

## 働かない寄生植物が、働き者へと変化！？

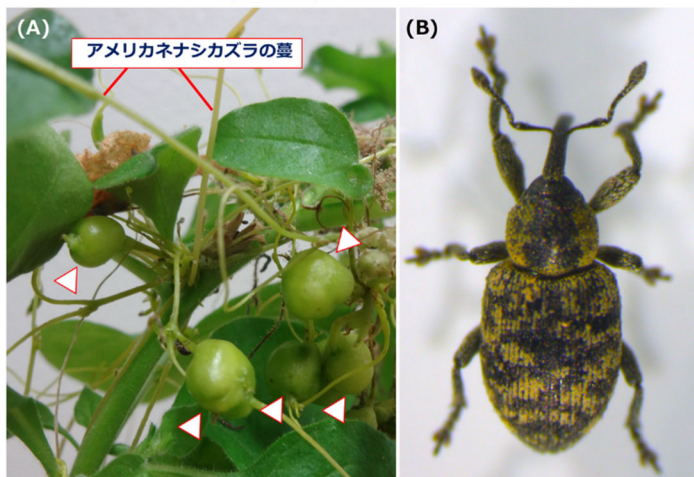
－ 新規モデル昆虫による“虫こぶ”形成で、寄生植物の光合成が活性化 －

### 【ポイント】

- 植物を食べる昆虫の中には、植物組織を異常発達させ、餌場および天敵からのシェルターになる“虫こぶ”を形成するものが存在。
- 実験室で年間を通して研究が可能な「寄生植物 アメリカネナシカズラ」－“虫こぶ形成昆虫 マダラケシツブゾウムシ”の実験系を確立。
- 普段はほとんど光合成をせずに別植物から栄養を奪って生活する寄生植物に、ゾウムシが虫こぶ形成することで、寄生植物の光合成を活性化することを発見。

### 【概要】

国立大学法人富山大学 学術研究部 理学系の研究グループ [土`田 努 准教授 (リーダー)、玉置 大介 助教、唐原 一郎 教授、若杉 達也 教授ら]は、マダラケシツブゾウムシを用いて実験室内で年間を通して「虫こぶ」を形成させる系を確立し、国立大学法人京都工芸繊維大学・半場祐子教授と共同で、本種による虫こぶ形成が完全寄生植物であるアメリカネナシカズラの光合成を活性化することを明らかにした。



(A) 蔓性寄生植物アメリカネナシカズラに形成された虫こぶ (矢尻で示した箇所)

(B) マダラケシツブゾウムシ

アメリカネナシカズラは、寄生した植物から栄養分を奪って成長するため、ほとんど光合成を行わない植物であるが、虫こぶ内では光合成活性が著しく増加して、ゾウムシ幼虫にとって“栄養豊富なシェルター”として機能していることが示された。これにより、虫こぶ形成の生態的役割についての理解が進むとともに、光合成の活性化による植物バイオマスの増産等の技術開発に資することが期待される。

( \_\_\_\_\_ は、用語の説明参照)

## 【研究の背景】

ある種の昆虫により植物に誘導される異常組織である“虫こぶ”は、誘導した昆虫にとっての餌場や天敵からのシェルターとして機能することが知られている。昆虫が植物の組織を自身の都合が良いように造り変えてしまう本現象は、これまでに昆虫学や植物学、生態学、農学、進化学等、生物学の基礎から応用にわたる様々な分野から注目されてきた。しかし、虫こぶが形成される植物の多くは樹木であり、実験室内に持ち込んで操作を行うことが困難なことから、昆虫が植物組織を改変する機構の多くが未解明である。

## 【研究の経緯】

富山大学 土`田共生機能科学研究室では、生物多様性の宝庫である昆虫を中心として、他種生物との間の高度な共生関係の理解や、その成立機構の解明、共生機構を標的とした新規防除資材開発等、様々なプロジェクトを推進している（例えば、2012年5月28日「生存に必須な共生細菌が子孫へ伝達される瞬間を捉えた!-昆虫が共生細菌を次世代へ伝える機構を解明」、2014年9月25日「農業害虫タバココナジラミの新系統をアジアで初検出-各系統の害虫としての危険度と保有共生細菌との関係性も明らかに-」、2018年10月17日「細胞内共生微生物が宿主の体内時計に及ぼす影響を解明」 (<https://www.u-toyama.ac.jp/wp/wp-content/uploads/20181017.pdf>) 富山大学プレス発表)。

今回の研究成果は、虫が植物の形態形成機構をハイジャックして、自身にとってのシェルター兼餌場である「虫こぶ」を形成する機構の解明を目指すプロジェクトから得られたものである。この分野横断的研究を遂行するために、寄生植物を専門とする若杉達也教授、植物細胞生物学を専門とする唐原一郎教授、玉置大介助教（ともに富山大学）、そして光合成などの植物生理生態学を専門とする半場祐子教授（京都工芸繊維大学）との共同研究チームが組織された。本研究の主要部分を実際に担当したのは、富山大学大学院理工学教育部の修士課程学生（村上 涼生、鶴嶋 涼、杉本 凌真の3名）である。本研究成果の一部は、文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) (代表：土`田 努) の支援を受けて行われた。

## 【研究の内容と成果】

研究チームは、虫こぶ形成機構を解明するための様々な利点をもつ、マダラケシツブゾウムシに着目した。マダラケシツブゾウムシは、「植物に寄生する植物」アメリカネナシカズラに、さらに寄生して虫こぶを形成する、という極めて興味深い生態を持っている（[図1](#)）。研究グループは、本種ゾウムシとアメリカネナシカズラを実験室内で年間を通して継代飼育し、安定して虫こぶを形成させるためのシステムを独自に構築した。本システムの構築がブレイクスルーとなり、本種ゾウムシによる虫こぶ形成の詳細が明らかとなった。



図1 “寄生植物”に寄生して虫こぶを形成するマダラケシツブゾウムシ

マダラケシツブゾウムシの雌成虫がアメリカネナシカズラの節に産卵すると、節が肥大化して果実状の虫こぶが形成される。幼虫は、虫こぶ内を住処とし、天敵等から守られながら虫こぶを食べて成長する。

行動解析により、本種ゾウムシはアメリカネナシカズラの節に卵を産み付ける行動をとることが確認された。その後約2週間で、アメリカネナシカズラの節は体積が約39倍にまで肥大化し、球形の果実のような虫こぶが形成された(図2)。この間、節の中で孵化した幼虫も、アメリカネナシカズラの組織を食べて成長した。成長した幼虫が虫こぶに穴を開けて脱出すると、虫こぶの肥大化が止まり、虫こぶは縮小して枯れていった(図2)。このことは、虫こぶの肥大化と維持は、内部に存在する本種ゾウムシに大きく影響されていることを示唆する。

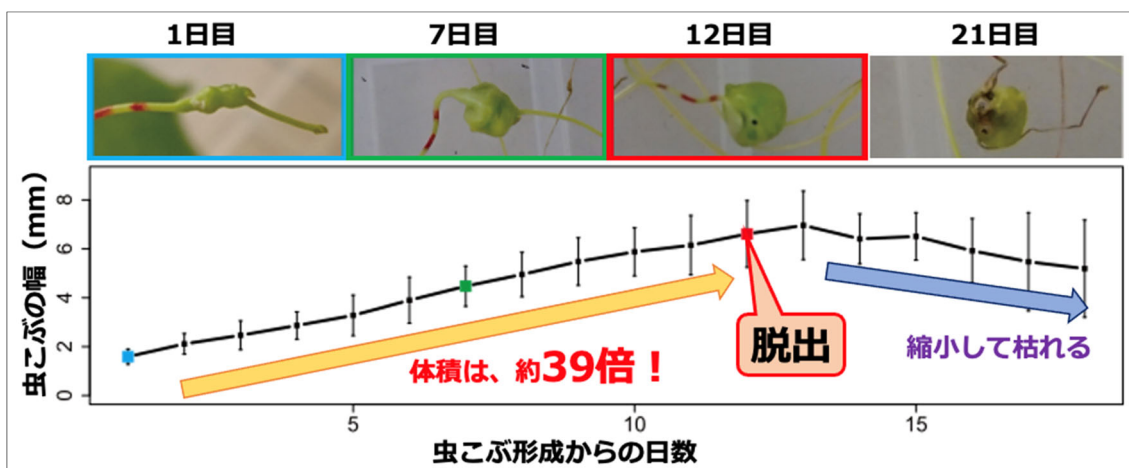


図2 虫こぶ形成後日数と肥大化

通常、アメリカネナシカズラの葉緑体は発達していないため光合成をほとんど行えず、栄養分を寄生した植物に依存している。一方、形成された虫こぶ内には、葉緑体やその色素で光エネルギーの捕獲を行うクロロフィルaおよびbが、大量に蓄積していた (図3)。

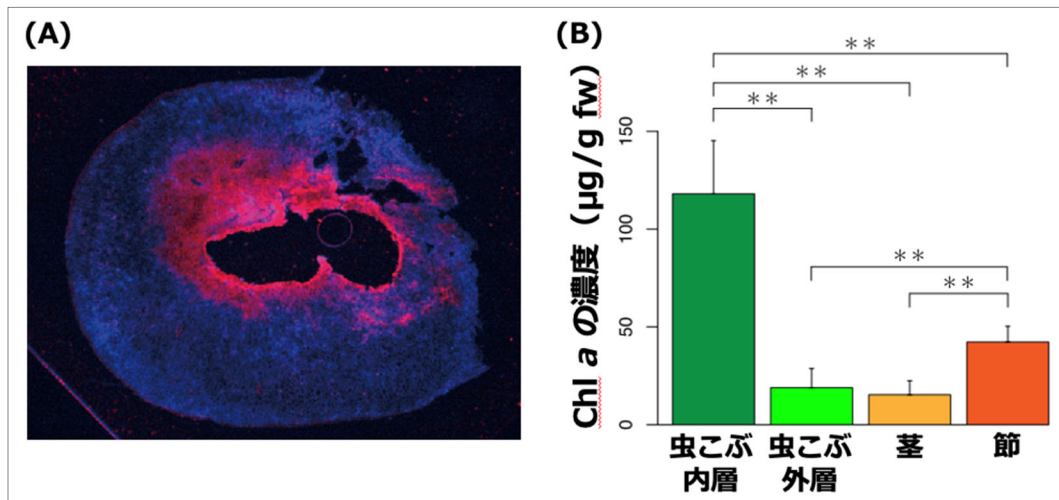


図 3 虫こぶ形成により蓄積する葉緑体とクロロフィル

(A) 虫こぶ内の幼虫の住処 (中央の空洞) の周りに蓄積する葉緑体 (赤色)。(B) クロロフィルa濃度の比較。アスタリスク(\*\*)は、統計的に有意であることを示す。

二酸化炭素の吸収を指標に光合成活性を測定したところ、虫こぶ形成にともなって、面積あたりの比較で5.8倍、長さあたりの比較で42.7倍もの活性の増加が見られた (図4)。さらに虫こぶ内には、光合成産物であるでんぷんが豊富に蓄積していることが示された (図5)。

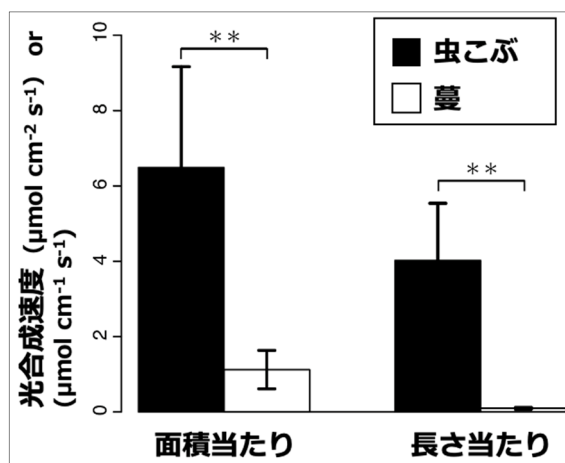


図 4 虫こぶ形成に伴う光合成活性の変化

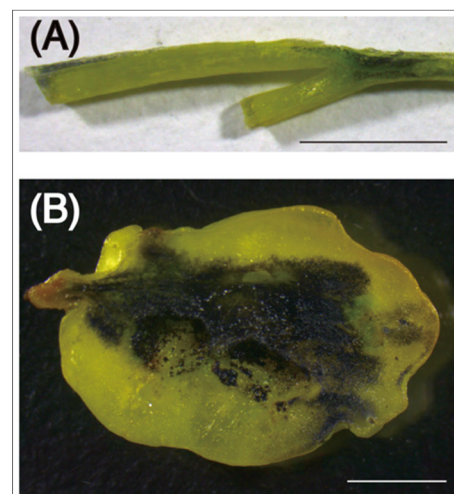


図 5 でんぷんの組織化学的検出

(A) 蔓ではでんぷんはほとんど検出されないが、(B) 虫こぶでは大量のでんぷん (青黒く反応したもの) が、幼虫の住処の周りに蓄積されていた。

これらの結果から、マダラケシツブゾウムシは、アメリカネナシカズラの光合成活性を大幅に上昇させ、栄養豊富なシェルターとして虫こぶを形成し、利用していることが示唆された。

## 【今後の展望】

本研究で確立した、マダラケシツブゾウムシとアメリカネナシカズラによる実験系は、概要ゲノム配列情報や、遺伝子局所的発現、ウイルス誘導ジーンサイレンシング等、様々な分子生物学実験ツールが利用可能である。これらの技術を活用して、虫こぶ形成の基盤となる分子機構の解明に取り組んでいく。

## 【用語解説】

### ・ 虫こぶ

昆虫（あるいは微生物）によって植物に作り出される異常発達した組織。栄養豊富な餌場、兼、天敵からのシェルター等として機能することが知られている。虫から植物へと送り込まれる物質によって、虫こぶ形成が引き起こされると考えられているが、詳細は不明である。虫癭（ちゅうえい）や、ゴール（GALL）とも呼ばれる。

### ・ 寄生植物

一般的な植物は、光のエネルギーを利用して自身の成長に必要な栄養の多くをつくることができる（これを、光合成という）。一方、寄生植物は、自身では栄養をつくり出すことができず、他の植物に寄生し、栄養分を吸収して生長する。アメリカネナシカズラは、寄主となる植物なしでは生きていけず光合成をほとんど行わない、完全寄生植物である。

### ・ 葉緑体

光合成を行う細胞小器官であり、内部に存在するクロロフィルという緑色色素などが光合成に必要な光エネルギーの捕集を行う。クロロフィルをもつ葉緑体を豊富に含んでいる植物は緑色に見える。

## 【発表論文】

題名： A new galling insect model enhances photosynthetic activity in an obligate holoparasitic plant（ゴール形成昆虫の新規モデルは、完全寄生植物の光合成能を活性化させる）

著者名： Ryo Murakami, Ryo Ushima, Ryoma Sugimoto, Daisuke Tamaoki, Ichirou Karahara, Yuko Hanba, Tatsuya Wakasugi, and Tsutomu Tsuchida\*

掲載誌： *Scientific Reports*

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92417-3>