

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18570091

研究課題名（和文）分子にもとづく日本産オオセンチコガネの地理的変異の研究

研究課題名（英文）Molecular studies on the geographic variation of *Phelotrupes auratus* in Japan

研究代表者 近 雅博 (KON MASAHIRO)

滋賀県立大学・環境科学部・教授

研究者番号：00211912

研究成果の概要:オオセンチコガネの全分布域の 47 地点から採集された標本について反射スペクトルを測定し、本種の色彩の地理的変異を定量的に測定し解析した。その結果、反射スペクトルのピークの波長の短い緑色やルリ色に見える個体からなる集団が、屋久島、近畿地方南部、北海道南東部などに局所的に分布することを明らかとなった。日本産の個体について、ミトコンドリア COI 遺伝子の部分配列にもとづき系統解析をおこなった結果、「九州・屋久島」と「本州・四国・北海道」の二つの大きな系統群に分かれることが明らかとなった。これらの系統群は、色彩にもとづいて認識された亜種の分類とは一致していなかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,300,000	0	1,300,000
2007 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	660,000	4,160,000

研究分野：生物学

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：地理的変異、分子系統、色彩変異、オオセンチコガネ、COI 遺伝子

1. 研究開始当初の背景

種についての論争の中で、伝統的な分類学の手法で識別される種は便宜的な分類単位であり、進化の単位としての個体群リニージ

(進化群リニージ) をリアルな種 (分類群) とする動向がある。すなわち、表現型形質重視でおこなわれてきた分類学に、遺伝子流動

あるいは自然淘汰を実質的に担う単位も考慮する動きが広がってきていると言える。

オオセンチコガネ *Phelotrupes auratus* (Motschulsky)は北海道, 本州, 四国, 九州, 朝鮮半島, 極東ロシア, 中国東北部に分布する食糞性コガネムシ (以下, 糞虫) である。本種は体表に金属光沢のある色彩をもち, その色彩に地理的変異がみられる (中根 1952, 水野 1964)。特に近畿地方には顕著な変異が見られ, 3つの色彩型 (アカ型, ミドリ型, ルリ型) が側所的に分布している。ルリ型は紀伊半島一帯 (奈良県, 和歌山県, 三重県南部) に, ミドリ型は京都府山科, 滋賀県東南部, 三重県北部に, アカ型はその他の地域に分布している。ミドリ型とルリ型の境界は, 琵琶湖の西部では京都府宇治市までがミドリ型, 奈良市までがルリ型とされているが, 京都府宇治市の個体群は両型の間中型との示唆もありはっきりしていない, 琵琶湖の東部では三重県の北部と南部の間にある分布の空白地帯が報告されている。アカ型とミドリ型は, 琵琶湖の西では山科盆地を境界にしているが, 琵琶湖東部の境界ははっきりしていない。またアカ型は近畿地方だけでなく日本国内全域に分布しており, ルリ色とミドリ色は局所的にそれぞれ屋久島と北海道東南部にも分布がみられる。大陸には赤紫型の分布が報告されている。

Watanabe *et al.* (2002a, b)は, 従来, ヒトの感覚 (視覚) によっておこなわれてきた本種の色彩の類型化に鞘翅の反射スペクトルを計測するという方法を用い, アカ型, ミドリ型, ルリ型の3つの分布域からそれぞれ選ばれた3個体群は, ヒトの可視領域 (400–700 nm) の反射スペクトルのピークの波長 ($\lambda_{\max}(\alpha)$) で判別できることを示した。この方法は, これまでヒトの感覚でおこなわれてきた色彩の類型化を客観的に検証でき

ること, また質的に扱われてきた色彩を量的に取り扱える点で非常に優れていた。しかし, 2つの論文のなかで3つの色彩型の典型的な個体群でそれぞれ比較がおこなわれたのみであり, 同じ色彩型内の地理的変異は十分解析されなかった。

また本種の分類は, 従来, 地理的色彩変異に基づいておこなわれてきており, 原記載では, 近畿地方のルリ型やミドリ型は, それぞれ *P. auratus* f. *ruri*, を *P. auratus* f. *viridiaurea* となっており, 地方型として記載されている (中根 1952)。一方, 国際動物命名規約では, 1960年より前の種より下の分類群の記載は亜種記載とみなされる。しかし, ルリ型とミドリ型を亜種とするか地方型とするかは著者によって様々となっている。現在もっとも一般的とされる分類は, *P. auratus yaku* (Tsukamoto) として記載されたルリ色の屋久島個体群を亜種とし, その他すべてを原名亜種 *P. auratus auratus* とするものであるが, この分類も基本的に色彩変異に基づいてなされている。

2. 研究の目的

オオセンチコガネの大陸を含む分布域全体からの標本の色彩をスペクトロフォトメーターを使って測定し, 色彩の集団間・集団内の変異を定量的に解析する。また, ミトコンドリアの COI 遺伝子の塩基配列データにもとづく種内の系統関係の解析をおこない, 色彩の地理的変異 (特に亜種分類) との対応関係を検討する。

3. 研究の方法

(1) オオセンチコガネの分布域全体の47地点から標本を採集し, スペクトロフォトメーターで, 鞘翅表面の反射スペクトルを測定し, 可視領域におけるピーク (α ピーク) の波長 ($\lambda_{\max}(\alpha)$) を測定した。 $\lambda_{\max}(\alpha)$ の

集団ごとの平均値と分散を計算し、色彩の地理的変異を定量的に解析した。

(2) 日本国内の 33 地点から採集された個体から DNA を抽出し、ミトコンドリアの COI 遺伝子の部分配列 (745bp) を決定し、それにもとづき系統解析をおこなった。系統推定は近隣結合法、最節約法、ベイズ法をもちいておこなった。

4. 研究成果

(1) 反射スペクトルにもとづく色彩の定量的解析

近畿地方の色彩の定量的解析において、紀伊半島に分布する個体群は短波長の平均 $\lambda_{\max}(\alpha)$ をもちその他の地域の個体群との間ではほぼオーバーラップがみられず、従来、ルリ型とされてきた個体群は明確に区別された。また、ミドリ型、アカ型とされてきた個体群では、琵琶湖の西側では、その $\lambda_{\max}(\alpha)$ は、境界域とされた山科盆地を挟んだ直線距離約 6.5km の地域間で明確に異なった。一方、琵琶湖の東側では南西から北東にかけて平均 $\lambda_{\max}(\alpha)$ の変化は連続的で、色彩は緑～赤みをおびた緑～赤となり、地理的クラインが見られた。琵琶湖西側で観察された赤色を示す長波長の $\lambda_{\max}(\alpha)$ は、琵琶湖東側の北部の個体群にもみられた。つまり緑～赤みをおびた緑を示す中間波長の $\lambda_{\max}(\alpha)$ をもつ個体群は、短波長をもつ紀伊半島個体群と長波長をもつ琵琶湖西側および、東側北部個体群に囲まれており、地理的にも中間に位置した。また中間波長をもつ個体群は、短波長・長波長の個体群に比べて、個体群内の変異 (CV%) が大きい傾向があった。一般的にポリジーン支配の量的遺伝形質は、F1 世代では両親の中間型を示し、その変異は両親世代より大きくなることが期待される。これらのこと

から本種の間波長の個体群は、短・長波長個体群の交雑によって形成されたのではないかという仮説を提出した。

分布域全域の色彩の定量的解析において、国内の個体では反射スペクトルが可視領域内 (400–700nm) で 1 つのピークしかもたなかったのに対し、大陸の個体では 2 つのピークをもっていた。大陸産および関東以北の個体には、反射のピークが 700nm を越える個体が見られた。これらの結果から $\lambda_{\max}(\alpha)$ を 400–800nm の最大のピークの波長と再定義した。 $\lambda_{\max}(\alpha)$ の頻度分布から本種の宮崎県都井岬個体群、網走個体群において個体群内に 2 つの色彩型がある可能性が示された。また、屋久島亜種 (屋久島個体群) と原名亜種の紀伊半島のルリ型個体群の間、原名亜種の北海道個体群と原名亜種の琵琶湖の南側のミドリ型個体群の間では、それぞれ $\lambda_{\max}(\alpha)$ の値はほとんど変わらなかった。

(2) COI 遺伝子にもとづく系統解析

本種の国内における種内の遺伝的関係の調査において、COI 遺伝子の 745bp を用いて系統関係を解析した結果、近隣結合法、最節約法、ベイズ法のすべてで「九州・屋久島」と「北海道・本州・四国」の間での分岐が認識され、「北海道・本州・四国」ではすべての解析で、「九州・屋久島」ではベイズ法以外で単系統性が支持された。また塩基置換割合は、種内で 0–4.4%、同属種間で最大 11.7%であった。ヨーロッパに分布する同じセンチコガネ亜科センチコガネ族の *Trypocopris* 属 3 種では、COI の系統関係と形態による亜種分類が一致しており、種内および種間で本種と同様な塩基置換割合が報告されている。これらから、本種での「九州・屋久島」と「北海道・本州・四国」の分岐は、近縁の *Trypocopris* 属では亜種に相当するも

のであることが示された。つまり、本種では、これまで提案されてきた表現型（色彩）による亜種分類のいずれも、CO I 遺伝子の系統関係とは一致しないことが明らかとなった。

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)

[雑誌論文] (計 4 件)

①Akamine, M., K. Maekawa, M. Kon (2008)

Geographic color variation of *Phelotrupes auratus* (Coleoptera, Geotrupidae) in the Kinki region, central Japan: a quantitative spectrophotometric analysis. *Entomological Science*, 11, 401-407.

②Akamine, M., K. Maekawa, M. Kon (2008)

A quantitative spectrophotometric analysis of geographic color variation of *Phelotrupes auratus* (Coleoptera, Geotrupidae) throughout its distribution range. *Japanese Journal of systematic Entomology*, 14, 171-181.

③Akamine, M., K. Maekawa, M. Kon (2008)

Spectrophotometric analysis of dorsal coloration in *Phelotrupes auratus* (Coleoptera, Geotrupidae): A comparison of beetles collected in 2001 and 2005. *Elytra*, 36, 309-310.

④Akamine, M., K. Maekawa, M. Kon (2008)

Spectrophotometric analysis of dorsal coloration in *Phelotrupes auratus* (Coleoptera, Geotrupidae): Comparisons between populations, sexes and beetles with

varying extents of wear. *Entomological review of Japan*, 63, 129-134.

[学会発表] (計 3 件)

①赤嶺真由美・近雅博

近畿地方におけるオオセンチコガネの色彩変異の定量的解析. 第55回日本生態学会大会講演要旨集 223 頁 福岡 2008 年 3 月

②赤嶺真由美・近雅博

オオセンチコガネの色彩変異のスペクトル解析. 第68回昆虫学会大会講演要旨集 60 頁, 高松, 2008 年 9 月

③赤嶺真由美・前川清人・近雅博

国内におけるオオセンチコガネの分子系統解析. 第53回日本応用動物昆虫学会講演要旨集 91 頁, 札幌, 2009 年 3 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近 雅博

滋賀県立大学・環境科学部・教授
00211912

(2) 研究分担者

前川 清人

富山大学・理学部・准教授
20345557

(3) 連携研究者