

希少なカエデ「クロビイタヤ」の不連続分布の謎を解く ～気候変動がもたらした分布変遷～

クロビイタヤは日本に生育するカエデの一種で、湿地の開発などにより個体数が減少し、絶滅危惧種に指定されています。また、その生育地は、北海道、北東北、本州中部と不連続に分布（隔離分布）しています。

本研究では、クロビイタヤが現在の分布に至ったプロセスや、遺伝的多様性を保全する上で重要な個体群などを明らかにするため、分布域を網羅するようサンプルを採集し、遺伝子解析を行いました。その結果、クロビイタヤの隔離分布した集団は、遺伝的には明瞭に分化しておらず、連続的な変異をもつことが分かりました。このことは、現在見られる不連続な分布が、最終氷期以降の温暖化にともなって比較的短い時間で形成されたことを意味しています。さらに、本州中部の高標高域にある個体群から、他地域ではみられない希少な遺伝子型が検出され、この地域が本種のレフュージア（逃避地）として機能していたことが示唆されました。地形の起伏が存在すると、植物は、相対的に短い距離で、生育に適した気候帯に移動をすることができます。この地に山塊があったために、クロビイタヤは分布を上下に移動させ、個体群を残すことができたと考えられます。

本研究は、過去に起こった気候変動に基づく希少植物の分布の変化を、遺伝子解析から明らかにした点が特色です。このような手法は、地球温暖化に対する野生生物の応答に関する将来予測にも活用できると期待されます。

研究代表者

筑波大学生命環境系

佐伯 いく代 准教授

研究の背景

クロビイタヤ (*Acer miyabei*) は、北海道から本州中部地方にかけて分布するカエデの一種です (図 1)。主な生育環境は、河川の氾濫源や斜面下部の湿地です。こうした場所は農地や市街地として開発が進んでおり、全国的に本種の個体数は減少しています。また、クロビイタヤは、「隔離分布」とよばれる飛び石状の不連続な分布をしています (図 2)。

クロビイタヤは、果実の表面に毛のあるクロビイタヤ (狭義: *A. miyabei* subsp. *miyabei* f. *miyabei*) と、毛のないシバタカエデ (*A. miyabei* subsp. *miyabei* f. *shibatae*) の 2 品種に分類されます。どちらも環境省のレッドリストでは絶滅危惧種に指定されていますが、シバタカエデは特に数が少なく、福島県から長野県の限られた自生地のみ分布しています。筑波大学菅平高原実験所は、両品種が混生する珍しい場所として知られています。

そこで本研究では、これらの品種の遺伝的な関係にも着目しながら、クロビイタヤの野生個体群を対象に、分布域全体を網羅した遺伝子解析を実施し、(1) 不連続な分布はどのように形成されたのか、(2) 遺伝的な多様性を保全する上で重要な個体群はどこにあるのか、の 2 点を明らかにすることを目的としました。

研究内容と成果

クロビイタヤの分布域を網羅するよう、43 地点の自生地から 604 個体の葉のサンプルを採集し、各個体の遺伝子型を決定しました。本種は、3 つの地域に隔離分布をしていますが、異なる地域間であっても、遺伝子型の組成に重複部分があり、明瞭な境界がないことが分かりました (図 3)。特に北東北と本州中部の違いは不明瞭で、遠く離れた個体であっても近縁な遺伝子型を有するケースが見られました (図 4)。これらの結果は、現在のような隔離分布が、比較的最近になって成立したことを意味しています。約 2 万年前の最終氷期最盛期の気温は現在よりも約 3-5 度低かったと推定されています。クロビイタヤは冷涼な気候を好む樹木のため、寒冷化した時代には、現在よりも広い分布域をもっていたと考えられます。このことを裏付ける証拠として、現在、クロビイタヤが生育していない場所であっても、その化石や植物遺体が発見されている場所があります。しかし、最終氷期以降の温暖化に伴い、本種は生育範囲を狭めていき、飛び石状の分布に変化したと考えられます。とりわけ、分布の南端である本州中部地方では、山岳地域の高標高地帯に分布が限られるようになりました。本研究では、それらの個体群から、他の地域では見られない希少な遺伝子型が検出されています。これは、同地域が本種のレフュージア (逃避地)^{注1)}として機能していたことを示しています (図 5)。地形の起伏が存在すると、植物は、相対的に短い距離で、生育に適した気候帯に分布を移動させることができます。中部地方に山塊があったために、クロビイタヤは分布を上下に移動させ、この地に個体群を残すことができたと推測されます。

また、本州中部地方には、クロビイタヤの一種であるシバタカエデという希少な品種が生育しています。クロビイタヤとシバタカエデの遺伝子型を調べたところ、両者には遺伝子流動があることが分かりました。以上のことから、(1) クロビイタヤの飛び石状の分布は、地質学的な時間スケールとしては比較的短い期間、すなわち最終氷期以降の温暖化に伴って形成されたこと、(2) 本州中部地方の山岳地域は、本種にとって気候変動期のレフュージアであった可能性が高いこと、(3) 希少な遺伝子型が検出された本州中部の個体群は、遺伝的多様性の保全の観点から注目すべきものであること、(4) クロビイタヤの 2 品種は遺伝子交流を行っており、両者を一体的に扱いながら保全を進められること、などが明らかになりました。

今後の展開

近年、気候変動の問題が大きく取り上げられています。温暖化が進むと、植物は分布を変化させていくと考えられますが、その過程を予測することは容易ではありません。しかし、過去に起きた気候変動に対し、植物がどのような分布変遷をたどったのかを明らかにすることが、将来の分布変化を予測する上での重要な知見となります。特に本研究では、分布の南限に山岳地帯があったことが、地域個体群の存続や、進化の基盤である遺伝的多様性の保持に寄与したと推察されました。こうした成果を通じ、気候変動と生物多様性との関係について、さらに議論を深めていくことが期待されます。

参考図



図1 クロビイタヤ。

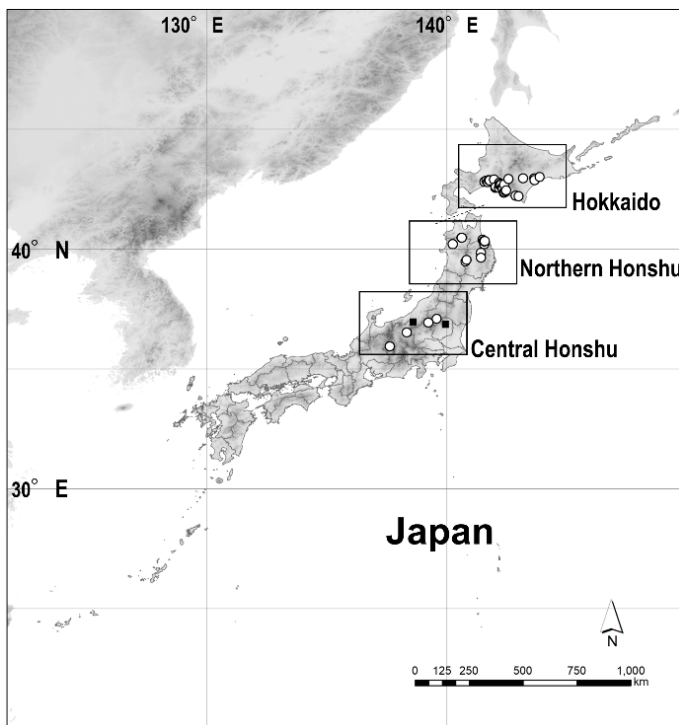


図2 クロビイタヤの主要な自生地の分布。北海道、北東北、本州中部の3地域に隔離している。

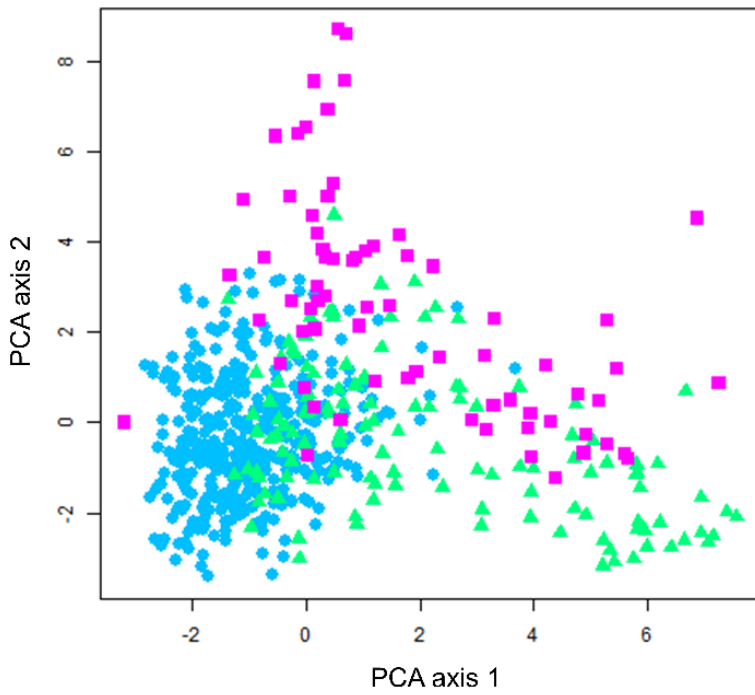


図3 マイクロサテライト分析^{注2)}による604個体のクロビイタヤの遺伝子型組成の解析結果(●:北海道 ▲:北東北、■:本州中部)。個体間の遺伝的な類似性を2次元座標上に要約して示す。地域個体群間による明瞭な境界がなく、連続的な変異をもつことが分かる。

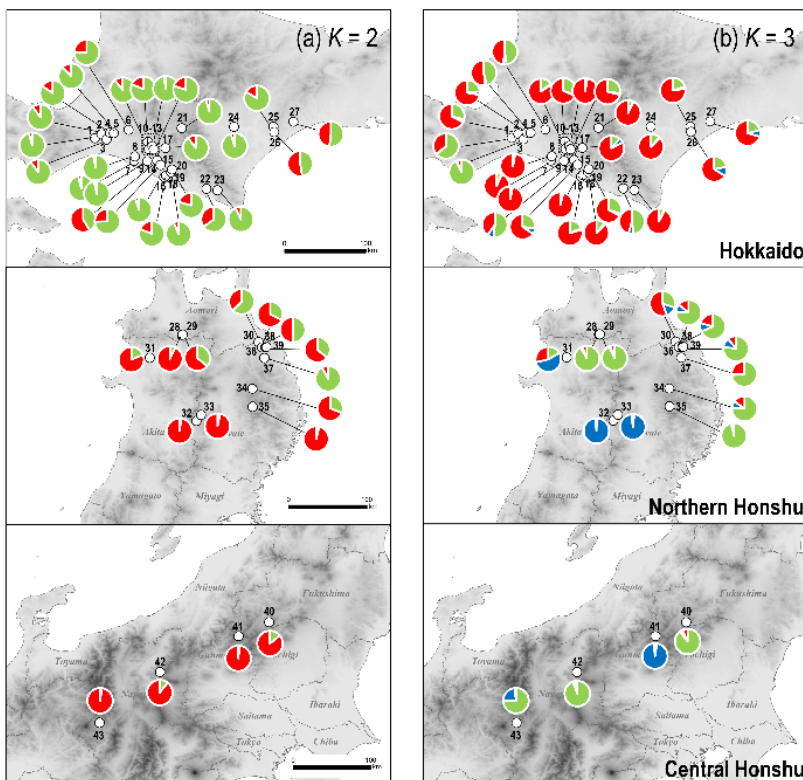


図4 STRUCTURE 解析^{注3)}による遺伝的なクラスター(まとめり)の検出結果。クラスターの数を2(左列)、および3(右列)と仮定した際の結果を示す。地理的な分布のクラスターと遺伝的なクラスターとが一致していないことがわかる。

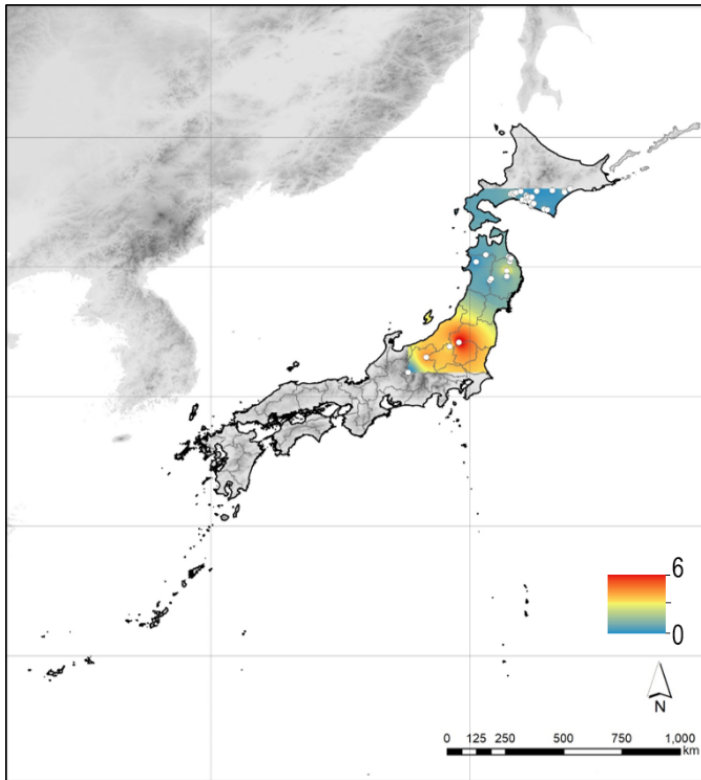


図5 プライベートアリル（他の地域で発見されなかった対立遺伝子）の分布状況。暖色で示された地域ほど多く出現したことを示す。本州中部において多いことが分かる。

用語解説

注1) レフュージア（逃避地）

気温の低下や上昇など、環境が大きく変動した際に、生物が生き残ることができた場所。

注2) マイクロサテライト分析

生物の遺伝的な変異を調べるための手法の一つ。ゲノム中の DNA 塩基配列のうち、数塩基からなる反復配列の回数の違いを比較することで、個体間もしくは個体群間の遺伝的な類似性や多様性を定量化することができる。

注3) STRUCTURE 解析

生物個体群の遺伝構造を調べるための解析手法の一つ。共通祖先をもつ遺伝的なクラスターの数を事前に仮定し、各個体がどのクラスターに属するかを遺伝情報から推定することができる。

研究資金

本研究は、科学研究費基盤 C (No. 25890002) および藤原ナチュラルヒストリー財団 (2014-6) より助成を受けて実施されました。

掲載論文

【題名】 Genetic variation of a relict maple *Acer miyabei*: Uncovering its history of disjunct occurrence and the role of mountain refugia in shaping genetic diversity.

（遺存種クロビイタヤの遺伝的多様性の解明：隔離分布の歴史と山岳地域のレフュージアが果たした役割に着目して）

【著者名】 Saeki I, Hirao AS, Kenta T

【掲載誌】 American Journal of Botany

【掲載日】 2021年11月11日（オンライン先行公開）

【DOI】 <https://doi.org/10.1002/ajb2.1803>

問い合わせ先

【研究に関すること】

佐伯 いく代（さえき いくよ）

筑波大学生命環境系 准教授

URL: http://www7b.biglobe.ne.jp/~rubra/Rubra_02_sub8_profile.html

<https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000003558>

<http://www.u.tsukuba.ac.jp/~kawada.kiyokazu.gu/index.html>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp