

# 論文審査の結果の要旨

氏名 堀 沙 耶 香

セイヨウミツバチ (*Apis mellifera* L.) は高度な視覚認知能力をもち、働き蜂は花の色や形、巣やランドマークの位置を記憶し、採餌・帰巣を行う。また、オプティカルフロー（視界を横切る視覚情報の流れ）を利用して飛行距離を算出し、尻振りダンスによって仲間に伝えることができる。こうしたミツバチの視覚認知能力は、自由飛行する蜂の行動観察から明らかにされてきたが、その神経・分子的基盤は不明である。論文提出者は修士課程において、ミツバチの視覚認知能力に関わる脳機能を解析する目的で、固定した蜂を用いてパブロフ型視覚連合学習系を確立した。固定した蜂にショ糖溶液を与えると口吻伸展反射 (Proboscis extension reflex; PER) を起こすが、同時に単波長 (618 nm ; 赤橙色) の光刺激を条件付け刺激としてトレーニングを繰り返すと、光刺激だけで PER を起こすようになる。博士課程では、この光刺激-PER 連合学習系を用いて固定した蜂の色識別能力を調べるとともに、新たにオプティカルフローを条件付け刺激として用いた連合学習系を確立し、ミツバチの視覚認知能力を解析している。

本論文は2章からなる。第1章では光刺激-PER 連合学習を利用して、ミツバチの視覚認知能力を解析している。まず、固定した蜂の色識別能力を解析する目的で、「緑」(540 nm) の光刺激を学習した蜂に「青」(439 nm) と「赤橙」(618 nm) の単波長光を照射し、PERを観察した。その結果、「赤」では「緑」と同様に多くの蜂が PER を示したが、「青」では全く反応が見られなかった。このことから固定した蜂は、「緑」と「赤橙」は区別できないが、「緑」と「青」は区別して記憶することが分かった。この色識別能力は、光受容体の性質に依存すると考えられた。一方、「緑」(540 nm) の光刺激を学習した蜂は、「青」(439 nm) の光刺激が消えた瞬間に PER を示すことが見いだされた。このことは、「青」が消えた際に「緑」と似た色残像が生じると解釈することで説明できる。さらに薬理学的実験から、この連合学習には cGMP 情報伝達系に関わることが示唆された。

第2章では、オプティカルフロー認知能力を解析する目的で、オプティカルフロー-PER 連合学習系を新たに確立した。固定した蜂の視野全体を円錐形のトレーシングペーパーのスクリーンで覆い、円錐上に幅 6 mm の同心円が 12 mm/秒で移動するよう、左右2台の液晶プロジェクターから GIF アニメを投射した。円錐の頂点から裾に向かうフローを「順向き」、反対方向を「逆向き」と定義した。順向きのフロー（条件付け刺激）とショ糖溶液を同時に与えるトレーニングを行うと、7回目以降で40%の PER が観察され、オプティカルフロー-PER 連合学習系が確立された。また光刺激-PER 連合学習系と同様に、働き蜂の触角除去は学習率の向上をもたらした。さらに、固定した蜂がフローの向きを識別できるか知る目的で、順向きのフローで条件付けた蜂に対して順向きと逆向きの

フローを提示したところ、順向きフローを用いた時に逆向きフローより高頻度の PER が観察された。このことからミツバチは単にフローの動きだけでなく、向きの情報も識別・記憶（認知）できることが示された。向きの異なるフローは、例えば蜂が旋回する際に左右の眼で感知される。フローの向きの識別・記憶能力は、蜂が採餌活動を行う際に、自分の空間位置の記憶を更新するために役立つのかも知れない。なお育児蜂（巣内で育児に携わる働き蜂）と採餌蜂（巣外で花粉や花蜜を集める働き蜂）の学習率には有意差は検出されず、両者はほぼ等しい学習能力を持つことが分かった。

以上、本論文では固定したミツバチを用いて、色識別、色残像、フローの向きの記憶・識別などの視覚認知能力が検証できることを世界で初めて示している。学習した蜂の脳では、認知された視覚情報に応じた「記憶痕跡」が形成される可能性がある。今後、脳の神経活動を *in vivo* でモニターし、神経生理学的手法や遺伝子操作技術を適用することで、ミツバチの高度な視覚認知メカニズムの神経・分子レベルでの解析が可能になると期待される。以上、本研究では独自の連合学習系を利用してミツバチの視覚認知能力を解析した点で動物行動学・感覚生理学の発展へ寄与するものである。

なお、本論文の第1章は、竹内秀明氏・久保健雄（東京大学）・蟻川謙太郎氏・木下充代氏（総合研究大学院大学）・市川直子氏・佐々木正己氏（玉川大学）、第2章は、竹内秀明氏・久保健雄との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験計画及び遂行を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。