

2022年8月9日

新潟大学  
農研機構

## 交雑は植物のトランスポゾン（動く DNA 配列）を活性化する

－ 交雑が遺伝的多様性を大きくする仕組みの一端を明らかに －

新潟大学自然科学系（農学部）の深井英吾准教授、農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）の吉川学博士、デンマーク・オーフス大学、かずさ DNA 研究所、国立遺伝学研究所、理化学研究所らの研究グループは、植物の交雑にともなってトランスポゾン（動く DNA 配列）が活性化し動くことを、マメ科のモデル植物（注1）であるミヤコグサを用いて明らかにしました。交雑は、両親が持っている遺伝情報をシャッフルし、新しい組み合わせを子孫に提供するとともに、トランスポゾンを活性化させ、新しい変異（ミューテーション mutation）を生じる機会としての意義を持つことが示唆されました。

### 【本研究成果のポイント】

- 近縁系統同士の交雑で複数のトランスポゾンが活性化されることを明らかにしました。
- トランスポゾンが動くことにより、交雑両親が持たない新しい変異（ミューテーション mutation）が遺伝子に生じることが分かりました。

### 1. 研究の背景

生物の全遺伝情報は「ゲノム」とよばれ、「デオキシリボ核酸（DNA）」と呼ばれるヒモ状の物質にその情報が保存されています。DNAはA・T・C・Gの4種類の塩基を含み、それらが並んで「塩基配列」をつくっています。「染色体」は核のゲノムDNAが高次構造をとり棒状に見える状態になったもので、例えばヒトは46本の染色体を持ちます。ゲノムの中で、生物の体の主要な構成成分である「タンパク質」を作るための塩基配列情報を持つ部分は「遺伝子」と呼ばれています。しかし、多くの動植物ゲノムでは、遺伝子以外の部分の割合の方が大きいのです。

「トランスポゾン」はゲノムの中を動きまわるDNA断片で可動遺伝因子、転移因子などと呼ばれ、上述した「遺伝子以外」の主要な構成要素の一つです。トランスポゾンの発見者は米国のバーバラ・マクリントック（Barbara McClintock）博士で、トウモロコシのゲノムにトランスポゾンが存在することを20世紀半ばに発表しました。後にトランスポゾンは、様々な生物のゲノムに普遍的に存在することが分かりました。

トランスポゾンが転移するとはどういう意味なのでしょう。普通の遺伝子は、染色体上の特定の場所（遺伝子座）にあります。一方でトランスポゾンは、元の場所から違う場所へ動いたり、自分のコピーを元の場所とは離れた場所に加えたりすることができます（図1）。

トランスポゾンが転移し、遺伝子内に挿入された場合は、元のゲノム塩基配列に変異

ミューテーション (mutation) が生じます (図 1: 遺伝子 B)。農作物では、例えば果物の色のような品種間の違いの原因が、トランスポゾンの転移による変異だった例が知られています。このようにトランスポズンは、生物の多様化に一役買っていると考えられますが、一方でトランスポズンが転移しすぎると、遺伝子が破壊され生物の生存に悪影響が出る可能性があるため、普段はほとんど動かないよう転移が抑制されています。しかし、抑制されたトランスポズンがいつ、どうやって活性化されるのかについてはよく分かっておらず、様々な研究が行われています。

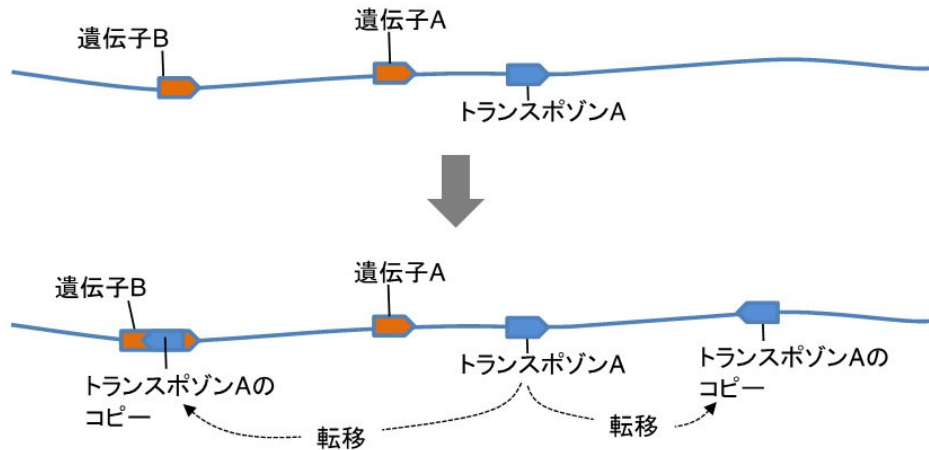


図 1. トランスポズンが動く (転移する) とは

この図では、自分の分身 (コピー) を増やしていくタイプのトランスポズンについて説明します。

(上) ゲノムは遺伝子や、遺伝子以外の部分から構成されており、トランスポズンは遺伝子以外の部分に含まれます。

(下) トランスポズン A が転移して、それまでトランスポズン A が存在しなかった場所に新しいコピーが作られます。その際、新しいコピーが遺伝子内に作られてしまうことがあります (左: 遺伝子 B にトランスポズン A のコピーが作られた場合を図示)、その遺伝子の機能が失われたり、変化したりすることがあります。

## II. 研究の概要・成果

本研究では、交雑がトランスポズンを活性化させる可能性について、マメ科植物のミヤコグサ (*Lotus japonicus*, 図 2) を使って検証しました。バーバラ・マクリントック博士は、遠縁の親同士の交雑 (遠縁交雑) がトランスポズンを活性化させる可能性に言及しており、この仮説を支持する研究結果は複数報告されています。しかし、近縁の親同士の、普通に起こる交雑がトランスポズンを活性化させる可能性については、ほとんど検討されてきませんでした。



図 2. ミヤコグサの花

ミヤコグサは日本全土に自生する自殖性 (主に自家受精で種をつける) のマメ科植物で、モデル植物として広く利用されています。ミヤコグサでは 3 つの組換え近交系集団 (注 2) が構築されており、いずれも片親にはミヤコグサの Gifu 系統が使われています。もう一方の親は、ミヤコグサの MG-20 系統、パキスタン由来のミヤコグサ近縁種 (*Lotus burttii*)、ナイジェリア由来のミヤコグサ近縁種 (*Lotus filicaulis*) です。すなわち 3 つの組換え近交系集団のうち、1 つは種内交雑集団、2 つは種間交雑集団であり、交雑両親間の遺伝的な近さ/遠さと、トランスポズンの活性化との間の関係を調べるために有用です。

解析の結果、3 つの組換え近交系集団の全てで、少なくとも 1 種類のトランスポズンが活性化され動いていることが分かりました (表)。特に、遠縁交雑ではない、種内交雑による組換え近交系集団でも、複数のトランスポズンが活性化され動いていたことから、交雑によるトラ

ンスポゾンの活性化にとって、必ずしも両親が遠縁である必要がないことが分かりました。また、トランスポゾンの移動先の83%は遺伝子の中であることが分かり、組換え近交系集団育成の数世代の間に、植物の生育に影響しうる遺伝的な多様性が生じていたことが分かりました(図3)。

以上のことから、交雑によるトランスポゾンの活性化が、遠縁交雑のような特別なケースに限らず、ごく普通の種内交雑でも起こることが分かりました。種内交雑は自然界で、また農作物の品種育成の過程で頻繁に行われているため、トランスポゾンの活性化は従来考えられていたよりも日常的に起きている可能性が示唆されました。

表. 解析した3つの組換え近交系集団と転移が確認されたトランスポゾンの種類

	①種内交雑集団 Gifu x MG-20	②種間交雑集団 Gifu x <i>L. burttii</i>	③種間交雑集団 <i>L. filicaulis</i> x Gifu
LORE1	-	○	○
LORE2	○	○	N.D.
C287	○	○	N.D.
C7963	○	-	N.D.
C1801	○	-	N.D.
C7683	○	-	N.D.

○: 転移あり、-: 転移検出されず、N.D.: 未解析

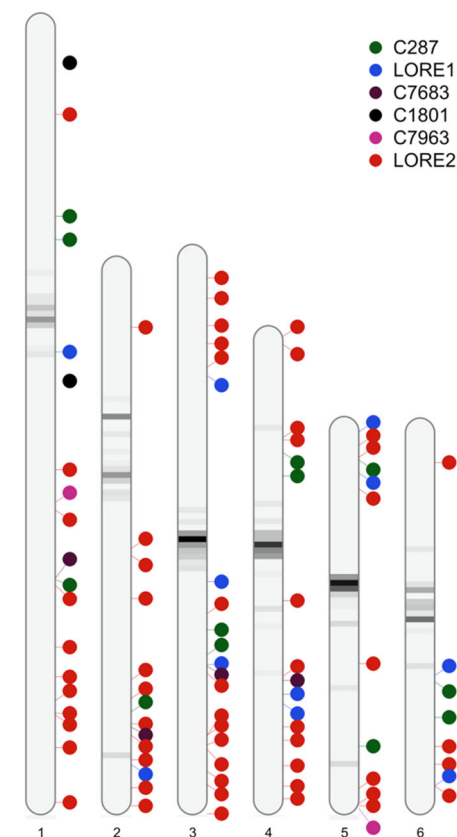


図 3. 組換え近交系集団で見つかったトランスポゾンの転移

1 から 6 で示された灰色の棒は、ミヤコグサの 6 本の染色体を示します。本研究で明らかになった 89 カ所のトランスポゾンの転移先を丸(○)で示しました。○の色は、今回解析した 6 種類のトランスポゾンに対応しています。89 カ所のうち、74 カ所(83%)は遺伝子の中に見つかり、それらの遺伝子の機能に影響を及ぼしている可能性が考えられました。

#### IV. 今後の展開

今後は、交雑によってトランスポゾンが活性化される仕組みを明らかにするとともに、他の植物でも同様の現象が起こるのかなど、検証する予定です。また農作物の交雑育種において、トランスポゾンの活性化現象を有効利用できるかについても検証していきます。

## V. 研究成果の公表

本研究成果は、2022年7月6日（英国時間）、英国科学誌「The Plant Journal」の電子版に掲載されました。

論文タイトル：Widespread and transgenerational retrotransposon activation in inter- and intra-species recombinant inbred populations of *Lotus japonicus*

著者：Eigo Fukai, Manabu Yoshikawa, Niraj Shah, Niels Sandal, Akio Miyao, Seijiro Ono, Hideki Hirakawa, Turgut Yigit Akyol, Yosuke Umehara, Ken-Ichi Nonomura, Jens Stougaard, Hirohiko Hirochika, Makoto Hayashi, Shusei Sato, Stig Uggerhøj Andersen, Keiichi Okazaki

doi: 10.1111/tpj.15896

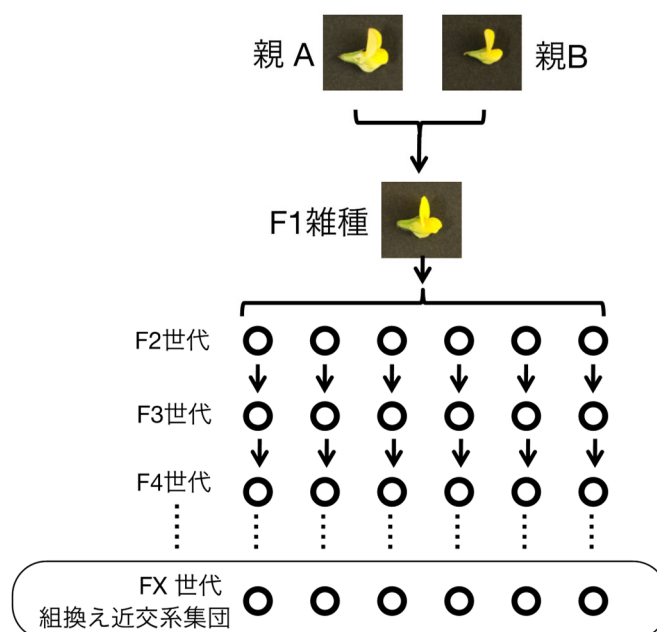
## VI. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 (23780011、16K07551、19K05967) と、NIG-JOINT (65A12016、87A2017、41A2019) の助成を受けたものです。

### 【用語解説】

(注1) モデル植物：普遍的な生命現象の研究に使われる生物をモデル生物と言いますが、植物のモデル生物をモデル植物と言います。シロイヌナズナはモデル植物として有名です。

(注2) 組換え近交系集団（参考図）：遺伝子の同定などに用いられる交雑集団の一つです。たとえば次のように作ります。まず両親間で交雑を行い、F1 雑種を得て、自殖により F2 世代の種子を得ます。次に、複数の F2 世代個体を栽培し、それらの自殖により F3 世代の種子を得ます。F3 世代以降の栽培では、親から得た種子のうちの 1 種子だけを播種し育てます（1 粒種子法）。この後、何世代か自殖を繰り返して得た後代集団を、組換え近交系集団と呼びます。本研究では、F9 世代の組換え近交系集団のゲノム塩基配列情報を分析し、両親が持たないトランスポゾンの転移コピーを検出しました。



参考図. 組換え近交系集団の構築

## 本件に関するお問い合わせ先

### 【研究に関すること】

新潟大学自然科学系（農学部）

准教授 深井 英吾（ふかい えいご）

E-mail : ef@agr.niigata-u.ac.jp

### 【広報担当】

新潟大学広報室

TEL : 025-262-7000 E-mail : pr-office@adm.niigata-u.ac.jp

農研機構本部広報部広報課

TEL 029-838-6005 E-mail : nias-koho@ml.affrc.go.jp