

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18618

研究課題名(和文) 昆虫の胚におけるコミュニケーション能力とその獲得機構の解明

研究課題名(英文) Evolutionary process of communication ability in insect embryo

研究代表者

向井 裕美 (MUKAI, Hiromi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・任期付研究員

研究者番号：70747766

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)：亜社会性ツチカメムシ類の雌親は、孵化直前に振動シグナルを胚に与え、同期孵化を誘導する。孵化直前の胚は、卵内で活発に動き、特徴的な振動シグナルを発信して雌親の振動行動を解発することが明らかになった。雌親の振動は野外でも観察され、卵保護中の雌親は、同種雄や雌、幼虫の接近に対して、孵化振動と極めて類似した振動行動を示した。これらの振動は胚の孵化を一部誘導した。さらに、社会性をもたないカメムシ亜目の胚も振動に対する孵化応答がみられた。カメムシ亜目の胚は一般に振動受容能を有し、周囲の生物的環境由来の振動に適合した孵化システムを構築したと予想される。

研究成果の概要(英文)：In some subsocial burrower bugs, mothers produce vibrational signals to induce hatching synchronously. We found that the embryos immediately before hatching actively wriggle in the egg shells, thus transmit a typical vibrations to induce maternal vibration. Vibrational behavior by mothers was also observed in the field site. Egg-guarding mothers usually showed vibrational behavior which closely similar to the pattern of hatching vibrations against to the approach of the males, females and nymphs in the same species. Such vibrations partially induced embryo hatching. In addition, embryos of some non-social heteropteran species also showed hatching responses to the vibration. In Heteroptera, embryos generally have sensing of vibration, and are expected to evolve the elaborative hatching system adapted to the vibration stimuli from the surrounding biological environment.

研究分野：行動生態学

キーワード：胚 生物間相互作用 孵化 前適応 社会性

1. 研究開始当初の背景

生物の胚は、卵のなかに存在しながら、多様な感覚を用いて周囲の状況を把握している。昆虫を含む多くの分類群において、孵化を目前に控えた胚が、捕食者の接近に伴う物理・化学的な刺激をキュー (cue; 手がかり) として、自らの孵化タイミングを可塑的に変更できることが様々な生物群で明らかにされてきた (Warkentin 2011a, b)。

胚の環境受容能の解明と並行して、胚が周囲に存在する他生物に対して情報を発信しはたらきかけるか、という視点からも着目され、研究が進められてきた。例えば、鳥類では、胚が卵のなかから鳴き声による音声シグナルを発信し、親の孵化補助行動を引き起こす (Berlin & Clark 1998; Colombelli-Negrel et al. 2012)。このような親と子の密接な関係を築く社会性生物では、胚が親を含む他の生物個体との情報発信能力を獲得し、適応的にふるまうことが予想される。しかし、これまで鳥類等の脊椎動物群を対象とした研究に限られており、胚の情報受容及び発信能力がどのようなプロセスを経て獲得されたのか、解明には至っていない。

無脊椎動物のなかでも、親が自身の子のみを世話する亜社会性昆虫の雌親は、卵保護や給餌といった保育行動を示し、鳥類同様、密接な親子関係を築くことが知られる (Tallamy & Wood 1986; Mas & Kolliker 2008)。本研究で対象とするフタバシツチカメムシや近縁の亜社会性ツチカメムシ類は、雌親が胚の孵化を促進するキューとして、振動シグナルを与える (Mukai et al. 2012, 2014)。予備検討の結果、雌親の振動シグナルは孵化直前の卵の存在により誘導されること、卵保護中の雌親は卵捕食者の接近により振動シグナルと極めて類似した振動行動を示すことが明らかになった。このことから、亜社会性ツチカメムシ類の孵化に胚が積極的に関与し、双方向性のコミュニケーションを構築している可能性が強く示唆される。亜社会性ツチカメムシ類におけるコミュニケーションシステムは、捕食者との関係において利用される感覚受容能力や行動応答を基盤として獲得されたものである可能性が高い。

2. 研究の目的

本研究課題では、「昆虫の胚がどれほど積極的にコミュニケーションに関与できるか」に加え、「どのような進化的背景において獲得されたのか」という疑問を解明することで、現在の親-胚間コミュニケーションの在り方について、包括的な理解を進めることを目指す。フタバシツチカメムシを主な材料として、以下の課題を検討する。

(1) 現在の孵化コミュニケーションシステ

ムの解明

(2) 胚におけるコミュニケーション能力の獲得背景の解明

3. 研究の方法

あるコミュニケーションシステムが、前適応的形質を基盤として獲得されたものであることを実証するためには、第一に、現在のコミュニケーションシステムの全体像を明らかにし、第二に、前適応的形質の特徴を把握した上で、第三に、現存する近縁種との網羅的な種間比較により進化背景を類推する、というプロセスが必要である。

そこで、本研究課題では、1) 親-胚間コミュニケーションが胚から積極的なシグナルを介した双方向性のコミュニケーションであることをまず示し、2) 胚と捕食者の相互作用に纏わる胚の感覚受容システム及び行動応答について、複数の近縁種との間で種間比較する、という2段階のアプローチを経ることで、課題を遂行する。

本実験には、室内において累代飼育が容易であり、胚からの刺激が雌親の振動シグナルを誘導することが既に明らかとなっている、フタバシツチカメムシを主な材料として扱う。

(1) 現在の孵化コミュニケーションシステムの解明

分析機器 (化学分析; HPLC, GC-MS, 物理測定; レーザードップラー振動計) を用いて、胚由来の刺激を明らかにする。雌親の感覚を遮断する実験や、刺激の再現実験により、胚のシグナルを特定し、雌親の受信システムを明らかにする。さらに、親と胚のどちらのシグナルが、本コミュニケーションシステムを規定し、孵化タイミングを決定しているのか、を検証する。

(2) 胚におけるコミュニケーション能力の獲得背景の解明

野外調査により、主要な捕食者の特定を行う。捕食者の接近に伴う化学物質や振動などの刺激を、分析機器を用いて調べ、胚が受容し得る捕食者のキューを特定する。このキューを再現する実験を行い、胚の孵化応答、もしくは防衛行動等の特徴的な行動が見られるかを調べる。さらに、このときの胚の応答が、雌親の振動行動を誘導することを明らかにする。最後に、本邦に生息する複数のツチカメムシ類を用いて、胚と捕食者との相互作用を網羅的に調べる。既に作成されているツチカメムシ類の分子系統樹にそれらをプロットし、胚の感覚受容システムとシグナルの獲得背景を類推する。

4. 研究成果

(1) 胚による情報発信の解明:

フタバシツチカメムシの胚は、孵化直前になると卵内で活発に動く。変位計を用いた測定により、胚の動きは特定の振動を伴うことが明らかになった。発生初期の卵塊を抱えている雌親に発生後期の卵塊を提示すると、雌親は振動行動を示したことから、胚の動きに伴う振動がシグナルとして機能して雌親の孵化振動行動を解発すると考えられる。また、孵化時の振動が確認されている近縁種ミツボシツチカメムシと、フタバシツチカメムシの卵塊を入れ替えたところ、各雌親はそれぞれの卵塊の孵化タイミングに合わせて振動を開始した。親の孵化振動を誘導する胚の情報発信様式は、近縁種で極めて類似している可能性が高い。

(2) 胚をとりまく生物間相互作用と胚が受容する振動刺激の解明:

フタバシツチカメムシが生息する野外フィールドでは、他種捕食者、同種成虫及び幼虫等が存在する。胚を保護している雌親は、同種成虫の接近に対して特異な振動を発した。レーザードップラー振動計を用いて測定により、このとき雌親が発する振動は胚の孵化を誘導する振動と類似することが明らかになった。この振動を卵塊に与えたところ、卵塊中の胚の孵化を一部誘導することが明らかになった。

(3) 社会性の進化に伴うコミュニケーション能の獲得背景の解明:

社会性をもつツチカメムシ科同様、社会性をもたないカメムシ科の胚も振動受容能を持つことが明らかになった。社会性をもつフタバシツチカメムシをはじめ、近縁のミツボシツチカメムシ、ベニツチカメムシ、シロヘリツチカメムシ、マダラツチカメムシでは、各種それぞれが規則的な振動パターンにより孵化を示した。一方、社会性をもたないツチカメムシ、ヨコヅナツチカメムシの胚の孵化は、振動パターンの規則性には強く依存しなかった。社会性の進化に伴いコミュニケーションのシグナルとしての振動パターンが確立されたと予想される。また、カメムシ上科でも、振動刺激が孵化を誘導することが示されたことから、カメムシ亜目の胚は、一般に振動受容能を有し、胚をとりまくそれぞれの生物的環境から得られる振動刺激に適合した孵化システムを備えていると予想される。

(4) 植物における胚間コミュニケーションの実証:

昆虫の胚同様、植物の胚(種子)も多様かつ複雑な生物的環境にさらされている。オオバコの胚を、同じ親株由来の近縁同種と、異なる親株由来の非近縁同種と一緒に、それぞれ競争者である他種シロツメクサと播種し、発芽応答を調査した。

その結果、近縁同種と播種された場合には、非近縁同種と播種された場合よりも1日ほど早く同期的に発芽することが明らかになった。

オオバコの種子は、「同種の遺伝的類似性」と「他種が存在」という異なる2つの情報を統合し、発芽タイミングを変えることが明らかになった。

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 8件)

Mukai H., Hironaka M., Tojo S., Nomakuchi S. Maternal hatching synchronization in a subsocial burrower bug mitigates the risk of future sibling cannibalism. *Ecology and Evolution*, 8, 3376-3381, 2018, 査読有, DOI: 10.1002/ece3.3894

Yamawo A., Sato M., Mukai H. Experimental evidence for benefit of self discrimination in roots of a clonal plant. *AoB Plants*, 9, 1-7, 2017, 査読有, DOI:

10.1093/aobpla/plx049

山尾僚, 向井裕美. 植物の種子は隣が何者か知っている 種子による周辺環境の把握は想像以上に巧妙だった.

Academist Journal, 2017. 査読無

Yamawo A., Mukai H. (equal contribution) Seeds integrate biological information about conspecific and allospecific neighbours. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Science*, 284, 20170800, 2017, 査読有, DOI: 10.1098/rspb.2017.0800

Nishino H., Mukai H., Takanashi T. Chordotonal organs in hemipteran insects: unique peripheral structures but conserved central organization revealed by comparative neuroanatomy. *Cell & Tissue Research*, 366, 3, 549-572, 2016, 査読有, DOI:

10.1007/s00441-016-2480-0

向井裕美. 動物の親が担う可塑的な孵化制御システム. *日本応用動物昆虫学会誌*, 2016, 査読有

Tanaka K., Ogata K., Mukai H., Yamawo A., Tokuda M. Adaptive advantage of myrmecochory in the ant-dispersed herb *Lamium amplexicaule* (Lamiaceae): predation avoidance through the deterrence of post-dispersal seed predators. *PLoS ONE*, 10, 7, e0133677,

2015, 査読有, DOI:

10.1371/journal.pone.0133677

向井裕美. 母カメムシの呼びかけが促す子の一斉孵化. 昆虫と自然, 50, 6, 16-20, 2015, 査読無

〔学会発表〕(計 10件)

向井裕美・石川勇人・澤進一郎・山尾僚. 種子の生物的環境に応じた可塑的な発芽. 第49回種生物学会シンポジウム, すかつとランド九頭竜(福井), 2017年.

向井裕美. 振動シグナルはなぜ孵化の合図となるのか? 亜社会性ツチカメムシ類の親 胚間コミュニケーションとその進化プロセスに迫る. 第61回日本応用動物昆虫学会大会小集会, 東京農工大学(東京), 2017年.

向井裕美, 西野浩史, Niels Skals, 高梨琢磨. カメムシは左右脚部の振動受容器が生む強度差比較により振動源に定位する. 第61回日本応用動物昆虫学会大会, 東京農工大学(東京), 2017年.

向井裕美. 種子における血縁識別: 多種の存在で迅速な同期発芽を成し遂げる. 日本生態学会第63回全国大会企画集会「植物の識別能力から考える植物間相互作用」, 仙台国際センター(宮城), 2017年.

Mukai H., Nishino H., Skals N. and Takanashi T. Male jewel bugs localize female calling vibrations: directional vibration sensing by chordotonal organs. The 3rd Annual Meeting of the Society for Bioacoustics Irago Resort and Spa(愛知), 2016年.

Mukai H., Hironaka M., Tojo S. and Nomakuchi S. Why do burrower bug embryos hatch synchronously? Maternal regulation mitigates risks of future cannibalism. The XXV International Congress of Entomology, Orlando (USA), 2016年.

Mukai H., Hironaka M., Tojo S. and Nomakuchi S. Why does mother burrower bug shake her egg mass?: maternal hatching regulation mitigate the risk of future cannibalism. The 1st International Symposium on Biotremology, San Michele all'Adige (Italy), 2016年.

向井裕美. カメムシの求愛コミュニケーションにおける複数感覚利用と振動シグナルの機能. 日本昆虫学会第76回大会・第60回日本応用動物昆虫学会大

会合同大会, 小集会「昆虫の生物音響学の最前線: 音・振動による行動制御機構および物理保護技術」, 大阪市立大学(大阪), 2016年.

向井裕美. キンカメムシは複数のシグナルで求愛する: 振動刺激と化学刺激の担う役割. 第38回日本分子生物学会・第88回日本生化学会合同大会, ワークショップ「虫の会(まじめ版)2 昆虫学のこれから」(招待講演) 神戸ポートアイランド(兵庫), 2016年.

Mukai H., Nishino H. and Takanashi T. Vibratory signals detected by leg chordotonal organs enhance mating success in a jewel bug. 15th International Meeting on Invertebrate Sound & Vibration, Ottawa (Canada), 2015年.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 振動を用いた害虫の行動制御により植物を保護する方法

発明者: 高梨琢磨ほか

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願2016-244162

出願年月日: 2016年12月15日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0件)

〔その他〕

向井裕美. カメムシがこんなことするのか!? ベニツチカメムシの驚異の保育行動. サイエンストークセッション, ジュンク堂池袋本店(東京), 2016年11月.

鈴木梅花. コラム「虫目でみつけた!」子育てをするベニツチカメムシ. 農業共済新聞, 2016年11月.

向井裕美. カメムシがふるえるのには訳がある: 愛を伝える振動コミュニケーション. グループ多摩虫講演会(2015年7月例会サイエンスカフェ), 東京, 2015年7月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

向井 裕美 (Mukai, Hiromi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・

森林総合研究所・任期付研究員

研究者番号: 70747766

(2) 研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者

高梨 琢磨 (Takanashi, Takuma)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・
森林総合研究所・主任研究員等
研究者番号：60399376

所 雅彦 (Tokoro, Masahiko)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・
森林総合研究所・主任研究員等
研究者番号：70343796