



Reproductive character displacement in genital morphology and its underlying evolutionary processes

西村, 太良

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2023-03-25

(Date of Publication)

2025-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8545号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100482293>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

論文内容の要約

**Reproductive character displacement in genital morphology
and its underlying evolutionary processes**

(交尾器形態の生殖的形質置換とその進化過程)

2023 年 1 月

神戸大学大学院人間発達環境学研究科

氏名 NISHIMURA Taira 西村 太良

論文内容の要約

氏名 西村 太良
専攻 人間環境学専攻
指導教員氏名 高見 泰興

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

Reproductive character displacement in genital morphology
and its underlying evolutionary processes
(交尾器形態の生殖的形質置換とその進化過程)

論文要約

種分化は生物多様性を生み出す根源的過程であり、種分化をもたらす生殖隔離の進化についての研究は生物多様性の起源を理解するために重要である。種分化のプロセスは、種間・集団間の遺伝子の交換が完全に妨げられた時に完了するため、生殖隔離はただ生じるだけでなく十分な強さまで進化する必要がある。このことから、種分化の研究では、どのようなメカニズムで生殖隔離が世代を経て十分な強さまで進化するか、強化されていくかに焦点が当てられている。これは生殖隔離の強化(reinforcement)として知られている。強化のプロセスは二つの段階に分けることができる。まず祖先集団が異所的に分化し、集団間の遺伝子交換に対する内的/外的な生殖的隔離障壁を蓄積する。その後、分化した集団が二次的に接触した際に、それまでに蓄積されてきた生殖隔離に応じて、不適応な生態的、行動的種間相互作用に対する直接的な淘汰(接合前生殖隔離と関連)や、遺伝的に不適応な雑種形成に対する間接的な淘汰(接合後生殖隔離と関連)が集団間にさらなる形質分化をもたらし、生殖隔離の強化が促進される。このような強化は、二次的接触時に接合前生殖隔離が十分に強くない状態から、既存の接合後生殖隔離に関連した淘汰(強化淘汰)によって接合前隔離が増加するものと定義されている。しかし、強化が種分化へもたらす寄与については、いまだ十分に明らかにされていない。強化のプロセスが生じていることを示す形質分化のパターンとして、生殖的形質置換がある。生殖的形質置換とは、異種的な種間・集団間よりも同所的な種間・集団間で交配形質がより大きな分化を示す地理的変異のパターンである。交配形質の生殖的形質置換を引き起こす進化的プロセスは、前述の(1)強化仮説：生殖隔離が不十分な種間、集団間における不適応な種間相互作用に対する自然淘汰による交配形質の分化、だけでなく(2)繁殖干渉仮説：すでに生殖隔離が成立した種間に生じる繁殖干渉による交配形質の分化、(3) Templeton effect仮説：種内の集団間に形質分化があらかじめ存在し、種間交雑を避けられる変異を持つ集団のみが他種と共存する可能性、といった複数の進化的プロセスが存在する。そのため、生殖的形質置換の進化を理解するためには、これらの3つのプロセス間の識別が必要である。

交配形質の分化が種分化にもたらす影響は、進化生物学において継続的に注目され研究・議論がなされてきたが、まだ完全に解明されてはいない。現在は、性淘汰による雄の二次的交配形質と雌の配偶者選好性の共進化が集団毎に生じた結果、集団間の接合前隔離をもたらし、種分化に至ると考えられている。したがって、近年では交配前隔離に対する雄の交配形質と雌

の選好性の影響に関する研究が多く行われている。一方で、交配後接合前の段階における生殖隔離の種分化への影響は研究例が少ない。交配後接合前隔離として雌雄交尾器形態の不一致が異種間交雑を妨げる可能性が知られている（機械的生殖隔離）。体内受精をする動物では雌雄交尾器形態が急速に、種特異的に進化することが知られており、その多くは性淘汰によるものと考えられてきた。しかし、不適応な交雑に対する自然淘汰も近縁種や集団間の交尾器形態の分化をもたらさう（錠と鍵仮説）。このように錠と鍵仮説は、雌雄交尾器形態が強化淘汰によってさらに分化（生殖的形質置換）することで、交配後接合前隔離（機械的生殖隔離）が強化され、種分化をもたらすことを予測する。交尾器形態の生殖的形質置換は種分化のプロセスを解明する上で重要な現象であるが、これまでの研究の多くは、交尾器形態の地理的変異の測定による生殖的形質置換の検出に留まっており、生殖的形質置換をもたらすプロセスまで明らかにした研究は少ない。さらに、交尾器形態の生殖的形質置換をもたらした淘汰を検出した例は未だ無く、置換した交尾器形態がどのように交雑コストを低減し、交配後接合前隔離として働くのかも未解明である。そこで、本学位論文では、交尾器形態の分化と交配後接合前隔離の強化を促進する進化的プロセスを実証することを目的として、3つの個別研究を行なった。

本研究では、交尾器形態が種特異的に分化し、集団間の交尾器形態の不一致が生殖的隔離機構として働くことが知られているオオオサムシ亜属（甲虫目、オサムシ科、オサムシ属）を用いて、形態解析・配偶者選択実験・集団遺伝学的解析・同種および異種間交配実験・交尾器の物理特性測定実験を行なった。Chapter 1では、種分化をもたらす生殖隔離および交尾器形態の進化に関する既存の研究例を概観し、問題点を明らかにした。Chapter 2では、近縁種の分布の接触域において種間差が増加するような交尾器形態の地理的変異を持つ近縁2種マヤサンオサムシとイワキオサムシと極端に誇張した交尾器形態を持つドウキョウオサムシを用いて、体サイズとのアロメトリー、気温、地理的距離、遺伝的距離が交尾器形態に与える影響を考慮した上で、交尾器形態の地理的変異が、特にマヤサンオサムシにおいて生殖的形質置換と一致することを明らかにした。また、マヤサンオサムシとイワキオサムシの接触集団において交配前隔離が不十分であること、過去に遺伝子浸透が生じていることから、観察された生殖的形質置換の要因として繁殖干渉仮説が不適當であることが示された。Chapter 3では、マヤサンオサムシとイワキオサムシを用いた同種交配・異種交配実験を元に、種間交尾の集団レベルのコストを定量した。Templeton effect仮説が予測する、形質置換した交尾器を持つマヤサンオサムシの接触集団において交雑時のコストが一貫して減少するといった証拠は得られなかったため、生殖的形質置換の要因としてTempleton effect仮説が不適當であることが示された。Chapter 4では、マヤサンオサムシとイワキオサムシを用いた異種間交配実験により種間交尾の個体レベルのコストを定量し、マヤサンオサムシの雌雄交尾器形態の個体変異との関連を検討することで強化淘汰の検出を試みた。その結果、マヤサンオサムシの接触集団において、雄交尾器に交雑コストを回避する点で有利になるような淘汰（強化淘汰）が働いていることが明らかになった。また、雄交尾器の物理特性測定実験により、接触域の雄交尾器は長さだけでなく柔軟性も進化していることが明らかになった。一方、雌の交尾器形態と交雑コストとの関連はほとんど見られなかった。これらのことから、強化淘汰によるマヤサンオサムシの雄交尾器の生殖的形質置換が明らかとなり、生殖的形質置換をもたらす進化的プロセスとして強化仮説が支持された。Chapter 5では、本論文の主な研究内容を要約することに加えて、強化仮説のさらなる検証をするために、生殖隔離の強さの指標として生殖隔離指数をマヤサンオサムシの集団ごとに

算出した。その結果、強化仮説から予測される接触域の分化した交尾器形態による生殖隔離の強化は見られず、さらなる研究の必要性が示された。また、生殖的形質置換と同様の地理的変異のパターンを示すにもかかわらず、雌交尾器形態に働く強化淘汰が限定的であったことに関して、雌雄間の交配時の相互作用を踏まえ考察を行った。最後に、本研究で明らかした種分化をもたらす生殖隔離の進化における錠と鍵仮説の重要性と、いまだ明らかになっていない問題を総括した。

本研究のこれらの結果は、種特異的な交尾器形態に働く強化淘汰の検出と交雑コスト回避を可能にする生物学的、力学的なメカニズムの解明をした初めての例である。本論文は、不適応な種間相互作用に対する自然淘汰が近縁種間の交尾器形態の分化を促進し、交配後接合前隔離が強化され、種分化が駆動されるという錠と鍵仮説を支持する新たな証拠であり、種の起源のさらなる理解に貢献することが期待される。