

令和 5 年 6 月 10 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06094

研究課題名(和文) ムネアカハラビロカマキリの配偶行動と性フェロモン：ハラビロカマキリの保全に向けて

研究課題名(英文) Mating behavior and sex pheromone of Hierodula sp.: Towards conservation of *H. patellifera* in Japan.

研究代表者

中 秀司 (NAKA, Hideshi)

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：00443846

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：1.学名が未確定であったムネアカハラビロカマキリ(ムネアカ)について、岐阜県の標本を基にHierodula chinensisであることを突き止めた。2.ハラビロカマキリ(ハラビロ)とムネアカの配偶行動を観察し、ハラビロのみで雄が雌への接近時に体を揺らす行動を認めた。3.ハラビロとムネアカの性フェロモンには交差誘引性がなく、両種間に性フェロモンを介した繁殖干渉がないことを明らかにした。4.ハラビロの性フェロモン候補物質を3種同定した。現在、室内及び野外での誘引試験に向けて準備中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2003年に岐阜で発見され、短期間で生息域を急拡大したムネアカが、ハラビロの個体数を急減させるという報告が相次いでいる。ムネアカがH. chinensisであると判明したため、韓国などH. chinensisの急増が報告される他地域のデータが活用できそうである。また、両種間に性フェロモンを介した繁殖干渉が「ない」ことが判明したため、ハラビロ急減の原因を1つ潰すことができた。ハラビロの性フェロモン候補物質を同定したことで、ムネアカの性フェロモン同定に向け大きなヒントを得た。将来的には、フェロモントラップによる捕殺や交信攪乱などを視野に入れた、具体的なムネアカの個体数管理法に繋げる知見となる。

研究成果の概要(英文)：1. We identified an unknown mantid 'Muneaka-Harabiro Kamakiri' (Hc) was Hierodula chinensis using specimen collected in Gifu Prefecture. 2. We observed the mating behaviour of Hierodula patellifera (hereafter Hp) and Hc, and found that only the male of Hp shook his body significantly when approaching the female. 3. sex pheromones secreted by Hp and Hc females do not cross attract allospecific males. Therefore, no sex pheromone-mediated reproductive interference exists between the two species. 4. we identified three candidate sex pheromone components from Hp females. Attraction tests will be carried out in the laboratory and in the field this autumn.

研究分野：化学生態学

キーワード：外来種管理 繁殖干渉 性フェロモン モニタリング 大量誘殺 配偶行動 種間競争 カマキリ

## 1. 研究開始当初の背景

ムネアカハラビロカマキリ(*Hierodula chinensis*、以下「ムネアカ」)は2003年に岐阜県で発見され(山崎ら 2012)、ほぼ同時期に福井県でも発見された(藤野ら 2010)。その後ムネアカの発見・採集記録は急増し、2016年には関東～九州の広い地域で生息が確認されている(渡邊ら 2017)。ムネアカは藤野ら(2010)・山崎ら(2012)の発表以降急激に生息域を拡大していることから、他地域から人為的に移入された外来種である可能性が指摘されている(松本 2018)。その傍証として、ムネアカが属する *venosa* 亜属の種はこれまで国内から記録されていないが、中国～東南アジアには多数の種を擁すること、ホームセンター等で市販される中国製の竹箒からムネアカと思われる卵塊がしばしば採集されること(櫻井ら 2018)が挙げられる。他方、ムネアカの採集地点はその多くが自然度の高い森林であり(藤野ら 2010, 山崎ら 2012)、外来種の多くが人工的な環境を好み自然林に侵入できないのとは対照的である。

ムネアカの発見以前には、国内に生息する *Hierodula* 属カマキリはハラビロカマキリ(*H. patellifera*、以下「ハラビロ」)のみとされていた。ハラビロは本州以南の東アジア・東南アジア全域に広く分布し、海外では生息域のほぼ全域で *venosa* 亜属の種と同所的に生息する。故に本来、ハラビロとムネアカの間に排他的な競合関係は存在しないと考えられる。しかし、ムネアカの生息が確認された地域のいくつかで、ハラビロの個体数が激減するという報告がある(間野・宇野 2015, 松本 2018)。これは、日本のハラビロがムネアカと共進化の歴史を持たない可能性、つまりムネアカが外来種もしくは従来生息していなかった地域へ急激に分布を拡大している証拠となる。

近縁種間の排他的な競争関係は、古くはニッチと資源競争の視点から語られてきたが、近年は繁殖干渉がその主因だと考えられるようになった。繁殖干渉とは、種間相互作用のうち、干渉を受けた方の種の適応度が低下する現象全般を指すもので、タンポポ類やイヌノフグリなどにおいて、外来種が在来種を駆逐する機構が明らかとなっている(本間ら 2012, Nishida et al. 2014, 高倉・西田 2018)。繁殖干渉は一方通行であることが多く、かつ頻度依存であるため世代を追うごとに干渉が激しくなる。そのため、干渉を受けた方の種は速やかに局所的絶滅を迎える。他方、資源競争では両者に負の影響があるため、急激な局所的絶滅は起こらない。前述の報告では、ムネアカの発見後ほどなくハラビロが激減するとされていることから、両者の間には繁殖干渉が存在する可能性が高い。

ムネアカの配偶行動に関する報告はないが、ハラビロの配偶行動はその詳細が明らかになっている(Perez 2005)。ハラビロは雌が夜間に特徴的なコーリング行動を示し、(おそらく腹部背面から)誘引性の性フェロモンを分泌する。雄がこの性フェロモンを受容すると、すみやかに雌に定位・接近し、その後主に視覚を用いて雌に接近し交尾を試行する。コオロギなど広義直翅目の多くでは、鳴き声などで雄が雌を誘引することが広く知られているが(例えば Balakrishnan and Pollack 1996, Honda-Sumi 2004)、ハラビロはガ類やコガネムシなどで一般的な、雌が性フェロモンで雄を誘引するタイプの配偶行動戦略を採っている。このような配偶行動は配偶行動が既知のカマキリ全てに共通なため、ムネアカも同様に雌が性フェロモンで雄を誘引すると考えられる。

ハラビロとムネアカの間に、雌性フェロモンを介した繁殖干渉が存在するとしたら、ハラビロの個体数が激減する可能性には以下の2通りがある。1つはハラビロ雄がムネアカ雌に誤誘引され、そのままムネアカ雌に捕食されて数を減じる可能性で、もう1つはムネアカ雄がハラビロ雌に誘引されて誤交尾を試みる可能性である。いずれの場合も、どちらかの雌性フェロモンに交差誘引活性があることが必要条件である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、ムネアカの配偶行動と雌性フェロモンの成分を明らかにし、これらを利用してムネアカのモニタリング及び個体数管理を行うことで、急激な個体数減少が報告されるハラビロの保全を目指すものである。そのため本研究では、(1)ハラビロとムネアカの間に、ハラビロの個体数を急激に減じる繁殖干渉が存在するかを検証する。(2)その上で両種の雌性フェロモンの成分を同定し、工業的に合成した合成性フェロモンを使って、室内及び野外で雄の誘引試験を実施する。(3)加えて、ムネアカ・ハラビロの両種が高密度で生息する鳥取大学構内及び近隣地域でマイクロなスケールの分布調査を3年間実施し、両種の個体群動態(主にハラビロの減少の有無)を明らかにする。これら1～3のデータが揃うことで、(a)両種間の競合関係、(b)ハラビロの個体数が減少する条件を理解すると共に、(c)ムネアカのモニタリング及び個体数管理に有用なツールとしてのフェロモン剤の創製を可能とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 繁殖干渉の有無の検証

ムネアカとハラビロの間に繁殖干渉が存在すると仮定し、両種について、交尾に至るまでの配偶行動連鎖を解析すると共に、それぞれの種が他種をどのように認識するかを明らかにする。ハ

ラビロの配偶行動は既に先行研究があるため、配偶行動の解析は(a) それぞれの種の雌が放出する性フェロモンに対する他種の交差誘引活性、(b) 発情した雄及び性フェロモンを放出中の雌の、同種/別種他個体に対する応答、の2つを注視する。(a)について、外来カマキリの雌性フェロモンに対して在来種の雄が誤誘引される事例が2つ報告されており(Lelito and Brown 2008, Fea et al. 2013)、ハラビロとムネアカの間にも同様の現象が存在する可能性がある。(b)について、ハラビロとムネアカの外部形態には、「ムネアカは胸部裏面が濃桃色」(特に雄で)両種の体サイズが大きく異なる」という差異が存在し、これら2つ(もしくは他の要素)がどちらかの種にとって配偶行動の鍵刺激である可能性がある。

ハラビロを用いた予備実験では、網ケージ内に放飼したハラビロ雄は、ケージ外に置いたハラビロ雌がコーリング行動を開始してほどなく、雌に定位し接近する動作を示した。交差誘引活性の検定及び(2)で述べる合成性フェロモンを用いた生物検定は、これと同様の網ケージに雄を放飼する手法で実施できる予定である。

#### (2) 性フェロモン成分の同定・合成・生物検定

Perez (2005)はハラビロ雌の性フェロモン腺が腹部4~5節の背面の節間膜にあると推測しているが、実態は明らかではない。そのため、本研究ではムネアカ雌及びハラビロ雌が放出する性フェロモンを大気捕集にて収集し、ガ類の性フェロモン分析の定石であるGC-EAD及びGC/MSによる分析法を用いて成分同定を試みる。性フェロモン成分が定法で同定できない場合には、GC/MS/MS、LC/MS/MS、NMRなどによる構造決定も視野に入れる。性フェロモンの実体が明らかとなった後は、コーリング中の雌を解剖して体の様々な部位から性フェロモンの抽出を試みることで、真の性フェロモン腺の部位を特定することも可能である。

#### (3) 野外誘引試験

ガ類の野外誘引試験で用いるフェロモントラップがカマキリ類に転用できるか否かは未知数である。そのため、野外試験では肉眼と複数の暗視ビデオカメラを用いて、雄による遠距離からフェロモン源への定位・接近と、フェロモン源至近での雄の行動を詳細に観察する。次いで、観察結果を基に、雄を効率的に捕獲できるフェロモントラップの作成を試みる。

#### (4) ミクロレベルでの分布調査

鳥取大学構内では2010年にムネアカが発見され(山崎ら 2012)、構内及び近隣地域には両種が高密度で生息することが明らかとなっている。しかし、予備的な分布調査では、両種の分布にはミクロレベルで偏りがあり、ハラビロのみ生息する場所、ムネアカのみ生息する場所、両種が生息する/しない場所があることが明らかとなった。本研究では、鳥取大学構内及び近隣地域で3年間継続して詳細な分布調査と個体群密度の推定を行い、両種の生息環境の差異、当該地域におけるハラビロ個体数減少の有無の2つを検証する。また、得られるデータから両種の潜在的な生息域を推定することができるため、データを基に(1) モニタリング及びムネアカの個体数管理を要する地域・環境、(2) ハラビロが好む環境の構築を提言し、(3) フェロモントラップによる捕殺や交信攪乱などを視野に入れた、具体的なムネアカの個体数管理法を考える。

## 4. 研究成果

本研究では、主題となる配偶行動解析及び性フェロモン同定に先立ち、ムネアカが何者なのかを確定させる必要があった。国内外で得られた標本と文献の調査を行い、岐阜県で本種の発見初期に得られた標本を基にして、本種が *Hierodula chinensis* であることを見いだした(Yamasaki et al. 2022)。奈良県産の標本に基づいた Ioka et al. (2022)でも同様の結論が得られており、国内で生息域を急拡大させているムネアカは *H. chinensis* と見なしてよいとの結論に達した。

次に両種の配偶行動を観察し、両種とも雌が夜間に性フェロモンを分泌して雄を誘引し交尾に至ること、雄は遠方より性フェロモンに誘引されるが、近距離では主に視覚を用いて雌に接近することを明らかとした。加えて、ハラビロ雄には配偶行動の最中に体を震わせる行動(juddering movement: Perez 2005)が知られていたが、この行動はハラビロ雄のみで見られムネアカ雄は行わないことを明らかにした(Saji et al. 2022, Fujimoto et al. 投稿準備中)。

そこで、コーリング中の両種の雌及び気体捕集で得た性フェロモン抽出物を使って、両種それぞれの雄が同種もしくは別種の性フェロモンにどのような応答を示すかを検証した。その結果、両種の雄はともに同種雌の性フェロモンのみに応答し、別種の性フェロモンには全く応答しないことが明らかとなった(Saji et al. 2022)。これは、両種間には性フェロモンを介した繁殖干渉が存在しないこと、両種は性フェロモンの成分が異なることを意味する。それと同時に、低確率ではあるが、両種とも雄が雌を視覚的に誤認識し接近・求愛にいたることがあり、その確率はハラビロ雄→ムネアカ雌の方が有意に高いものの、結合試行に至る確率はムネアカ雄→ハラビロ雌の方が高くなることを確認した(Fujimoto et al. 投稿準備中)。

両種の雌から得た性フェロモン抽出物をGC-EAD及びGC/MSにて分析したところ、ハラビロ抽出物から性フェロモン候補と思われる物質を3つ同定した。2023年度に、工業的合成によって得たこれら3化合物を用いた誘引試験を、室内及び野外にて実施する予定である。これらはガ類性フェロモンの分野でタイプIIと呼ばれる化合物群に分類されるもので、もしこれらの物質が真にハラビロの性フェロモン成分であれば、系統的に極めて遠い広義直翅目と鱗翅目で共通の化合物を性フェロモンとして用いていることになり、昆虫の性フェロモンの進化を考える上で興味深い成果となる。

一方、ムネアカからは今のところ性フェロモン候補となる物質を同定するに至っていない。しかし、抽出物には雄を誘引する活性があること、ガや甲虫の例から近縁種は類縁物質を性フェロモンに用いるのが普通であると考えられることから、ハラビロの成果を基にしてムネアカの性フェロモンは同定可能だと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazuhisa Yamasaki, Kai Schutte, Tetsuo Nawa	4. 巻 18
2. 論文標題 New record of Chinese Reddish Mantis, <i>Hierodula chinensis</i> Werner, 1929 (Mantodea, Mantidae) from Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Check List	6. 最初と最後の頁 147-150
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15560/18.1.147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Saji Seiya, Yamasaki Kazuhisa, Fujimoto Nanami, Naka Hideshi	4. 巻 51
2. 論文標題 Behavioral Comparison in Males of Two Praying Mantis Species of the Same Genus, <i>Hierodula patellifera</i> and <i>H. chinensis</i> (Mantodea: Mantidae: Hierodulinae) in Japan, in Response to the Conspecific or Allospecific Species of Calling Females and Females' Headspace Crude Extract	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Entomology	6. 最初と最後の頁 885 ~ 891
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ee/nvac070	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	山崎 和久  (YAMASAKI Kazuhisa)  (10617145)	東京農工大学・農学部・産学官連携研究員   (12605)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------