

日本のシロイヌナズナで転移因子が活性化

～生息環境の違いで環境ストレス応答が異なる仕組みについての新しい知見～

ポイント

- ・シロイヌナズナのエコタイプ Kyoto では高温ストレスでトランスポゾンが高発現。
- ・ Kyoto ではトランスポゾンの DNA メチル化が減少。
- ・ DNA メチル化の減少の原因は CMT2 メチル化酵素の欠損変異によるものと判明。

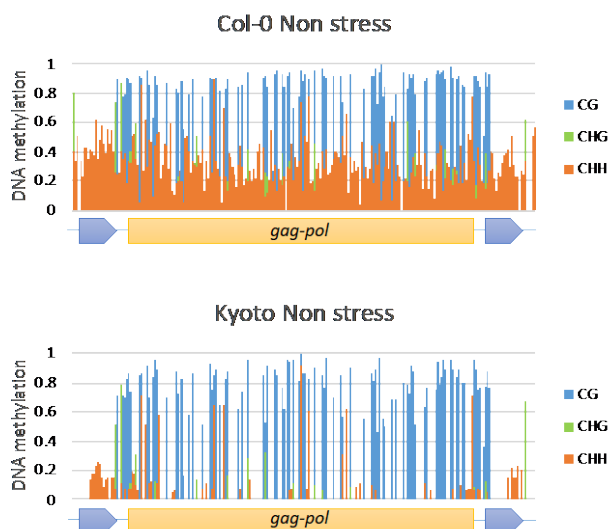
概要

北海道大学大学院理学研究院の伊藤秀臣准教授の研究グループは、シロイヌナズナの転移因子（トランスポゾン）の環境ストレス応答が生息地域により異なる原因を明らかにしました。

トランスポゾンは様々な生物に存在しますが、生息環境とその活性化の関係についての理解は進んでいませんでした。研究グループは、モデル植物であるシロイヌナズナを用いて、37°Cの高温条件下で育てると活性化するトランスポゾン「*ONSEN*」に着目しました。*ONSEN*は普段は眠っている（発現していない）のですが、高温条件下で目を覚まし（転写が活性化）します。本研究では、日本に生息するシロイヌナズナのエコタイプ*133 品種について、高温条件下で育てた場合の *ONSEN* の転写量を解析しました。その結果、Kyoto と名付けられたエコタイプにおいて *ONSEN* の転写量が顕著に上昇していることを見つけました。この現象の原因を調べてみると、DNA メチル化酵素の1つである CMT2 の合成に必要な遺伝子に変異が見つかりました。このことから、Kyoto では *ONSEN* の活性化を抑制するために必要な DNA のメチル化*2 が不十分なために、転写量が増加することが示唆されました。さらに Kyoto ではトランスポゾンの発現制御に必要なヒストン修飾*3 である H3K9me2 も減少していることがわかりました。

本研究で得られた結果は、環境ストレスで活性化するトランスポゾンのストレス応答と宿主植物の制御機構について、生息地域間で多様性を生み出す原因の一つとして、トランスポゾンの制御に必要な DNA メチル化酵素の遺伝子突然変異が寄与するという新しい知見を得ることができました。

なお、本研究成果は、2022年7月18日（月）公開の *Frontiers in Plant Science* 誌に掲載されました。



標準的なエコタイプである Col-0 と京都のエコタイプ Kyoto における DNA メチル化レベル。Kyoto では *ONSEN* 配列上の DNA メチル化レベルが減少している。

【背景】

トランスポゾンとは、あらゆる生物のゲノムに存在する“動く遺伝子”です。トランスポゾンが無秩序にゲノム内を転移すると、生物が生きていくために必要な遺伝子を破壊してしまい、生存に不利になることがあります。そのため、ほとんどのトランスポゾンは DNA のメチル化やヒストン修飾という修飾を受けて不活化されています。

しかし、環境ストレスによってトランスポゾンの転写抑制が一時的に解除されることが知られています。これまでの研究で、シロイヌナズナにおいて、*ONSEN* が熱ストレスによって活性化されることが明らかになってきました。*ONSEN* のゲノム上の位置やコピー数はシロイヌナズナのエコタイプ間で異なります。そこで、本研究の目的は、シロイヌナズナのエコタイプにおいて、高温ストレス下での *ONSEN* の転写レベルを比較し、*ONSEN* の転写制御をより深く理解することでした。

【研究手法】

シロイヌナズナには、世界各地に遺伝的に固定されたエコタイプが存在しています。エコタイプを比較してみると、葉の形や開花時期など様々な表現型の違いが見られます。今回、高温ストレスで活性化するトランスポゾン *ONSEN* の転写量をエコタイプ間で比較してみました。

その結果、Kyoto で *ONSEN* の転写量に顕著な差が見られたため、原因因子の特定のために次世代シーケンサーを用いた遺伝子マッピングを行いました。

【研究成果】

本研究では、日本の各地に生息するシロイヌナズナを材料に用いて、高温で活性化するトランスポゾン *ONSEN* の転写量を調べました。その結果、京都のエコタイプである Kyoto において、*ONSEN* の転写量が顕著に上昇することを見つけました (図 1)。その原因を次世代シーケンサーと遺伝子マッピングという方法で特定したところ、DNA のメチル化酵素の一つである CMT2 の合成に必要な遺伝子に突然変異が見つかりました。Kyoto では CMT2 の機能不全により DNA のメチル化レベルが低下し、トランスポゾンの発現量が増加したことが窺えます。さらに、DNA のメチル化と相互関係にあるヒストン H3K9me2 のメチル化レベルも減少していることがわかりました。Kyoto ではヘテロクロマチンの維持に不可欠な DNA のメチル化とヒストン修飾が不足していることで、高温ストレス下でのヘテロクロマチンの凝縮が緩みやすい傾向にあることも明らかになりました (図 2)。

今回の研究により、自然界に存在するシロイヌナズナのエコタイプ間での環境ストレス応答の差を生み出す原因の一つとして、DNA のメチル化レベルの差が関係していることを示すことができました。

【今後への期待】

今回の研究結果から、シロイヌナズナはエコタイプによってエピジェネティックな修飾レベルが異なることがわかりました。今後は、植物のエピジェネティックな修飾レベルの差が生息地域の環境適応にどのような意味合いを持っているのか明らかにしていきたいと思っています。

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業・基盤研究 (C) (研究代表：伊藤秀臣、課題番号 18K06050)、新学術領域研究 (研究代表：木下俊則、課題番号 JP15K21750)、特別研究院奨励費 (研究代表：野沢紘佑、課題番号 18J11120) の助成を受けた成果です。

論文情報

論文名 Epigenetic regulation of ecotype-specific expression of the heat-activated transposon *ONSEN* (高温活性型トランスポゾン *ONSEN* のエコタイプ特異的なエピジェネティック制御)

著者名 野沢紘佑¹、升田誠二¹、佐瀬英俊²、池田陽子³、鈴木孝正⁴、高木宏樹⁵、田中啓介⁶、大濱直彦⁷、牛小蛸¹、加藤敦之⁸、伊藤秀臣^{8*} (¹北海道大学大学院生命科学院、²沖縄科学技術大学院大学植物エピジェネティクスユニット、³岡山大学資源植物科学研究所、⁴中部大学大学院応用生物学研究科、⁵石川県立大学生物資源環境学部、⁶東京農業大学生物資源ゲノム解析センター、⁷東京大学大学院農学生命科学研究科、⁸北海道大学大学院理学研究院*責任著者)

雑誌名 Frontiers in Plant Science (オープンアクセス科学ジャーナル)

DOI 10.3389/fpls.2022.899105

公表日 2022年7月18日(月)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 准教授 伊藤秀臣 (いとうひでたか)

T E L 011-706-4469 F A X 011-706-4469 メール hito@sci.hokudai.ac.jp

U R L https://www.sci.hokudai.ac.jp/Cellfunction_Structure3/

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

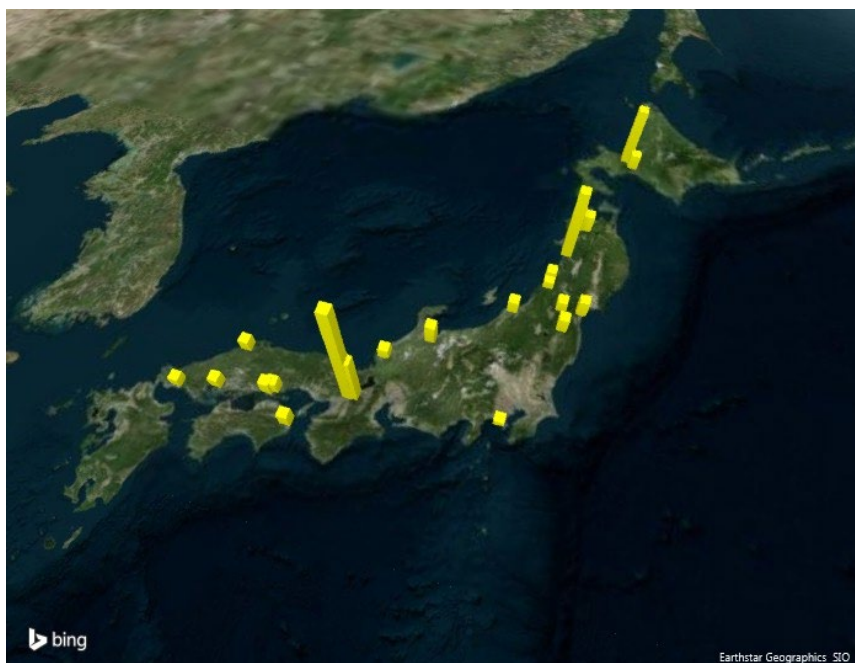


図 1

日本の各地に生息しているシロイヌナズナの *ONSEN* の転写量。京都のエコタイプである Kyoto で顕著に高い発現量が見られた。

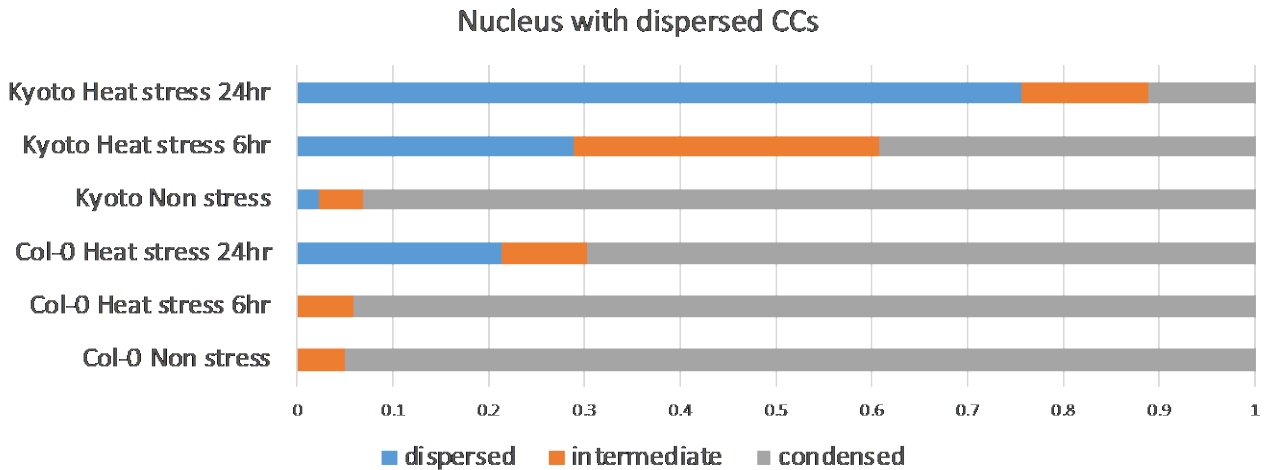
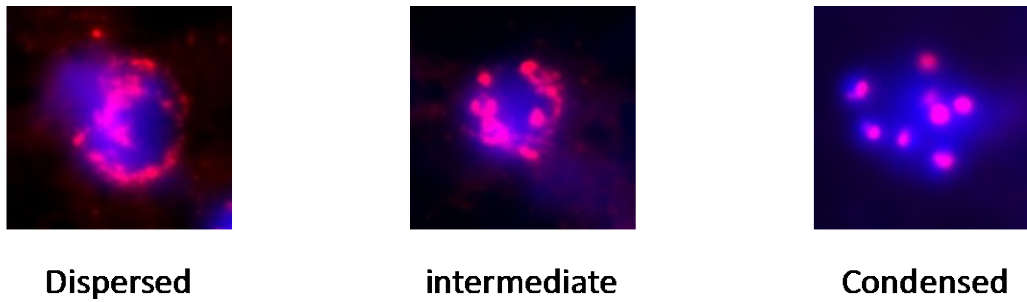


図 2 高温ストレス下でのヘテロクロマチンの凝縮度合い。Kyoto では Col-0 に比べてヘテロクロマチンが緩みやすい傾向にある。

【用語解説】

- *1 エコタイプ … 生育する環境に適応して、それぞれ遺伝的な分化が進み、形態や生態の違いが固定されたもの。
- *2 DNA のメチル化 … DNA メチル化酵素の働きにより、DNA を構成する A、T、G、C の塩基のうち主に C(シトシン)のピリミジン環の 5 位炭素原子にメチル基修飾が付加される化学反応。
- *3 ヒストン修飾 … ヒストンの N 末端・C 末端側の領域の翻訳後修飾。アセチル化、メチル化、リン酸化、モノユビキチン化など様々な翻訳後修飾を受ける。