

PRESS RELEASE (2025/11/25)

植物の季節応答を担う遺伝子の種を超えた共通性と多様性を解明

～冬に共通する遺伝子の働きを発見、植物の季節応答を制御する仕組みの進化の理解に期待～

ポイント

- ① 植物がどのように季節の変化に合わせて遺伝子の働きを調節しているのか、それが種間でどれだけ共通・多様化しているかは、これまで明らかにされていませんでした。
- ② ブナ科4種を対象に季節に伴う遺伝子の発現パターンを分析し、冬に機能する遺伝子は発現レベルで保存されやすく、春から秋に働く遺伝子は多様化しやすいことを発見しました。
- ③ 本成果は、植物の季節応答の進化プロセスの解明や、気候変動による生態系変化の予測に役立つことが期待されます。

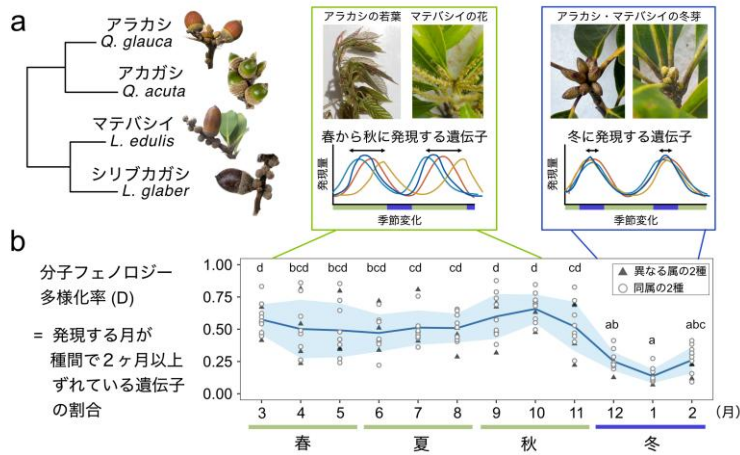
概要

私たちは日頃、春の芽吹きや開花、秋の紅葉など、生物の活動を通して季節の移り変わりを感じます。このような生物の季節的な活動はフェノロジーと呼ばれ、特に自力で移動できない植物にとって、気温や日長といった環境の劇的な変化に適応する上で重要な仕組みです。しかし、季節に応答した生物のリズムがどのような遺伝子の働きによって生み出されているのか、そして異なる植物種の間でどのように共通し、あるいは多様化しているのかは、これまで明らかにされていませんでした。

九州大学大学院システム生命科学府の工藤秀一大学院生、同大学院理学研究院の佐竹暁子教授、池崎由佳学術研究員、同大学院比較社会文化研究院の楠見淳子教授、同大学院農学研究院の平川英樹教授、東京大学大学院農学生命科学研究科の磯部祥子教授の研究グループは、九州北部に生育するブナ科樹木4種（図 a）を対象に、2年間にわたって毎月葉と芽の遺伝子発現（※1）を調べる解析を行いました。この手法は「分子フェノロジー（※2）」と呼ばれ、季節に伴う遺伝子の発現パターンを可視化できる新しい方法です。研究グループは、ブナ科2種のゲノムを新規に解読し、オルソログ（※3）を同定して分析を進めた結果、種間で1対1対応可能な11749遺伝子のうち約半数が季節に応じて1年周期の発現変動を示すことを明らかにしました。さらに、これら季節的な発現変動を示す遺伝子について詳細な解析を行った結果、12月から2月にかけての冬季に発現する遺伝子はストレス応答や低温応答に関わり、発現するタイミングが種を超えて保存されていることを明らかにしました。一方で、開花制御や組織の成長に関わる遺伝子を含む、春から秋にかけての暖かい季節に発現する遺伝子は、その発現タイミングに種ごとの違いが見られ、開花・展葉時期の多様性を反映していることが分かりました（図 b）。

本研究の成果は、植物がどのように冬の寒さに適応し、その仕組みを進化させてきたのかを理解するための新しい道を開くものです。また、今後この手法を応用することで、地球温暖化に伴い暖冬が多くなることで植物に生じる変化を遺伝子レベルで予測することができると期待されます。

本研究成果は、英国の科学雑誌「eLife」に2025年11月25日（火）午後5時（日本時間）に掲載されました。



研究者からひとこと：

植物は移動できないからこそ、季節の変化に敏感に応答する仕組みを進化させてきました。本研究で得られた知見は、その精巧な仕組みの一端を示すものです。今後はこの成果を活かし、気候変動に直面する森林生態系の未来を見通す手がかりを探っていききたいと思います。

(工藤秀一)

図 ブナ科樹木4種の比較分子フェノロジー

a：対象としたブナ科4種の系統関係。伊都キャンパスを含む九州北部に生育する個体をモニタリングに用いた。

b：分子フェノロジーの比較から明らかにされた季節によって異なる遺伝子発現パターンの多様性。冬季に有意な低下が見られ、冬に発現する遺伝子は多様化しづらいことを示唆する。

【研究の背景と経緯】

生物は、気温や日長などの季節を通した大きな環境の変化にさらされています。中でも自力で移動することのできない植物は、開花や展葉、休眠といったライフサイクルの節目を、季節に合わせて柔軟に調節する仕組みを獲得してきました。近年、分子フェノロジーと呼ばれる手法が開発され、変動する環境に生きる野外の植物を対象に、季節に応じた遺伝子の発現を網羅的に分析できるようになりました。これにより、開花や展葉などの私たちが普段目にする植物の季節応答の背後には、数万もの遺伝子が季節の変化に応答し、協調的かつダイナミックに制御されていることが分かってきました。しかし、このような植物の季節応答がどのように進化してきたか理解する上で鍵となる、異なる植物種の間でどのような季節応答性の違い・共通性が存在するのかが、明らかにされていませんでした。

【研究の内容と成果】

本研究では、日本を含むアジアに広く分布する常緑性ブナ科樹木4種（アラカシ、アカガシ、マテバシイ、シリブカガシ）を対象に、2年間にわたって葉と芽の遺伝子発現の季節変化を解析しました（図1）。これら4種は同じ地域に生育しながらも、開花や展葉の時期が異なるという特徴を持っています。ブナ科樹木4種の遺伝子発現量を定量するために、まず2種について新規にゲノム決定を行い、種間で1対1に対応する11749個のオルソログを同定しました。これらのオルソログについて、2年間で4週間ごとに得られた遺伝子発現を解析した結果、芽ではおよそ52%、葉では41%の遺伝子が、季節に応じた発現量の変動パターンを示すことが分かりました。さらに、季節的な発現変動を示す遺伝子を対象に、各遺伝子が発現する時期を種間で比較したところ、冬（気温がおよそ10°Cを下回る時期）に発現しストレス応答や低温応答に関わる遺伝子の発現タイミングは4種でよく同調しており、種を超えて保存された共通の制御メカニズムが存在することが示唆されました。一方で、春から秋にかけての暖かい季節では、発現する遺伝子やそのタイミングに種ごとの違いが見られ、各種が示す開花・展葉時期の多様性を反映していました。これらの結果は、季節的な環境変化が遺伝子発現の進化に影響を与えており、特に厳しい冬の存在は、遺伝子発現の変化を妨げる進化的な制約となっていることを示唆しています。

【今後の展開】

本研究では、冬季における遺伝子発現パターンが種を超えて高度に保存されていることを明らかにし、季節環境が遺伝子発現進化に強い制約を与えることを示しました。今後は、このような「季節的制約」がどのような分子メカニズムによって生じるのかを解明することが重要な課題となります。特に、遺伝子発現を調節する非コード領域（転写調節領域）の進化や、寒冷環境下でのクロマチン構造変化など、発現制御の基盤となる仕組みを明らかにする研究が期待されます。

また、本研究で用いた比較分子フェノロジーの手法を、より多様な植物種や気候帯（熱帯から温帯まで）に対象を拡張することで、環境変動に対する遺伝子レベルでの適応進化の一般則を明らかにできると考えられます。また、地球温暖化が植物の季節応答やフェノロジー（開花・展葉など）に及ぼす影響を予測し、森林生態系の将来変化を定量的に評価することが可能になります。

本研究の成果は、進化生物学や分子生態学の基礎的理解を深めるとともに、気候変動下における生態系保全や生物多様性維持に向けた科学的基盤を提供するものです。

【用語解説】

(※1) 遺伝子発現

DNA に書き込まれた遺伝子の情報が細胞内で読み取られ、その結果としてタンパク質が作られる過程のこと。これにより細胞は固有の機能や性質を発揮する。DNA の情報が読み取られる際に作られる RNA の量を測定することで、どの遺伝子が、どの組織や細胞で働いているかを網羅的に調べる方法を「トランスクリプトーム解析」と呼ぶ。

(※2) 分子フェノロジー

開花や展葉、休眠といった生物の季節的活動(フェノロジー)の背後にある、季節的な遺伝子の働きを調べるための手法。実験室の均一な環境ではなく、変動する野外環境下に生きる植物から、葉や芽などの組織を採取し、トランスクリプトーム解析を行うことで、季節に応じた網羅的な遺伝子発現を定量化する。

(※3) オルソログ

共通の祖先遺伝子から由来し、種分化により分岐した遺伝子（群）。異なる生物種間で、遺伝子の働きを推定・比較する上で重要な役割を果たす。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費（JP23H04965, JP23H04966）の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：*eLife*

タイトル：Evolution of gene expression in seasonal environments

著者名： Shuichi N Kudo, Yuka Ikezaki, Junko Kusumi, Hideki Hirakawa, Sachiko Isobe, Akiko Satake

D O I : 10.7554/eLife.107309.3

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学 大学院理学研究院 教授 佐竹暁子（サタケアキコ）

TEL：092-802-4296

Mail：akiko.satake@kyudai.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

Kyushu
University **VISION 2030**
総合知で社会変革を牽引する大学へ