

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26660276

研究課題名（和文）シオカラトンボのUV反射Waxの解明

研究課題名（英文）Molecular mechanisms underlying UV reflecting wax production in the light blue dragonflies

研究代表者

二橋 亮（Futahashi, Ryo）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・生物プロセス研究部門・主任研究員

研究者番号：50549889

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：日本人になじみの深いシオカラトンボは、成熟過程でオスが麦わら色から水色へと変化する。本研究から、シオカラトンボのオスは、成熟して水色になる過程で表面の微細構造が劇的に変化し、同時に強い紫外線反射能と撥水性を持つようになること、微細構造はWax様物質の分泌により生じることが明らかになった。また、シオカラトンボの雌雄の背腹およびWaxをまとう他の種類でWaxの同定を試みた結果、全部で7種類の混合物であること、さらに1種類のWax合成品でも高い紫外線反射能と撥水性を有することが確認された。

研究成果の概要（英文）：Male of the light blue dragonfly *Orthetrum albistylum* changes the body color from light brown to light blue in the maturation process. We found that this color transition is attributed to the changes of the wax-based surface nanostructures, which coincides with strong UV reflection and water repellency. We also identified seven components of UV reflecting wax, and confirmed that the synthesized wax also had UV reflection and water repellency abilities.

研究分野：昆虫分子生物学

キーワード：トンボ 体表構造 紫外線反射 体色変化

1. 研究開始当初の背景

日本人に馴染みの深いシオカラトンボは、成熟過程でオスが麦わら色から白～水色へと変化する。研究代表者は、予備的な解析の結果、シオカラトンボのオスは、体色変化の際に、Wax を分泌して体表の微細構造を変化させ、同時に強力な UV 反射能を獲得することを発見した。UV 反射 Wax は、人工的に合成できれば塗装技術などへの応用面への発展性も期待されるが、現時点では Wax の成分や、その合成、輸送に関わる分子基盤が全く不明である。そこで、真夏の日差しに強いシオカラトンボの体表 Wax 構造の合成・輸送経路の分子基盤を解明することで、生物素材としての応用の可能性を探ることを考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、日本人に馴染みの深いシオカラトンボの体色変化とそれに伴う UV 反射能の獲得メカニズムを明らかにするとともに、生物素材としての応用の可能性を探ることである。具体的には、UV 反射 Wax の組成・特性の解明、UV 反射 Wax の合成・輸送に関わる分子機構の解明を進めるとともに、Wax の UV 反射能を人工的に再現できるかを検証することを目指す。

3. 研究の方法

体色変化に伴う紫外線反射の様子を詳細に調べるため、各成熟段階の雌雄の背腹における反射率の測定と野外での紫外線写真の撮影を行った。また、電子顕微鏡による表面微細構造の観察および撥水性の測定を行った。さらに、RNAseq 解析により、Wax 産生に関わる候補遺伝子の探索を行った。また、GC-MS 解析により、Wax 成分の同定を行い、主成分 1 種類については、人工合成により Wax の特性を解析した。



図 1 シオカラトンボの成熟に伴う体色変化と紫外線反射

4. 研究成果

(1) シオカラトンボの体色変化に伴う紫外線反射の解析：各成熟段階の雌雄における反射率の測定から、シオカラトンボのオスは成熟すると紫外線を強く反射すること、メスは成熟すると腹部腹側で紫外線反射能を獲得することを確認した。なお、反射率の測定は、浜松医科大学の針山孝彦教授、山濱由美博士にご協力いただいた。これらの結果は、野外における紫外線写真の観察からも裏付けられた(図1)。

(2) シオカラトンボの表面微細構造の観察：体色変化に伴う表面微細構造の変化を、電子顕微鏡を用いて観察した。その結果、UV を強く反射する成熟オスでは、Wax の分泌により表面が板状の構造で覆われることが確認された。アセトン塗布により光の散乱を妨げると、体色が一時的に変化することからも、体色変化は構造色によるものであることが示唆された。

(3) Wax の溶解性と撥水性の解析：Wax の特性を調べるために、Wax の溶解性を調べたところ、ヘキサンによって表面が溶解し、クロロホルムによって Wax 全体がほぼ完全に溶解することが確認された。また Wax の溶解に伴って、撥水性の低下が認められた。Wax はヘキサンに可溶の層(板状 Wax)とクロロホルムに可溶の層(線状 Wax)の二層構造になっている可能性が考えられた。なお、撥水性の解析は、名古屋工業大学の石井大佑博士にご協力いただいた。

(4) UV 反射 Wax の同定：Wax の成分を GC-MS を用いて解析したところ、シオカラトンボの成熟オスでは 7 種類の混合物であることが明らかになった。Wax 分泌を行う他の種でも解析したところ、シオカラトンボのメス腹側では 7 種類のうちの 4 種類、オオシオカラトンボの成熟オスでは 7 種類のうちの 3 種類、ナツアカネの成熟メス腹側では 7 種類のうちの 1 種類からなることが確認された。以上のように、トンボの UV 反射 Wax の構成要素は種間や雌雄間で予想以上に多様であり、強い UV 反射能を持つシオカラトンボ成熟オスの背側で最も多くの種類の Wax を合成していることが明らかになった。なお、GC-MS 解析は、産業技術総合研究所の川口研博士にご協力いただいた。

(5) Wax 産生に関わる遺伝子解析：シオカラトンボの皮膚を用いた RNAseq 解析の結果、Wax 産生時に強く発現する遺伝子を 1 種類同定することに関わった。この遺伝子は脂肪酸伸長に関わるもので、Wax 合成との関連が強く示唆された。なお、RNAseq 解析にあたっては、東京農業大学の矢嶋俊介教授、川原(三木)玲香博士にご協力いただいた。

(6) 合成 Wax の特性 : Wax の主要成分 1 種類に関して、京都大学の森直樹教授との共同研究によって合成に成功した。合成 Wax を結晶化させたところ、単体でも強い紫外線反射能と撥水性が確認された。以上のように、シオカラトンボの Wax には UV 反射能と撥水性が認められるが、Wax の主要成分 1 種類の合成品でも、これらの特徴は再現でき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 10 件)

Okude G., Futahashi R., Tanahashi M., Fukatsu T. (2017) Laboratory rearing system for *Ischnura senegalensis* (Insecta: Odonata) enables detailed description of dragonfly's larval development and morphogenesis. *Zoological Science*, in press. 査読有.

Sasamoto A., Futahashi R., Kosterin O.E., Malikova E. I. (2017) Note on *Othetrum melania* (Anisoptera: Libellulidae) from Kunashir Island with a reference to its subspecific status. *Tombo*, in press. 査読有.

Okude G., Futahashi R., Kawahara-Miki R., Yoshitake K., Yajima S., Fukatsu T. (2017) Electroporation-mediated RNA interference reveals a role of multicopper oxidase 2 gene in dragonfly's cuticular pigmentation. *Applied Entomology and Zoology*, in press. 査読有.
DOI: 10.1007/s13355-017-0489-9

Bybee S., Cordoba-Aguilar A., Duryea M.C., Futahashi R., Hansson B., Lorenzo-Carballa M.O., Schilder R., Stoks R., Suvorov A., Svensson E.I., Swaegers J., Takahashi Y., Watts P.C., Wellenreuther M. (2016) Odonata (dragonflies and damselflies) as a bridge between ecology and evolutionary genomics. *Frontiers in Zoology*, 13: 46. 査読有.
DOI: 10.1186/s12983-016-0176-7

Fukatsu T., Futahashi R. (2016) Molecular basis of insect colors and patterns. *Current Opinion in Insect Science*, 17: vi-viii. 査読なし.
DOI: 10.1016/j.cois.2016.08.004

Futahashi R. (2016) Color vision and color formation in dragonflies. *Current Opinion in Insect Science*, 17: 32-39. 査

読有.

DOI: 10.1016/j.cois.2016.05.014

Kompier T., Futahashi R. (2016) A new subspecies of *Othetrum melania* from Vietnam (Odonata: Libellulidae). *Tombo*, 58: 27-33. 査読有.

二橋亮 (2015) トンボの種分化と分子系統解析. *昆虫と自然*, 50(14): 23-29. 査読なし.

二橋亮 (2015) トンボの生存戦略に関する体色と色覚の進化. *科研費 NEWS*, 2015 年度 vol.1: 14. 査読なし.
https://www.jsps.go.jp/seika/2015/vol1_009.html

二橋亮 (2014) 研究奨励賞受賞記 トンボに魅せられた研究者. *日本進化学会ニュース*, 15(3): 51-53. 査読なし.

[学会発表](計 29 件中 12 件を下記に記載)

二橋亮 (2017) トンボの体色変化と体色多型. *Masaki-Kinen Symposium*. 小金井. 2017 年 3 月 30 日. 招待講演.

二橋亮 (2017) トンボの色覚と体色の多様性. *日本蚕糸学会第 87 回大会*. つくば. 2017 年 3 月 21 日. 招待講演.

二橋亮 (2016) トンボの色覚と体色の多様性に関わる分子機構. 第 39 回日本分子生物学会年会. 横浜. 2016 年 12 月 2 日. 招待講演.

Futahashi R., Fukatsu T. (2016) Molecular bases underlying the diversity of color pattern and color vision in dragonflies. XXV International Congress of Entomology. Orlando, USA, Sep. 27, 2016. 招待講演.

Futahashi R. (2016) Molecular mechanisms underlying color pattern diversity in dragonflies. AIST-RIKEN Bioinformatics Virtual Joint Laboratory Meeting. Tokyo, Mar. 30, 2016. 招待講演.

二橋亮 (2015) トンボの体色形成と色覚の分子基盤. *日本動物学会第 86 回大会*. 新潟. 2015 年 9 月 18 日. 招待講演.

二橋亮 (2014) 昆虫の体色および模様の形成機構と進化. 第 46 回種生物学シンポジウム. 山梨. 2014 年 12 月 5 日. 招待講演.

二橋亮 (2014) トンボの体色形成に関わる分子機構. 15 回構造色シンポジウム. 東京. 2014 年 11 月 15 日. 招待講演.

二橋亮 (2014) トンボの成熟過程における体色変化の分子機構. 日本動物学会第 85 回大会. 仙台. 2014 年 9 月 12 日. 招待講演.

Futahashi R., Fukatsu T. (2014) Molecular mechanisms underlying color pattern formation in dragonflies. Annual Meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology and the Society for Mathematical Biology. Osaka, Jul. 30, 2014. 招待講演.

二橋亮 (2014) 昆虫の体色・斑紋形成の分子機構. 材料・製造フォーラム「ソフトマテリアル」分科会. つくば. 2014 年 6 月 4 日. 招待講演.

二橋亮 (2014) トンボの体色形成と進化. 昆虫 DNA 研究会第 11 回研究集会. つくば. 2014 年 5 月 17 日. 招待講演.

〔図書〕(計 5 件)

尾園暁・二橋亮 (2016) 「ぜんぶわかる! トンボ」. 68pp. ポプラ社.

尾園暁・二橋亮 (2015) 「しぜん キンダーブック 8月号 とんぼ」. 28pp. フレーベル館.

二橋亮 (2015) 斑紋形成の遺伝子制御. 八木孝司 編 「チョウの斑紋形成の生物学」 pp.35-66. 大阪公立大学共同出版会.

二橋美瑞子・二橋亮 (2015) 昆虫の色素合成と紋様形成. 伊藤祥輔・柴原茂樹・錦織千佳子 編 「色素細胞 第 2 版」pp.172-191. 慶應義塾大学出版会.

二橋亮 (2015) トンボの色いろいろ. 日本昆虫科学連合編 「昆虫科学読本 虫の目で見た驚きの世界」 pp.2-14. 東海大学出版部.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 紫外線反射剤組成物及び撥水剤組成物
発明者: 二橋亮・川口研・針山孝彦・山濱由美・石井大佑・矢嶋俊介・三木玲香・森直樹
権利者: 国立研究開発法人産業技術総合研究所・国立大学法人浜松医科大学・国立大学法人名古屋工業大学・学校法人東京農業大学

種類: 特許

番号: 特願 2017-100693

出願年月日: 2017 年 5 月 22 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ

<http://staff.aist.go.jp/t-fukatsu/Futahashi%20right.html>

<https://sites.google.com/site/ryofutahashi/home/japanese>

6. 研究組織

(1) 二橋 亮 (FUTAHASHI RYO)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所・
生物プロセス研究部門・主任研究員

研究者番号: 50549889