

称号及び氏名	博士（農学）李 峰雨
学位授与の日付	平成18年3月31日
論文名	「Systematic Study of the Family Heliozelidae (Lepidoptera) in Japan 日本産ツヤコガ科（鱗翅目）の系統分類学的研究」
論文審査委員	主査 石井 実 副査 山口 裕文 副査 大木 理 副査 広渡 俊哉

論文要旨

ツヤコガ科 (Heliozelidae) は開張 3–9mm の小さなガで、新北区、オーストラリア区を中心に世界に分布しており、約 12 属 100 種が知られている (Davis, 1999). 本科の幼虫は、終齢前まで葉に潜って生活し、幼虫が潜った状態で葉の上下の組織を楕円形に切り取ってケースを作るといった特異な習性をもつ。本科についてはこれまで Braun (1915), Chamber (1874a, 1874b), Meyrick (1897, 1916, 1931, 1934), Kuroko (1961, 1982, 1987) などによって分類学的研究が行われた。日本産ツヤコガ科については Meyrick (1931, 1934), Kuroko (1961, 1982, 1987) によって研究され、これまで 3 属 13 種が知られている。しかし、これらの研究は断片的な記載のみで、系統分類学的研究はほとんど行われていない。また、ツヤコガ科の幼生期（幼虫・蛹）の形態については詳しい研究がなされていなかった。

そこで、本研究では生物多様性研究の基礎として、成虫および幼生期の外部形態を比較・記載し、日本産ツヤコガ科の相を明らかにするとともに、形態ならびに分子データを用いて本科に含まれる種間の系統解析を行って、それらにもとづく新たな分類体系を提示することを目的として行った。

幼生期ならびに成虫の形態的特徴を比較するために、日本各地で幼虫と成虫の採集を行った。採集した幼虫は野外条件下で飼育し羽化させた。また、成虫は大阪府立大学を含め、北海道大学、名城大学、九州大学、大英自然史博物館（ロンドン）、フンボルト大学付属博物館（ベルリン）などの研究機関に所蔵されている標本を用いた。幼生期ならびに成虫の形態形質は、実体顕微鏡と走査型電子顕微鏡を用いて観察・比較し、記載した。得られた

形態形質は種間の系統解析に用いた。

幼生期の形態

ツヤコガ科の幼生期の形態を比較した結果、幼虫では、個眼の有無、胸部と腹部の硬化部の形状、刺毛配列（第1胸節のL刺毛の数と位置）、Ambulatory callusの数と位置などの形態が分類形質として有用であることが明らかになった。また、蛹についてはこれまでツヤコガ科では1例の形態が簡単に報告されているだけだったが、本研究で2種の蛹の形態について詳しく記載した。

形態形質を用いた系統解析

日本産ツヤコガ科13既知種のうち、形態形質が詳細に調査できた10種に14新種を加え、合計24種を対象として系統解析を行った。外群には、ツヤコガ科とともにマグリガ上科に含まれるヒゲナガガ科(Adelidae)とマグリガ科(Incurvariidae)を用いた。成虫の外部形態から抽出された54形質にもとづき、MP法(最大節約法)によって系統樹を作成した。

その結果、樹長83、一致指数(CI)0.65、保持指数(RI)0.81の32個の最短樹が得られ、それらをもとに厳密合意樹を作成した。得られた系統樹から、ツヤコガ科の単系統性は、頭部が滑らかな鱗粉で覆われる、前腕幕状骨(Anterior tentorial arm)が曲がる、後翅のM-Cu横脈がないという形質によって支持された。また、日本産ツヤコガ科にTyriozela属、Neotyriozela属(新属)、Heliozela属、Antispila属群(Antispila属とAntispilina属を含む)の4つの単系統群が認められた。Antispila属群は前翅にCuA1脈を欠く、前脚の脛節に葉状片がないなどの形質により単系統性が支持された。また、厳密合意樹では系統関係が未決定だったが、Tyriozela属とNeotyriozela属(新属)は、8個の最短樹では前翅に斑紋がない、R1脈とCuA1脈が存在するという形質により姉妹群を形成した。

分類体系

形態形質による系統解析の結果に基づいて、分岐分類学的方法により、属ならびに種を配列した。日本産ツヤコガ科は本研究によって確認された1新属、1新記録属、16新種に既知の3属13種を加えた5属29種を認め、日本産ツヤコガ科の相を明らかにした。また、これまでツヤコガ科の記録がなかった琉球列島からヤンバルツヤコガ*Heliozela montanella* sp. nov., ヤエヤマツヤコガ*H. yaeyamensis* sp. nov., イスノキツヤコガ*Antispila distyliella* sp. nov., イシガキツヤコガ*A. ishigakiensis* sp. nov. の4新種が確認された。

Tyriozela 属 (1種)

オスの腹部に発香器がある、オス交尾器のバルバの前縁部が内側に突出するという2つの固有派生形質が認められた。本属はムラサキツヤコガ*T. porphyrogona* Meyrick 1種のみを含む。寄主植物、幼虫の潜孔習性は不明。

Neotyriozela gen. nov. (新属, 1新種)

オス交尾器の櫛状突起がバルバの腹面に位置する、ピンクルムが曲がるという 2 つの固有派生形質が認められた。本研究により新種ムモンツヤコガ *N. japonica* sp. nov. が確認された。寄主植物、幼虫の潜孔習性は不明。

Heliozela 属 (10 新種を含む計 12 種)

後翅 Rs 脈が外縁に達するという形質により単系統性が支持された。これまで日本から 2 種が知られていたが、本研究によりヤマモモツヤコガ *Heliozela myricella* sp. nov. を含む 10 新種が確認された。また、属内に 2 つの種群を認めた。本属の寄主植物としてブナ科のクリなどが知られていたが、新たにヤマモモ科を利用するものを確認した。本属の幼虫はまず寄主植物の葉の中肋に潜り、後に中肋から出て葉に潜っていた。

Antispila 属 (4 新種を含む計 14 種)

オスのエデアグスの基部が葉片状であるという形質により単系統性が支持された。既知の 10 種に加え、4 新種が確認された。そのうちイスノキツヤコガ *Antispila distyliella* sp. nov. は、ツヤコガ科では知られていなかった斑紋の性的二型が認められ、性比がメスに偏っていた。また、サカキツヤコガ *A. cleyerella* Lee は飼育によって 170 個体の成虫を得ることができたが、いずれの個体もメスであり、本種は鱗翅目では例外的に単為生殖する可能性があることが示唆された。寄主植物として、ブドウ科、ミズキ科、ユキノシタ科などが知られていたが、新たにマンサク科、ツバキ科を利用するものを確認した。本属の幼虫は中肋以外の葉の部分に斑状潜孔を作っていた。

Antispilina 属 (新記録属, 1 新種)

オスの前翅の垂前縁保帯が鉤状の刺となる、R1 脈と CuA1 脈を欠く、M 脈と CuA 脈が有柄で中室を欠くなどの形質により単系統性が支持された。本属はこれまでヨーロッパから 1 種 *Antispilina ludwigi* Hering (幼虫はタデ科草本の葉に潜る) のみが知られていたが、本研究によって長野県から幼虫がタデ科のムカゴトラノオの葉に潜孔する新種ムカゴトラノオツヤコガ *A. trispina* sp. nov. が確認された。

ミトコンドリア DNA を用いた系統解析

形態形質にもとづいて得られた系統樹の検証を行うために、日本産ツヤコガ科 13 既知種のうちの 4 種と 9 新種の合計 13 種を対象として成虫からミトコンドリア DNA を抽出し、COI (442 bp) と ND5 (416 bp) 領域にもとづいて MP 法と NJ 法 (近隣結合法) により系統解析を行った。外群には、マガリガ上科のヒゲナガガ科 2 種とマガリガ科 1 種を用いた。また、COI 領域については北アメリカに分布するツヤコガ科の *Coptodisca* 属の 1 種を加え解析を行った。

COI と ND5 の両領域を合わせた 858 bp にもとづいた MP 法 (樹長 1236, 一致指数 0.47, 保持指数 0.44) と NJ 法で得られた系統樹は、種間の系統位置に違いがみられたものの、全体的な樹形は形態形質を用いた系統樹と一致した。すなわち、ツヤコガ科、*Antispila* 属群および *Antispila* 属、*Antispilina* 属、*Heliozela* 属の単系統性を支持した。また、*Coptodisca* 属を

加えた COI の解析では、*Coptodisca* 属と *Antispilina* 属が同じ分岐群を形成し、姉妹群関係にあることが明らかになった。形態形質でも *Coptodisca* 属と *Antispilina* 属は斑紋が顕著に異なるものの、R1 脈と CuA1 脈を欠く、M 脈と CuA 脈が有柄で中室を欠くなどの共有派生形質と考えられる形質が認められた。COI と ND5 の両領域の塩基置換率は 44.7% と高かったが、これはそれぞれの種や属が分化した年代が古いことによるものと考えられた。

審査結果の要旨

ツヤコガ科 (*Heliozelidae*) は開張 3–9mm の小さなガ類で、終齢前の幼虫が潜った状態で葉の上下の組織を楕円形に切り取ってケースを作るという特異な習性をもつ。本科はこれまで世界に約 12 属 100 種、日本では 3 属 13 種が知られていたが、これらの研究は断片的な記載のみで、系統分類学的研究はほとんど行われておらず、幼生期 (幼虫・蛹) の形態については詳しい研究がなされていなかった。本研究は、成虫および幼生期の外部形態を比較・記載し、日本産ツヤコガ科の相を明らかにするとともに、形態ならびに分子データを用いた系統解析を行って、それらにもとづく新たな分類体系を提示することを目的として行われた。

まず、本科の幼生期の形態を詳しく比較し、幼虫では、個眼の有無、胸部と腹部の硬化部の形状、刺毛配列 (第 1 胸節の L 刺毛の数と位置)、Ambulatory callus の数と位置などが分類形質として有用であることを明らかにした。また、これまでほとんど情報がなかった蛹については、2 種について詳しく記載した。

次に日本産ツヤコガ科のうち、10 既知種に 14 新種を加え、合計 24 種を対象として形態形質にもとづいた系統解析を行った。外群にはヒゲナガガ科 (*Adelidae*) とマガリガ科 (*Incurvariidae*) を用い、成虫の外部形態から抽出された 54 形質にもとづき、MP 法 (最大節約法) によって系統樹を作成した。その結果、樹長 83、一致指数 (CI) 0.65、保持指数 (RI) 0.81 の 32 個の最短樹が得られ、それらをもとに厳密合意樹を作成した。得られた系統樹から、ツヤコガ科の単系統性は、3 つの形質によって支持されるとともに、日本産ツヤコガ科に *Tyriozela* 属、*Neotyriozela* 属 (新属)、*Heliozela* 属、*Antispila* 属群 (*Antispila* 属と *Antispilina* 属を含む) の 4 つの単系統群を認めた。また、厳密合意樹では系統関係が未決定だったが、形質の共有状態から *Tyriozela* 属と *Neotyriozela* 属 (新属) は姉妹群を形成すると推定された。

系統解析の結果に基づいて属ならびに種を再配列し、日本産ツヤコガ科の相を明らかにした。*Tyriozela* 属 (1 種) : 2 つの新たな固有派生形質を認めた。*Neotyriozela* gen. nov. (新属、1 新種) : 新種ムモンツヤコガ *N. japonica* sp. nov. にもとづいて新属を設立した。*Heliozela* 属 (10 新種を含む計 12 種) : 10 新種を追加するとともに、寄主植物として新たにヤマモモ科を記録した。*Antispila* 属 (4 新種を含む計 14 種) : 4 新種を追加するとともに、寄主植物として新たにマンサク科、ツバキ科を記録した。*Antispilina* 属 (新記録属、1 新種) : 本属は

これまでヨーロッパから 1 種のみが知られていたが、長野県から幼虫がタデ科のムカゴトラノオの葉に潜孔する新種を確認した。

最後に、形態形質にもとづいて得られた系統樹の検証を行うために、日本産 4 既知種と 9 新種の合計 13 種を対象として成虫からミトコンドリア DNA を抽出し、COI (442 bp) と ND5 (416 bp) 領域にもとづいて MP 法と NJ 法により系統解析を行った。外群には、ヒゲナガガ科 2 種とマガリガ科 1 種を用いた。また、COI 領域については、北アメリカに分布するツヤコガ科の *Coptodisca* 属の 1 種を加えて解析を行った。COI と ND5 の両領域を合わせた 858 bp にもとづいた MP 法 (樹長 1236、一致指数 0.47、保持指数 0.44) と NJ 法で得られた系統樹は、種間の系統位置に違いがみられたものの、全体的な樹形は形態形質を用いた系統樹と一致した。また、*Coptodisca* 属を加えた COI の解析では、*Coptodisca* 属と *Antispilina* 属が姉妹群関係となることを明らかにした。

以上のように、本研究では幼生期の形態比較を含めて日本産ツヤコガ科における系統分類学的再検討を行い、これまで不十分であった系統関係を形態・分子データの両面から推定するとともに、日本産ツヤコガ科に 1 新属、1 新記録属、16 新種に既知の 3 属 13 種を加えた 5 属 29 種を認め、日本産本科の相を明らかにした。各分類群については詳細な記載を行い、検索表を付して、本科における同定法を確立した。これらの成果は、系統分類学にとどまらず、生物多様性研究分野などに貢献するところが大きい。よって、最終試験の結果とあわせて、博士 (農学) の学位を授与することを適当と認める。