

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H02491

研究課題名（和文）トンボにおける色覚・体色進化の分子基盤の解明

研究課題名（英文）Molecular mechanisms underlying the evolution of color vision and color formation in 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・生命工学領域・上級主任研究員

研究者番号：50549889

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：トンボは、基本的に視覚で相手を認識することから、雌雄や近縁種間で成虫の体色・斑紋に際立った多様性が見られる。トンボの体色形成に関する分子基盤は、ほとんど不明であったが、本研究では最初に各種トンボ類で幼虫から成虫になる際の形態変化を記載し、終齢幼虫前半のステージ1に局所的RNAiを行うことで、表皮の場合はほぼ100%の効率で遺伝子機能阻害が可能であることを見出した。この系を用いて、成虫への変態に必須な遺伝子や、体色・斑紋形成に重要な遺伝子を複数同定することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、各種トンボ類が地味な体色の幼虫から色鮮やかな成虫へと変態する際の形態変化の詳細を記載し、変態の際に必須となる3種類の転写因子を特定することができた。これは昆虫の多様性を担う変態を制御する分子機構に関する新知見であり、完全変態昆虫で蛹の形質を規定する遺伝子が、昆虫間でどのように進化してきたかを理解する上で重要な発見である。また、トンボが分泌する特殊な紫外線反射ワックスに関して国際特許を取得できたので、新たな生物由来の素材として利用できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：Dragonflies recognize their mates primarily by vision, and thus there is striking diversity in the coloration and markings between sexes and among closely related species. Although the molecular basis underlying color formation in dragonflies has been largely unknown, this study described the morphological changes during nymph-to-adult metamorphosis in various dragonfly species and found that local RNAi in the first half of the final instar nymphs can inhibit gene function with almost 100% efficiency, at least for epidermis. Using this method, we succeeded in identifying the three transcription factor genes that are essential for metamorphosis into adults and several genes that are important for color formation.

研究分野：昆虫分子生物学

キーワード：トンボ 体色形成 色覚 変態 紫外線反射

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

トンボは、基本的に視覚で相手を認識するため、体色や斑紋に著しい多様性が見られる。トンボの体色・斑紋の多様性に関しては、生態学的・行動学的な面から研究が進められてきたが、トンボは入手・飼育が困難であることや遺伝子機能解析系が整備されていないことから、体色形成に関与する具体的な分子基盤は未解明であった。我々は、トンボで色覚に関わるオプシン遺伝子がトンボで極端に多様化していること (Futahashi et al., 2015 *PNAS*)、アカトンボの体色変化は色素の酸化還元反応が原因であること (Futahashi et al., 2012 *PNAS*) 等をこれまでに発見してきた。また、エレクトロポレーションを併用した RNAi 法によって、ハッチョウトンボでは局所的な遺伝子機能阻害が可能であることを確認した (Okude et al., 2017 *Appl Entomol Zool*)。一方で、遺伝子機能解析の条件検討を行うにあたって、そもそも地味な体色の幼虫から色鮮やかな成虫へ変態する際に、どのような形態変化が生じるかについての情報が不足していた。

2. 研究の目的

本研究では、トンボを用いた分子生物学的解析を進めるために、各種トンボが幼虫から成虫へと変態する際の形態変化を観察し、多くの種で適用可能な遺伝子機能解析系の確立を試みた。次に、遺伝子機能解析系を用いて、トンボの体色形成や変態を制御する遺伝子の解明を目指した。さらに、紫外線反射機構をトンボの様々な種間で比較解析し、その分子基盤の解明を目指した。

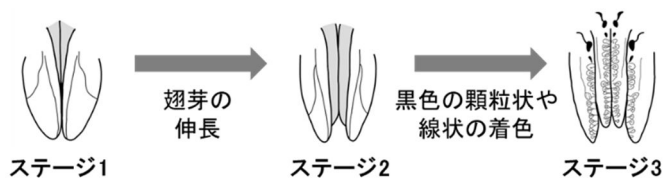
3. 研究の方法

各種トンボの終齢幼虫の外部形態を観察し、変態が生じる過程の詳細な記載を行うとともに、エレクトロポレーションを併用した局所的 RNAi 法をさまざまなタイミングで行い、遺伝子機能解析系の条件検討を行った。また、それぞれのステージで組織ごとに RNAseq 解析を行い、幼虫から成虫への変態や体色形成に関わる遺伝子の探索を行った。得られた候補遺伝子に関しては、局所的 RNAi 法で機能解析を行った。一方で、紫外線反射に関しては、紫外線カメラを用いた観察を行うとともに、反射パターンの異なる種間や雌雄間、多型間で遺伝子発現の比較を行った。

4. 研究成果

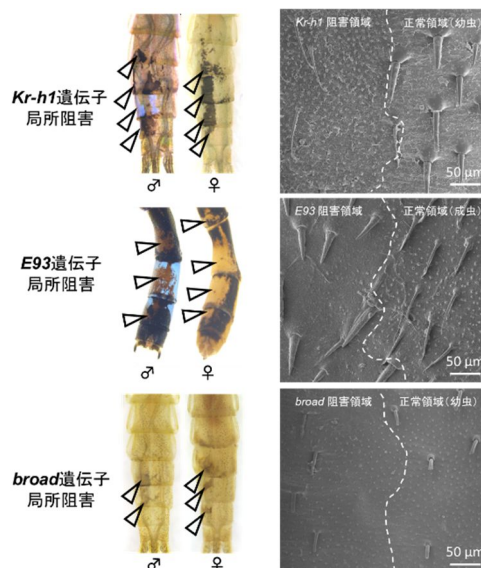
(1) トンボの終齢幼虫の形態変化の記載と機能解析系の条件検討

14科49種のトンボの終齢幼虫の形態変化を毎日写真撮影して比較した結果、ほぼ全ての種は翅の形態から3つのステージに区別できることが明らかになった (図1) (Okude et al., 2021 *Sci Rep*)。次に、終齢幼虫のさまざまな時期に局所的 RNAi を行った結果、成虫表皮の体色や斑紋に関わる遺伝子は、ステージ1に処理すると、ほぼ100%の効率で機能阻害が可能であることが確認された (Okude et al., 2021 *J Vis Exp*)。



(2) トンボの変態に重要な転写因子の発見

イトトンボ科のアオモンイトトンボを用いて、RNAseq 解析により卵、前幼虫、若齢幼虫、亜終齢幼虫、終齢幼虫、未成熟成虫、成熟成虫の計82サンプルにおける網羅的な遺伝子発現解析を行い、幼虫特異的および成虫特異的遺伝子の探索を行った。その結果、頭部、胸部、腹部、翅の全てにおいて有意に差の見られた幼虫特異的遺伝子8種、成虫特異的遺伝子7種が得られた。局所的 RNAi による遺伝子機能阻害を行った結果、3種の転写因子 *Kr-h1*、*broad*、*E93* で顕著な表現型が得られた。*Kr-h1* は幼虫形態の維持、*E93* は成虫化に必要なものに対して、完全変態昆虫で蛹の形質を決定する *broad* は幼虫の形質を作り出す遺伝子と成虫の形質を作り出す遺伝子の両方を調節していることを発見した (図2) (Okude et al., 2022 *PNAS*)。



(3) トンボの色素合成に関わる遺伝子のカタログ化と機能解析

トンボの成虫へと変態する際に発現する遺伝子に着目して、成虫の体色や斑紋形成に関わることが予想される遺伝子をリスト化した (Okude et al., 2022 *PNAS*)。特に、昆虫の三大色素であるメラニン色素、オモクローム色素、プテリジン色素については、合成や輸送に関わる遺伝子を整理した (Futahashi & Osanai-Futahashi, 2021 *Pigments, Pigment Cells & Pigment Patterns*, Okude & Futahashi, 2021 *Curr Opin Genet Dev*, Futahashi et al., 2022 *Adv Insect Physiol*)。また、昆虫の色素に関して日本語で紹介を行った (図3) (二橋・二橋, 2022 動物の体色がわかる図鑑)。さらに、色素合成に関わる遺伝子の機能解析を進めており、論文化に向けて追加の解析を継続中である。



図3 昆虫のグループごとの色素 (Futahashi & Osanai-Futahashi, 2021 *Pigments, Pigment Cells & Pigment Patterns*, 二橋・二橋, 2022 動物の体色がわかる図鑑を基に作成)

(4) トンボの紫外線反射メカニズムの比較解析

紫外線カメラで様々な種類を観察した結果、トンボのワックス産生部位では紫外線を反射すること、紫外線反射ワックスの種類や産生に関わる遺伝子は種ごとに異なること、多層膜構造や淡色色素による紫外線反射を示す種がいること、種によっては特徴的な紫外線吸収パターンがみられることを見出した (Futahashi, 2020 *Front Ecol Evol*)。また、紫外線反射ワックスの成分利用に関して国際特許を取得した (二橋ら, 2021 特許第 6851594 号)。さらに、多層膜反射およびワックス分泌による紫外線反射に関する遺伝子の同定 (Futahashi et al., 2019 *eLife*) および機能解析を進めている。



図4 代表的なトンボの紫外線反射メカニズム (Futahashi, 2020 *Front Ecol Evol* を基に作成)

(5) 色覚に関わるオプシン遺伝子の比較解析

トンボはオプシン遺伝子の種類が極端に多く、幼虫と成虫で異なる遺伝子が機能することを以前報告しているが (Futahashi et al., 2015 *PNAS*)。発現の切り替わるタイミングに関しては不明であった。幼虫から成虫へと変態する過程の頭部の遺伝子発現比較から (Okude et al., 2022 *PNAS*)、各種オプシン遺伝子の挙動を確認できた。また、成虫の成熟過程における雌雄のオプシン遺伝子の発現変化についても複数の種で解析することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計50件（うち査読付論文 40件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kalkman Vincent J., Boudot Jean-Pierre, Futahashi Ryo, Abbott John C., Bota-Sierra Cornelio A., Guralnick Robert, Bybee Seth M., Ware Jessica, Belitz Michael W.	4. 巻 14
2. 論文標題 Diversity of Palaearctic Dragonflies and Damselflies (Odonata)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Diversity	6. 最初と最後の頁 966 ~ 966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/d14110966	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Sasamoto A., Kotabe A., Takuma Y., Kawashima I., Okude G., Futahashi R.	4. 巻 65
2. 論文標題 Description of larva of <i>Anax ephippiger</i> (Burmeister, 1839) from Japan, including changes and developments in external morphology (Odonata: Aeshnidae).	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 28 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sasamoto A., Cho S., Futahashi R.	4. 巻 65
2. 論文標題 Genetic similarity between <i>Paracercion sieboldii</i> and <i>P. v-nigrum</i> , with special reference to the population of Tsushima Island (Zygoptera: Coenagrionidae).	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 21 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Futahashi Ryo, Koshikawa Shigeyuki, Okude Genta, Osanai-Futahashi Mizuko	4. 巻 62
2. 論文標題 Diversity of melanin synthesis genes in insects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Insect Physiology	6. 最初と最後の頁 339 ~ 376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/bs.aiip.2022.03.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Futahashi Ryo	4. 巻 1
2. 論文標題 Sexual Differentiation in Dragonflies and Damselflies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Spectrum of Sex	6. 最初と最後の頁 13～35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-19-5359-0_2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Bybee Seth M., Futahashi Ryo, Renoult Julien P., Sharkey Camilla, Simon Sabrina, Suvorov Anton, Wellenreuther Maren	4. 巻 1
2. 論文標題 Transcriptomic insights into Odonata ecology and evolution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dragonflies and damselflies: Model Organisms in Ecological and Evolutionary Research, Second edition	6. 最初と最後の頁 21～36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/oso/9780192898623.003.0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 深谷航・二橋亮	4. 巻 64
2. 論文標題 栃木県で得られたニホンカワトンボの橙色翅型と無色翅型の間中型	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 21～23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川島逸郎・二橋亮	4. 巻 64
2. 論文標題 神奈川県におけるアサヒナカワトンボ の褐色翅個体の記録	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 脇本浩・守安敦・二橋亮	4. 巻 64
2. 論文標題 岡山県から発見されたアサヒナカワトンボの褐色翅个体	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 25～26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮	4. 巻 64
2. 論文標題 シオカラトンボ属の黒化異常个体	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 27～32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森田倫太郎・渡邊貴弘・二橋亮	4. 巻 65
2. 論文標題 国内2 例目のオオイトトンボとムスジイトトンボの種間雑種を茨城県石岡市で採集	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 44～46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中田達哉・二橋亮・堀繁久	4. 巻 65
2. 論文標題 キトンボの淡翅色個体の記録	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 47～48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 深谷航・二橋亮	4. 巻 65
2. 論文標題 埼玉県におけるカワトンボ属の分布調査	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 58～62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中田達哉・澤田研太・新堀修・二橋亮	4. 巻 65
2. 論文標題 富山県からオゼイトンボを初記録	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 75～77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 笹本彰彦・二橋亮	4. 巻 615
2. 論文標題 2021年の昆虫界をふりかえって トンボ界	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊むし	6. 最初と最後の頁 40～49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okude Genta, Moriyama Minoru, Kawahara-Miki Ryouka, Yajima Shunsuke, Fukatsu Takema, Futahashi Ryo	4. 巻 119
2. 論文標題 Molecular mechanisms underlying metamorphosis in the most-ancestral winged insect	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2114773119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2114773119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Deng Junchen, Assandri Giacomo, Chauhan Pallavi, Futahashi Ryo, Galimberti Andrea, Hansson Bengt, Lancaster Lesley T., Takahashi Yuma, Svensson Erik I., Duploux Anne	4. 巻 21
2. 論文標題 Wolbachia-driven selective sweep in a range expanding insect species	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BMC Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12862-021-01906-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tomihara Kenta, Satta Katsuya, Matsuzaki Shohei, Yoshitake Kazutoshi, Yamamoto Kimiko, Uchiyama Hironobu, Yajima Shunsuke, Futahashi Ryo, Katsuma Susumu, Osanai-Futahashi Mizuko, Kiuchi Takashi	4. 巻 137
2. 論文標題 Mutations in a -group of solute carrier gene are responsible for egg and eye coloration of the brown egg 4 (b-4) mutant in the silkworm, Bombyx mori	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Insect Biochemistry and Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 103624 ~ 103624
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ibmb.2021.103624	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Michihiko, Okude Genta, Futahashi Ryo, Takahashi Yuma, Kawata Masakado	4. 巻 17
2. 論文標題 The effect of the doublesex gene in body colour masculinization of the damselfly <i>Ischnura senegalensis</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 20200761
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsbl.2020.0761	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡崎幹人・二橋亮	4. 巻 63
2. 論文標題 北大東島におけるリュウキュウカトリヤンマの記録	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 91 ~ 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮	4. 巻 63
2. 論文標題 ホメオシスと推定されるスジボソギンヤンマの記録	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 61~62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 古田部聖・二橋亮	4. 巻 63
2. 論文標題 2020年に八重山諸島で採集した種間雑種2例	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 51~54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Futahashi Ryo, Osanai-Futahashi Mizuko	4. 巻 1
2. 論文標題 Pigments in Insects	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Pigments, Pigment Cells, and Pigment Patterns	6. 最初と最後の頁 3~43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-16-1490-3_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okude Genta, Fukatsu Takema, Futahashi Ryo	4. 巻 11
2. 論文標題 Comprehensive comparative morphology and developmental staging of final instar larvae toward metamorphosis in the insect order Odonata	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-84639-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Okude Genta, Fukatsu Takema, Futahashi Ryo	4. 巻 168
2. 論文標題 Electroporation-mediated RNA Interference Method in Odonata	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Visualized Experiments	6. 最初と最後の頁 e61952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3791/61952	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Okude Genta, Futahashi Ryo	4. 巻 69
2. 論文標題 Pigmentation and color pattern diversity in Odonata	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Opinion in Genetics & Development	6. 最初と最後の頁 14 ~ 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gde.2020.12.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Futahashi Ryo	4. 巻 8
2. 論文標題 Diversity of UV Reflection Patterns in Odonata	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fevo.2020.00201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 横山透・二橋亮	4. 巻 32
2. 論文標題 札幌市で記録されたタイリクアキアカネの検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 北海道トンボ研究会報	6. 最初と最後の頁 11-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okude Genta, Futahashi Ryo	4. 巻 9
2. 論文標題 Interspecific hybrid between <i>Paracercion sieboldii</i> and <i>P. melanotum</i> from Japan (Odonata: Coenagrionidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Notulae odonatologicae	6. 最初と最後の頁 204-208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5281/zenodo.3823261	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋弘之・二橋征史・二橋亮	4. 巻 62
2. 論文標題 富山県からヒメギンヤンマを初記録	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 131-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 笹本彰彦・斎藤清・二橋亮	4. 巻 62
2. 論文標題 国内2例目のチョウセンエゾトンボ名義タイプ亜種を長野県から記録	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 123-125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥出絃太・渡辺賢一・二橋亮	4. 巻 62
2. 論文標題 石垣島産ナンヨウベッコウトンボのDNA 解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 106-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 杉村光俊・二橋亮	4. 巻 62
2. 論文標題 高知県でマイコアカネとマユタテアカネの種間雑種を採集	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 104-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okude Genta, Fukatsu Takema, Futahashi Ryo	4. 巻 23
2. 論文標題 Interspecific crossing between blue tailed damselflies <i>Ischnura elegans</i> and <i>I. senegalensis</i> in the laboratory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entomological Science	6. 最初と最後の頁 165-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12408	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮	4. 巻 71
2. 論文標題 トンボの体色変化と環境適応 ユニークな方法で色を変えるトンボたち	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 どうぶつと動物園	6. 最初と最後の頁 24-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 玉田明洋・奥出絃太・二橋亮	4. 巻 61
2. 論文標題 新潟県で採集された翅の一部が白濁したニホンカワトンボ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 41-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮・松木和雄	4. 巻 61
2. 論文標題 千葉県におけるナツアカネの黒化個体の記録	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 46-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮	4. 巻 451
2. 論文標題 トンボから発見された紫外線反射ワックス	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 OPTRONICS	6. 最初と最後の頁 195-199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮	4. 巻 581
2. 論文標題 ワックスによるトンボの体色変化と性分化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 現代化学	6. 最初と最後の頁 48-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮	4. 巻 70
2. 論文標題 トンボ由来の新規紫外線反射物質	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 プラスチック	6. 最初と最後の頁 79-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Conniff K., Sasamoto A., Futahashi R., Singh Limbu M.	4. 巻 48
2. 論文標題 Revision of the status of <i>Anaciaeschna donaldi</i> and <i>A. martini</i> , with allied species, and distributional notes (Odonata: Aeshnidae).	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Odonatologica	6. 最初と最後の頁 265-284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5281/zenodo.3539740	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sasamoto Akihiko, Yokoi Naoto, Souphanthong Vilaysak, Phan Quoc Toan, Futahashi Ryo	4. 巻 22
2. 論文標題 Discovery of a third species of the genus <i>Noguchiphaea</i> Asahina, 1976 - <i>Noguchiphaea laotica</i> sp. n. from Laos (Odonata: Calopterygidae)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Odonatology	6. 最初と最後の頁 59-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13887890.2019.1570875	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Futahashi Ryo, Yamahama Yumi, Kawaguchi Migaku, Mori Naoki, Ishii Daisuke, Okude Genta, Hirai Yuji, Kawahara-Miki Ryouka, Yoshitake Kazutoshi, Yajima Shunsuke, Hariyama Takahiko, Fukatsu Takema	4. 巻 8
2. 論文標題 Molecular basis of wax-based color change and UV reflection in dragonflies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 e43045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7554/eLife.43045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 笹本彰彦・二橋亮	4. 巻 627
2. 論文標題 2022年の昆虫界をふりかえって トンボ界	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 月刊むし	6. 最初と最後の頁 37-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 深谷航・二橋亮	4. 巻 59
2. 論文標題 栃木県におけるスジボソギンヤンマ の採集例	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Aeschna	6. 最初と最後の頁 15-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大澤尚之・二橋亮	4. 巻 59
2. 論文標題 神奈川県におけるスジボソギンヤンマの記録	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Aeschna	6. 最初と最後の頁 29-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥出絃太・二橋亮	4. 巻 66
2. 論文標題 トンボの終齢幼虫の形態変化と変態制御遺伝子	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮・深谷航	4. 巻 66
2. 論文標題 栃木県におけるカワトンボ属の分布調査	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 41-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二橋亮・鍵本文吾・坂本充	4. 巻 66
2. 論文標題 ミヤジマトンボの宮島の集団間における遺伝的多様性の解析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 56-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 西本晋也・堀田実・二橋亮	4. 巻 66
2. 論文標題 翅の一部が未成熟色のベニトンボ成熟 の記録	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tombo	6. 最初と最後の頁 70-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 二橋亮
2. 発表標題 トンボの不思議を追いかけて
3. 学会等名 日本動物学会第93回大会 (招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 二橋亮
2. 発表標題 トンボの色ができるメカニズムについて
3. 学会等名 日本トンボ学会2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Futahashi Ryo
2. 発表標題 Molecular mechanisms underlying color formation in dragonflies and damselflies
3. 学会等名 The 93rd Annual Meeting of the Genetics Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 二橋亮
2. 発表標題 日本のトンボの分類と分布に関する最近の知見
3. 学会等名 日本トンボ学会2021年大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Futahashi Ryo
2. 発表標題 Body color changes and environmental adaptation in dragonflies.
3. 学会等名 The 43th Annual Meeting of the Molecular Biology Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 二橋亮
2. 発表標題 日本国内におけるトンボの種間雑種の記録と遺伝子解析の最新の知見
3. 学会等名 日本トンボ学会2019年大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二橋亮
2. 発表標題 トンボの体色形成と紫外線反射メカニズム
3. 学会等名 分子系の複合電子機能第181委員会・第33回研究会「生物模倣と材料科学」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二橋亮
2. 発表標題 好きだからもっと知りたい トンボの不思議
3. 学会等名 サイエンス・スクエアつくば(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二橋亮
2. 発表標題 トンボの体色多型と性分化
3. 学会等名 日本動物学会第90回大阪大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二橋亮
2. 発表標題 トンボで幅広く見られる性スペクトラムの分子基盤
3. 学会等名 「先進ゲノム支援」拡大班会議
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 秋山 豊子、池田 譲、伊藤 祥輔、合田 真、近藤 滋、四宮 愛、高橋 明義、橋本 寿史、廣部 知久、福澤 利彦、二橋 美瑞子、二橋 亮、持田 浩治、森本 元、吉岡 伸也、若松 一雅	4. 発行年 2022年
2. 出版社 グラフィック社	5. 総ページ数 324
3. 書名 動物の体色がわかる図鑑	

1. 著者名 尾園 暁、川島逸郎、二橋 亮	4. 発行年 2021年
2. 出版社 文一総合出版	5. 総ページ数 532
3. 書名 日本のトンボ 改訂版	

1. 著者名 Hisashi Hashimoto, Makoto Goda, Ryo Futuhashi, Robert N. Kelsh, Toyoko Akiyama	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Nature Singapore Pte Ltd	5. 総ページ数 472
3. 書名 Pigments, Pigment Cells, and Pigment Patterns	

1. 著者名 飯村茂樹・二橋亮	4. 発行年 2021年
2. 出版社 チャイルド本社	5. 総ページ数 27
3. 書名 このゆびとまれ！あかとんぼ	

1. 著者名 尾園暁・二橋亮	4. 発行年 2019年
2. 出版社 チャイルド本社	5. 総ページ数 27
3. 書名 とんぼって かつこいい!	

1. 著者名 杉村 光俊、吉田 一夫、山本 哲央、大浜 祥治、二橋 亮	4. 発行年 2023年
2. 出版社 いかだ社	5. 総ページ数 276
3. 書名 四国・中国・近畿のトンボでわかる快適環境	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Webページ https://staff.aist.go.jp/ryo-futahashi/

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------