

## 昆虫界の“最難”折りたたみ：ハネカクシの翅の隠し方の謎を解明

1. 発表者： 斉藤一哉（東京大学生産技術研究所 機械・生体系部門 助教）

### 2. 発表のポイント：

昆虫の翅の中でも収納効率や翅を広げる速度の点で優れているハネカクシの後翅の折りたたみメカニズムを明らかにした。

これまで謎のままであったハネカクシの後翅に見られる左右非対称な折りたたみの具体的な収納プロセスを明らかにした。

ハネカクシの翅は自然界の中でも最も洗練された折りたたみ構造の一つであり、本成果は宇宙空間で用いる展開構造から傘、扇子等の日用品のデザインまで大きな影響を与えると期待される。

### 3. 発表概要：

昆虫の翅に見られる巧妙な折りたたみは、昆虫学者だけでなく航空宇宙工学や機械工学の研究者にとっても興味深い研究テーマです。昆虫の中でもハネカクシ（注1）の仲間は翅の収納効率や翅を広げる速度（展開速度）の点から最も進化した折りたたみを使っていることが知られています。その最大の特徴は折りたたみパターンが左右非対称、つまり左の翅と右の翅の折りたたみ方が違う点に集約されます。この非対称性が上記の高い性能を与えていると考えられますが、これまでの研究では左右の翅の揃った展開図と具体的な折りたたみプロセス、この非対称性がなぜ生じるのかに関して明らかにされていませんでした。

東京大学生産技術研究所の斉藤一哉助教は、九州大学総合研究博物館の丸山宗利研究室の協力を得て、このハネカクシの翅の左右非対称な折りたたみの謎を解明しました。斉藤助教らはハネカクシの中でも飛ぶのが得意な海岸性のハネカクシ（オオアバタウミベハネカクシ、図1）に着目し、ハイスピードカメラを使って離陸と翅の収納動作を解析することで、具体的な折りたたみプロセスと左右の翅の展開図を示すことに成功しました。

昆虫の翅は展開状態で毎秒20~1000回もの羽ばたきに耐えうる剛性、強度を有するにもかかわらず、必要に応じて一瞬で広げて、収納することが可能な究極の展開構造です。その最高峰であるハネカクシの翅の折りたたみ方法が明らかになったことで、人工衛星用太陽電池パドル（注2）を初めとする展開構造の研究に大きなインパクトを与えると期待されます。

### 4. 発表内容：

昆虫の翅に見られる巧妙な折りたたみは、昆虫学者のみならず航空宇宙工学や機械工学の研究者にとっても興味深い研究テーマです。折りたたみを最も多様に進化させたのはカブトムシやテントウムシに代表される甲虫目ですが、これらの中でもハネカクシの仲間は他の甲虫と異なる独特な折りたたみを使っていることが知られていました。ハネカクシは他の甲虫と比べて鞘翅が短く、腹部がむき出しになっています。これは土の下や岩の隙間など狭い空間に潜りこむ際、身体を柔軟に動かせるようにするためですが、この短くなった鞘翅の下に飛翔のための後翅が非常にコンパクトに折りたたまれて収納されています（図1）。この折りたたみは収納効率と展開速度の点で非常に優れていますが、その最大の特徴はパターンが左右非対称、つまり左の翅と右の翅の折りたたみ方が違う点にあります。この非対称性が上記の高い性

能を与えていると考えられますが、これまでの研究では左右の翅の揃った展開図と具体的な折りたたみプロセス、この非対称性がなぜ生じるのかに関して明らかにされていませんでした。

東京大学生産技術研究所の斉藤一哉助教は、九州大学総合研究博物館の丸山宗利研究室の協力を得て、このハネカクシの翅の左右非対称な折りたたみの謎を解明しました。斉藤助教らはハネカクシの中でも飛ぶのが得意な海岸性のハネカクシ（オオアバタウミベハネカクシ）に着目し、ハイスピードカメラを使って離陸と翅の収納動作を解析することで、具体的な折りたたみプロセスと左右の翅の展開図を示すことに成功しました。カブトムシなど一般的な甲虫は、左右の翅を折りたたんだ後で重ねますが、ハネカクシは左右の翅を最初に重ね、2枚同時に折りたたみます。翅の鏡面对称性から結果として現れるパターンは非対称になります。撮影した映像からハネカクシが柔軟に動く腹部を巧みに使って鞘翅の下に後翅を折りこむ様子を確認しました（図2）。

昆虫の翅は展開された状態で毎秒 20~1000 回もの羽ばたきに耐えうる剛性、強度を有するにもかかわらず、必要に応じて一瞬で広げて、収納することが可能な究極の展開構造です。その最高峰であるハネカクシの翅の折りたたみ方法が明らかになったことで、人工衛星用太陽電池パドルを初めとする展開構造の研究に大きなインパクトを与えると期待されます。特に左右対称な構造を非対称なパターンを用いて同時に折りたたむというこれまでに無いアイデアは、展開構造のデザインの可能性を大きく広げる可能性を秘めています。

ハネカクシの翅にはもう1つ革新的なアイデアが隠されており、それは1つの展開構造で2つの収納形状が可能というアイデアです。ハネカクシの翅は左右非対称であるにも関わらず、翅を左右のどちらからでも折りたたむことができ、それぞれの収納状態では左右の翅の折線パターンが入れ替わっています。つまり、1つの翅を2通りのパターンで折りたためるのです。（図3）。このことは以前から昆虫学者が報告していましたが、今回撮影した映像でも確認することができました。工学的観点から驚くべき点は、一つの展開構造が2つの収納形状に対応している点です。展開状態+収納状態 +収納状態 という3つの形状に変形する構造を設計できれば、展開構造のみならず可変構造の設計や運用を革新的に進化させる可能性があります。この“2-Way”な折りたたみがどのような材料、構造、幾何学で実現されているのかこそがハネカクシ最大の謎であり、今後解き明かさなくてはならない研究テーマと言えます。これらの成果は宇宙空間で用いる展開構造から傘や扇子などの日用品にまで広範な工業製品に影響を与えると期待されます。

## 5．発表雑誌：

雑誌名：

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America  
米国科学アカデミー紀要 電子版：2014年11月3日（米国東部標準時）

論文タイトル：Asymmetric hindwing foldings in rove beetles

著者：\* Kazuya Saito, Shuhei Yamamoto, Munetoshi Maruyama, Yoji Okabe

## 6．問い合わせ先：

東京大学生産技術研究所 機械・生体系部門 助教  
斉藤一哉（さいとう かずや）

## 7．用語解説：

（注1）ハネカクシ：カブトムシやテントウムシと同じく甲虫の仲間ですが、他の甲虫と異なり鞘翅が短く腹部がむき出しになった特徴的な身体をしています。この小さな鞘翅の下に飛翔のための後翅を小さく折りたたんでいることから「ハネカクシ」という名前が付いています。身体の柔軟性を利用して土の中や落ち葉の下など狭い隙間に潜りこんで生活している種類が多いですが、捕食者から逃げる際や生活範囲を広げる際には背中に隠した翅を広げて飛翔して移動します。名前は馴染みの薄い昆虫ですが、世界で6万種近くが知られており（甲虫全体の15%に相当）、日本でも砂浜や森の中などいろんな場所で見ることができます。

（注2）人工衛星用太陽電池パドル：地上で用いられる太陽電池パネルと同様に、太陽光を電力に変換して衛星に供給するパーツです。ロケット内の格納スペースの問題から打ち上げ時には小さく折りたたまれています。軌道上で大きく展開して用いられます。

8 . 添付資料 :



図1 オオアバタウミベハネカクシ (体長約 6 mm)

A : 後翅を閉じた状態 B : 後翅を広げた状態 C : 収納状態の後翅 (鞘翅を外したところ)



図2 ハネカクシの翅の折りたたみ動作。左右の翅を重ねた後で、柔軟な腹部を使って2枚同時に折りたたむ。



図3 ハネカクシは左右のどちらからでも翅を折りたたむことができる。それぞれの収納状態では左右の折りたたみパターンが入れ替わっており、一つの翅を2通りに折りたたむことができる。