

学 位 論 文 題 名

A Study of Odor Perception in an Insect

(昆虫の匂い認知に関する研究)

学位論文内容の要旨

昆虫は地球上の全動物種のうち70% (約70万種) を占め、進化的に成功を収めた動物であり、その脳を構成する神経細胞の数がヒトに比べるとわずかに10万分の1であるにもかかわらず、複雑で精巧な行動を示す。昆虫の脳のメカニズムを解明することは、ヒトなどの脳の高次機能の基礎的知見を与え、また、ロボットなどに用いることが可能な新しい情報処理装置の開発につながると期待できる。ワモンゴキブリは嗅覚情報処理のメカニズムを調べるためのモデル動物として、これまで多くの組織学的、電気生理学的研究に用いられ、ことに嗅覚感覚細胞の応答特性については詳細な研究がある。しかし、従来の行動学的研究は性フェロモンによって引き起こされる行動に限られ、一般の匂いの識別や匂い学習能力を調べる研究は行われていない。本研究ではワモンゴキブリの一般の匂いについての学習能力と識別能力を明らかにするを目的とした。

2種類の匂いA・Bを用い、匂いAを砂糖水と、匂いBを塩水とそれぞれ連合させるオペラント条件付け学習パラダイムによりゴキブリの嗅覚学習能力を調べた。1回の条件付けによって、砂糖水と連合された匂いAに対する嗜好性は有意に増加した。増加した嗜好性は少なくとも1週間は保持されたが、時間経過にともなって記憶の減衰が見られた。3回の条件付けにより記憶を強化すると、その記憶は減衰することなく4週間保持された。また一度学習が成立した個体に対して、匂いBを砂糖水と、匂いAを塩水とそれぞれ連合させる再訓練をほどこすと、匂いBに対する嗜好性が有意に増加し記憶の書き換えが達成された。これらの結果によりゴキブリの嗅覚学習能力が、1) 非常に早く成立し、2) 長期間保持され、3) 柔軟に書き換わるという特徴を持つことが示された。ゴキブリの優れた嗅覚学習能力は、昆虫の中でも学習能力が高いと考えられているミツバチに匹敵するものであり、学習の機構を研究する材料としての利用価値が高いことが示された。

同様のオペラント条件付けパラダイムを用いて、自然界に豊富に存在し構造的によく似たアルコールの匂いに対する識別能力を調べた。炭素数の異なる3種類の直鎖アルコール(1-ペンタノール、1-ヘキサノール、1-オクタノール)を用い、匂いAと砂糖水、匂いB・Cと塩水を連合させる訓練を行うと、ゴキブリはほとんど間違えることなく匂いAに高い嗜好性を示した。炭素数が同じで構造の異なる3種類のアルコール(1-ヘキサ

ノール、2-ヘキサノール、トランス-2-ヘキセン-1-オール)、またこれらのアルコールのうち2つとその混合物を用いて訓練した場合にも、ゴキブリはそれぞれの匂いを有意に識別できた。しかし、1-ヘキサノールとトランス-2-ヘキセン-1-オールの組み合わせでは間違える確率が高く、これらの匂いはゴキブリにとってかなり識別しづらいことが示された。3種類の濃度の1-ヘキサノールを用いて同様の訓練を行った場合、ゴキブリはそれぞれの濃度を有意に識別したが、中間濃度の匂いと砂糖水を連合させる課題は達成できなかった。これらの結果はゴキブリがヒトにも匹敵するほどの優れた匂い識別能力を持つことを初めて明らかにしたものである。今回得られた結果を、これまでのゴキブリ嗅覚細胞の応答特性に関する電気生理学的知見と照らし合わせると、ゴキブリの嗅覚系における大まかな匂いのコーディングは感覚細胞レベルで説明できるが、細かい匂い識別に関してはさらに中枢での処理が関与していることが示唆された。

これらの成果は、ゴキブリの匂い識別および匂い学習能力についての基礎的知見を始めて確立させたものであり、今後の昆虫の嗅覚処理メカニズムのさらなる解明への道を拓くことによって、神経科学および神経情報工学に貢献するものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 下 澤 楯 夫
副 査 教 授 栗 城 眞 也
副 査 教 授 河 原 剛 一
副 査 助 教 授 水 波 誠

学 位 論 文 題 名

A Study of Odor Perception in an Insect

(昆虫の匂い認知に関する研究)

近年、工学設計を生物から学ぶ気運が高まっている。なかでも昆虫は地球上の全動物種のうち70%を占め、進化的に成功を収めた動物であり、その脳を構成する神経細胞の数がヒトに比べるとわずか10万分の1であるにもかかわらず、複雑で多彩な行動を示す。昆虫の脳のメカニズムを解明することは、ヒトなどの脳の高次機能の基礎的知見を与えると同時に、自律ロボットなどに用いることが可能な新しい情報処理原理の発見につながると期待できる。ワモンゴキブリは、嗅覚情報処理のメカニズムを調べるためのモデル動物としてこれまで多くの組織学的、電気生理学的研究に用いられている。しかし、匂いの識別や匂い学習能力を調べる行動学的研究は行われていない。

本論文は、ワモンゴキブリの匂い学習能力と匂い識別能力を明らかにすることを目的とした。本論文は4章からなる。

第1章では、本研究の背景として、昆虫の嗅覚情報処理系の基本的な特徴とその工学への応用の可能性について論じている。

第2章では、2種類の匂いAとBを用い、匂いAを砂糖水と、匂いBを塩水とそれぞれ連合させるオペラント条件付け学習パラダイムを用いて、ゴキブリの嗅覚学習能力を調べている。1回の条件付けによって、砂糖水と連合された匂いAに対する嗜好性は有意に増加すること、増加した嗜好性は少なくとも1週間は保持されるが、時間経過によって記憶の減衰が見られること、3回の条件付けにより記憶を強化すると、その記憶は減衰することなく少なくとも4週間は保持されることを見出した。また一度学習が成立した個体に対して、匂いBを砂糖水と、匂いAを塩水とそれぞれ連合させる再訓練をほどこすと、容易に記憶の書き換えが達成されることを示した。これらの結果は、ゴキブリの嗅覚学習能力が、非常に早く成立し、長期間保持され、柔軟に書き換わるという特徴を持つことを示している。

第3章では、同様なオペラント条件付けパラダイムを用いて、植物の匂いとして自然界に豊富に存在し、構造的によく似たアルコールの匂いに対する識別能力を調べている。3種類の匂いA、B、Cとして炭素数の異なる3種類の直鎖アルコール（1-ペンタノール、1-ヘキサノール、1-オクタノール）を用い、匂いAを砂糖水と、匂いBとCを塩水と連合させる訓練を行うと、ゴキブリはほとんど間違えることなく匂いAに高い嗜好性を示した。炭素数が同じで構造の異なる3種類のアルコール（1-ヘキサノール、2-ヘキサノール、トランス-2-ヘキセン-1-オール）、またこれらのアルコールのうち2つとその混合物を用いて訓練した場合にも、ゴキブリはそれぞれの匂いを識別できることが明らかになった。しかし、1-ヘキサノールとトランス-2-ヘキセン-1-オールの組み合わせでは間違える確率が高く、これらの匂いはゴキブリにとってかなり識別しづらいことが示された。3種類の濃度の1-ヘキサノールを用いて同様の訓練を行った場合、ゴキブリはそれぞれの濃度を有意に識別したが、中間濃度の匂いと砂糖水を連合させる課題は達成できなかった。これらの結果はゴキブリがヒトにも匹敵するほどの優れた匂い識別能力と連合学習能力を持つことを示している。今回の結果を、ゴキブリ嗅覚細胞の応答特性に関するこれまでの報告と照らし合わせた結果、ゴキブリの嗅覚系における大まかな匂いのコーディングは感覚細胞レベルで説明できるが、細かい匂い識別に関してはさらに中枢での処理が関与していることが示された。

第4章では本研究で得られた成果を基に、昆虫の嗅覚学習の神経機構についての今後の研究を展望するとともに、その工学への応用可能性について論じている。

これを要するに、著者は、ワモンゴキブリが極めて優れた匂い識別能力や匂い学習能力を持つことを明らかにし、昆虫の匂い識別や匂い学習のメカニズムの解明への道を切り拓いたものであり、神経科学および神経情報工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。