



Evolutionary Theory for

CONSTRAINED & DIRECTIONAL DIVERSITIES

Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas

Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 2 No. S3 (2018)

新学術領域研究

進化の制約と方向性

～微生物から多細胞生物までを貫く表現型進化原理の解明～



号外

テントウムシの多様な斑紋を決定する遺伝子の特定に成功

Repeated inversions within a *pannier* intron drive diversification of intraspecific colour patterns of ladybird beetles

Nature Communications 9: 3843 (2018)

DOI: 10.1038/s41467-018-06116-1

<https://www.nature.com/articles/s41467-018-06116-1>

Toshiya Ando, Takeshi Matsuda, Kumiko Goto, Kimiko Hara, Akinori Ito, Junya Hirata, Joichiro Yatomi, Rei Kajitani, Miki Okuno, Katsushi Yamaguchi, Masaaki Kobayashi, Tomoyuki Takano, Yohei Minakuchi, Masahide Seki, Yutaka Suzuki, Kentaro Yano, Takehiko Itoh, Shuji Shigenobu, Atsushi Toyoda, and Teruyuki Niimi* (niimi@nibb.ac.jp)

How genetic information is modified to generate phenotypic variation within a species is one of the central questions in evolutionary biology. Here we focus on the striking intraspecific diversity of >200 aposematic elytral (forewing) colour patterns of the multicoloured Asian ladybird beetle, *Harmonia axyridis*, which is regulated by a tightly linked genetic locus *h*. Our loss-of-function analyses, genetic association studies, de novo genome assemblies, and gene expression data reveal that the GATA transcription factor gene *pannier* is the major regulatory gene located at the *h* locus, and suggest that repeated inversions and cis-regulatory modifications at *pannier* led to the expansion of colour pattern variation in *H. axyridis*. Moreover, we show that the colour-patterning function of *pannier* is conserved in the seven-spotted ladybird beetle, *Coccinella septempunctata*, suggesting that *H. axyridis*' extraordinary intraspecific variation may have arisen from ancient modifications in conserved elytral colour-patterning mechanisms in ladybird beetles.

テントウムシの多様な斑紋を決定する遺伝子の 特定に成功

Nature Communications 9: 3843 (2018)

DOI: 10.1038/s41467-018-06116-1

<https://www.nature.com/articles/s41467-018-06116-1>

安藤 俊哉、松田 武、後藤 久美子、原 喜美子、伊藤 彰紀、平田 隼也、彌富 丈一郎、梶谷 嶺、奥野 未来、山口 勝司、小林 正明、高野 知之、水口 洋平、関 真秀、鈴木 穰、矢野 健太郎、伊藤 武彦、重信 秀治、豊田 敦、新美 輝幸*
(niimi@nibb.ac.jp)

基礎生物学研究所プレスリリース <http://www.nibb.ac.jp/press/2018/09/21.html>

ナミテントウの前翅には、同種でありながら 200 以上もの異なる斑紋が存在します。この斑紋の多様性は、遺伝の様式から、一つの遺伝子によってもたらされることが古くから知られていましたが、具体的な遺伝子の実体および斑紋形成メカニズムは全く不明でした。本共同研究チームは、ナミテントウのゲノム解読などを行い、斑紋のパターンを決定する遺伝子がパニア (*pannier*) と呼ばれる遺伝子であることを特定しました。テントウムシの斑紋は、主に黒色と赤色のパターンとして作られますが、この遺伝子は、前翅がつくられる過程の、蛹の中期のステージにおいて黒色色素形成領域で働き、黒色色素 (メラニン) の合成を促すと同時に赤色色素 (カロテノイド) の沈着を抑制する機能をもつことが明らかになりました。興味深いことに、たった1つの遺伝子の働きにより翅全体の斑紋パターンが決定される機能は、ナナホシテントウにおいても保存されていることが判明しました。

本研究は基礎生物学研究所 進化発生研究部門の安藤俊哉助教と新美輝幸教授らのグループを中心として、東京工業大学の伊藤武彦教授らのグループ、基礎生物学研究所の重信秀治特任准教授らのグループ、明治大学の矢野健太郎教授らのグループ、国立遺伝学研究所の豊田敦特任教授らのグループ、東京大学の鈴木穰教授らのグループからなる共同研究チームにより実施されました。本研究成果は *Nature Communications* に 2018 年 9 月 21 日に掲載されました。

【研究の背景】

多くのテントウムシの前翅には、赤色と黒色からなる目立つ斑紋があります。テントウムシの目立つ斑紋は、苦くて不味いため食べられないことを捕食者にアピールする警告色として機能します。テントウムシ科の昆虫は、世界で6,000種、日本で180種が同定され、種に特有の多様な斑紋をもっています。なかでも、日本で最も普通に見られるテントウムシの一種であるナミテントウは、斑紋に遺伝的多型が存在し、同種でありながら200以上もの異なる斑紋をもつことが古くから知られていました(図1)。1918年以来、我が国の研究者を中心に行われてきた古典的な遺伝学実験により、ナミテントウの多様な斑紋は、たった一つの遺伝子によってもたらされることが予測されていました。しかしながら、具体的な遺伝子の実体や、テントウムシの斑紋形成メカニズムについては全く不明なままでした。

【研究の成果】

まず初めに、ナミテントウの翅の斑紋の色素の形成過程について調べたところ、色素の着色は蛹期(蛹の期間は約108時間)の後期(蛹化してから80時間後)に開始すること、また興味深いことに黒色領域と赤色領域は重ならないように制御されることが明らかになりました。

次に、翅のパターン形成に参与する遺伝子の機能をナミテントウにおいて解析したところ、*pannier*(パニア、ショウジョウバエにおいては背中の中の毛の生え方を決める遺伝子)と呼ばれる遺伝子が、テントウムシにおいては翅の斑紋形成に必須の役割を担うことを発見しました。この遺伝子は、蛹期中期の前翅の形成過程において、黒色色素形成領域で働き、黒色色素(メラニン)の合成を促すと同時に赤色色素(カロテノイド)の沈着を抑制する機能をもつことが明らかになりました。*pannier* 遺伝子の機能をRNAiと呼ばれる手法で抑制すると、黒色領域が赤色領域に変化した翅が形成されました(図2)。

さらに主要な斑紋型(紅型、斑型、二紋型)のゲノム解読を行い、*pannier* 周辺のDNA配列を取得して斑紋型ごとの配列比較を行った結果、第1イントロンの配列の多様性が斑紋の違いをもたらす要因となっている可能性が示されました(図3)。

さらに、*pannier* 遺伝子の機能の保存性を調査するため、ナナホシテントウから*pannier* 遺伝子を単離し、遺伝子機能解析を行ったところ、ナナホシテントウにおいても*pannier* は斑紋パターンを司る機能をもつことが判明しました。以上の結果から、*pannier* の斑紋パターンを決定する遺伝子としての機能は、ナミテントウとナナホシテントウの共通祖先まで遡り、この2種の祖先が分岐した少なくとも3390万年以上前には存在していたと推測されました。この2種が分岐した後、ナミテントウではおそらく遺伝子発現制御配列の変化によって多様な種内多型を生じたのに対して、ナナホシテントウでは種内多型が生じなかったという進化の経路が明らかとなりました。

【今後の展望】

本研究により、ナミテントウの斑紋パターンを決定する遺伝子として*pannier* の特定に成功し、たった1つの*pannier* 遺伝子が斑紋全体のパターンを決定することを明らかにしました。今回の成果は、進化の過程で多様性が遺伝子レベルで生じるメカニズムの普遍的な原理の解明に繋がることが期待されます。



図 1 : ナミテントウの多様な翅の斑紋

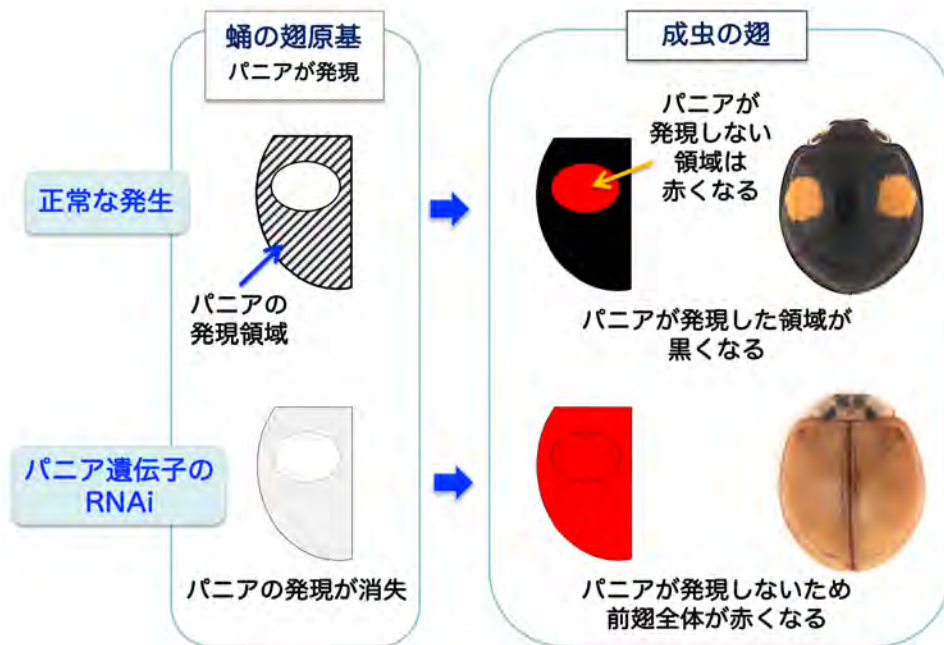


図 2 : テントウムシの斑紋形成におけるパニア遺伝子の働き (二紋型を例に)

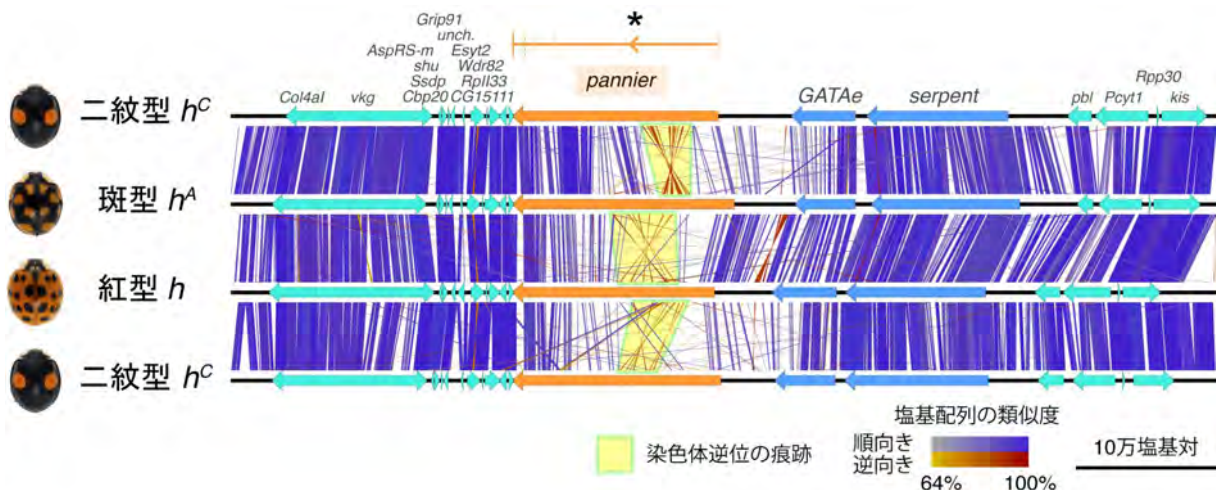


図 3 : 各斑紋型におけるパニア遺伝子周辺の DNA 配列の比較

各斑紋型(二紋・斑・紅)毎に遺伝子の並びを矢印で示す。遺伝子名は最上段に示されており、オレンジ色がパニア(*pannier*)遺伝子を示す。上下の段を結ぶ青い線は塩基配列が順向きに類似している領域を示す。赤い線は塩基配列が似ているが向きが逆向きの領域を示す。黄色で示した領域において染色体逆位の痕跡が見られる。いずれの斑紋型同士の比較でも見つかることから、斑紋の進化とともに複数回パニア遺伝子の内部で逆位が生じてきたと推測される。アスタリスク(*)は逆位が繰り返されてきたパニアの第一イントロン領域を示す。

報道、社会への情報発信等

2018年9月22日 毎日新聞 朝刊 28面
模様 遺伝子が決める テントウムシ 研究グループ特定

2018年9月22日 読売新聞 朝刊 23面
テントウムシ 羽の模様遺伝子特定 基礎生物学研究所

2018年9月22日 日本経済新聞 夕刊 8面
テントウムシ模様 決める遺伝子 基礎生物学研究所が特定

2018年10月1日 中日新聞 朝刊 16面
ナミテントウ 模様200種超 基生研グループ 決定遺伝子特定

2018年10月11日 毎日小学生新聞 1面
テントウムシ 1つの遺伝子が模様決める

2018年11月10日 子供の科学 12月号
テントウムシの模様を決める遺伝子を特定！

Nature Research Ecology & Evolution Community: Behind the Paper
“Wing colour prepattern gene in ladybird beetles”

<https://natureecoevocommunity.nature.com/channels/521-behind-the-paper/posts/39056-wing-colour-prepattern-gene-in-ladybird-beetles>

Web ニュース 32件

Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 2 No. S3

発行 : 2018 年 11 月 15 日

発行者 : 新学術領域研究「進化の制約と方向性～微生物から多細胞生物までを貫く表現型
進化原理の解明～」(領域代表者 倉谷 滋)

編集 : Constrained & Directional Evolution Newsletter 編集委員会(編集責任者 深津 武馬)

領域 URL : <http://constrained-evo.org/>