

# 冬を耐える常緑樹と避ける落葉樹が共存する謎を解き明かす

－葉の炭素の費用対効果が同等であることが鍵－

## 概要

私たちの周りには、冬に葉を落とす木（落葉樹）と落とさない木（常緑樹）があります。両者は全く違う生き方ですが、どうして同じ環境に共に生きられるのでしょうか？

京都大学大学院農学研究科 小野田雄介 准教授、葉雲翰 同修士課程学生、北山兼弘 同教授のグループは、同所的に自生している落葉樹と常緑樹の葉における炭素の収支バランスを詳細に研究しました。常緑樹は冬の凍結に備えて、頑丈な葉を作るために、落葉樹よりも約2倍の炭素を必要とします。一方で、その投資は長期間の光合成によって補われ、炭素の費用対効果は、落葉樹でも常緑樹でも同程度でした。冬を避けるか耐えるかが、落葉樹と常緑樹の違いですが、炭素の収支バランスは同程度で、それが故に共存できるようです。

温暖化に伴い、落葉樹が多い地域に、常緑樹が近年増えてきました。冬の寒さの緩和により、常緑樹は葉を頑丈にする必要性が減り（コスト軽減）、また光合成ができる期間が伸びるため、大きなプラスになります。植物の葉の費用対効果を明らかにすることにより、温暖化に伴う種の分布変化の理解や予測にも繋がります。

本成果（最終校閲版）は、2022年2月24日に英国の国際学術誌「New Phytologist」にオンライン掲載される予定です（未校閲の受理原稿は2月8日にオンライン掲載されています）。



## 落葉樹と常緑樹の一例

近縁な種にも落葉タイプと常緑タイプの両方が存在します。たとえば、サクラ属と言え、落葉樹という印象があるかもしれませんが、常緑樹もいます。落葉樹は秋に紅葉しますが、常緑樹は青々したままです。

（2021年11月16日京都市吉田山にて。撮影：小野田雄介）

## 1. 背景

日本は、樹木多様性が高く、四季がはっきりしており、世界で類を見ないほど、多様な落葉樹と常緑樹がみられます。落葉樹と常緑樹は、近縁な分類群の中にも多くみられ、繰り返し進化してきました。樹木にとって、冬に葉をもつことと、もたないことは何が違うのでしょうか？これまで、常緑樹は、落葉樹に比べ、葉が丈夫で、光合成する期間が長いことはよく知られていましたが、両者の葉の機能を通年で評価し、葉の生涯の炭素経済\*を明らかにした研究はありませんでした。

## 2. 研究手法・成果

私たちは、京都の森に自生する常緑樹と落葉樹のペアを、5つの分類群（ウコギ科、ツツジ科、バラ科、ブナ科、モチノキ科）から選び（図1）、葉の機能の変化を通年で追いかけてきました。落葉樹は、春に薄い葉を展開し、素早く光合成を開始し、秋に落葉します。常緑樹も、春に葉を展開しますが、葉の発達は少し遅く、また冬の凍結に備えて、春から冬にかけて徐々に頑丈な葉を作ります。常緑樹の光合成は、冬には一旦落ちますが、春には回復し、葉の生涯の二酸化炭素の吸収量は落葉樹よりも多くなります（図2左上）。つまり、常緑樹は冬を耐える頑丈な葉を作るため、その分コスト（費用）がかかりますが（図2右下）、長く光合成できるので、炭素経済を考えると、費用対効果は、両者の間でほぼ同じでした（図2右上）。同程度の費用対効果であることが、落葉樹と常緑樹の共存を支えていると言えそうです。

日本では南に常緑樹が多く、北に落葉樹が多い傾向があり、京都はその中間に位置します。京都の山では、元々落葉樹が多い傾向がありますが、温暖化に伴い、常緑樹が増えてきています。冬の寒さの軽減は、常緑樹にとって葉を頑丈にする必要がなくなり、また冬季も光合成ができるようになるため、大きなプラスになります。現に、京都では、この100年で、年間の冬日（最低気温が0度以下）の日数が80-100日ほどから、10-20日ほどまで減っています（気象庁データ、図3）。現在の京都で、常緑樹と落葉樹の炭素経済がほぼ同等ということは、今後の温暖化により常緑樹がますます増えていくことになりそうです。

## 3. 波及効果、今後の予定

調査を行った京都では、常緑樹と落葉樹の炭素の費用対効果は同程度でしたが、より寒い地域では、落葉樹の費用対効果が常緑樹を上回り、より温暖な地域では、逆のパターンが見られることが予想されます。京都以外の場所でも、葉の炭素経済を明らかにすることにより、日本の植生をより深く理解し、将来予測に貢献していくことができます。

## 4. 研究プロジェクトについて

本研究は、文部科学省科学研究費（「樹木の機能形質の多様性と共通性の全体像に迫る(21H02564)」、「葉の可逆的な構造変化を可能にさせる細胞・組織の力学バランスの解明(19H05365)」）の支援を受けて行われました。

### <用語解説>

\*炭素経済 植物は葉の光合成によって炭素を獲得しますが、葉を作るのにも炭素が必要です。どれだけの炭素を投資して葉を作り（cost, 費用）、それによりどのくらい炭素を得られるか（benefit, 効果）のバランスが、植物の成長に重要です。この炭素のバランスを「炭素経済」と呼んでいます。

### <研究者のコメント>

寒い冬をどう乗り越えるかは、植物にとっても、大変なことです。常緑樹は頑丈な葉を作ることによって、凍結から身を守っています。逆に、落葉樹は、気温が暖かい時期のみに、比較的"チープな葉"を作って光合成をしています。いわば、落葉樹は短期決戦タイプ、常緑樹は長期持久戦タイプです。皆さんの身の回りにも、冬を耐えて頑張っている常緑樹と、冬眠しつつ春を待っている落葉樹がいると思います。対極的な両者ですが、どちらも共存しているということが、自然の面白さかなと思います。

本研究は京大の脇に位置する吉田山で行ったものですが、この小さな森に、常緑樹と落葉樹のペアが5つの分類群で見られます。このように1つの山にいろいろな常緑樹と落葉樹が見られるのは、世界的には、とても珍しいことです。日本は欧米に比べ樹木多様性が非常に高く、また国内の大きな気温傾度に沿って樹木が分化していることが、多様な常緑樹と落葉樹を見ることができる理由です。本研究は、そのような日本の自然のユニークさゆえに、為し得たものでもあります。

### <論文タイトルと著者>

タイトル：A cost-benefit analysis of leaf carbon economy with consideration of seasonal changes in leaf traits for sympatric deciduous and evergreen congeners — implications for their coexistence. *New Phytologist* (in press) (共存する落葉樹と常緑樹における葉の季節変化を考慮した炭素経済のコスト・ベネフィット解析—両者の共存に関する示唆)

著者：Ye, Yunhan; Kitayama, Kanehiro; Onoda, Yusuke

掲載誌：New Phytologist DOI：https://doi.org/10.1111/nph.18022

<参考図表>

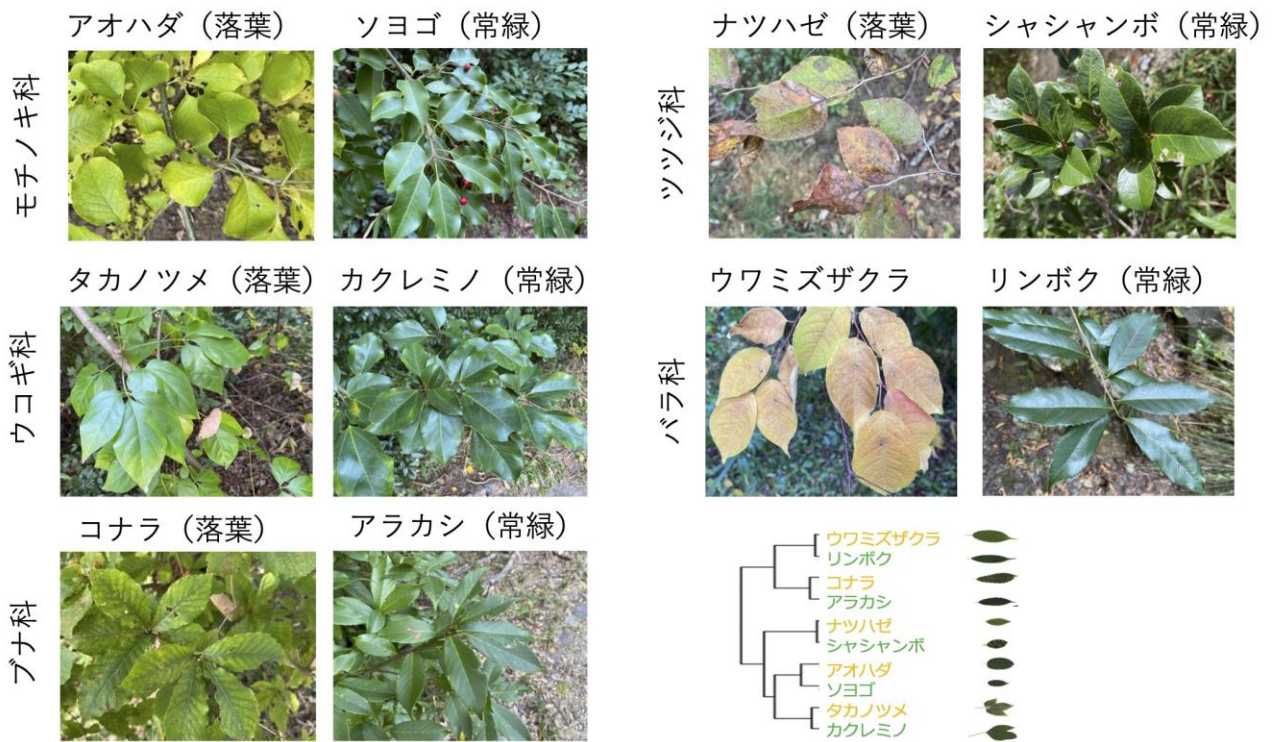
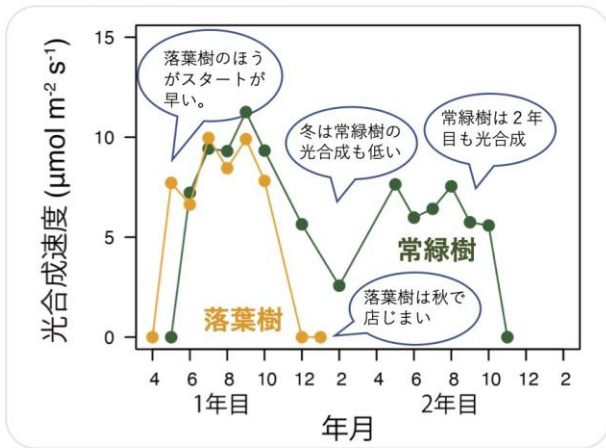


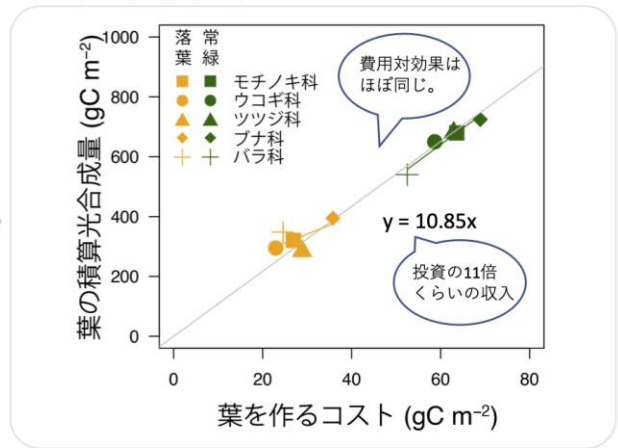
図1 本研究で扱った樹種

京都の吉田山に自生する5つの科に属する落葉樹と常緑樹のペアの写真 (2021年11月16日, 撮影: 小野田雄介)。右下には各種の分子系統樹を載せた (オレンジは落葉樹、緑は常緑樹を意味する)。

### 光合成の季節変化 モチノキ科の例



### 葉の炭素経済



### 図2 葉の炭素経済

落葉樹と常緑樹の光合成の季節変化は異なる。積算の光合成量は常緑樹のほうが落葉樹の約2倍ある(左上)。葉を作るコストは常緑樹のほうが落葉樹よりも約2倍高い(右下)。葉を作るコストと、積算光合成量を比較すると、常緑樹と落葉樹は同程度の比率になる(右上)。

### 葉を作るコスト

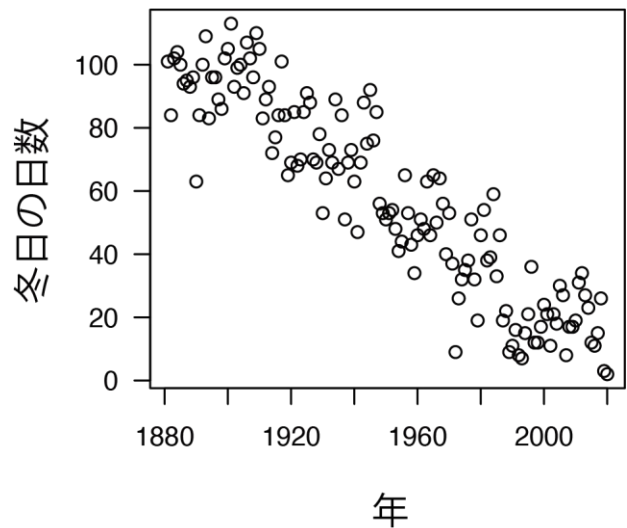
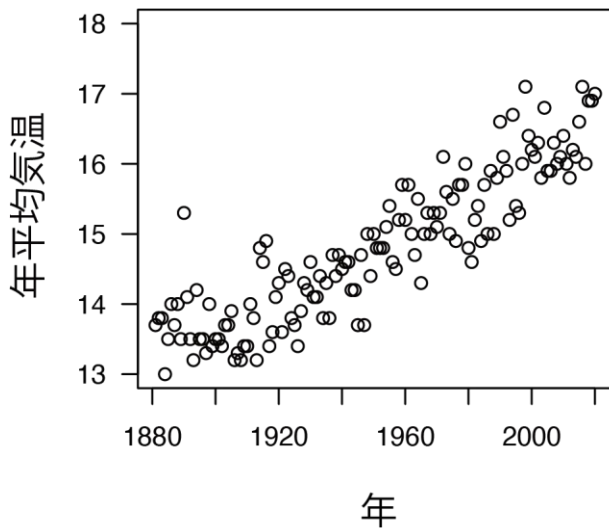
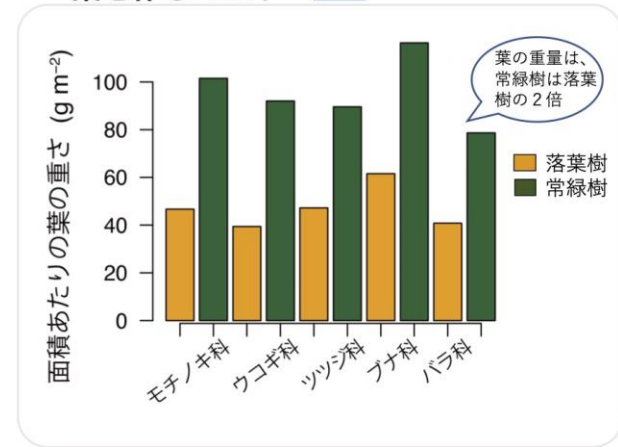


図3 京都地方気象台における年平均気温と冬日の日数の年次変化