

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 17 日現在

機関番号：34419
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2011～2013
課題番号：23570039
研究課題名(和文)チョウ類における多モード学習メカニズムの解明

研究課題名(英文)Multimodal learning in butterflies

研究代表者

香取 郁夫(Kandori, Ikuo)

近畿大学・農学部・准教授

研究者番号：00319659

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、チョウが色と匂いの2モード訪花学習をできるかどうかを検証した。第1実験では、報酬と罰の条件付けによりモンシロチョウが花の匂いを学習することを実証した。第2実験では、報酬だけの条件付けでもチョウが花の匂いを学習(報酬学習)することを実証した。第3実験では、チョウが花の色と匂いの2モード情報を同時に学習できること、また同時に学習(2モード学習)することで片方だけ学習(1モード学習)した場合よりも花間識別能力をより高めることができることが分かった。

研究成果の概要(英文)：This study examined whether butterflies can learn two modalities, i.e., color and odor, during foraging for flowers. The first experiment revealed that *Peris rapae* butterflies can learn floral odor by dual conditioning of reward and punishment. The second experiment revealed that they also can learn floral odor by reward conditioning alone. The third experiment revealed not only that butterflies can learn floral color and odor simultaneously, but also that they can enhance the abilities to discriminate flowers by learning two modalities rather than one modality.

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学 ・ 生態・環境

キーワード：モンシロチョウ 報酬トレーニング 学習速度 2モード情報 人工花 メチルヘプテノン フェニルアセトアルデヒド

1. 研究開始当初の背景

自然界において、植物の花は視覚(色や形)、嗅覚(匂い)、触覚(表面の凹凸の粗密や柔らかさ)などの多モードの情報を同時に発信し、訪花昆虫を誘引している(Guilford and Dawkins, 1991; Rowe and Guilford, 1999)。しかし、これら多モードの情報を植物側が一度に提供する必要性と利点についてはほとんど不明である。発信者にとって新たに、別のモードの情報を追加することは消費エネルギーを増大させるというコストがかかったり(Partan and Marler, 2005)、予想外の受容者や捕食者を誘引するといった不利益を生じる場合がある(Roberts et al., 2007)。これらのコストを差し引いてもなお、余りある利益が、多モードの情報を発信することによって得られるのではないかと考えられる。しかしいまだにその解答は十分検討されていない。

一方、多くの訪花昆虫は訪花の際に学習能力を使い、効率よく訪花することが知られている。訪花昆虫における訪花学習性の研究例は膜翅目、中でも社会性のミツバチやマルハナバチで非常に多い(例えば、Frings, 1970; Heinrich, 1976, 1979; Bitterman et al., 1983; Menzel, 1993; Bitterman, 1996)。

また、チョウやガなど鱗翅目における訪花学習性の研究も比較的多くなされており、モンシロチョウ *Pieris rapae* (Lewis, 1986) やエゾスジグロシロチョウ *P. napi* (Goulson and Cory, 1993)、ナミアゲハ *Papilio xuthus* (Kinoshita et al., 1999) やアオジャコウアゲハ *Battus philenor* (Weiss, 1997)、タテハチョウの一種 *Agraulis vanilla* (Weiss, 1995) など学習能力の検証が行われている。例えば Kandori et al. (2009) はモンシロチョウ、ベニシジミ *Lycaena phlaeas*、ツマグロヒョウモン *Argyreus hyperbius*、オオゴマダラ

Idea leuconoe の4種を用いて学習実験を行い、条件付けにより花の色と蜜源を関連付けて連合学習(associative learning)することを証明した。具体的に4種のチョウはすべて訪花経験を積むほど、経験を積んだ花色に対して選好性を上昇させた。さらにその学習速度(学習による花の選好性上昇速度、または1回のトレーニングあたりの花の選好性上昇率)は大型、または寿命の長い種ほど速く、雄より雌のほうが速いことを確認した。

訪花学習には上述の例のような色や形を学習する視覚学習のほかに、匂いを学習する嗅覚学習がある。鱗翅目昆虫は訪花時に視覚学習することや嗅覚学習すること(Krotov et al., 1999; Andersson, 2003)が分かっている。しかし、ほとんどの研究ではこれら2種類の学習能力については別々に調べられてきた。つまり、視覚と嗅覚の2モードの情報が同時に提供された時、学習は同時に起こるのか、同時に起こるとすると片方だけ起こる時より、学習速度が速くなるのかについてはほとんど調べられていない。

2. 研究の目的

膜翅目では2モード訪花学習の研究が最近なされた(Kulahci et al., 2008; Leonard et al., 2011)。それによるとマルハナバチでは形と色の2モードで情報の異なる花間を区別するように条件付けした時は、形だけの1モードで情報の異なる花間を区別するよう条件付けした時より速く正確に2つの花を区別し、蜜のある花の方を選好するようになった、つまり学習速度が速くなった(Kulahci et al., 2008)。また、同じくマルハナバチにおいて、たとえ色の異なる2種の花間で匂いに違いがなくても、匂いがあるときの方が、ないときより早く蜜のある花を区別し選好するようになった、つまり

花の匂いが花の色学習を促進した (Leonard et al., 2011)。こうした訪花学習パターンを大部分の訪花昆虫がとるならば、植物の花は1モードの情報だけを提供するより、色と匂いの2モードの情報を同時に提供する方が、短時間で自分の花を他種の花から区別して昆虫に学習させ、一貫訪花(定訪花)してもらうことができる。これは植物自身の送粉効率を上げることにつながり、これこそが植物側が多モードの情報を一度に発信する利点の1つとなるだろう。しかし、こうした2モード訪花学習の研究はマルハナバチでは少数例知られるようになったが、同じ訪花昆虫であるチョウでは全く行われていない。そこで、本研究ではチョウもマルハナバチと同様に花から提供される2モードの情報を同時に利用して効率よく訪花学習することが可能かどうかを検証した。

実験1では、モンシロチョウが匂い学習するのかを確かめた。

実験2では、報酬のみでトレーニングを積んでもチョウは匂い学習できるのかを検証した。

実験3では、「色と匂いの2モードで情報の異なる花間の識別は色の1モードのみで情報の異なる花間の識別より容易か、つまり学習速度が速いのか」について検証した。

3. 研究の方法

実験1: 報酬と罰を組み合わせでトレーニングを行い、トレーニングの前から後にかけて報酬のあった花の匂いに対する選好性が上昇するかどうかを調べることで、匂い学習を検証した。実験ではチョウの誘引活性の強い匂い2成分、メチルヘプテノンとフェニルアセトアルデヒドを用いて、匂いの異なる2種類の青色人工花を作った。これを野外にある小型ハウス内に設置し、そこでチョウの各個体にトレーニング前テスト、トレーニング、

トレーニング後テストの3つの過程を1回ずつ行った。トレーニング前テストでは、2種類の人工花を報酬や罰なしの状態ではチョウに提示し、各個体5訪花選択させ、これを生得的選好性として記録した。トレーニングでは、これら2種類の人工花にそれぞれ報酬(蜜)と罰(塩水)を入れ、3日間自由に訪花させた。トレーニング後テストではトレーニング前テストと全く同じ方法で各個体に5訪花させ選好性を記録した。

実験2: この実験では前実験とほとんど同じ方法を用いた。唯一異なる点として、トレーニングにおいて、報酬(蜜)と片方の匂いがセットになった人工花1種類のみを提示した。

実験3: 人工花の匂いとして前回実験で用いた2種類の成分を用い、人工花の色として紫と青を用いた。この実験は、個体ごとに初めにテストとして2種類の花を5訪花選択させ(生得的選好性テスト)、その後トレーニングとして片方の匂いと報酬がセットになった人工花へ自発的に1回訪花・吸蜜させた。翌日からは毎日午前にはテスト、午後にはトレーニングの順に連続2日間実験を行い、最後の日にテストのみを行った。つまり、個体ごとに合計4回のテストと3回のトレーニングを行った。そしてテスト過程において選択させる2種類の花間で、色だけの1モードが異なる(匂いは同じ)実験Aと、色と匂いの2モードで異なる実験Bを行った。なお、実験A,B共にトレーニングで用いる花の組み合わせは(青+フェニルアセトアルデヒド)のみとし、これをテストで提示する2種類の人工花のうちの片方とした。データ解析では2実験間で学習速度を比較するために、非線形学習モデルを使用し個体ごとに学習速度を算出した。

4. 研究成果

実験1: モンシロチョウは報酬と罰のトレーニングにより報酬とセットになっていた匂いの人工花に対して選好性を有意に上昇さ

せた。つまり、花の匂いを学習したことが実証された。

実験 2：モンシロチョウは報酬トレーニングだけでも報酬とセットになっていた匂いに対して選好性を有意に上昇させた。つまり、花の匂いを報酬学習したことが実証された。

実験 3：両方の実験（A と B）で、トレーニング回数が増えるにつれ、トレーニング中報酬のあった人工花に対する訪花率が上昇したが、実験 A よりも実験 B の方が、学習速度が高い傾向が見られ、学習速度の差も有意であった。以上の結果から、チョウもマルハナバチ同様に花から得られる多モード情報を同時に学習することで花間識別能力を高め、より効率的に訪花吸蜜していることが分かった。

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 1 件)

Kandori, I. and Yamaki, T. 2012. Reward and non-reward learning of flower colours in the butterfly *Byasa alcinous* (Lepidoptera: Papilionidae). *Naturwissenschaften* 99: 705-713.

〔学会発表〕(計 1 件)

西村崇・香取郁夫 2013 年 3 月．モンシロチョウは花の匂いを学習するか．PS039．第 57 回日本応用動物昆虫学会大会．日本大学生物資源科学部（神奈川県藤沢市）．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

香取 郁夫 (KANDORI IKUO)

近畿大学・農学部・准教授

研究者番号：00319659

(2)研究分担者

大村 尚 (OHMURA HISASHI)

広島大学・生物圏科学研究科・准教授

研究者番号：60335635

(3)連携研究者

()

研究者番号：