

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 中野 亮

ガ類は性フェロモンを用いた化学交信を発達させているが、一部の種は雌雄間で音響交信している。夜行性ガ類はコウモリの捕食圧に対し、コウモリの発する超音波を検出する超音波対応の聴覚器官を獲得したと考えられ、コウモリの超音波に対して捕食者回避行動を示す。雌雄間音響交信は、配偶行動時にも聴覚器官を用いるよう副次的に進化したと考えられる。ガ類の配偶行動におけるオスの発音は「誘引歌」として機能する例もあるが、性フェロモンに誘引されたオスがメスの近傍で出す超音波の機能は不明である。アワノメイガでは、メスの性フェロモンによりオスの定位飛翔・求愛ダンスが解発される。本種はトウモロコシの重要害虫であり、害虫管理の観点からメス性フェロモンに関する研究は蓄積があるが、音響を利用した交信は未検討である。本研究では、まず本種の配偶行動における音響交信の可能性を示し、さらに発音のメカニズムと機能の解明を試みた。

1. アワノメイガのオスによる超音波の発音

本種の配偶行動を観察した。オスはメスの性フェロモンに定位飛翔してメスの近傍に着地して羽ばたいた後、左右の翅を背側に直立させ細かく振動させ、それに続いて、腹部末端をメスの方に曲げて交尾を試みる行動（交尾試行）を繰り返した。多くのメスはこれを受入れ交尾に至ったが、一部は飛翔して逃避した。この一連の行動中、オスによる翅の直立・振動時にのみ 25- 100 kHz の超音波が検出された。これは約 6 ms のパルスが約 9 個連続したパルス群から構成されており、40 kHz 付近に音圧のピークがあった。メスの鼓膜を破壊すると交尾成功率が有意に低下したので、この超音波はメスの配偶者受入れを促進する「求愛歌」と考えられた。

2. 低音圧の超音波発音メカニズム

オスの発する超音波は 1 cm の距離で最大音圧が 46 dB SPL (0 dB SPL = 20 μ Pa) であった。また、聴覚神経は 38 dB SPL 以上の超音波に応答可能であったので、交尾時に発せられるオスの超音波はメスと 1- 2cm 程度の至近距離でのみ効果を持つことが示された。

ガ類で知られる発音メカニズムは、振動膜による振動、ヤスリとヘラによる摩擦、翅の衝突による打撃など多様であるが、アワノメイガにはこれらに該当する発音器官はなかった。超高速カメラを用いた発音時の観察から、翅の上げ・下げそれぞれで交互にパルスが発生することが分かった。そこで、翅の直立と振動に関連する部位を探索し、中胸と前翅に性的二型を示し互いに表面微細構造の似た鱗粉を発見した。これらの鱗粉の除去、ワセリン塗布が発音を阻害したのでこれらを発音器官と結論した。鱗粉の表面には他の部位

やメスの鱗粉にはない微細な溝があり，表面の摩擦係数を高めており，これらが擦れ合うと効率的に高周波振動を発生すると推測された．次に，共鳴装置を検討するためレーザードップラー変位計により外部から与えた高周波音に対する振動加速度を計測した．胸と翅の発音鱗粉で比較したところ，翅は胸より10倍以上振動しやすく，さらにこの鱗粉の下に，音の共鳴・増幅に重要な役割をもつと考えられるオス特異的な膜状クチクラを見出した．以上から，本種は中胸と前翅にあるオス特異的な発音鱗粉を摩擦して超音波を発生することが明らかになった．鱗粉による発音はこれまで報告はなく，新奇の発音器官である．

3. オスの超音波に対するメスの潜在的反応

聴覚器官，発音器官を破壊した個体を用いた交尾実験から，オスの求愛歌が交尾成功に必須ではないことが示された．しかし，「無音状態」の求愛では，メスは交尾試行回数の有意に少ないオスを受入れ，回数の多いオスを逃避により拒否した．オスは一回目の交尾試行より二回目以降でより大きな音圧の求愛歌を発した．把握器を破壊したオスを用いた交尾実験はオスの発音がメスの逃避行動を抑制することを示した．これらから，オスの求愛歌には，オス交尾器による捕捉が円滑に進まない場合にメスの逃避を抑制する機能があり，これによりオスの繁殖成功度を上げると考えられた．

4. メスによる聴覚認識能

ガ類の配偶行動における音響交信の進化的起源は，コウモリの捕食を回避するため獲得した聴覚器官の「感覚的便乗」であると考えられているが，このプロセスを実証した研究はない．アワノメイガでは，オスの求愛歌がコウモリの超音波と構造的に似ていることから，メスが，1) オスをコウモリと誤認識して生じる捕食者回避行動が逃避を抑制する，および，2) 配偶者として認識してその場にとどまる，二つの可能性が考えられた．そこで，オスとコウモリを聞き分けるかどうかを調べたところ，どちらの音もメスの逃避を抑制し，さらに，オスの求愛時にコウモリの音を聞かせてもメスは交尾を受け入れた．次にオスの発音がメスの捕食者回避行動を引き起こすかを調べたところ，オスの音でもコウモリ音と同程度にフェロモン腺の露出が中断された．これらから，オスの発音によるメスの逃避抑制は捕食者回避行動の結果であり，メスはオスとコウモリの発音を識別していない可能性が高い．すなわち，オスの発音はメスの感覚に便乗しているのであろう．

本研究は，不明の点が多かったガ類の超音波音響交信の機能を解明し，ガ類の音響交信が独立に進化したことを支持した．近距離での雌雄間音響交信は適応的であり，実際に本種以外の様々な分類群のガ類においても存在が示された．また，オス音とコウモリ音に対するメスの同等な反応性は，ガ類の雌雄間音響交信が聴覚器官の「感覚的便乗」によるとする進化モデルを実証する．審査委員一同はこれらの成果が学術的にも応用的にも大いに貢献するものであり，博士（農学）の学位を授与するに十分な価値を有することを認めた．