

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月21日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22770016

研究課題名（和文）ケラの音声コミュニケーションにおける巣穴の機能の解明

研究課題名（英文）The mechanism of tuning of the oriental mole cricket singing burrow

研究代表者

遠藤 千尋（ENDO CHIHIRO）

新潟大学・自然科学研究科・博士研究員

研究者番号：20569024

研究成果の概要（和文）：動物のつくる構造物が、変動する環境や状況の下でその機能を十分に発揮するためには、構造と機能の間にフィードバックによる調節機構が働いているはずである。ケラの音声コミュニケーションに使われる巣穴（鳴き穴）の構造には、音声を増幅させる効果があると予測される。この巣穴構造と音響増幅機能の間に、フィードバックによる調節機構がどのように働いているのか、情報の認知と行動の関連性から明らかにすることは、構造物の機能の進化を考える上で非常に重要なアプローチである。

(1) 雌雄の音声の種類と音響解析については、オスについては、連続的な求愛音、2匹が接近した時に発する闘争的な要素の強い、断続的な音声と少なくとも2種類に分けられることがわかった。翅型間の音声の違いについては、録音条件によるものなのかどうかも含めて、繊細な問題であるため詳細な検討が必要である。

(2) 鳴き穴の構造と音響増幅機能の調節機構については、自らの音声を認知することが、巣穴をつくる行動と結びついており、鳴き穴を完成させるために必要であることがわかった。巣穴が段階的につくられることから、自らの音声情報を、巣穴の形状または鳴き方にフィードバックさせていることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Realizing the function of various animal constructions under fluctuating conditions or specific situations should need some feedback tuning mechanism between their structures and functions. Male mole crickets construct singing burrows for their acoustic communication. For several species, their singing burrows are known that the burrow structures amplify their calling songs. How this feedback tuning mechanism works on the mole cricket singing burrows would be understood by considering the relationship of cognition and behavior on the process of their singing burrow constructions. These approaches are essential for understanding the evolutionary process of the various animal constructions and the functions.

(1) Acoustic analysis of song variation of males and females of *Gryllotalpa orientalis*: Male songs were classified as two types: continuous calling song and short aggressive song. Whether the calling songs are different between long-winged and short-winged individuals would be solved after detailed analyses with considering the recording conditions.

(2) The mechanism of tuning of singing burrow: Experiments that manipulated their acoustic recognition revealed that recognition of own songs related to their burrowing behavior. Recognition of own songs seemed to be essential to complete their singing burrow. The gradual process of constructing their singing burrows suggested that mole crickets use received acoustic information to improve their burrow structure or calling position.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	1,600,000	480,000	2,080,000
23年度	600,000	180,000	780,000
24年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生態・環境

キーワード：認知行動・生物音響・構造物・生態学・昆虫

1. 研究開始当初の背景

動物がつくる構造物についてレビューした Hansell (2005) によると、構造物の持つ主な機能は、採餌、子育て、種内コミュニケーションの3つに分類される。ケラの巣穴はこのすべてをみたす多機能な構造物であり、*Gryllotalpa orientalis* においては、横穴と縦穴がさまざまな組み合わせでつくられており、必要とされる巣穴の機能をみたすべく、巣穴をつくり続けていることが推測される(Endo 2007, Endo2008)。

ケラのオスが地中につくる巣穴は音声を増幅させる構造をしており、その構造は種特異的である(Bennet-Clark 1970; 1987, Daws et al. 1996)。Bennet-Clark らの研究は、巣穴構造が音響増幅していることを示すにとどまっているが、Turner (2000)は、ケラの鳴くための巣穴（以下、「鳴き穴」）が、音響増幅の機能を達成する過程で、音響と巣穴構造の間にフィードバック制御が働くだろうと指摘したが、実際に研究されたことはない。

そこで本研究は、ケラ *G. orientalis* が鳴き穴をつくる過程における、巣穴構造と音響効果のフィードバック制御機構の解明をめざす。動物が外部に構築する構造物の形態の精巧さや多様さについては、Frisch (1975), Hansell (2005, 2007)が詳しいが、それらの進化過程を考える上で、近縁種間の比較によるアプローチに加え、構造物の構築過程に注目することは、ほとんどなされていないが重要なアプローチである。特に、機能と構造に関するフィードバック制御機構を明らかにすることは、構造物という表現型にどのような選択が働くのかという問題 (Dawkins 1982) に具体的

にせまるものである。これらの背景および研究構想について、遠藤 (2010) に詳しく述べている。

2. 研究の目的

ケラの巣穴を、音響増幅効果をフィードバック調節によって実現する、動的な構造としてとらえる。そのために、以下の2つの課題に沿って研究をすすめる。

(1) 雌雄の音声の種類を音響解析

(2) 鳴き穴の構造と音響増幅機能の調節機構の解明

まず雌雄ともに音声の種類を音響解析により区別した上で、オスの呼び鳴き音(calling song)が巣穴構造によってどのように増幅されているのかを調べ、「鳴き穴」の構造を明らかにする。次に、この鳴き穴がつくられる過程で、音響と巣穴構造の間に、フィードバックによる調節機構がどのように働いているのか、情報の認知と行動の関連性を探る。

鳴き穴の構築過程において、巣穴構造と音声の変化を時系列で把握し、「調律(tuning)」をどのように行っているのかを明らかにする。操作実験により、自己の鳴き音を認識することと巣穴の構築行動が結びついていることを確かめる。さらに、鳴き穴の完成音と完成前の音などを、タイミングを変えて聞かせ、巣穴の構築行動をコントロールできるかどうかを確かめ、調律における行動シーケンスを明らかにする。これにより、調律は段階的に行われていることを確かめることができる。

3. 研究の方法

(1) 雌雄の音声の種類の影響解析

音声の種類（呼び鳴き音 calling song、求愛音 mating song、攻撃音 aggressive sound など）を、オスメスそれぞれについて影響解析により区別する。ケラの音声コミュニケーションは、巣穴内で行われるため、姿が見えない。音声だけで、何が起きているか（オスメスの区別、攻撃、求愛など）を把握できるようにする。

飼育下で、オスメス単独、オスとメス、複数オス、複数メス、複数オス+メスなどの状況や組み合わせを変えて録音し、音の種類を区別し、その音の発せられた状況から、意味を推定した。野外で録音した音声と比較し、飼育下の音声による分析に問題がないか検討した。なお、ケラは前翅に発音器官があり、後翅は飛翔のために使われるが、この翅に関し、季節的翅型二型(Endo 2006)がみられ、また地理的変異(Endo et al. 2011)もあることをふまえ、長翅型、短翅型を区別し、また複数の地域においてデータを収集し、音声を比較した。

(2) 鳴き穴の構造と影響増幅機能の調節機構の解明

飼育下で、オスに巣穴をつくらせた。その間、録音を行い、鳴き音の変化を記録した。巣穴ができ始めたら小型マイクを巣穴内に設置し、巣穴内部と外部の音を比較し、音が増幅されているかどうか調べた。鳴き音が一定になった時に、その巣穴構造を記録した。同じ個体を用いて、繰り返し巣穴をつくらせ、巣穴構造と鳴き音の対応関係を調べた。これらを複数個体で繰り返し行った。1 個体のつくる鳴き穴の構造に、どれくらいのばらつきがあるのか、また個体間の変異がどれほどあるのかを把握するためである。次に、得られた巣穴構造から、人工の鳴き穴を作成した。小型スピーカーを用いて、人工の鳴き穴内で出した音（入力音）を人工の鳴き穴外で録音し（出力音）、入力音と出力音を比較し、鳴き穴の影響増幅効果の確認を行った。

次に、鳴き穴がつけられる過程において、自己の鳴き音を認識しているのかわかるために、ノイズ音（通常の鳴き穴をつくる過程で発する音：途中音初期、途中音後期、完成音など）をプレイバックし、聴覚を

妨げた状態で、鳴き穴を完成できるかどうか調べた。さらに、巣穴構築の過程で、完成音と完成前の音などを、タイミングを変えて聞かせ、巣穴の構築行動をコントロールできるかどうかを確かめた。

なお、解析には Raven Pro 1.3 (Cornel Lab. of Ornithology)および R 2.8.1(The R Foundation for Statistical Computing)を使用した。

4. 研究成果

(1) 雌雄の音声の種類の影響解析

メスの音声は、飼育下、野外ともに、ほとんど録音することが不可能であった。オスについては、連続的な求愛音、2 匹が接近した時に発する闘争的な要素の強い、断続的な音声と少なくとも 2 種類に分けられることがわかった。翅型間の音声の違いについては、飼育下、野外ともにサンプリングを行ったが、大きな違いは認められなかったが、これは録音条件によるものなのかわかも含めて、繊細な問題であるため、詳細に検討が必要である。

(2) 鳴き穴の構造と影響増幅機能の調節機構の解明

巣穴構築過程において、調律を行っている場合は、徐々に音圧が大きくなり、かつ、鳴き音と鳴き音の間に、鳴かずに巣穴の構造を変えている時間が存在するはずである。オスの鳴き始めは音量が小さく、音が揺らいでいるのに対し、数回の中断をはさみながら、徐々に音量が大きくなっていき、純音に近づいていく傾向がみられた。野外条件でも同様の傾向であった。これは、自己の音声を何らかの方法で認知し、その情報を巣穴の形状または鳴き方にフィードバックさせていることを示唆するものである。巣穴構築途中で発する途中音と巣穴完成時の完成音をプレイバックすることにより、音声の認知の攪乱実験を行ったところ、自己の音声の認知が妨害されると、巣穴をつくり続けることができないう傾向がみられた。また、その音を聞くタイミングも影響を与えることが示された。自己の音声を認知することが、巣穴の構築行動と結びついており、鳴き穴を完成させるために必要であることを意味すると考えられた。また、巣穴の模型を用いた影響効果を検証する実験から、鳴き穴には個体変異が大きいもの

の、音声を増幅させる機能があることが確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① Endo C, Ikeda Y, Satoh A. Variation in wing dimorphism of the oriental mole cricket *Gryllotalpa orientalis*: comparative study in Okinawa and Hyogo population. Entomological Science 査読有、vol.14、2011、103-105
DOI: 10.1111/j.1479-8298.2010.00419.x

② 遠藤 千尋 穴は掘るもの—小さなケラの巣穴周辺をめぐる諸問題. 生物科学 査読無、61 卷 3 号、2010、141-146

[学会発表] (計 1 件)

① 遠藤 千尋 「ケラの翅型二型の地理変異」 第 70 回日本昆虫学会、季節適応談話会、2010 年 9 月、山形大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 千尋 (ENDO CHIHIRO)
新潟大学・自然科学研究科・博士研究員
研究者番号：20569024