

2024年8月1日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
公立大学法人大阪 大阪公立大学
国立大学法人東北大学

半倍数体ハダニ近縁2種の山岳地域での二次的接触帯の存在と交雑状況を解明

標高による棲み分けが見られ、半倍数体生物であるハダニ近縁2種を対象に、二次的接触帯の存在や、そこでの交雑、遺伝子浸透状況を調べました。その結果、静岡県から九州にかけての山岳地帯で広範な二次的接触帯の存在が示唆され、遺伝子浸透は極めて低いながらも、2種間の交雑が検出されました。

地球上の生物多様性は、種分化の繰り返しにより生み出されており、種分化機構の解明は重要な研究課題の一つです。特に、生殖的隔離が不完全な近縁種間で、それぞれがある程度分化した後に分布が拡大して、二次的に接触帯が形成されている場合、そこでの交雑や遺伝子浸透状況は重要な情報です。しかし、これまで種分化研究は二倍体生物を中心に進められており、遺伝システムが異なる半倍数体生物については、あまり調べられてきませんでした。

本研究では、半倍数体であり、標高による棲み分けが見られるススキスゴモリハダニ種群2種を対象に、静岡県天城山にて形成される二次的接触帯の存在、およびそこでの交雑や遺伝子浸透状況を、雄の形態やMIG-seq法による一塩基多型を用いたゲノム解析、野外の性比状況、室内での交配実験によって調べました。その結果、山の中腹でこれら2種の分布が広範囲に重なっており、先行研究とも併せると、静岡県から九州にかけての山岳地域で、2種の二次的接触帯が広く存在することが示唆されました。室内での交配実験ではわずかながら雑種が形成されたものの、野外では明らかな雑種は見つかりませんでした。しかし、性比状況からは二次的接触帯での種間交尾が推察され、遺伝子浸透は極めて低いながらも、実際に検出されました。また、交雑の影響は不明ですが、奇形の雄が見つかりました。

ハダニ類において、近縁種の二次的接触帯における交雑と遺伝子浸透状況が明らかになったのは本研究が初めてです。半倍数体ハダニにおける種分化について、さらなる解明が期待されます。

研究代表者

筑波大学生命環境系

佐藤 幸恵 助教

大阪公立大学附属植物園

廣田 峻 特任助教

東北大学大学院農学研究科

陶山 佳久 教授

研究の背景

地球上の多様な生物は、種分化が繰り返された結果、生み出されてきており、今日ある生物多様性を理解する上で、種分化機構の解明は重要な研究課題の一つです。種分化のプロセスとして最も多いと考えられているのが、山や川といった地理的障壁により集団が隔離された結果、異なる進化経路をたどり、生殖的隔離が発達して異なる種に分化したとする異所的種分化です。しかし、近縁種間では、しばしば地理的分布に重なりがみられます。これは、隔離された集団がある程度分化した後に、地理的障壁が消失し、分布拡大して再び接触（二次的接触）した結果と考えられています。これら近縁種間での生殖的隔離^{注1)}が不完全な場合、この二次的接触帯では交雑がおりうるため、種の分化や維持の様子を観察できる貴重な場所となります。そのため、二次的接触帯は、「進化の窓」や「自然の実験室」と呼ばれ、進化生物学において注目されてきました。こういった種分化研究は、これまでショウジョウバエなどの二倍体生物^{注2)}を中心に進められてきましたが、二倍体生物で得られた知見の一般性や解釈の妥当性を確認するためには、遺伝システムや生態の異なるさまざまな分類群を対象とする必要があります。一方、節足動物の約15%を占める半倍数体生物^{注3)}は、遺伝システムが異なるだけでなく、生殖的隔離のメカニズムによっては、半倍数体の方が検証しやすいこともあり、今後の種分化研究の進展に貢献すると考えられています。半倍数体生物の中でも、ハダニ類は多様な生態が見られる上、飼育が容易であり、世代期間も短く観察しやすいため、種分化研究のモデル生物として期待されています。しかし、二次的接触については、あまり調べられてきませんでした。

そこで本研究では、寒冷地と温暖地にそれぞれ適応し、標高による棲み分けが見られるハダニ類であるススキゴモリハダニ二種群2種を対象に、静岡県天城山の中腹で形成される二次的接触帯について調べました。

研究内容と成果

ススキゴモリハダニ二種群はススキに寄生し、集団営巣する体長1mm未満の植食性節足動物です。本種群は雌をめぐる雄同士の争いが殺し合いにまで発展し、ハーレムを形成しますが、この雄同士の攻撃性の違いにより5種2型に分けられます。中でも、攻撃性の弱いトモスゴモリハダニと強いススキゴモリハダニHG型は、それぞれ寒冷地と温暖地に適応しているため、静岡県から九州にかけての山岳地域では、標高による棲み分けが見られます（参考図）。また、これら2種は、最終氷期に亜熱帯地域（日本以南）に分布していた共通の祖先から分岐し、日本列島に分布を拡大して現在のような標高による棲み分け関係を持つようになったと推定されています。そこで本研究では、2種の標高による棲み分けが見られる静岡県天城山において、標高約50m毎にハダニを採集し、雄の形態や Multiplexed ISSR genotyping by sequencing (MIG-seq) 法による一塩基多型^{注4)}を用いたゲノム解析、野外の性比状況、室内での交配実験により、山の中腹で形成されるこれら2種の二次的接触帯の存在について調べました。

その結果、形態での種同定により、標高150-430mの広範囲で2種の分布が重なっていることが分かりました。静岡県天城山はススキゴモリハダニHG型の北限に近く、また、先行研究(Sato *et al.*, 2015)で、トモスゴモリハダニの南限に近い雲仙普賢岳においても、山の中腹にて2種の分布の広範囲な重なりが報告されていることから、静岡県から九州にかけての山岳地域では、2種の二次的接触帯が広く存在することが示唆されました（参考図）。一方、交配実験では、2種間ではわずかながらも雑種形成されることが確認されたものの、MIG-seq法による一塩基多型を用いたゲノム解析では、野外から明らかな雑種は見つかりませんでした。しかし、低いながらも2種間での遺伝子浸透^{注5)}が確認されました。本種群では、種間で交尾が起ると、強い交尾後接合前隔離^{注6)}のために未受精卵（雄）が過剰生産されることが

知られており、野外の性比状況からも、二次的接触帯では種間交尾が起きていることが推察されました。また、交雑の影響は不明であるものの、二次的接触帯から奇形の雄が見つかりました。

今後の展開

ハダニ類は進化生物学のモデル生物として注目されてきましたが、近縁種の二次的接触帯における交雑と遺伝子浸透状況が明らかになったのは本研究が初めてです。今回の研究では、ススキスゴモリハダニ種群 2 種について、二次的接触帯における雑種形成や遺伝子浸透は抑制されていました。しかし、他の山での二次的接触帯でも同様なのか、確認する必要があります。また今後、高い遺伝子浸透が見られた場合、理論研究で提唱されているような、核 DNA よりもミトコンドリア DNA 方が浸透しやすいといった半倍数体生物ならではの傾向が見られるのか等、ハダニ類のモデル生物としての利便性を生かして、半倍数体生物における種分化についてさらなる解明を目指します。

参考図

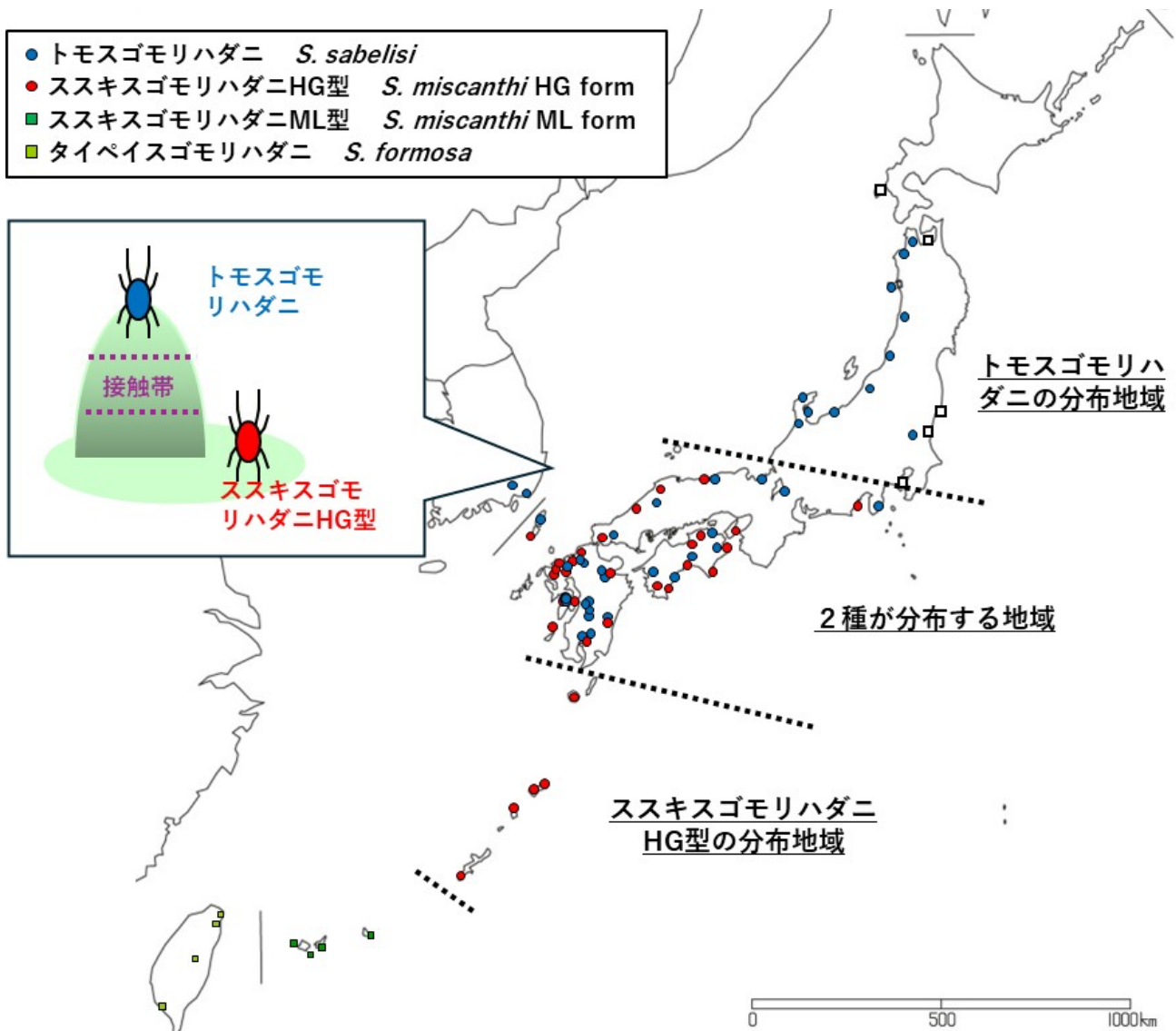


図 ススキスゴモリハダニ種群 (*Stigmaeopsis miscanthi* species group) の日本近隣における地理的分布関係と本研究で明らかになった2種の棲み分け状況

用語解説

注1) 生殖的隔離 (reproductive isolation)

異なる種や個体群が互いに交配して正常な子孫を残すことができないこと。種分化の重要なメカニズムであり、これにより、集団間の遺伝子の流れが抑制され、集団はそれぞれ独自の遺伝的特性を保持することができる。

注2) 二倍体生物 (diploid)

雌雄とも2セットのゲノムを持つ生物。ヒトやモデル生物で有名なショウジョウバエを含む多くの動物が二倍体生物である。染色体には常染色体と性染色体があり、主に性染色体の組み合わせにより性が決定される。

注3) 半倍数体生物 (haplo-diploid)

受精卵から生じる二倍体の個体は雌になり、未受精卵から生じる1セットのゲノムを持つ一倍体の個体は雄になる性決定システム、または遺伝システムを持つ生物。ハチ類やアリ類、アザミウマ類、ハダニ類、甲虫類の一部などに見られる。

注4) 一塩基多型 (Single Nucleotide Polymorphism, SNP)

DNA配列の中で1つの塩基が他の塩基に置き換わることで生じる変異のこと。遺伝的多様性の評価や集団の進化や系統関係を解明するための遺伝マーカーとして使われている。

注5) 遺伝子浸透 (genetic introgression)

異なる種や個体群間での交雑によって、一方の遺伝子が他方の遺伝子に伝播すること。

注6) 交尾後接合前隔離 (post mating, prezygotic isolation)

交尾が行われてから卵と精子の接合に至るまでの間に働く生殖的隔離。雌雄の生殖構造が合わないといった機械的隔離や、雄から精子を受け取っても受精に失敗するといった配偶子隔離等が含まれる。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト(20K06810、24H00055)の一環として実施されました。また、公益財団法人中辻創智社、筑波大学山岳科学センター機能強化プロジェクト(個別調査研究)、筑波大学生命環境系鈴木隆久記念研究支援基金の支援を受けました。

掲載論文

【題名】 Secondary contact zone and genetic introgression in closely related haplodiploid social spider mites.

(近縁の半倍数体ハダニにおける二次的接触帯と遺伝子浸透)

【著者名】 湖中 翔大(筑波大学生物学学位プログラム)・廣田 峻(大阪公立大学附属植物園)・佐藤 幸恵(筑波大学生命環境系/山岳科学センター)・松本 尚樹(筑波大学生物学学位プログラム)・陶山 佳久(東北大学大学院農学研究科)・津村 義彦(筑波大学生命環境系/山岳科学センター)

【掲載誌】 *Heredity*

【掲載日】 2024年8月2日

【DOI】 10.1038/s41437-024-00708-y

問合わせ先

【研究に関すること】

佐藤 幸恵 (さとう ゆきえ)

筑波大学 生命環境系／山岳科学センター 助教

URL: <https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000003604>

【取材・報道に関すること】

筑波大学 広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

大阪公立大学 広報課

TEL: 06-6605-3411

E-mail: koho-list@ml.omu.ac.jp

東北大学大学院農学研究科

附属複合生態フィールド教育研究センター 総務係

TEL: 0229-84-7312

Email: far-syom@grp.tohoku.ac.jp