

ウイルスに感染した植物上では アブラムシ産仔数が減少することを自然環境下で発見

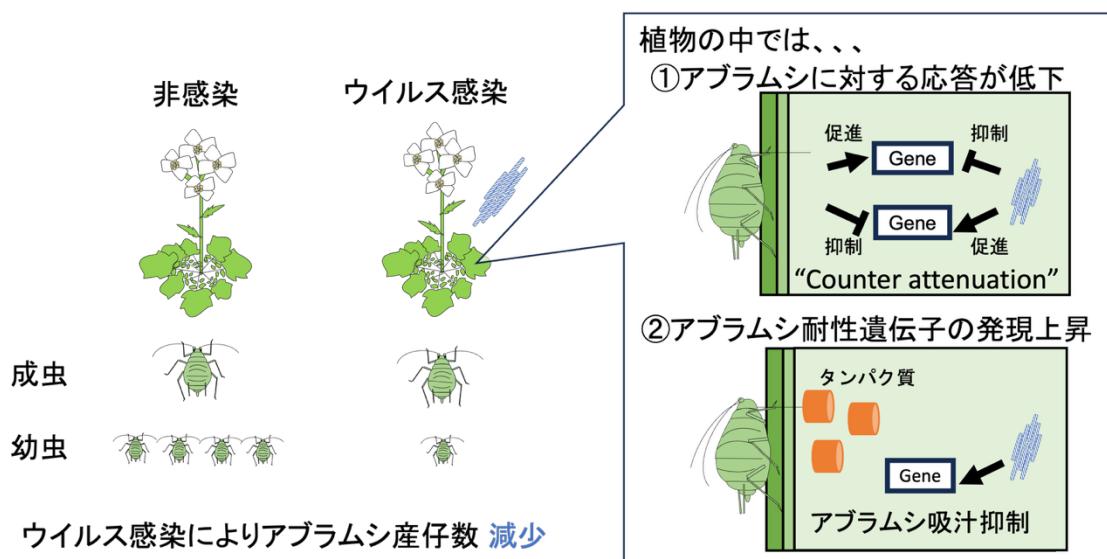
～ウイルスが宿主植物の遺伝子発現を変化させ昆虫被害を軽減～

概要

京都大学生態学研究センターの大坪雅 博士課程大学院生、本庄三恵 准教授、西尾治幾 連携講師（兼:滋賀大学データサイエンス・AIイノベーション研究推進センター講師）、工藤洋 教授からなる研究グループは、カブモザイクウイルスに感染したアブラナ科多年草のハクサンハタザオ上で、アブラムシの産仔数が減少することを発見しました。さらに、網羅的遺伝子発現解析の結果、ウイルス感染はアブラムシの吸汁・繁殖を抑制するように植物の遺伝子発現を変化させることを明らかにしました。アブラムシは植物を吸汁し弱らせるだけでなく、ウイルスを運ぶ媒介者でもあります。そのため、アブラムシ数の減少は植物集団内のウイルス感染の拡大を抑制すると予想されます。これまで、ウイルスは感染植物上のアブラムシの行動を活発にすることで、感染を促進する例が報告されています。しかし、感染を抑制するようにアブラムシの行動が変化するという報告はなく、本研究が初めての報告です。本研究の結果、野生植物集団においてウイルス感染植物上のアブラムシ食害量および急激なウイルスの感染拡大が抑えられることが示唆されました。これにより、ウイルスと感染植物の長期的な関係を支える相互作用の一端が明らかになりました。

本研究成果は、2025年10月14日に国際学術誌「Molecular Ecology」にオンライン掲載されました。

自然環境下における植物－ウイルス－アブラムシの関係



1. 研究背景

植物ウイルスの多くは、植物上でたくさんの仔をつくるアブラムシなどの吸汁昆虫によって運ばれて感染を広げていきます。農業環境下では殺虫剤を使うなど様々な努力を行なって

いるにもかかわらず、ウイルスの感染は広がり、農作物の収量の低下が起きています。一方で野生植物を見てみると、ウイルスの感染率は0~60%の報告が多く、私たちの研究グループが調査を続いているハクサンハタザオ植物集団においても、カブモザイクウイルスの感染率は30%から40%の間を推移し、大きな感染率の増減は見られていません。そこで私たちは、自然環境下ではウイルスが感染を広がりにくくなるメカニズムがあるのではないかと考え、研究を行いました。

2. 研究手法・成果

本研究では、アブラナ科多年草のハクサンハタザオ (*Arabidopsis halleri* subsp. *gemmaifera*) と、本植物の自然生育地で確認されているカブモザイクウイルス (Turnip mosaic virus) およびアブラムシ (主に *Myzus persicae*) を対象に、野外調査・室内実験・網羅的遺伝子発現解析^{*1}の3つの手法を組み合わせて研究を行いました。

野外調査では、調査地でアブラムシが発生する4月から6月にかけて、70株の植物上にいる全てのアブラムシを数える調査を行いました(図1a)。週1回の頻度で合計7回調査を行ったところ、ウイルスに感染している植物上でアブラムシの数が顕著に少ないことが明らかになりました。続いて、感染植物上でア布拉ムシ数が少ない要因を明らかにするために室内実験を行ったところ、感染植物上でア布拉ムシの産仔数が少なくなることが明らかになりました(図1b, c)。一方で、ア布拉ムシが非感染植物を好んだり、感染植物を忌避したりする行動は観察されませんでした。これは、ア布拉ムシによってウイルスが運ばれる頻度が低くなることを示唆しています。

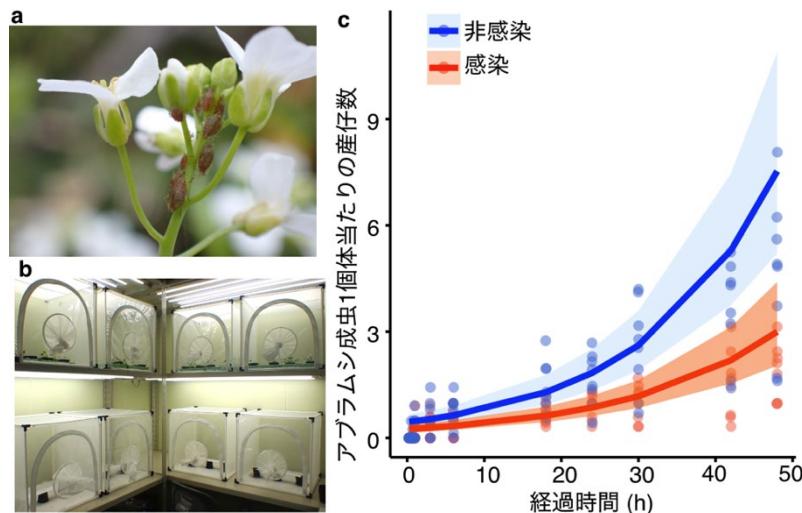


図1. 野外調査及び室内実験の様子と結果
(a) 調査地で観察されたハクサンハタザオ上のアブラムシ。(b) 室内実験の様子。(c) 室内実験の結果。アブラムシ成虫1匹あたりの産子数はウイルスに感染した植物上で少ない。

さらに、ハクサンハタザオの網羅的遺伝子発現解析を行い、植物がウイルスやアブラムシに対してどのように遺伝子発現を変化させているのかを明らかにしました。発現変動遺伝子の半分以上は、ウイルスとアブラムシのそれぞれに対して発現レベルを逆方向に変化させ、

両方存在する時は何も存在していない時と同程度の遺伝子発現を示していました（図2a）。

このような、ウイルスとアブラムシそれぞれに対する拮抗的な植物応答が、両者存在下で遺伝子発現幅を減衰させる現象を“カウンター減衰（Counter attenuation）”と名づけ報告しました。これは、「ウイルスが感染することでアブラムシへの防御遺伝子の多くは発現上昇するのではないか」という、私たちの当初の予想と反する結果でした。アブラムシは植物の遺伝子発現を吸汁しやすくするように変化させますが、ウイルス感染によりそのような遺伝子発現変化が減衰することによって、アブラムシ数が抑えられる可能性が見えてきました。また、本研究では網羅的遺伝子発現解析の結果から、ウイルス感染によるアブラムシ産仔数減少に関わる可能性の高い遺伝子8つを報告しました。そのうち、*PHLOEM PROTEIN2-B1*²と呼ばれる遺伝子はウイルスに感染すると遺伝子発現が上昇すること（図2b）、その遺伝子が壊れた植物シロイヌナズナ³の上ではアブラムシの数が増加することが明らかになりました。

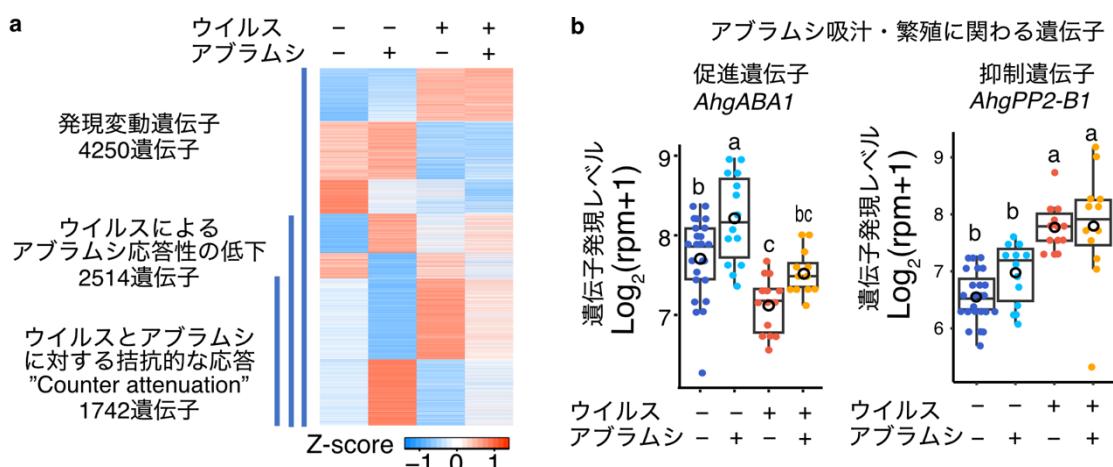


図2 遺伝子発現解析の概要

(a) k-meansクラスタリングの結果を元に描いたヒートマップ。1本の線が1つの遺伝子を示す。左から植物に両方存在しない、アブラムシ、ウイルス、両方存在のときの植物の遺伝子発現を示す。赤が発現量が高く、青が発現量が低いことを示す。(b) アブラムシ吸汁・繁殖に関わる遺伝子の遺伝子発現レベルの例。条件間で有意な差がある場合、箱ひげ図の上に異なる文字を付した。

3. 波及効果、今後の予定

本研究は、ウイルス感染による植物の変化がアブラムシの産仔数を抑制し、新規ウイルス感染を抑制する可能性が高いことを示すことができました。今回の研究がこれまでの研究と大きく異なる点として、自然環境下にあり、複数年にわたって生きることができる植物と、その植物集団に10年以上感染しているウイルス系統を研究対象にしたことが挙げられます。本研究から、ウイルスの感染を抑制するメカニズムをもつことが自然生態系における急速なウイルス感染拡大を防ぎ宿主植物集団が維持され続けるために重要であることが示唆されます。

今後は自然環境下のどのような要因がこの植物—ウイルス—アブラムシの関係を生み出すのに重要なかを探っていきます。具体的には植物の種類や寿命の違い、感染しているウイルス

の系統の違い、農薬散布などの人為的な影響の有無などに着目し研究を進めていきます。自然環境下で“植物”と“ウイルスや昆虫のような植物を利用する生物”が安定して持続している理由とそれに関わる遺伝子について明らかにすることで、自然生態系の保全や農業・育種への応用も期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

この研究は日本学術振興会（JP21H04977, JP24K09617, JP23KJ122, JP24K18187）、科学技術振興機構（JPMJSP2110）、京都大学男女共同参画推進事業女子学生チャレンジプロジェクトの支援を受けて実施されました。

<用語解説>

*¹網羅的遺伝子発現解析

生物は持っているたくさんの遺伝子から、周りの環境、自分の状態に合わせて必要な遺伝子を働きかせ（発現させ）、その情報をもとにタンパク質を作ることで体の状態を調節しながら生きています。全遺伝子の発現量を同時に解析する手法が網羅的遺伝子発現解析であり、RNA シーケンシング（RNA-seq）解析ともよばれます。今回はこの手法を用いてハクサンハタザオの 32,553 遺伝子について発現量を解析しました。

*²PHLOEM PROTEIN2-B1

筛管に多く存在するタンパク質を作り出すことから名前がつけられた遺伝子の一つです。筛管に空いた穴を急速に塞ぐ役割を持つと考えられています。シロイヌナズナの *PHLOEM PROTEIN2-A1* が壊れるとアブラムシの数が増えることがこれまでの研究で示されています。

*³シロイヌナズナ

植物研究によく利用されているハクサンハタザオに近縁な植物です。遺伝子が壊れてしまった植物（遺伝子変異体）が研究用に配布されており、遺伝子の機能を調べるのに有用な植物です。

<研究者のコメント>

植物を育てていると、たくさんお世話をしていても、病気やアブラムシの大量発生に落ち込んでしまうことがあります。一方で自然環境下の植物は元気に生きていてとても不思議に思っていました。この研究で自然環境下では植物を介してウイルスや昆虫が関わり合って、共存できるようにバランスをとりながら生きている様子が見えてきました。これからも研究を続けて、自然環境下の不思議について明らかにしていきたいです。（大坪）

自然生態系では、必ずしも植物に重篤な被害を与えずウイルスが感染していることが分かってきています。ウイルス感染が、アブラムシの数を抑えるように植物の性質を変化させて

いるという今回の発見は、自然界で三者が安定的に共存しているメカニズムの一端を明らかにできたと思っています。今後、農業生態系と異なる自然生態系での植物とウイルスの関係について、明らかにしていきたいです。(本庄)

<論文タイトルと著者>

タイトル：Turnip Mosaic Virus Infection in a Perennial *Arabidopsis* Reduces Aphid Fecundity in the Natural Environment (自然環境下において多年草 *Arabidopsis*へのカブモザイクウイルスの感染はアブラムシ繁殖を抑制する)

著者：Miyabi Otsubo^{1*}, Haruki Nishio^{1,2}, Hiroshi Kudoh¹, Mie N. Honjo^{1*}

¹Center for Ecological Research, Kyoto University. ²Data Science and AI Innovation Research Promotion Center, Shiga University.

(大坪雅^{1*}、西尾治幾^{1,2}、工藤洋¹、本庄三恵^{1*}.¹京都大学 生態学研究センター, ²滋賀大学データサイエンス・AI イノベーション研究推進センター)

* は本論文の責任著者です。

掲載誌：Molecular Ecology DOI: 10.1111/mec.70140