

平成21年 6月 1日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19770066
 研究課題名（和文） キバガ科における“えぐれ”た後翅の生物学的意義
 研究課題名（英文） Biological interpretation of terminal emargination of hindwing in the Gelechiid moths
 研究代表者
 坂巻 祥孝（SAKAMAKI YOSHITAKA）
 鹿児島大学・農学部・准教授
 研究者番号：20315401

研究成果の概要：

北海道大学博物館、国立科学博物館(東京) デンマーク王立動物博物館などからキバガ科の主要な60属200種以上の鱗粉がそろった標本を貸与あるいは分譲いただき、これらの後翅えぐれの進化過程を推測するために、翅形測定とDNAによる系統解析を行った。これらの翅形測定の結果、従来の属あるいは族ごとに翅形の類似性が認められ、キバガ科の後翅のえぐれは機能的な意義よりも祖先が1度得た翅形がその祖先を共有する高次分類群内で共有されるといった系統的な制約によって形態が決定していると推定され、また、キバガ科の祖先状態では、すでにこの“えぐれ”を獲得していたことも推定された。しかし、翅形を測定したグループのうち *Apatetris* 属については属内の種間変異があまりに大きく、特に後翅のえぐれがまったく無いものから、後翅が2又するほどにえぐれたものまで様々であり、翅形測定の結果その分散は亜科間レベルと同等の大きなものであった。このことから、本属については、後翅の翅形が系統的な制約を反映しないことが推定された。一方亜科あるいは族ごとの後翅翅形が良くまとまったグループの構成員のうち *Chrysoesthia* 属のヘルマンアカザキバガおよび *Gelechia* 属のソバカスキバガについては本研究中に行ったPCR法を援用した28S r DNA等の塩基配列から推定した系統樹では、従来の分類体系に合わないグループ(亜科)に含めざるを得ないことが判明した。このことから、今回“えぐれ”た後翅の翅形測定・分析に使用した各種の分類体系を再検討した後に系統樹上での翅形進化シナリオを提出することが望ましいと考えられた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度			
2005年度			
2006年度			
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	2,100,000	270,000	2,370,000

研究分野：昆虫体系学

科研費の分科・細目：基礎生物学 生物多様性・分類

キーワード：キバガ科, 標本, 翅形測定, 28SrDNA, DNA 塩基配列, 系統樹, 高次分類体系, 後翅のえぐれ

1. 研究開始当初の背景

翅を獲得したことは「昆虫」繁栄の大きな一要因と考えられている。翅を獲得した昆虫群のうちで鱗翅目キバガ科のみに見られる翅の特徴がある。キバガ科は世界に約 500 属 4,500 種程度が知られているが、半数以上の種で、その後翅膜質部翅端が大きく基部に向かって“えぐれ”ていることである。この“えぐれ”の程度は、まったくえぐれない状態（以下、状態 1 とする）から、翅端部が基部方向に鈍角にえぐれこむ状態（以下状態 2 とする）、そして翅端が大きく基部側に湾入し、鋭角にえぐれこみ、翅端下部があたかももうひとつの翅頂のように鋭角に突出する状態（以下状態 3 とする）までさまざまである。この“えぐれ”はキバガ科を同上科の他科から識別する特徴のひとつとして利用されることが多いが、“えぐれ”の出現パターンは分類群ごとに異なり、Dichomeridinae 亜科では 500 種程度の構成員のほとんどが状態 1 である一方で、*Apatetrus* 属では同一属内の近縁種同士でも状態 1 から状態 3 までさまざまであるといわれる。報告者はこれまでに、日本産キバガ科 16 種を用いて、それらの翅を後翅と前翅の翅形全体を楕円フーリエ記述子という数学的処理を行なって量的形質として取り扱い、「かたち」が似たもの同士でいくつかのグループに分割するような多変量解析を行った。その結果、翅の膜質部の形だけでグルーピングした結果は従来の亜科分類と一致したのに対し、翅のまわりに密生する縁毛を含んだ翅の輪郭はキバガ科内でほとんど一定で、分類体系を反映することはなかった。この縁毛を含んだ翅形が一定になった結果に対して

- ・飛翔力学的な機能によって縁毛を含んだ

翅形は一定になるという適応仮説

- ・翅形全体の形状は蛹の翅形で制約されるためほぼ一定になるという発生制約仮説

の 2 つの仮説を提出した (Sakamaki and Akimoto, 1997、坂巻・秋元 1997)。この結果はその後、東アジア産、ヨーロッパ産、アフリカ産のキバガ類を交え、117 種に増やしても同一の傾向であった (Sakamaki 1998 北海道大学博士論文)。しかし、この一方で亜科レベルの分類体系を反映した「縁毛を含まない翅形」を亜科の中で再検討したり、具体的に数学的に処理されたどの輪郭要素が、亜科やそれ以下の分類体系と一致するのかなどは検討されていない。もちろん、上述したキバガ科特有の後翅の“えぐれ”についても、上記研究では触れられておらず、その生物学的な意義の解明が待たれる。

2. 研究の目的

本研究では、この“えぐれ”た後翅を持つことが特徴のキバガ科の高次分類群での系統関係を mtDNA の CoI および CoII 領域の塩基配列を基に決定し、この系統樹上にえぐれ状態のパターンを配置することで、えぐれが本科内で何回、どのような生活史の分類群で進化したのかを推定する。キバガ科の系統関係については Hodges (1999) や Kaila (2004) において形態形質に基づいた亜科間の分岐図が提出されているが、これらはキバガ上科の系統関係の一部として提出されたものであり、キバガ科のみに注目した場合、取り扱う種数が少なく、採用した分類群に片寄があるため、本研究でのキバガ科内の系統関係としては使用できない。

さらに前述した東アジア産、ヨーロッパ産、アフリカ産のキバガ類 117 種に加え、東南ア

ジア産、北米産、南米産、オーストラリア産の分類群の標本からも翅形を撮影し、その生息環境および寄主植物情報を記録して行く。キバガ科の世界の代表的な分類群(属)のすべての翅形データをそろえる。これら翅形データから得られる“えぐれ”た後翅と前翅の翅形全体に数学的処理を行なって量的形質として取り扱うことで、分岐図上の各分岐点にあたる仮想祖先の翅形状態を再現・図示することができる。これを全分岐点で再現し、形態変化とそのイベントが起こった環境・祖先の生活史状態との関係を推定する。

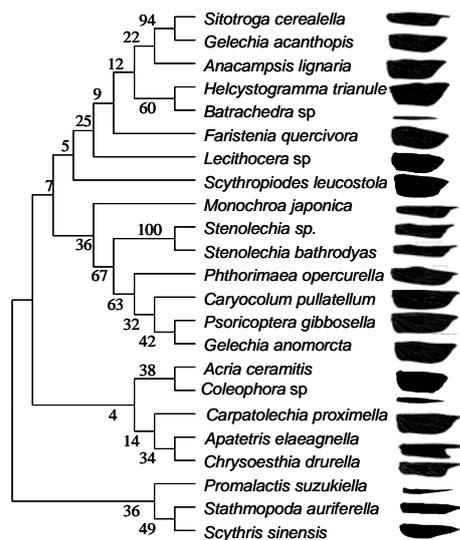
3. 研究の方法

北海道大学博物館、国立科学博物館(東京)、大阪府立大学、栃木県立博物館、岩手県在住の奥敏夫博士、韓国仁川大学、ロンドン自然史博物館、オランダ王立博物館、デンマーク王立動物博物館、トランスバール博物館(南アフリカ)、などから、主要なキバガ科成虫の標本を借用した。解剖の許可が得られたものについては、各種の後脚を一本使用し、ミトコンドリア DNA の一部(COI, COII から合計 1,000bp)および核 DNA の一部(Histone 3, 28SrRNA gene から合計 1,100bp)を PCR 法で増幅し、塩基配列を決定して系統解析のための基礎データとした。また、借用した標本について翅を撮影し、翅形の形態測定を行った。北海道、関東、九州については、自ら採集も行い、卵・幼虫・蛹で採集された場合には飼育して鱗粉のそろった完全な標本を得た。同様な作業を、外群となるキバガ上科の主要な各科の標本を収集して行った。これらのキバガ上科各種間の系統樹推定を行った。また、推定された系統樹上に各 OTU の後翅翅形を配置し、系統樹上のどこで、“えぐれ”の形状の変化が起こるのかを視覚化した。

4. 研究成果

(1) キバガ科の系統樹作成および翅形の配置

現在までにシーケンスされた DNA 情報(約 2,000bp)に基づいて描かれた系統樹とその末端に後翅翅形をプロットした結果、キバガ科の従来の分類体系との不一致が多いため、この不一致を修正することから始める必要があることが分かった。また、*Chrysoesthia* 属や *Apatetris* 属がキバガ科の基部付近から分岐していることから、キバガ科の祖先状態では、すでに“えぐれ”を獲得しており、“えぐれ”はキバガ科内で何度も独立に消失している可能性が示された。



(2) *Apatetris* 属の後翅端の“えぐれ”の再検討

キバガ科では後翅端が“えぐれ”る特異な形状を多くの種が持っている。このようなキバガのうち、*Apatetris* 属は日本からは2種知られ、旧北区全体からも7種しか知られていない小属であるが、本属はヨーロッパ産の *A. trivittellum* を除き、後翅外縁が二裂するほどに深くえぐれるという特徴を持っている。Sakamaki (2000) は、アフリカ産の

Rotundivalva blanda Janse を交尾器形態に基づいて、本属に移動したが、本種および *A. trivittellum* は後翅のえぐれが浅く、通常のキバガ程度である。さらに、近年オーストラリアで発見された本属の未記載種では、後翅が極めて細くなり、“えぐれ”がほぼ完全に失われていた。演者は 1998 年の本学会大会にて主要なキバガ科 117 種の翅の輪郭を楕円フーリエ記述子を使用して量的に分析した結果、翅の形状のみで亜科が分けられることを指摘し、その際の識別形質として、この後翅外縁の“えぐれ”を主要形質としてあげた。しかし、前述のアフリカ産およびオーストラリア産の“えぐれ”が少ない、あるいは無い 2 種の発見によって、後翅外縁の“えぐれ”は、極めて変化しやすく、本属の識別形質としては適さないものと推定された。

(3) *Gelechia acanthopis* Meyrick, 1932 および *Chrysoesthia* 属の所属亜科の再検討とキバガ上科の系統関係再考

ソバカスキバガ *Gelechia acanthopis* Meyrick, 1932 は、北海道、本州、九州に分布する日本固有種で、原記載以降、その所属の再検討がなされてこなかった種の一つである。

キバガ科の系統推定のためソバカスキバガを含む日本産のキバガ科の 28S r DNA 領域等の塩基配列決定を試みた結果、6 亜科 14 属 15 種について約 2,000 塩基の配列を決定できた。同時に塩基配列の決定ができたキバガ以外のキバガ上科小蛾類 6 科 8 属 8 種とともに塩基配列に基づいた系統推定を行ったところ、ソバカスキバガは同属のナラクロテンキバガ *Gelechia anomorcta* Meyrick, 1926 から遠く離れ、バクガ *Sitotroga cerearella* (Olivier, 1789) と姉妹群を形成した。さらに、ソバカスキバガとバクガの塩基配列は

97.2%の相同性を示し、極めて近縁である可能性が示された。そこで、雌雄交尾器の形状をバクガと比較したところ、雄交尾器では tegumen 形状、tegumen と vinculum の連結形式、細長く発達した coecum を持った aedeagus などの点で類似していた。♀交尾器でも、signa が corpus bursae の左右両面に分かれた小さな爪状のキチン片となる点などで類似性が認められた。また、腹部第 2 節腹面の腹部支持構造も apodeme の発達に対し、venula の発達が弱く、*Sitotroga* や *Platyedra* 属の腹部支持構造に類似した。これらの点からソバカスキバガは *Gelechia* 属でも *Gelechiinae* 亜科でもなく、*Sitotroga* 属あるいはその近縁属 (*Platyedra* 属など) に所属させるべきであると判断された。また、28S r DNA 領域等の塩基配列から系統仮説が支持されるならば、バクガとソバカスキバガが姉妹群を形成する単系統群は *Gelechiinae* や *Metzneriinae*, *Teleiodiinae* 亜科などがまとまった単系統群には含まれなかったことから、Hodges (1986) が腹部第 2 節腹面の腹部支持構造に基づいて提案した *Pexicopinae* 亜科を採用するか、あるいは *Anacampsinae* 亜科か *Dichomeridinae* 亜科に所属されるべきと考えられた。

また、同じ塩基配列から得られる系統樹では、ヘルマンアカザキバガ *Chrysoesthia drurella* (Fabricius, 1775) は *Apatetrinae* 亜科のグミハモグリキバガ *Apatetris elaeagnella* Sakamaki, 2000 と単系統群となり、キバガ科単系統群には含まれなかった。分岐点でのブートストラップ確率が低いため、*Apatetris* 属と *Chrysoesthia* 属がキバガ上科のどの分類群と近縁かについては未定かでないが、少なくとも *Chrysoesthia* 属を *Gelechiinae* や *Metzneriinae*、*Aristoteliinae* 亜科などに所属させてきた

いくつかの分類体系は適切ではないと推定される。交尾器形態では、オスの交尾器形態は *Apatetris* 属と *Chrysoesthia* 属で大きく異なって見えるが、tegumen と vinculum の連結部から valva を支える細長い骨片を持つことで、共通性が認められ、メスでは産卵管と腹部第 8 節が極めて短い点などで類似する。さらに交尾器以外では後胸腹板から体内に伸びる叉状甲 (furca) の構造が *Apatetris* と *Chrysoesthia* 属で共通しており、他のキバガ科に認められない独特の形態をとることから、*Chrysoesthia* 属は Apatetriinae 亜科とすることが妥当であると考えられた。

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)

[学会発表] (計 2 件)

① 坂巻 祥孝 ソバカスキバガ *Gelechia acanthopis* Meyrick, 1932 および *Chrysoesthia drurella* (Fabricius, 1775) の所属亜科の検討(キバガ科)
日本蛾類学会 2009 年度大会 2009 年 1 月 25 日 名古屋市

② 坂巻 祥孝 *Apatetris* 属(鱗翅目, キバガ科)に見られる後翅外縁の 2 裂片化と“えぐれ”の消失
日本昆虫学会第 68 回大会 2008 年 9 月 15 日 高松市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂巻 祥孝 (SAKAMAKI YOSHITAKA)

鹿児島大学・農学部・准教授

研究者番号：20315401

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者