

**Biology and Chemistry of  
Pheromonal Communication System of  
Japanese Hawk Moths**

A Dissertation  
Submitted to the Graduate School of  
Life and Environmental Sciences,  
the University of Tsukuba  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy in Agricultural Science  
(Doctoral Program in Biosphere Resource Science and Technology)

**Takuya UEHARA**

# 日本産スズメガの性フェロモンによる交信機構の化学と生物学 (Doctoral Program in Biosphere Resource Science and Technology)

上原 拓也

スズメガ科は、極地を除き世界に広く分布し、これまで約 1,400 種が記載されている大型のガである。これらは、スズメガ亜科、ウチスズメ亜科、ホウジャク亜科の 3 つに細分される。スズメガは、昆虫の生理・発生学、昆虫-植物間相互作用の研究など、実験昆虫として長年利用されてきたが、性フェロモンに関する研究はわずか 2 例しか無かった。

本研究では、日本に産するスズメガ科に関して、性フェロモン成分の探索・同定、性フェロモンの誘引活性に関する野外調査を行った。数種においては、性フェロモンに対するオスの嗅覚受容器応答や室内での行動反応を解析した。また、サザナミスズメ *Dolbina tancrei* に関しては、科内でも特殊な化合物を性フェロモンとして用いていることから性フェロモンの生合成経路を決定した。これらの研究は、これまで調査がわずかであったスズメガの性フェロモンに対する理解を深めるとともに、体系的な研究により性フェロモンの種特異性や交信機構の進化に対しても、重要な知見を与えるものと考えられる。

## 1. 性フェロモンの俯瞰的探索

ウチスズメ亜科 7 種、ホウジャク亜科 8 種の計 15 種について、性フェロモン候補化合物の探索を行った。候補化合物はガスクロマトグラフィー (GC) と触角電位測定装置 (EAD) を直結させ、雌フェロモン腺中から雄の嗅覚応答反応に基づき活性成分を絞り込む GC-EAD 法により行った。活性成分の構造及び成分比は GC 分析により決定した。その結果多くの種が、11-hexadecenal と 10,12-hexadecadienal の幾何異性体の 1~3 成分の混合物を性フェロモンとして利用していることが示唆された。

## 2. 性フェロモンの同定

スズメガ亜科 1 種、ウチスズメ亜科 3 種、ホウジャク亜科 5 種の性フェロモンの同定を GC-EAD 法、ガスクロマトグラフ質量分析 (GC-MS), 及び GC 分析によって試みたところ、示唆された通り、ほとんどの種から 11-hexadecenal と 10,12-hexadecadienal の幾何異性体の 1~3 成分の混合物を触角応答成分として同定した。そのほかに、スズメガ亜科に属するコエビガラスズメ (*Sphinx constricta*) からは、(11*E*,13*Z*)- 及び (11*Z*,13*Z*)-hexadecadienal の 2 成分が同定されたほか、ウチスズメ亜科のサザナミスズメからはチョウ目昆虫の性フェロモンとして新規化合物となる、(9*E*, 11*Z*)- 及び (9*Z*, 11*Z*)-pentadecadienal の混合物を同定した。それぞれの種において、触角応答成分を性フェロモン腺中に存在する割合で混合し、野外で試験したところ、ウチスズメ亜科の 1 種 (サザナミスズメ)、ホウジャク亜科の 4 種 (ベニスズメ *Deilephila elpenor lewisii*, セスジスズメ *Theretra oldenlandiae oldenlandiae*, クロスキバホウジャク *Hemaris affinis*, ホシヒメホウジャク *Neogurelca himachala sangaica*) ではオスの誘引活性が確認された。一方、

スズメガ亜科の 1 種 (コエビガラスズメ), ウチスズメ亜科の 2 種 (ウンモンズズメ *Callambulyx tatarinovi gabyae*, エゾスズメ *Phyllosphingia dissimilis dissimilis*), ホウジャク亜科の 1 種 (オオスカシバ *Cephonodes hylas hylas*) では活性が確認できなかった。本研究にて見つかった成分は、少なくとも主要な性フェロモン成分の一つであると思われるが、誘引活性の発現にはその他の微量成分やより正確な成分比が必要と考えられる。

1. で示唆されたとおり、スズメガの性フェロモン系には、11-hexadecenal と 10,12-hexadecadienal の幾何異性体が共通成分として存在していることが明らかになった。個々の種の性フェロモンを構築する成分には共通性が見られるが、1~3 成分の混合物からなる性フェロモンは、種間で異なっていた。このことから、性フェロモンを構成する成分と成分比率の違いが、スズメガの性フェロモンの多様性に最も貢献していると思われる。

### 3. 性フェロモンの種特異性

2. の結果から、性フェロモンの多様性が、スズメガの種特異性を担保していることが示唆された。一方で、野外試験の結果から、ホシヒメホウジャクのオスは (10*E*,12*Z*)-hexadecadienal (通称, ボンビカール) 単独成分に対して誘引行動を示すことも明らかになった。

これまでに性フェロモンの同定が済んでいる、ホウジャク亜科の 3 種 (ベニスズメ, セスジズメ, ホシヒメホウジャク) のオス触角を、11-hexadecenal と 10,12-hexadecadienyl aldehyde, acetate, alcohol の各種異性体に対して暴露させると、触角は同種のメスが性フェロモンとして持っていない成分に対しても応答することが示された。そこで、ホシヒメホウジャクの各種フェロモンに対する応答を野外誘引試験と風洞試験によって調査したところ、本種はボンビカールによって性誘引行動を解発されるが、幾何異性体存在下では行動が抑制されることを明らかにした。以上の事から、性誘引活性は、同種性フェロモンによって単純に亢進されるだけでなく、他種成分によって抑制が働くことにより、種特異性が確立しているのではないかと考えられる。

### 4. C15 共役ジエン性フェロモンの生合成

末端官能基を持つ脂肪族性フェロモン化合物は、一般的に体内で *de novo* 合成された脂肪酸を出発物質として生合成される事が知られている。C16 の共役ジエン化合物の性フェロモンは、体内で生合成されたパルミチン酸 (C16 飽和脂肪酸) を出発物質として、2 段階の不飽和化、末端カルボニルの還元を経て性フェロモンへと生合成されることが、カイコやタバコスズメガの研究から明らかになっている。多くのスズメガの性フェロモンはこれらの経路によって説明が可能だが、C15 という珍しい性フェロモンを用いているサザナミスズメについては、全く不明であり、本種が他の虫とは異なる性フェロモンの生合成経路を採用する可能性を示している。そこで、本種の性フェロモンの特異性が生じる機構を探るため、サザナミスズメの性フェロモン分泌腺中の性フェロモン前駆体を調査し、前駆体の構成から性フェロモンの生合成経路を推定した。また、同位体標識脂肪酸を用いて推定生合成経路を確認した。その結果、本種の特異的な性フェロモンであってもカイコ等と同様の経路を介して、炭素数 16 のパルミチン酸から生合成されることを明らかにした。また、生合成には、官能基側の炭素鎖一分子短縮が関わっていることが示唆された。