

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22570080

研究課題名（和文）

昆虫の湿度感覚に関わる前大脳高次情報処理についての生理学的形態学的研究

研究課題名（英文）

Physiological and anatomical study on neural processing of humidity information in protocerebrum of insect.

研究代表者

横張 文男（YOKOHARI FUMIO）

福岡大学・理学部・教授

研究者番号：20117287

研究成果の概要（和文）：

ワモンゴキブリの前大脳の同定可能ニューロンの湿度応答について細胞内記録・染色法によって調べた。その結果、触角葉マルチ出力ニューロン、キノコ体出力ニューロンおよび中心体ニューロンが湿度応答を示し、前大脳側角の局所および出力ニューロンには多様な湿度・温度応答パターンを示した。側角後腹領域の外縁部にも湿度・温度刺激に応答するニューロンがあり、この部分も湿度・温度情報処理の中樞機能をもっていることが示唆された。このほか触角葉糸球体の分布なども明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The identifiable interneurons responding to humidity and temperature in the protocerebrum of the cockroach, *Periplaneta americana*, were investigated with intracellular staining and recording method. We found the followings. The multi-output neurons in the antennal lobe, the output neurons in the mushroom body, and the neurons in the central body responded to humidity and temperature changes. The local and output neurons locating in postero-ventral area of the lateral protocerebrum also responded to humidity and temperature changes. This area was suggested to be a part of the integration center of humidity and temperature. In addition, the distribution of glomeruli in the antennal lobe was also clarified.

交付決定額

（金額単位：円）

|         | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2010 年度 | 2,400,000 | 720,000   | 3,120,000 |
| 2011 年度 | 600,000   | 180,000   | 780,000   |
| 2012 年度 | 600,000   | 180,000   | 780,000   |
| 年度      |           |           |           |
| 年度      |           |           |           |
| 総計      | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学、動物生理・行動

キーワード：昆虫、湿度感覚、神経情報処理、脳、ワモンゴキブリ

### 1. 研究開始当初の背景

昆虫は体が小さいために体積に対する表面積の非率が高いので、体表からの水分蒸散によって体内水分が失われやすく、水分の補給が生死に関わる。実際に水分補給を絶たれたワモンゴキブリは2週間程度で死ぬ。それを避けるためにはまず水の存在を検出し飲水できる場所を探す必要がある。昆虫は相対湿度を適刺激とする湿度感覚器で大気中の水分を検出し、脳内の湿度情報処理系で湿度勾配を見出し、水のある場所に接近し摂水する。このように湿度情報は昆虫の生死にかかわる極めて重要な情報であり、その情報処理系もまた極めて重要である。我々は、従来からワモンゴキブリを中心に昆虫の湿度・温度感覚系について研究してきた。その結果、その感覚器の同定し、感覚器の微細構造と感覚受容機構が明らかにし、その温度感覚ニューロンと湿度感覚ニューロンの軸索が触角葉の特定の糸球体群に終末することも明らかにした。更に、糸球体から前大脳側葉に投射する湿度および温度感受性の投射ニューロンを特定することに成功し、生理学的特徴の概略と詳細な形態学的特徴が明らかにすることができた。

### 2. 研究の目的

本研究では、昆虫脳における湿度感覚情報処理の高次神経機構を明らかにすることを目的としている。具体的には、ワモンゴキブリを実験材料として、湿度情報処理に関わる前大脳高次ニューロンを生理学的形態学的に同定し、その機能的特徴および脳内の経路と投射部域を明らかにする。触角葉の湿度感受性糸球体に樹状突起をもつ投射ニューロンが、前大脳きのこ体に側枝を出しながら前大脳側葉（外側前大脳）の特定の部域で終末することを既に明らかにしている。今回の研究計画では、前大脳側葉およびキノコ体に樹状突起をもつニューロンに微小電極を刺入し、細胞内記録および細胞内染色を行い、湿度感受性高次ニューロンの応答特性と形態的特徴を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

ワモンゴキブリの前大脳の高次湿度感受性ニューロンについて湿度および匂い刺激に対する応答を細胞内記録し、同時に細胞内染色を実施し、その機能的特性と形態的特徴を調べ、湿度情報処理の神経回路を解明する方法を用いた。

### 4. 研究成果

#### (1) 2010年度の成果

ワモンゴキブリの前大脳ニューロンのう

ち相対湿度情報がどのように処理されているかを細胞内記録法によって解析した。同定可能ニューロンから湿度刺激・温度刺激・匂い刺激に対する応答を記録し、合わせて細胞内染色によってその形態も調べた。その結果、次のことがわかった。以前に Nishino ら (2003) が報告したニューロン以外にも多数の糸球体から情報を受ける触角葉マルチ出力ニューロンが湿度に応答することが明らかになり、その応答パターンは匂いに対する応答パターンとは異なっていた。キノコ体出力ニューロンにも湿度応答を示すものがあった。中心体ニューロンにも相対湿度応答を示すものがあった。前大脳側角局所所在ニューロンや前大脳側角出力ニューロンには多様な湿度・温度応答パターンを示しものがあり、応答特異性が高い傾向が見られた。Nishino ら (2003) に報告されている湿度温度中枢（前大脳側角 I、II、III）以外にも側角後腹領域の外縁部にも湿度・温度刺激に応答するニューロンがあり、この部分も湿度・温度情報処理の中核機能をもっていることが示唆された。

#### (2) 2011年度の成果

触角葉の出力ニューロンには多くの糸球体から入力を受けるマルチモーダルな出力ニューロンは湿度応答を示し、その応答パターンは匂い刺激に対する応答パターンとは異なる傾向が見られた。また、キノコ体出力ニューロンには明瞭な湿度応答を示すものもあったが、それらのニューロンの応答様式と形態的特徴をもとに分類するまでには至らなかった。もう一度原点に戻って、まず触角葉糸球体の詳細な分布図を作成すると同時に、触角上感覚子の嗅受容ニューロンの軸索投射先である糸球体と湿度受容ニューロンの軸索投射先である糸球体との場所的關係を調べ、糸球体からの前大脳への投射ニューロンの投射先との關係を調べた。その結果、次のことが明らかになった。ワモンゴキブリでは触角神経が2本あるが、その2本の触角神経は触角葉では分枝するので、それぞれの分枝と糸球体との關係に注目しながら、触角葉糸球体地図作成を試みた結果、糸球体の数は雌雄とも同数で約205個であった。雄には性フェロモン受容ニューロンが投射する大糸球体複合体があるが、雌においても雄の大糸球体複合体と同位置に対応する糸球体があった。このように糸球体の数においては性的な違いはなかった。そのほかの糸球体においても位置に大きな個体差はなく、全糸球体の地図を作成することができた。各糸球体に

投射する触角感覚子の受容ニューロンとも関係を調べるために、触角感覚子から蛍光染料を取り込ませた。その結果、湿度・温度受容ニューロンだけでなく一部の嗅受容ニューロンと糸球体との関係も明らかになってきた。

(3) 2012年度の成果

糸球体のそれぞれの糸球体に投射する触角上の嗅感覚子の受容ニューロンの投射先を調べた。触角には形態的に区別できる数種類の嗅感覚子があり、それぞれの感覚子に含まれる嗅受容ニューロンの匂い応答スペクトルは、過去の我々の研究である程度わかっていた。各感覚子から蛍光色素を注入し、LSMで観察・撮影し画像処理ソフトで画像処理を施し、各感覚子に含まれる嗅受容ニューロンが投射する糸球体を同定することができた。嗅感覚子にはクチクラ装置の表面が滑らかなものと縦溝のあるものにわけられ、この外部構造とその感覚子に含まれる嗅受容ニューロンの応答物質の間には一定の関係がある。その投射先もこれに対応して糸球体の大きさと触角葉内での分布域が2群に分かれていることが明らかになった。また、湿度・温度受容ニューロンの投射先の糸球体との関係について調べたところ、この2群の糸球体とはその輪郭が異なり、分布域も2つの糸球体群の中間に位置するなどの特徴があった。これらの糸球体に樹状突起をもつ投射ニューロンなどの投射経路と投射先について異なる個体で得た知見を統合するために、標準脳を作製した。個体が異なると脳の形態に差があり、これを解消するために数個体の脳の構造を画像処理によって平均化することによって標準化したものを標準脳という。この標準脳にニューロンの投射経路や投射先を埋め込むことによって、各ニューロン間の関係を個体差を超えて明らかにすることができるようになる。

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8件)

- ① Watanabe, H. H., Yokohari, F., (2012) Spatio-temporal activity patterns of odor-induced synchronized potentials revealed by voltage-sensitive dye imaging and intracellular recording in the antennal lobe of the cockroach. *Front syst neurosci*. Vol 6 Article 55 doi: 10.3389/fnsys.2012.00055 査読有

- ② Watanabe, H., Haupt, S., Nishino, H., Nishikawa, M., Yokohari, F. (2012). Sensillum-specific, topographic projection patterns of olfactory receptor neurons in the antennal lobe of the cockroach *Periplaneta americana*. *J. Comp. Neurol.* 520(8):1687-1701 査読有
- ③ Nishikawa, M., Watanabe, H., Yokohari, F. (2012) Higher brain centers for social tasks in worker ants, *Camponotus japonicus*. *J. Comp. Neurol.* 520:1584-1598 査読有
- ④ Sakurai, T., Mitsuno, H., Haupt, S., S., Uchino, K., Yokohari, F., et al.(2011). A Single Sex Pheromone Receptor Determines Chemical Response Specificity of Sexual Behavior in the Silkworm *Bombyx mori*. *PLoS Genet* 7(6): e100211 doi:10.1371/journal.pgen.1002115. 査読有
- ⑤ Watanabe, H., Nishino, H., Nishikawa, M., Mizunami, M., and Yokohari, F. (2010). Complete mapping of glomeruli based on sensory nerve branching pattern in the primary olfactory center of the cockroach *Periplaneta americana*. *J. Comp. Neurol.* 518: 3907–3930. 査読有
- ⑥ Nakanishi, A., Nishino, H., Watanabe, H., Yokohari, F., Nishikawa, M. (2010). Sex-specific antennal sensory system in the ant *Camponotus japonicus*: glomerular organizations of antennal lobes. *J. Comp. Neurol.* 518: 2186–2201. 査読有
- ⑦ Yanagawa A., Yoshimura, T.,

Yanagawa .T, Yokohari, F. (2010)  
Detection of a humidity difference by  
antennae in the termite *Coptoermes*  
*formosanus* (Isoptera:  
Rhinotermitidae) Sociobiology,  
56/1,255-269. 査読有

- ⑧ Ai, H., Yokohari, F. (2010) Vibration  
receptive sensilla on the wing margins  
of the silkworm moth *Bombyx mori*.  
Journal of Insect Physiology, 56/3,  
234-246.

[学会発表] (10 件)

- ① Watanabe, H., Nishikawa, M.,  
Yokohari, F. Higher brain centers for  
social behaviors in the ant  
*Camponotus japonicas*. Evolutionary  
and Behavioral Neuroscience  
Workshop. Hayama. 2012年7月8日
- ② Watanabe, H., Ai, H., Yokohari, F.  
Odor-induced spatio-temporal activity  
patterns of synchronized potentials  
mediated by local interneurons in the  
cockroach antennal lobe. 8th  
International Congress of Comparative  
Physiology and Biochemistry. Nagoya.  
2011年6月4日
- ③ Watanabe, H., Nishino, H., Nishikawa,  
M., Yokohari, F. Dual pathways to  
process general odors in the cockroach  
brain. The 9th Congress of the  
International Society for  
Neuroethology. Spain. 2010年8月3日  
(他は省略)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)  
○取得状況 (計 0 件)

[その他]  
ホームページ等  
[http://www.fukuoka-u.ac.jp/education/undergraduate/science/earth\\_system/](http://www.fukuoka-u.ac.jp/education/undergraduate/science/earth_system/)

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
横張 文男 (YOKOHARI FUMIO)  
福岡大学・理学部・教授  
研究者番号 : 20117287

(2) 研究分担者  
なし

(3) 連携研究者  
なし