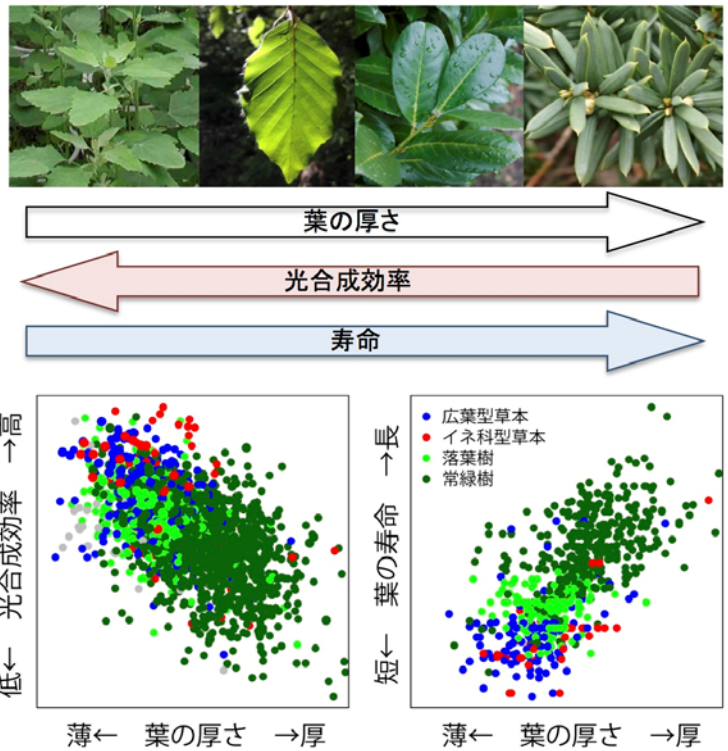


# なぜ光合成効率が低い葉は短命？

## —植物の多様性のルールを紐解く—

### 概要

私たちの身の回りには、道脇の雑草から、冬に葉を落とす落葉樹、通年葉をもつ常緑樹など、多種多様な植物がいます。一般的に、長生きの葉ほど厚く、光合成を行う組織もたくさんもっていますが、光合成速度は高くありません。つまり「長生きの葉ほど光合成の効率<sup>1</sup>が低い」といえます。これは世界共通のルールですが、その原因は謎のままでした。京都大学農学研究科の小野田雄介助教を中心とする国際研究チームは、世界各地で調査された多種多様な植物に関する研究結果を集約・精査し、長い寿命に必要な丈夫な構造や細胞壁が、光合成の効率を低下させるメカニズムを世界で初めて明らかにしました。長寿命の葉は、細胞壁が多いために、より多くの養分が細胞壁に分配され、光合成を行うのに必要な光合成タンパク質への分配割合が低下すること、そして、細胞壁が厚いことにより、葉緑体への二酸化炭素供給の効率が低下し、光合成効率が低下することが分かりました。丈夫な構造と、効率的な光合成システムは、両立できないという結論です。植物の進化の歴史において、光合成の効率をあげるか、長生きするか、という自然選択が働くことにより、短期間で高い光合成を行う短命な植物（草など）と、光合成効率は低い長生きする植物（常緑樹など）に、分化してきたと考えられます。葉の形質多様性の原理を明らかにした本研究は、植物の多様性を理解することに役立ち、また植生の変化予測や、植物育種における基礎的知見として、役立つと考えています。



(図1)写真は、葉の薄い順に、シロザ、ブナ、セイヨウバクチノキ、キャラボク。葉が厚い種ほど、寿命は長いが、光合成効率は低い。下図は世界各地の2000種を超える植物について、葉の厚さと光合成効率や寿命との関係性(Wright et al. 2004と本研究データから作成)。

### 1. 背景

葉は光合成を行い、我々の食生活や、様々な生物の営みを支え、また温暖化防止などにも重要な役割を果たしています。世界には25万種を超える植物が存在し、多様な形をもつ葉が存在します。植物研究者は過去数十年にわたり、植物の葉の光合成や関連の形質について、多くのデータを蓄積してきました。

様々な植物の葉を比較すると、面積あたりの重さ（葉の厚さの指標）は種によって数百倍の違い

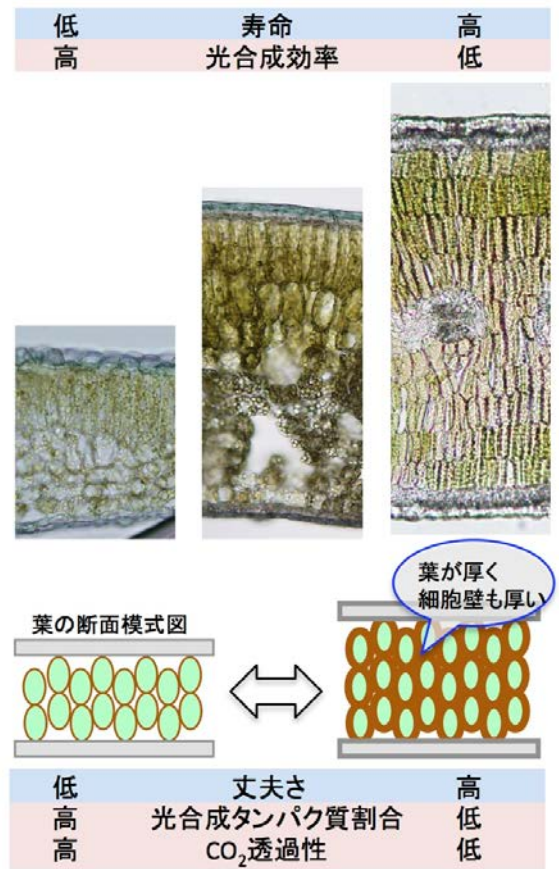
<sup>1</sup> タンパク質量の指標である窒素含量あたりの光合成速度として評価した。光合成速度は、十分な光条件での葉の二酸化炭素吸収速度として測定される。

がみられます。多くの草は、比較的薄く軽い葉をもちますが、落葉樹ではそれより重く、常緑樹ではさらに重く、丈夫な葉をもちます。葉面積あたりのタンパク質量は、厚い葉ほど多くなる傾向がありますが、最大光合成速度は高くありません。つまり厚い葉のほうが、光合成効率が低い傾向があります。一方で、厚い葉ほど丈夫で長い寿命をもちます。つまり、光合成効率と葉の寿命は両立しないのです。このルールは世界共通で見られることが知られています。しかし、なぜ光合成効率と寿命が両立できないのか、その原因は謎でした。

## 2. 研究手法・成果

様々な植物の葉を比較するために、日本、オーストラリア、ドイツ、エストニアの研究者が国際研究チームを組織し、各研究者がもつデータをまとめ、さらに世界各地の研究者が測定した何百種ものデータを集約、解析しました。特に、葉の寿命に必要なと考えられる丈夫な構造や細胞壁が、光合成の効率にどのように影響しているかを明らかにするために、葉の解剖学的構造や栄養の分配情報に関するデータを、網羅的に集約し、のべ1000種を超える新規のデータベースを構築しました。

草や落葉樹などでは、葉の乾燥重量の2-3割が細胞壁ですが、常緑樹では、4割前後を占めます。細胞壁の割合が高い葉は、葉の総タンパク質のうち細胞壁に分配される割合が比較的多く（草で平均数%程度、常緑樹では20%程度）、その一方で、光合成タンパク質への分配割合が少ない（草で60%超、常緑樹では30%前後）ことがわかりました。また細胞壁を多くもつ種は、細胞壁が厚いために二酸化炭素が通過する量が大幅に減少しており、光合成を制限することがわかりました。これら2つの原因により、長寿命の葉は光合成効率が低いことがわかりました（図2）。一方で光合成効率の低下は、光合成組織をより多くもつことによって補償しており、面積あたりの光合成速度はそれほど変わりません。言い換えると、長生きに必要な丈夫な構造は、光合成効率を必然的に低下させ、その効率の低下を補うために、葉は厚くなるとも言えます。



(図2) 寿命が長い葉ほど、光合成組織の量は多いが、光合成の効率は低い。より詳細に調べると、長寿命の葉は組織が多いだけでなく、細胞壁も厚い。細胞壁が厚いと、葉の総タンパク質のうち光合成タンパク質の割合が低下し、葉緑体への二酸化炭素の供給速度が遅くなる。これらの原因により光合成効率は低下する。

光合成効率と寿命を両立できないため、植物は、光合成の効率をあげるか、長生きするかという、選択をしなければなりません。植物の進化の歴史において、自然選択が働くことにより、環境に応じて、短期決戦型か長期持久戦型の種に分化してきたと考えられます。たとえば、河川沿いや道脇などのように定期的に生育環境がリセットされる場所では、短期間で高い光合成を行う草が有利になり、山のように安定した環境では、光合成効率は低いけれども葉の寿命が長い常緑樹などが有利になると考えられます。

### 3. 波及効果、今後の予定

本研究の知見は、植物の多様性を統一的に理解することに役立ちます。また植生の変化を予測する植生動態モデルや、植物育種における基礎的な知見としても役立つと考えています。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究は、日本学術振興会の科学研究費「植物の形質多様性の原理の解明」(26711025、15KK0255) および京都大学のジョン万プログラムの研究資金等を基に実施されました。

#### <論文タイトルと著者>

タイトル: Physiological and structural tradeoffs underlying the leaf economics spectrum.  
著者: Yusuke Onoda (小野田雄介、京都大), Ian J Wright (豪・Macquarie 大), John R Evans (豪・オーストラリア国立大), Kouki Hikosaka (彦坂幸毅、東北大), Kaoru Kitajima (北島薫、京都大), Ülo Niinemets (エストニア大学), Hendrik Poorter (ドイツ・ユーリヒ総合研究機構), Tiina Tosens (エストニア大学), Mark Westoby (豪・Macquarie 大)  
掲載誌: *New Phytologist*