



2021年4月21日

報道関係者各位

慶應義塾大学先端生命科学研究所
東京農工大学
流通経済大学
法政大学

ハダニの糸の遺伝子を同定

～クモ牽引糸と大きく異なる性質をもつハダニ糸の遺伝子を解明、害虫ハダニの糸が人類に新しい産業応用分野を拓く可能性を与えてくれる～

1. 研究概要

慶應義塾大学先端生命科学研究所の荒川和晴准教授、森大特任助教、河野暢明特任講師、東京農工大学大学院農学研究院の鈴木丈詞准教授、流通経済大学経済学部の後藤哲雄教授および法政大学自然科学センター/国際文化学部の島野智之教授の研究グループは、植物に寄生するハダニの糸を構成するシルクタンパク質（フィブロイン（※1））の遺伝子を同定しました。ハダニは農業害虫の代表格である一方、カイコやクモの糸よりも細いナノスケールかつ硬い糸を出す生物としても知られています。2011年に *Nature* 誌でハダニのゲノム論文が発表され、その全塩基配列から複数のフィブロイン様遺伝子が予測されていましたが、タンパク質レベルでの解析は進められていませんでした。本研究グループは、ゲノムが読まれた種と近縁2種（カンザワハダニおよびミカンハダニ）を材料とし、トランスクリプトーム（※2）の配列決定と糸のプロテオミクス（※3）を組合せた比較ゲノミクスおよびマルチオミクス解析により、ダニ糸を構成する2つのフィブロイン遺伝子を同定しました。驚くことに、これら遺伝子は、これまで予測されていたいずれのものとも異なりました。また、これらのアミノ酸組成とタンパク質の二次構造には同じく硬いクモの装飾糸や繭糸と類似する部分があり、これはダニ糸の機械特性を一部反映している可能性があります。本研究でダニ糸のフィブロイン遺伝子が同定され、その全長配列が入手可能になったことにより、節足動物が紡ぐ糸の進化生物学的研究への展開だけでなく、それを標的とした新規農薬の開発や、ダニ糸の大量生産による産業応用への展開も期待できます。

本研究成果は、2021年3月17日に *Journal of Proteomics* 誌への掲載が決定し、3月20日にオンライン公開されました。

論文名：Proteomic evidence for the silk fibroin genes of spider mites (Order Trombidiformes: Family Tetranychidae)

DOI: 10.1016/j.jprot.2021.104195

URL: <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2021.104195>

2. 研究背景

ギリシャ神話に登場する優れた織手のアラクネ (Arachne) は、機織りの女神でもあるアテネに織物で対抗した不遜を咎められ、糸を紡ぐクモに転生させられました。このアラクネが、クモ目 (Araneae) を含むグループの学名である Arachnida (クモガタ綱) の由来です。クモガタ綱は節足動物の中で昆

虫綱に次ぐ大きなグループであり、クモの他にダニやサソリなどが属します。ダニ類 (Acari) はクモガタ綱の中で最大のグループであり、汎ゲダニ目 (Trombidiformes) に所属し、植物に寄生するハダニ科 (Tetranychidae) の多くは、クモのように糸を紡ぐ習性から、英語では spider mite と呼称されています。

ハダニは体長 0.3~0.8mm ほどで肉眼では見つけにくく、さまざまな植物の葉に生息し、赤い色をしているものが多い身近な生き物です。ハダニの糸は、6 対の付属肢の 2 番目である触肢の先端に位置する出糸突起から出されます。ハダニの出糸腺は、前体部に位置する一対の巨大な単細胞腺であり、触肢の中を通過して出糸突起の先端で開口しています。ハダニの糸は、出糸腺から押し出されたり、脚で引っ張り出されたりするのではなく、出糸突起の先端の開口部から分泌される粘着性の液状シルクを一定の間隔で葉などの基質に付着させながら歩行することにより紡ぎ出されます。つまり、歩きながら常に糸を紡いでいます。

ハダニの糸には、宿主植物から落下しても容易に戻れるようにするための命綱としての機能があります。また、風に乗って分散するバルーン行動での帆としての機能もあります。さらに、糸で立体的に形成される網には、捕食者などから身を守る他、その接着性を利用した排泄物などの清掃機能もあります。雌のハダニの絹糸には、雄に対する性的誘引機能もあります。このような多機能のダニ糸は、これまで主に生態学的な研究対象として注目されてきました。

他方、ダニ糸の物性解析が近年進められています。それによるとダニ糸は直径約 40~60 nm の極めて細いナノスケールのシルク繊維 (クモやカイコの糸の約 1/100) である一方、そのヤング率 (物質の硬さの指標) は約 20~25 GPa で、これはクモ牽引糸のほぼ 2 倍です。これらの機械特性により、新規のバイオポリマーとして産業応用が期待されています。また、昆虫やクモとは独立した紡糸能力の獲得は、進化生物学的観点からも興味深く、基礎的な研究対象としても注目されています。

2011 年の *Nature* 誌で発表されたナミハダニのゲノム論文 (Grbic et al. 2011) では、17 のシルクタンパク質 (フィブロイン) 様遺伝子が計算機上で予測され、他の節足動物のフィブロインとは配列類似性は低いものの、フィブロインに特徴的な反復モチーフを含んでいる遺伝子も含まれていました。しかし、これら予測された遺伝子については、機能解析やタンパク質レベルでの証拠が提供されてこなかったため、ダニのフィブロイン遺伝子は未同定の状態でした。

3. 研究成果

本研究では、既にゲノムデータのあるナミハダニと同属のカンザワハダニ、別属のミカンハダニの合計 3 種を材料として用いました。これら 2 属のハダニでトランスクリプトームの配列を決定し、さらに、採集した糸のプロテオミクスを組合せた比較ゲノミクスおよびマルチオミクス解析により、ダニ糸を構成する 2 つのフィブロイン遺伝子 (Fibroin-1 および Fibroin-2) を同定しました。驚くことに、これら遺伝子は、これまで計算機で予測されていた 17 の候補遺伝子のいずれのものとも異なりました。Fibroin-1 および Fibroin-2 は、それぞれ 1799 および 526 アミノ酸残基で構成されるタンパク質で、カイコのシルクのフィブロインとセリシンのように複合体を形成している可能性があります。Fibroin-1 の二次構造は、ランダムコイル、 α ヘリックスおよび β ストランドのモチーフが交互に並ぶ繰り返しパターンを示し、これがダニ糸の優れた硬性を生み出している可能性があります。また、アミノ酸組成では、グリシンやアラニンが多いカイコのフィブロインとは異なり、ダニ糸のフィブロインにはセリン、アスパラギンおよびバリンが多く、これは一般的に注目される強靱 (強くしてしなやか) なクモ牽引糸ではなく、硬性に特化したクモ装飾糸・繭糸に類似しているため、ダニ糸特有の機械特性を一部反映している可能性があります。

本研究でダニ糸のフィブロイン遺伝子が同定され、その全長配列が入手可能になったことにより、節足動物で昆虫やクモ、そしてダニが紡ぐ糸の進化生物学的研究の加速が期待できます。また、ハダニは重要な農業害虫のグループの一つであるため、多機能をもつ糸のフィブロイン遺伝子を標的とした新規農薬の開発も期待できます。さらに、クモ牽引糸と性質が異なる、硬くて極めて繊細なハダニの糸の大量生産による産業応用への展開も期待できます。

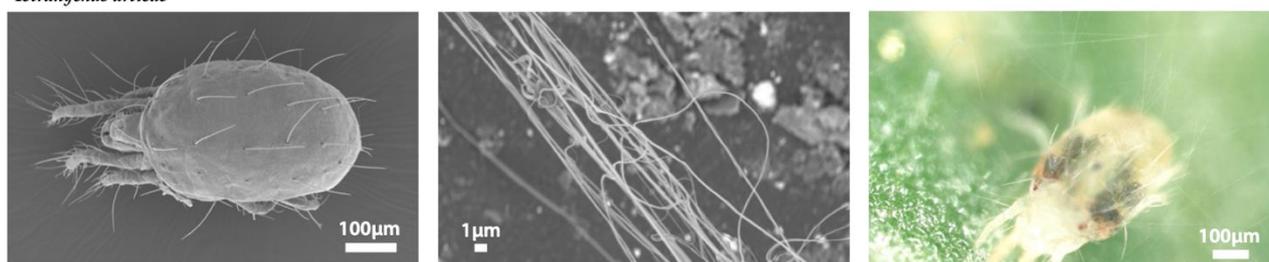
4. 研究体制

本研究は、慶應義塾大学先端生命科学研究所の荒川和晴准教授、森大特任助教、河野暢明特任講師、東京農工大学大学院農学研究院の鈴木丈詞准教授、流通経済大学経済学部の後藤哲雄教授および法政大学自然科学センター/国際文化学部 of 島野智之教授から構成される研究グループによって実施されました。なお本研究は、山形県及び鶴岡市、旭硝子財団および日本学術振興会科学研究費補助金（18H02203、17H03775、18K06392）の助成を受けて実施されました。

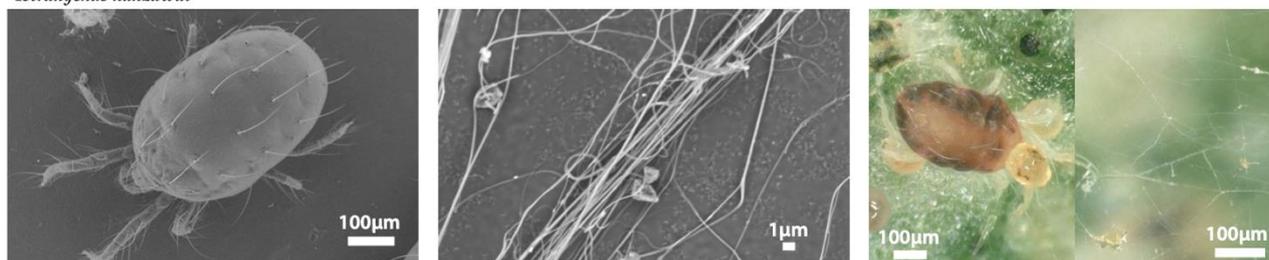
用語解説

- ※1 フィブロイン：シルク糸を構成する主要なタンパク質
- ※2 トランスクリプトーム：発現している遺伝子の配列及び量を網羅的に解析する手法
- ※3 プロテオミクス：発現しているタンパクの種類と量を網羅的に解析する手法

Tetranychus urticae



Tetranychus kanzawai



Panonychus citri

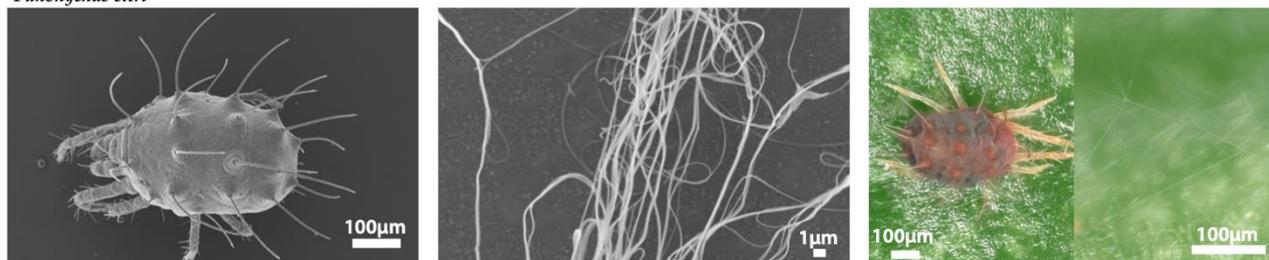


図1: 上から、ナミハダニ、カンザワハダニ、ミカンハダニの、左から、電子顕微鏡像、糸の電子顕微鏡像、糸とハダニの実体顕微鏡像。ハダニは1mm未満の小さな生物で、さまざまな植物の葉に生息している。直径数十nmの極めて繊細な糸を紡ぐ。

E-mail : koho2[at]cc.tuat.ac.jp

流通経済大学 学長室 篠原・橋本

Tel: 047-340-0002

E-mail : gakuchoshitsu[at]rku.ac.jp

法政大学 総長室広報課 田村

Tel: 03-3264-9240

E-mail : koho[at]hosei.ac.jp

※ご取材の際には、事前に上記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部、山形県政記者クラブ、鶴岡市記者会、府中市政記者クラブ等に送信させていただいております。

※上記の[at]は@に置き換えてください。