

# COMPLEX ADAPTIVE TRAITS

Newsletter

## 新学術領域研究 「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」



号外  
アカトンボがどうして赤くなるのかを解明

Vol. 3 No. S1 2012

表紙写真：連結飛翔中のナツアカネ *Sympetrum darwinianum* の雌雄成虫。鮮やかな赤色の雄（右）が尾端の把握器で黄褐色の雌（左）の頭部をつかんでいる（産業技術総合研究所 二橋亮）。

# Redox Alters Yellow Dragonflies into Red

Ryo Futahashi, Ryoji Kurita, Hiroaki Mano and Takema Fukatsu

*Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109 (31): 12626-12631

31 July 2012, DOI: 10.1073/pnas.1207114109

Body color change associated with sexual maturation—so-called nuptial coloration—is commonly found in diverse vertebrates and invertebrates, and plays important roles for their reproductive success. In some dragonflies, whereas females and young males are yellowish in color, aged males turn vivid red upon sexual maturation. The male-specific coloration plays pivotal roles in, for example, mating and territoriality, but molecular basis of the sex-related transition in body coloration of the dragonflies has been poorly understood. Here we demonstrate that yellow/red color changes in the dragonflies are regulated by redox states of epidermal ommochrome pigments. Ratios of reduced-form pigments to oxidized-form pigments were significantly higher in red mature males than yellow females and immature males. The ommochrome pigments extracted from the dragonflies changed color according to redox conditions in vitro: from red to yellow in the presence of oxidant and from yellow to red in the presence of reductant. By injecting the reductant solution into live insects, the yellow-to-red color change was experimentally reproduced in vivo in immature males and mature females. Discontinuous yellow/red mosaicism was observed in body coloration of gynandromorphic dragonflies, suggesting a cell-autonomous regulation over the redox states of the ommochrome pigments. Our finding extends the mechanical repertoire of pigment-based body color change in animals, and highlights an impressively simple molecular mechanism that regulates an ecologically important color trait.

<http://www.pnas.org/content/109/31/12626.abstract>

<http://www.pnas.org/content/109/31/12626.full.pdf+html?with-ds=yes>

# アカトンボがどうして赤くなるのかを解明 — 酸化還元反応による体色変化機構 —

2012年7月10日産業技術総合研究所プレス発表

[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2012/pr20120710/pr20120710.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120710/pr20120710.html)

## 【概要】

独立行政法人 産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門の二橋 亮 研究員、深津 武馬 研究グループ長らは、日本人に馴染みの深いアカトンボの仲間では、オモクロームという色素の酸化還元反応によって、体色が黄色から赤色に変化することを解明した（図1）。

アカトンボは、未成熟の成虫ではオスもメスも体色は黄色であるが、オスは成熟する過程で黄色から赤色へと体色に変化する。これは、オモクロームが酸化型から還元型へと変化するることによるもので、色素の酸化還元状態の変化により体色が大きく変わるという、これまで動物では知られていなかった体色変化機構である。赤くなったトンボの細胞は還元型色素によって抗酸化状態となっているため、体色変化に関わる分子メカニズムの理解が進むことで、体内の抗酸化状態を維持するしくみの解明への展開も期待される。

この研究成果は、2012年7月10日に米国の学術誌 *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* にオンライン発表された。

<http://www.pnas.org/content/early/2012/07/06/1207114109.abstract>



図1 アカトンボの体色変化（写真はナツアカネ）

メスはオスと比べて還元型の色素の割合が低く抗酸化状態の程度も低い

## 【研究の内容】

赤とんぼ（三木露風 作詞、山田耕筰 作曲）のメロディーは、日本人なら誰でも知っている心の歌といってよいだろう。抜けるような青空に映えるアカトンボの群れ飛ぶさまは、私たちに秋の訪れを告げる季節の風物詩としてなじみ深いものである。

では、なぜアカトンボは赤いのか？実は鮮やかな赤色のアカトンボは成熟したオスであり、メスや、羽化したての未成熟のオスは、地味な黄色っぽい色彩をしている。このような雌雄の体色の違いは、配偶者の認識や縄張り行動などにおいて重要な役割を担っている（図2）。昆虫類やその他の動物における体色変化については、色素の合成や分解、色素の局在変化、餌からの色素取り込みなどの機構が知られているが、これまでアカトンボの体色変化機構についてはまったく不明であった。





図2 ショウジョウトンボの未成熟および成熟の雌雄の体色

そこでまず、アキアカネ、ナツアカネ、ショウジョウトンボの3種類のアカトンボに含まれる色素の抽出と同定を行った。これらのアカトンボに共通して、黄色～赤色の色素である2種類のオモクローム系色素(キサントマチンと脱炭酸型キサントマチン)が含まれることがわかった(図3)。

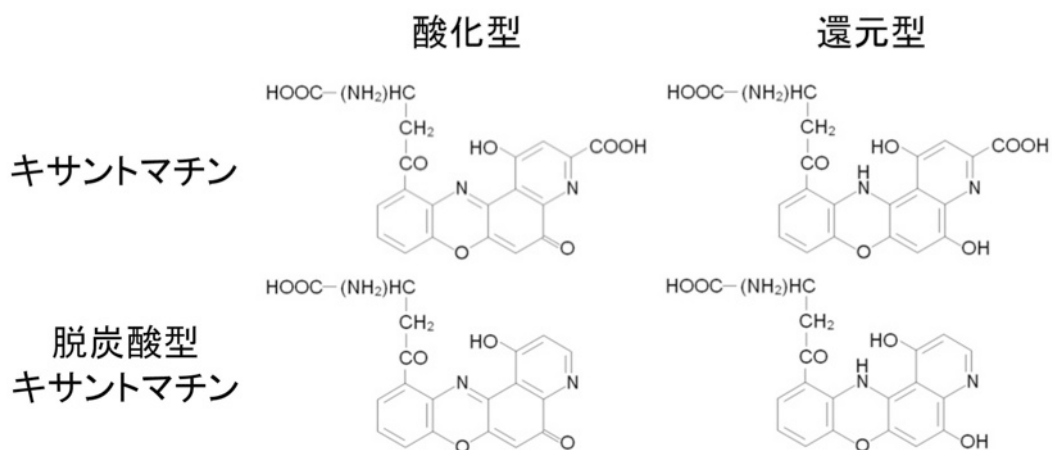


図3 赤くなるトンボから同定された2種類のオモクローム系色素  
どちらも酸化型は黄色みが強く、還元型は赤みが強い

オモクローム系色素については、先行研究により試験管内で酸化還元反応により色が可逆的に変化することが報告されていた。今回、アカトンボから抽出した色素は酸化剤や還元剤を添加すると、酸化剤によって黄色へ、還元剤によって赤色へと可逆的に変化した。さらに、生きているアカトンボに還元剤であるアスコルビン酸(ビタミンC)を注入したところ、未成熟オスだけでなく成熟メスも、成熟オスのような赤い体色に変化した(図4上)。未成熟と成熟のオスとメスのそれぞれから抽出した色素について酸化還元電流を測定して、色素の酸化型と還元型の割合を定量したところ、成熟オスだけ還元型オモクローム系色素の割合が顕著に高かった(図4下)。これらの結果から、アカトンボの黄色から赤色への体色変化は、オモクローム系色素が還元型に変化することが主要な原因であることがわかった。

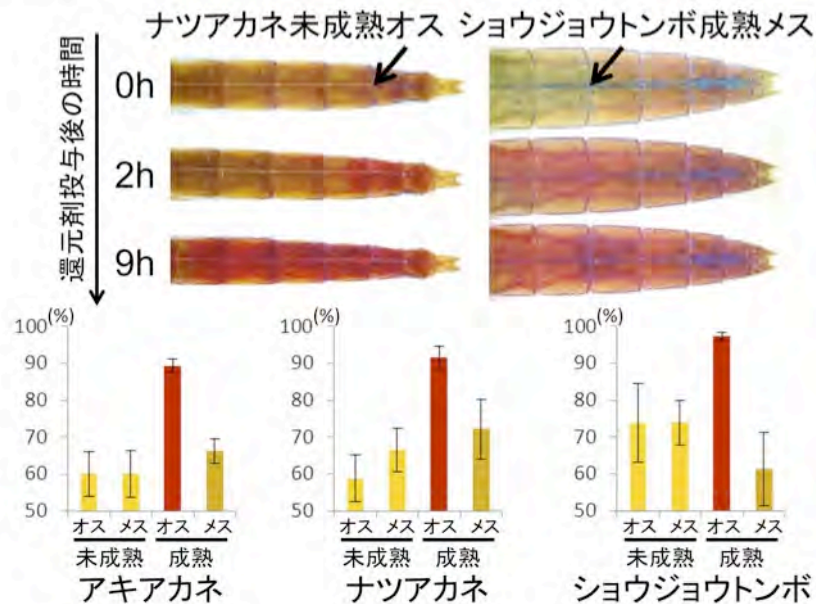


図4 (上) 還元剤を矢印の部分に局所注入したときの体色変化  
 (下) 成虫の腹部から抽出したオモクローム系色素の還元型の割合  
 (10 個体の平均と標準偏差)

植物などでは、アスコルビン酸など水溶性の抗酸化物質（還元剤）の蓄積がよくみられるが、アカトンボでも成熟オスでは抗酸化物質の合成や蓄積が行われ、オモクローム系色素の還元に関与している可能性が考えられた。そこで、トンボの皮膚を水で抽出して抗酸化物質の存在を調べたところ、成熟オスには抗酸化物質が多く含まれることが示された（図5）。また、この抗酸化物質を同定したところ、還元型オモクローム系色素そのものが、オスに含まれる抗酸化物質の主要成分であることが判明した。

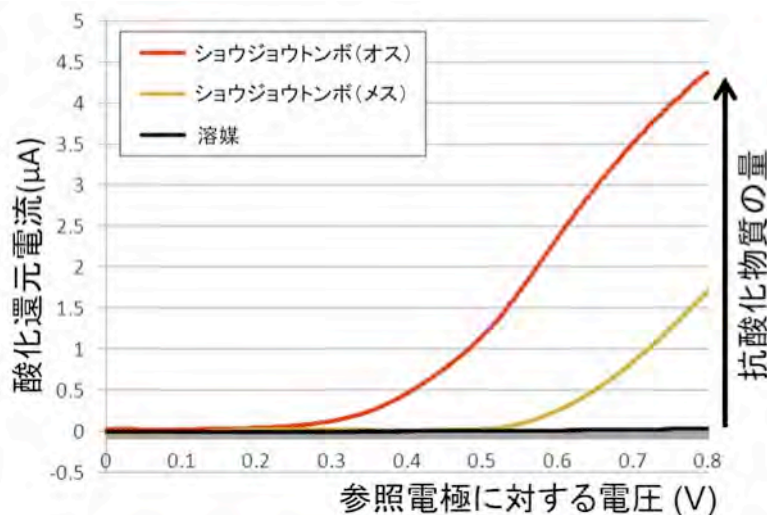


図5 酸化還元電流の測定結果  
 赤い成熟オスでは抗酸化物質の量が多いことが確認された

従来、多くのアカトンボ類でオスだけが赤くなるのは、婚姻色として性的に成熟したオスの識別やアピールに機能をもつと考えられてきた。しかし、今回の研究により、オスのアカトンボが日向に留まって縄張りをつくる際に、紫外線による酸化ストレスを軽減するという別の機能も果たしているという新たな可能性が考えられる。

今回、アカトンボ類が体内色素の酸化還元状態を変えることで成熟に伴う体色変化をおこすという、動物ではこれまで知られていなかった体色変化機構が明らかになった。赤くなったトンボは細胞内が抗酸化状態となっており、標本にしたアカトンボでもかなりの期間にわたって赤色が保たれることから、色素の還元型の状態を維持する何らかの機構をもっているものと思われる。その機構を解明することにより、抗酸化作用に関する新たな理解が得られる可能性も考えられる。

### 【今後の展開】

今後は、次世代シーケンサーを用いた網羅的遺伝子発現解析を行い、アカトンボの体色変化に関わる分子機構を解明することで、抗酸化反応を効率的に行い、その状態を維持する機構を明らかにしていく予定である。将来的には、天然の抗酸化物質を応用した製剤の開発などにつながる可能性もある。

### 【研究分担および支援】

二橋亮（産業技術総合研究所）が本研究全般を主導的に推進した。他の研究者の分担は以下の通りである：栗田僚二（産業技術総合研究所）酸化還元状態の測定の支援；真野弘明（基礎生物学研究所）オモクローム色素の分析の支援；深津武馬（産業技術総合研究所）研究全般の支援、論文執筆。

なお本研究の遂行にあたっては、独立行政法人 日本学術振興会 科学研究費助成事業 若手研究 B「トンボの体色変化・体色多型の分子基盤の解明」と文部科学省 科学研究費助成事業 新学術領域研究「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」による支援を受けた。

## 報道、社会への情報発信等

2012年7月10日 産業技術総合研究所プレスリリース

「アカトンボがどうして赤くなるのかを解明—酸化還元反応による体色変化機構—」

[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2012/pr20120710/pr20120710.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120710/pr20120710.html)

2012年7月10日 日本経済新聞 夕刊14面 「アカトンボはなぜ赤い 成熟で色素変化 産総研が解明 薬物開発に応用も」

2012年7月10日 日刊工業新聞 朝刊23面 「赤トンボ、赤くなり抗酸化 縄張り作り有利に 産総研が仕組み解明」

2012年7月10日 茨城新聞 朝刊1面、25面 「アカトンボ、なぜ赤い？ 体内色素が化学反応 産総研 紫外線から体を保護か」

2012年7月10日 産経新聞 朝刊20面 「アカトンボ、化学反応で赤く」

2012年7月10日 化学工業日報 朝刊5面 「オスの赤トンボ 赤色変化 色素が還元型状態に 産総研 食品、化粧品原料など抗酸化製剤に応用も」

2012年7月10日 日経産業新聞 朝刊9面 「アカトンボ、なぜ赤い？ 還元反応、色素が変化 産総研、仕組み解明」

2012年7月10日 日本農業新聞 朝刊2面 「赤トンボの「赤」を解明 産総研」

2012年7月10日 NHK水戸 「おはよう日本」 7時57分～7時59分 「赤とんぼは色素の還元で変色」

2012年7月10日 NHK水戸 「ニュースワイド茨城」 18時27分～18時28分 「赤とんぼは色素の還元で変色」

2012年7月10日 Scientific American

Daisy Yuhua "Male Dragonflies Color Shift via Simple Chemical Reaction"

<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=male-dragonflies-color-shift>

2012年7月10日 THE SCIENCE (韓国)

<http://news.dongascience.com/PHP/NewsView.php?kisaid=20120709200002317476&classcode=0102>

2012年7月10日 AZERROS (ロシア)

<http://azerros.ru/news/4556-uchenye-poznali-sekret-okraski-strekoz.html>



2012年7月10日 SPIEGEL ONLINE (ドイツ)

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/paarung-libellen-faerben-sich-rot-bei-geschlechtsr-eife-a-843392.html>

2012年7月12日 From Bacteria to Bonobos

How dragonfly puberty turns males the colour of love

<http://bacteriatobonobos.blogspot.jp/2012/07/how-dragonfly-puberty-turns-males.html> -  
[more](#)

2012年7月12日 サイエンスポータル

「アカトンボが赤いのは還元型色素のため」

<http://scienceportal.jp/news/daily/1207/1207121.html>

2012年7月12日 GIZMODO

「アカトンボはどうして赤くなるのかがついに解明される」

[http://www.gizmodo.jp/2012/07/post\\_10570.html](http://www.gizmodo.jp/2012/07/post_10570.html)

2012年7月13日 Science Fare

Lee Flohr "Dragonfly pigments identified by scientists - Male dragonflies use simple chemical reaction to obtain their scarlet hue"

<http://www.science-fare.com/article/dragonfly-pigments-identified-scientists>

2012年7月13日 ナショナルジオグラフィックニュース

「アカトンボが赤いのは還元型色素のため」

[http://www.nationalgeographic.co.jp/news/news\\_article.php?file\\_id=00020120713004](http://www.nationalgeographic.co.jp/news/news_article.php?file_id=00020120713004)

2012年7月15日 読売新聞 朝刊 15面 「赤トンボの変色 仕組み明らかに」

2012年7月24日 毎日新聞 朝刊 15面 「トンボが赤くなるしくみ解明」

2012年7月30日 朝日新聞 朝刊 23面 「赤トンボの発色を解明」

2012年8月3日 Real Clear Science

Sexy Red Dragonflies and the Chemistry of Love

<http://www.realclearscience.com/blog/2012/08/sexy-red-dragonflies-and-the-chemistry-of-love.html>

## **COMPLEX ADAPTIVE TRAITS Newsletter Vol. 3 No. S1**

発行：2012年8月9日

発行者：新学術研究領域「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」（領域代表者 長谷部光泰）

編集：COMPLEX ADAPTIVE TRAITS Newsletter 編集委員会（編集責任者 深津武馬）

領域URL：<http://staff.aist.go.jp/t-fukatsu/SGJHome.html>