

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19201047
 研究課題名（和文） 農村環境を利用するトンボ類の視覚的な産卵場所選択と幼虫群集のダイナミクス
 研究課題名（英文） Oviposition site selection of dragonflies and larval community dynamics in agricultural landscape
 研究代表者
 椿 宜高 (TSUBAKI YOSHITAKA)
 京都大学・生態学研究センター・教授
 研究者番号：30108641

研究成果の概要（和文）：淡水系のハビタットは近年急速に劣化しつつある。その評価にはトンボ類を代表とする生物がしばしば利用されるが、トンボ類がどのようにして産卵場所（=幼虫のハビタット）を選択し、その結果として幼虫群集にどのような動態が見られるのかについてはあまり理解されていない。トンボ類は、主として視覚を利用して産卵場所を選択するので、行動学、電気生理学、視物質分析、生態学的手法を用いて産卵場所選択のメカニズム研究を行った。その結果、カワトンボ類では産卵場所の光環境と、オスの性的形質（翅色）が重要なキューになっていることが分かった。また、視物質発色団の定量をおこない、視覚的な性認識能力が日齢によって変化することを発見した。アカネ類では稲刈り後の水田における田水面残存度が産卵ペア飛来数を左右していることがわかった。アカネ幼虫の生存率は農薬の利用とギンヤンマなどの捕食によって低下することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Aquatic habitats are under particular threat today. Dragonflies constitute a valuable tool for various types of assessment and monitoring, such as the measure of biodiversity, the appraisal of water-body health or integrity. However, it is not well known about mechanisms and fitness consequences of oviposition site (=larval habitats) selection. We conducted behavioral, ecological, electrophysiological, and visual pigment analytical studies on the oviposition site selection of dragonflies (Calopterygidae and Sympetrinae). We found that visible oviposition site selection by Calopterygidae was based on solar light environment and male's sexual pigmentation. We also found that sexual discrimination ability changed with age from the visual pigment analysis. In Sympetrinae, visual detection of shallow water pools was suggested to be an important cue for oviposition site selection. Systemic insecticides and predation by larger dragonfly larvae were suggested to be agents to increase larval mortality of Sympetrum species.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2008年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2009年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
総計	21,500,000	6,450,000	27,950,000

研究分野：社会基盤(共通基礎研究)

科研費の分科・細目：資源保全学

キーワード：生物多様性保全, 保全生態, 淡水系, トンボ, 産卵場所選択, 視物質, 適応度, ギルド内捕食

1. 研究開始当初の背景

日本の農業は水田を中心として発達し、同時に周辺の森林も水源などに利用していた。その結果として、森林、農地、住宅地などの組み合わせによる複雑な構造が生まれ、多様な生物多様性を維持してきたのだと考えられる。トンボ、カエル、メダカなど、身近な野生生物の多くが農村の中の淡水域（水田、湿地、ため池、河川など）を主要なハビタットにしていることは、かれらは農村に依存して繁栄してきた種であることを示唆している。ところが、近年の農業人口の減少が契機となって農業が簡素化され、農村から森林と水路がなくなり、乾田化（干上がってしまうことのない湿田の減少）が進んでしている。そのため、かつては田園地帯に豊富に存在していた淡水生物の多くが、絶滅危惧種リストの仲間入りをするようになったと言われている。しかし、そのような指摘には十分な根拠が存在するわけではなく、それぞれの種がどのような生息地を選択し、その結果、適応度にどのような影響を受けているのかを知る必要がある。

2. 研究の目的

農村の淡水域に生息する生物のうち、止水域および流水域に生息するトンボ類を対象に産卵場所選択の評価を行う。そして、淡水域を水田（乾田と湿田）、水路、池沼、湿地などに分類し、それぞれの種がどのタイプの淡水域へ選好性を示すのか、それぞれの種の視覚生理が産卵場所選択の習性とどのように関係しているのかを明らかにする。また、産卵場所選択の結果として高い生存率が維持されるのかどうかを評価する。

3. 研究の方法

次の4つのアプローチを採用する。(1) 産卵行動の観察による微環境選好性の評価を行う。フィールドを比較的狭い場所（水田、湿地、水路、池沼を含む空間を選定し、その中で観察される全種を対象とする、(2) 電子顕微鏡を用いた視細胞構造の観察、(3) 視物質遺伝子の多様性解析、(4) 野外操作実験による幼虫の生存率評価（アキアカネに焦点を絞り、いくつかの人工的野外環境下で生存率を比較する）

4. 研究成果

(1) 農村環境に生息するアカネ属のトンボが近年急激に数を減らしている。全国のトンボ研究者に依頼し、個体数モニタリング調査を実施した。また、20年前と同じ水田を調査し羽化数が1/100に減少していることを示した。(2) 石川県石川郡野々市町の互いに隣接する水田29筆について、2007年秋から2008年に

かけて田面水残存度（産卵場所利用可能性）、アカトンボ類の産卵（交尾）ペア数、2008年の中干し状況、アカトンボ類の羽化数を調査した。観察されたアカトンボ類はアキアカネとミヤマアカネの2種であった。アキアカネは水田を、ミヤマアカネは水路と水田を産卵場所として利用した。アキアカネのペアは産卵場所利用可能性の高い水田を集中的に利用した。しかし、産卵ペアが多く観察された水田でも、翌年のイネ苗移植時に殺虫剤プリンスが施用された水田からは羽化が全く見られなかった。また、羽化シーズン前に中干しが実施された水田からの羽化もほとんど見られなかった。この地域ではミヤマアカネが高密度で生息したが、そのほとんどは水路から羽化したものであった。

(3) ERG法を用い、カワトンボとオオカワトンボ雌雄のスペクトル応答を測定し350nmから650nmまでの波長域に反応することがわかった。選択光順応実験により、両者の雌雄ともに390nm, 470nm, 510nmにピークをもつ視細胞の存在が示され、また長波長域では、雄では610nm, 雌では630nmと異なった波長域に応答ピークがあり、雌雄差があることが示唆された。

(4) 未成熟期から成熟期にかけて体色と視覚定位が顕著に変化するアオハダトンボ複眼の内部構造を光学及び電子顕微鏡を用いて観察し、高速液体クロマトグラフィーで視物質発色団を定量した。その結果、未成熟個体に比べて成熟個体では、個眼にみられる8つの視細胞の細胞体が肥大していることを明らかにした。また、視物質発色団としてはレチナールと3-ヒドロキシレチナールが確認され、3-ヒドロキシレチナールの量のみが成熟に伴って増加していることがわかった。

(5) カワトンボとオオカワトンボが混生する地域でのメスによる産卵場所選択の行動観察により、メスは種の識別をオスの存在、とくに翅色にもとづいて行っていることを明らかにした。産下された卵を回収し、DNA解析による卵の種同定を行った結果、光条件と産卵数の関係が2種間で異なっていることがわかった。

(6) カワトンボ雄が陽当たりのよい場所に好んでなわばりを持つことに着目し、日向と日陰にいる雄の胸部温度を測定した。その結果、約10°Cの温度差が観測された。体温の差は、雄が雌に対して行う求愛ディスプレイの激しさに影響する。雌が好む雄は、求愛ディスプレイの激しい個体、つまり陽当たりのよいなわばりを所有する個体であることがわかった。

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、丸数字は掲載名順番)

[雑誌論文] (計 25 件) 17-19 以外は査読有

1. 針山孝彦 (2010) 動物の視覚コミュニケーションと構造色. 生物工学.
2. Samejima Y. and Tsubaki Y. (2010) Body temperature and body size affect flight performance in a damselfly. Behavioral Ecology and Sociobiology 64: 685-692.
3. Tsubaki, Y. 他 2 名③ (2009) Notes on the Coprophagous Scarab-beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from Southeast Asia (XXI) Nine New Species and Two New Subspecies of Onthophagus from the Malay Peninsula, Sumatra and Borneo. Entomological Review of Japan 64: 217-236.
4. Tsubaki Y. 他 2 名③ (2009) Reproductive interference determines persistence and exclusion in species interactions. Journal of Animal Ecology 78: 1043-1049.
5. 高橋純一・福井順治・樺宜高 (2009) 静岡県桶ヶ谷沼地域における絶滅危惧種ベッコウトンボ (*Libellula angelina*) の遺伝的多様性. 保全生態学研究 14: 73-79.
6. 弘中満太郎・針山孝彦 (2009) 昆虫の視覚定位行動とその人工光による変化. 日本応用動物昆虫学会誌 53: 135-145.
7. 上田哲行 他 4 名② (2009) フィプロニル, イミダクロプリドを成分とする浸透移行性殺虫剤がアキアカネの幼虫と羽化に及ぼす影響. 農業農村工学会論文集 77: 35-41.
8. Tsubaki Y. 他 3 名③ (2008). The sensitivity of dragonflies to landscape structure differs between life-history groups. Landscape Ecology 23: 149-158.
9. Tsubaki, Y. 他 3 名④ (2008) Population genetic differentiation in three sympatric damselfly species in a highly fragmented urban landscape. Odonatologica 37: 131-144.
10. Nakahara M. and Tsubaki Y. (2008) Sperm mortality, insemination and fertilization in the damselfly *Ischnura senegalensis*: comparisons between wild and inbred populations. Journal of Ethology 26: 145-151.
11. 東和敬・中原正登・樺宜高・上田哲行 (2008) 昆虫類 (特にトンボ類) の生息環境にたいするダム事業の影響評価法、および湿地再生予定地でのモニタリング法の検討. 水源地生態研究会会議 10 周年報告書 85-93.
12. T. Hariyama 他 4 名⑤ (2008) Canopy compass in nocturnal homing of the subsocial shield bug, *Parastrachia japonensis* (Heteroptera: Parastrachiidae) Naturwissenschaften 95: 343-346.
13. Hariyama T. 他 3 名④ (2008) Guarding behaviour against intraspecific kleptoparasites in the subsocial shield bug, *Parastrachia japonensis* (Heteroptera: Parastrachiidae). Behaviour 145: 815-827.
14. Hariyama T. 他 9 名⑩ (2008) Presence of rhodopsin and porphyropsin in the eyes of 164 fishes, representing marine, diadromous, coastal and freshwater species- a qualitative and comparative study. Photochemistry and Photobiology 84: 996-1002.
15. Hariyama T. 他 2 名③ (2008) Changes in lipid droplets localization during the embryogenesis of the silkworm *Bombyx mori*. Zoological Science 25: 580-586.
16. 針山孝彦 他 3 名① (2008) タマムシの構造色と行動-構造色の再現とその応用を目指して. 0 plus E 30: 149-155.
17. 上田哲行 (2008) アキアカネの減少傾向と減少時期-会員へのアンケート結果から. Symnet 10: 2.
18. 上田哲行 (2008) 赤とんぼネットワーク会員によるアカトンボセンサス 2007 (速報) Symnet 10: 3-9.
19. 上田哲行 (2008) 赤とんぼの色が薄くなった!?. いしかわ自然史 45: 1.
20. 樺宜高 (2007) 生態学の視点から昆虫の生理を考える. 日本生態学会誌 57: 356-360.
21. Nakahara M. and Tsubaki Y. (2007) Function of multiple sperm-storage organs in female damselflies (*Ischnura senegalensis*): difference in amount of ejaculate stored, sperm loss, and priority in fertilization. Journal of Insect Physiology 53: 1046-1054.
22. Hariyama T. 他 4 名⑤ (2007) Hierarchical utilization of chemical marking and path integration in the homing trip of a subsocial shield bug. Animal Behaviour 73: 739-745.
23. Hariyama T. 他 4 名⑤ (2007) Round-the-clock homing behaviour of a subsocial shield bug, *Parastrachia japonensis* (Heteroptera: Parastrachiidae) using path integration. Zoological Science 24: 535-541.
24. Hariyama T. 他 2 名③ (2007) Light compass in the provisioning navigation of the subsocial shield bug, *Parastrachia japonensis* (Heteroptera: Parastrachi-

- idae). Applied Entomology and Zoology 42:473-478.
25. 針山孝彦他 3名①(2007)甲虫の翅の色の起源. 医学生物学電子顕微鏡技術誌 21:8.

[学会発表] (計 37 件)

1. 椿宜高他「同所的なカワトンボ属近縁種におけるメスの産卵場所選択」第 57 回日本生態学会. 2010. 3. 17. 東京大学
2. 椿宜高他「資源競争説の誤り：近縁種間の競争実験は何を測っていたのか？」第 57 回日本生態学会. 2010. 3. 16. 東京大学
3. T. Ueda 他「Investigation of pollution status by PFCs in the terrestrial environment of Japan using dragonfly as biomonitoring tool」SETAC North America 30th Annual Meeting. 2009. 11. 7-11. New Orleans, USA
4. 針山孝彦他「節足動物の偏光受容能と視細胞構造の関連」第 34 回日本比較内分泌学会大会・日本比較生理生化学会第 31 回大会合同大会 CompBiol2009. 2009. 10. 23. 千里ライフサイエンスセンター豊中
5. 椿宜高・針山孝彦他「カワトンボ科 2 種における複眼特性の比較」日本動物学会第 80 回大会 2009. 9. 17. 静岡県コンベンションアーツセンターグランシップ
6. 針山孝彦他「動物界における偏光受容細胞の多様性」第 11 回日本進化学会大会 2009. 9. 3. 北海道大学
7. T. Ueda 他「Investigation of PFOS pollution in the terrestrial environment of Japan using dragonfly as bio-indicator organism」29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants. 2009. 8. 23. Beigin
8. 上田哲行他「アキアカネの急激な減少と育苗箱施用浸透性殺虫剤の影響」第 53 回日本応用動物昆虫学会大会. 2009. 3. 29. 北海道大学
9. 針山孝彦他「ベニツチカメムシの複眼の構造的制約はランドマークの優位性を決定する」第 53 回日本応用動物昆虫学会大会. 2009. 3. 29. 北海道大学
10. 針山孝彦他「ゲンジボタルの紫外受容と行動制御」第 53 回日本応用動物昆虫学会大会. 2009. 3. 29. 北海道大学.
11. 上田哲行他「小型水田ライシメータを用いた箱苗施用殺虫剤の生態影響評価試験法の提案」日本農薬学会 2009. 3. 19. 東京大学
12. 椿宜高「お熱いのが好き：カワトンボの交尾相手選択」第 56 回日本生態学会大会 2009. 3. 18. 岩手県立大学
13. 椿宜高他「同所的な近縁種のハビタット分割：カワトンボ属における日照環境の重要性」第 56 回日本生態学会大会 2009. 3. 18. 岩手県立大学
14. Hariyama, T. 「Ultraviolet reception in the nocturnal firefly, *Luciola cruciata*」4th Asia Oceania Conference on Photobiology. 2008. 11. 25. Banaras Hindu University, India.
15. 上田哲行他「アキアカネの急激な減少と育苗箱施用浸透性殺虫剤の影響」平成 20 年度日本蜻蛉学会 2008. 11. 16. 滋賀県立琵琶湖博物館.
16. 針山孝彦他「小笠原諸島と本州に生息するフナムシ類-陸棲および海岸棲フナムシ類の比較-」日本動物学会第 79 回大会 2008. 9. 7. 福岡大学
17. 針山孝彦他「遠くに営巣したカメムシはナビゲーションが上手い-営巣位置と定位能力の相関-」日本動物学会第 79 回大会 2008. 9. 7. 福岡大学, 福岡.
18. 針山孝彦他「カエル網膜の背側後方に位置する視細胞配向の特異部位」日本動物学会第 79 回大会 2008. 9. 6. 福岡大学
19. 針山孝彦他「アオハダトンボ成虫の構造色の役割-未成熟から成熟個体にかけての翅の色と行動-」日本動物学会第 79 回大会 2008. 9. 5. 福岡大学
20. 針山孝彦他「アオハダトンボ成虫の視物質発色団量と複眼構造は未成熟から成熟個体にかけて変化する」日本動物学会第 79 回大会 2008. 9. 5. 福岡大学
21. 針山孝彦他「ゲンジボタル複眼に存在する紫外線受容細胞の役割」第 10 回日本進化学会大会 2008. 8. 22 東京大学
22. 針山孝彦他「ホタル脳内に存在する眼外光受容器の起源」第 10 回日本進化学会大会 2008. 8. 22 東京大学
23. Hariyama, T 他「The role of structural colour in damselfly: Age dependent wing coloration and courtship behaviour of the damselfly *Calopteryx japonica*」The Second International Conference on Invertebrate Vision. 2008. 8. 5. Bäckaskog Castle, Sweden.
24. Hironaka, M. and T. Hariyama 「Canopy orientation in the nocturnal foraging excursion of the subsocial bug, *Parastrachia japonensis* (Heteroptera: Parastrachiidae)」The Second International Conference on Invertebrate Vision. 2008. 8. 3. Bäckaskog Castle, Sweden.
25. H. Jinguji and T. Ueda 「Effects of imidacproprid and fipronil insecticide application on the larvae and adults of *Sympetrum frequens* (Libellulidae:Odonata)」XXIII International Congress of Entomology 2008. 7. 7 Durban, South Africa.

26. 上田哲行他「アカトンボ（アカネ属）の激減と原因究明」日本応用動物昆虫学会 2008. 3. 27. 栃木県宇都宮市.
27. 椿宜高他「カワトンボ属における同所的な近縁種の産卵場所選択-光環境の影響」第55回日本生態学会. 2008. 3. 14. 福岡国際会議場
28. 椿宜高他「多回交尾後のメスが保有する精子量：SNPs解析を用いた評価」第55回日本生態学会. 2008. 3. 14. 福岡国際会議場
29. 椿宜高他「ボルネオ島の熱帯雨林伐採が野生動物に与える影響の評価法—糞からの種同定とストレスホルモン」第55回日本生態学会. 2008. 3. 14. 福岡国際会議場
30. 椿宜高他「都市域に生息する2種のイトトンボの遺伝構造に影響を与える景観要素」第55回日本生態学会. 2008. 3. 14. 福岡国際会議場
31. 針山孝彦他「夜間のキャノピー定位-カラムシは夜の森で林冠を見ている」第78回日本動物学会. 2007. 9. 19. 弘前大学
32. 針山孝彦他「カワトンボ類における構造色シグナルの発信と受信」第78回日本動物学会. 2007. 9. 19. 弘前大学
33. 針山孝彦他「カイコ卵の初期発生段階における脂肪滴動態の形態学的解析と超微細構造観察法の検討」第78回日本動物学会. 2007. 9. 19. 弘前大学
34. 針山孝彦他「特定スペクトル環境光飼育下における体色と視物質の関連」第78回日本動物学会. 2007. 9. 19. 弘前大学
35. 上田哲行「里山のトンボ類の現状と保護」日本環境動物昆虫学会. 2007. 9. 7. 亀岡市
36. 上田哲行「水田を利用するトンボ類」農業農村工学会. 2007. 8. 28. 松江市
37. 針山孝彦他「アオハダトンボにおける構造色の発達と視覚シグナルの意味」第29回日本比較生理生化学会. 2007. 7. 7. 岡山大学

[図書] (計 14 件)

1. 針山孝彦(日本化学会編) (2010)昆虫の反射増強表面 「現代界面コロイド化学の事典—シャンプーから宇宙まで」丸善
2. 針山孝彦・津田基之(2010)「環境生物学—地球の環境を守るには」共立出版. 270 p
3. 針山孝彦・弘中満太郎(2010)生物と光環境:害虫「人工光源の農林水産分野への応用」(社)農業電化協会. 19-29.
4. 椿宜高 (浅島誠・黒岩常祥・小原雄二 編) (2010) 現代生物科学入門 第6巻 地球環境と保全生物学. 岩波書店. 208p.
5. 針山孝彦(2009)光る構造色「見える光、見えない光:動物と光のかかわり」共立出版. 222-236.
6. 弘中満太郎(2009)定位—何をたよりにめざすのか.「動物の生き残り術:行動とそ

のしくみ.共立出版.183-200.

7. 大串隆之・近藤倫生・椿宜高編(2009)シリーズ群集生態学 6:新たな保全と管理を考える. 京都大学学術出版会. 211p.
8. 椿宜高 (下澤楯夫・針山孝彦監修) (2008) トンボの体温調節と繁殖行動「昆虫ミメティックス」NTS社. 987p.
9. 下澤楯夫・針山孝彦監修(2008)昆虫ミメティックス. NTS社. 987p.
10. 針山孝彦(2008)鳥の彩り—鳥の視覚と羽の色「鳥学大全」秋篠宮文仁・西野嘉章編集. 東京大学総合研究博物館. 631p.
11. 針山孝彦他 2名③(2008)フナムシの吸水機構「昆虫に学ぶ新世代ナノマテリアル」NTS社. 250p
12. 椿宜高 (京都大学総合博物館・京都大学生態学研究センター編) (2007) 生物の多様性ってなんだろう?—生命のジグソーパズル. 京都大学学術出版会. 313p.
13. 針山孝彦(2007)生き物たちの情報戦略—生存をかけた静かなる戦い. 化学同人. 246p.
14. 針山孝彦 (日本 ICIPE 協会編) (2007)アフリカ昆虫学への招待「第11章 眠り病とツエツエバエ」京都大学学術出版会. 165-182.

[その他] ホームページ等

椿 宜高

<http://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/~tsubaki/Tsubaki/Top.html>

上田哲行

<http://symnet.ishikawa-c.ac.jp/>

針山孝彦

<http://www2.hama-med.ac.jp/wld/biology/hariyama/hariyama.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

椿 宜高 (TSUBAKI YOSHITAKA)

京都大学・生態学研究センター・教授

研究者番号：30108641

(2) 研究分担者

上田 哲行 (UEDA TETSUYUKI)

石川県立大学・生物資源環境学部・教授

研究者番号：30184930

針山 孝彦 (HARIYAMA TAKAHIKO)

浜松医科大学・医学部・教授

研究者番号：30165039

清水 勇 (SHIMIZU ISAMU)

京都大学・生態学研究センター・教授 (平

成 20 年 3 月退職)
研究者番号：80025486

(3)連携研究者
なし