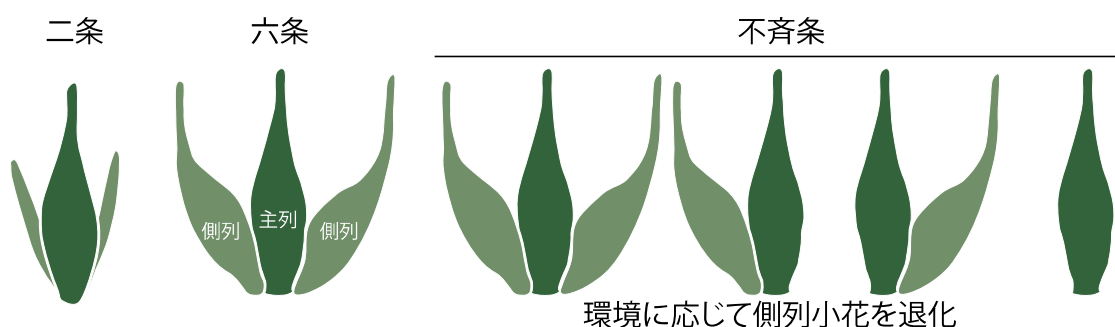


図 1. オオムギの三小穂。

不斉条は六条性の遺伝的性質(機能喪失型 *vrs1*)をもつが側列小花が不規則に退化

2. 研究の目的

本研究の目的は不斉条遺伝子を同定すること、そしてどのような環境条件が不斉条を発現させるかを明らかにすることである。不斉条の原因遺伝子を単離することで、環境変動に柔軟に対応できる可塑性を備えた作物の育種開発につながることを期待できる。気候変動下において、環境適応型作物の開発は喫緊の課題であり、収量に直結する穂形質の可塑性を理解することは非常に重要である。イネ科植物は穂の初期発達段階で一つの穂に複数の小花を形成するが、その後小花発育を限定させ、資源を有効活用するメカニズムを備えている。この小花抑制メカニズムを解明することができれば、収量性を最大化・最適化することが可能になる。オオムギは 1 小穂 1 小花の構造をもち観察が容易であること、二倍体で突然変異がすぐに視認できることなどの条件を備える格好の研究素材である。

3. 研究の方法

<植物材料>

オオムギ標準品種セット 274 系統は NBRP-barley (<http://earth.nig.ac.jp/~dclust/cgi-bin/index.cgi>) より分譲を受けた。不斉条形質を示す品種と非不斉条品種の人工交雑を行い、分離集団を養成した。植物材料は鳥取大学農学部実験圃場(黒ボク土壌;鳥取市湖山町)及び乾燥地研究センター実験圃場(砂質土壌;鳥取市浜坂)で秋まき栽培を行なった。

<不斉条遺伝子のマッピング>

分離集団およびコアコレクションを用いた連鎖解析・相関解析を実施した。候補領域についてパンゲノム遺伝子アノテーションを参照して候補遺伝子の同定を試みた。

<不斉条形質発現を調節する環境因子の同定>

黒ボク土壌と砂地土壌の圃場で栽培試験を実施し不斉条形質の発現程度を比較した。さらに栄養条件を調整した水耕栽培試験により形質発現に影響する環境因子の同定を行った。

4. 研究成果

不斉条形質がメンデル遺伝する3つの分離集団、合計約500個体を用いたファインマッピングを実施した。オオムギパンゲノム情報を参考に候補領域の遺伝子アノテーションを比較した。一方でパンゲノム解析に用いられている系統の中に不斉条形質を示すものは含まれていないため、候補遺伝子の特定を行うためには独自に不斉条系統のゲノム解読を行う必要がある。今後ファインマッピングに使用した不斉条系統のゲノム解読を実施し、候補遺伝子の同定を進める。オオムギコアコレクションを用いたGWAS解析においても同じ遺伝子座が検出されたため、不斉条を制御する遺伝子はオオムギゲノム中に1箇所存在することが強く示唆された。

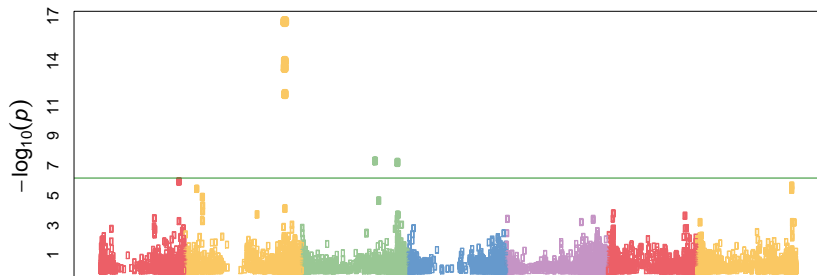


図2 ゲノムワイド関連解析による候補遺伝子の絞り込み

不斉条系統の形質発現機構を明らかにするため、圃場条件での栽培試験を行った。植物材料として NBRP-barley より分譲を受けたオオムギ標準品種セット274系統を使用した。鳥取大学乾燥地研究センター実験圃場と鳥取大学農学部実験圃場で秋まき栽培を行った。穂が完熟したのち、1系統につき10穂ずつサンプリングを行いスキャナーで画像を取得した。画像データから穂長、穂あたり小穂数を算出し、不斉条系統に関しては小花の欠落数を計測した。その結果、乾燥地研究センター圃場で小花の欠落歩合が農学部圃場よりも有意に高いことがわかった。先行研究において低肥料条件で不斉条系統を栽培すると小花欠落歩合が高まることが報告されている。砂質圃場では何らかの栄養素が欠乏している可能性が考えられる。



図3 非不斉条品種（上）と不斉条品種（下）の穂形態
アスタリスクは小花が退化して欠落した部位を示す。

不斉条穂を示すオオムギ系統を各種栄養条件で水耕栽培し、幼穂の発生段階を走査型電子顕微鏡で詳細に観察した。その結果、特定の微量元素欠乏区でコントロール区と顕著な違いが認められた。今後トランスクリプトーム解析を進め、不斉条穂の発現メカニズム解明を目指す。

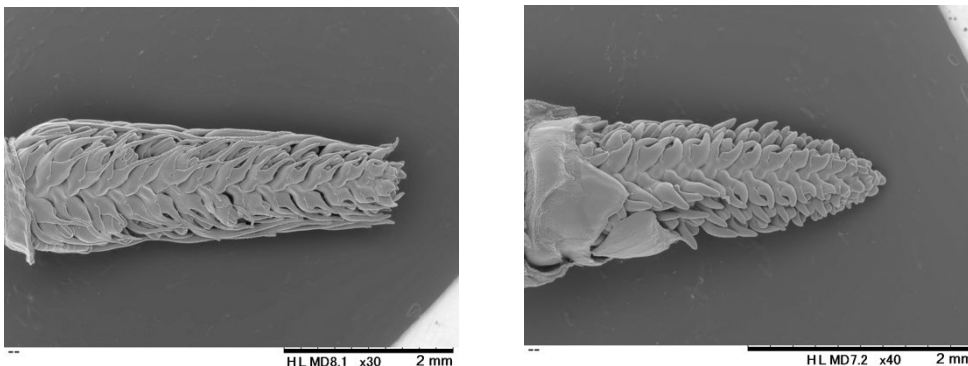


図4 異なる栄養条件における不斉条穂の形態比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Sakuma Shun, Komatsuda Takao	4. 巻 22
2. 論文標題 International Workshop: Leveraging evolution into molecular breeding	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Breeding Research	6. 最初と最後の頁 83～86
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1270/jsbbr.22.W04	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 佐久間俊	4. 巻 7
2. 論文標題 オオムギ穂の多様性を制御する遺伝的基盤	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 88-90
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 佐久間俊	4. 巻 4
2. 論文標題 オオムギの穂のかたちを決める遺伝子	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 45-47
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 佐久間俊	4. 巻 58
2. 論文標題 麦の穂のかたちを決める遺伝子	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学と生物	6. 最初と最後の頁 264-268
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 Sakuma Shun, Schnurbusch Thorsten	4. 巻 225
2. 論文標題 Of floral fortune: tinkering with the grain yield potential of cereal crops	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 1873 ~ 1882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.16189	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 該当する

1. 著者名 Wolde Gizaw M., Schreiber Mona, Trautewig Corinna, Himmelbach Axel, Sakuma Shun, Mascher Martin, Schnurbusch Thorsten	4. 巻 134
2. 論文標題 Genome-wide identification of loci modifying spike-branching in tetraploid wheat	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theoretical and Applied Genetics	6. 最初と最後の頁 1925 ~ 1943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00122-020-03743-5	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 佐久間俊	4. 巻 55
2. 論文標題 麦の花序構造を決める遺伝子	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 植調	6. 最初と最後の頁 13 ~ 15
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14件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 佐久間俊
2. 発表標題 ムギ類における穂の多様性に関する遺伝育種学研究
3. 学会等名 第139回日本育種学会講演会受賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅本宏輝・小松田隆夫・佐久間俊
2. 発表標題 野生オオムギの六条化が農業形質に及ぼす影響
3. 学会等名 第15回ムギ類研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梅本宏輝・小松田隆夫・佐久間俊
2. 発表標題 野生オオムギの六条化が分けつ数と種子休眠性に与える影響
3. 学会等名 第12回中国地域育種談話会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐久間俊・Martin Mascher・Jey Rajaraman・山地直樹・馬建鋒・佐藤和広・小松田隆夫・Thorsten Schnurbusch
2. 発表標題 なぜオオムギ属の花序の単位は三小穂なのか
3. 学会等名 日本植物学会第84回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shun Sakuma
2. 発表標題 Enhancing grain yield by improving floret fertility in wheat
3. 学会等名 PAG Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shun Sakuma
2. 発表標題 Improving floret fertility through the mutation of a homeobox gene during wheat evolution under domestication
3. 学会等名 1st International Wheat Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 六原菜穂・大西志全・神野裕信・山下陽子・田中裕之・佐久間俊
2. 発表標題 コムギ穀粒数の増加が小麦粉品質に及ぼす影響
3. 学会等名 第14回コムギ類研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 六原菜穂・大西志全・神野裕信・山下陽子・田中裕之・佐久間俊
2. 発表標題 コムギ穀粒数の増加が小麦粉品質に及ぼす影響
3. 学会等名 第11回中国地域育種談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐久間俊
2. 発表標題 麦類の穀粒数を制御するホメオボックス遺伝子の進化
3. 学会等名 第61回日本植物生理学会年会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 六原菜穂・大西志全・神野裕信・山下陽子・田中裕之・佐久間俊
2. 発表標題 ホメオボックス遺伝子変異によるコムギ穀粒形質のトレードオフ
3. 学会等名 第137回日本育種学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐久間俊
2. 発表標題 ムギ類の多様性を生み出す穂形態形成メカニズムの解明
3. 学会等名 第1回超分野植物科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shun Sakuma
2. 発表標題 Driving force of genetic variation in barley inflorescence development
3. 学会等名 日本植物学会第85回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川里穂・佐久間俊
2. 発表標題 オオムギVrs1遺伝子の発現を制御する因子の同定
3. 学会等名 第13回中国地域育種談話会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川里穂・小松田隆夫・佐久間俊
2. 発表標題 オオムギ六条性遺伝子の発現制御因子の解明
3. 学会等名 第16回ムギ類研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://staff.muses.tottori-u.ac.jp/ssakuma/ https://www.facebook.com/tottoritriticeae
--

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		
ドイツ	IPK		