

情動に対する電磁波の影響

—ワモンゴキブリの行動を通して—

Action of electromagnetic fields on emotion in cockroach, *Periplaneta americana*.

畑中 恒夫・高石 哲男

Tsuneo Hatanaka, Tetsuo Takaisi

要 約

電磁波はネズミの脳に作用して情動に変化を生じ、学習効率を変化させることが知られている。電磁波が脳の構造が全く違うワモンゴキブリの情動に変化を生じるか調べるため、市販の電磁波を利用したネズミ・ゴキブリ駆除器を用いて、行動観察を行った。ゴキブリは電磁波に暴露されると、活動性が下がるとともに、電磁波を発生する場所から特定の位置を保ち、電磁波の強さあるいはその作用による情動の強さを知覚できるような行動が見られた。また、長期間暴露していると、はじめの2週間はストレスによると見られる、産卵直後の卵鞘を雌が食べてしまう行動が目立ったが、そのほかの行動に変化は見られなかった。本実験で、電磁波はゴキブリの情動にも影響を与えることが示された。

はじめに

最近、われわれの日常生活にはおおくの家電製品に取り囲まれるようになってきた。これらの家電製品には電磁波を発生する製品も多く、電磁波の生体に及ぼす作用が心配されている。古くから、小児ガンと電磁波の関係が考察されてきているほか、最近では携帯電話の電磁波が脳に及ぼす影響が心配されている (Lacy-Hulbert et al. 1998)。これらマイクロ波の作用は熱的な影響にほかに、携帯電話の電磁波が心臓ペースメーカーに影響を与える仕組みと同じように、変調されて生じる数十から 100Hz 程度の低周波が脳の神経細胞の活動に及ぼす影響が調べられている。電磁波は人の脳幹の活動に影響し (Rittweger et al. 1995)、ラットの脳辺縁系の海馬に作用し、情動を変化させ、学習行動にも影響することが知られている (Sudakov 1998)。最近、学校や家庭で学習のためにパーソナルコンピュータを使う機会が増えつつあるが、パーソナルコンピュータから発生する電磁波が脳に作用して学習効率に影響を与えている可能性もあり、パーソナルコンピュータを使った学習の効率化のためには、電磁波の神経細胞への作用機序を詳しく調べる必要がある。

古くから、病原菌を伝搬するネズミにより、伝染病の大流行があり、ネズミ退治の方法はいろいろ考えられ実行されてきた。ゴキブリもまた人間生活に適應して、家庭内で繁殖すると共に、多くの病原菌を運搬し、ネズミ同様に駆除の対象となってきた。電化製品の出回りと共に、電気を利用した、ネズミ駆除器として超音波を利用した装置が開発されたが、超音波は物体に当たると反射するため、家具などの裏には作用せず、室内ではあまり有用ではなかった。最近、透過力の強い電磁波を用いた駆除器が開発されている。これらの電磁波による駆除器は、ネズミやゴキブリの嫌う周波数の電磁波でこれらの動物を追い払う働きをされるとされている。また、この装置は本体からだけでなく、つながっている電線もアンテナとし、そこから電磁波を出すため室内配線を通じ、広い範囲に作用するとされている。超音波は音であり、我々人では聞くことができないが、ネズミでは仲間のコミュニケーションで利用しており、感覚器を通して知覚することのできる刺激である。従って、忌避反応は感覚入力を通して行われると考えられる。しかし、電磁波は、可視光 (視覚) や遠赤外線 (皮膚温度感覚) などを除いて感覚器官は知られておらず、低周波の作用機序は不明であるが、この駆除器から発生する電磁波は神経系に作用し情動に影響し逃避を誘発するとされている。ゴキブリでは、脳の発生や構造は脊椎動物大きく違い、ネズ

ミのような情動が存在するのか、あるいは存在するなら脳のどの部分に当たるのか全く不明である。

本実験では、電磁波がどのような機序でゴキブリの忌避反応を引き起こすのか調べる最初の段階として、まずこの電磁波駆除器がゴキブリに対し本当に有効であるのか、この駆除器に対しゴキブリはどのような行動反応を示すか調べた。実験は2つ行い、1つは短時間の電磁波に対する暴露に対し電磁波を避けるかどうか、もう1つは長期間の暴露でストレスによるどのような行動変化が生じるか調べた。

材料と方法

実験材料はワモンゴキブリ (*Periplaneta americana*) の雌雄成体を用いた。ゴキブリは蚕糸昆虫研究所で累代飼育していたものを分けてもらい、研究室で30°Cの恒温槽内で昆虫用固形飼料と水を自由に与えて飼育した。

ゴキブリ駆除器はPAC-1C (Global Instruments Ltd.) を用いた。

実験 I 短時間の暴露

ワモンゴキブリが電磁波にさらされたとき、ストレスにより電磁波を避けようとするかどうか調べるため、縦20 cm、横75 cm、高さ20 cmの細長いアクリル性の箱を用意し、その端から電磁波を照射したとのゴキブリの動きを調べた。箱の中には水も餌も隠れ場所も用意せず、上からゴキブリの動きを記録しやすいようにした。また、各ゴキブリは1度だけしか観察に使用しなかった。観察は室温(23°C)で行った。

まず、箱にゴキブリを1匹だけ入れ、上からビデオカメラでゴキブリの動きを2時間記録した。箱の片側にゴキブリ駆除器をセットしたものと、何もセットしないコントロールとで比較した。

次に、1つの箱にはっきり区別が付く大中小3匹のゴキブリを同時に入れ、6時間にわたって、30分毎に写真を取り、ゴキブリの位置を確認した。電磁波はゴキブリ駆除器本体だけでなく、駆除器につながった電線をも伝わって広がると説明されているので、箱の片側に駆除器をセットしたものとコントロールの他に、箱の片側に駆除器につながる電線のみをセットしたものを用意した。また、駆除器及び電線の位置を、3時間後に反対側に移す実験も行った。これらの実験は異なるゴキブリを用いて、10回ずつ行われた。

実験 II 長期にわたる暴露

ワモンゴキブリが逃避できない状態で長期間電磁波にさらされると、ストレスにより行動にどのような変化が起きるか、あるいは体にどのような症状が表れるか調べるために、縦15 cm、横20 cm、高さ15 cmのプラスチック製飼育容器で水や餌が自由に摂取できる状態で飼育し行動を観察した。箱の底には濾紙を敷いたが、観察しやすくするために隠れ家は与えなかった。実験は2回行われ、始めは、1つの箱に成虫のワモンゴキブリ7匹(雄3匹、雌4匹)を入れ、片側にゴキブリ駆除器をセットして、4月中旬から5月下旬まで、毎日1時間以上行動を観察した。2回目は、雌雄別々に飼育していたゴキブリの成虫5匹(雄2匹、雌3匹)を箱に入れ、7月下旬から9月下旬まで9週間、行動を観察した。このときは、コントロールと、片側にゴキブリ駆除器をセットした箱及び、ゴキブリ駆除器から45 cm離れたところにおいた3つの箱で観察した。

統計処理

集めたデータの比較にはt検定を用いた。

結 果

実験 I 短時間の暴露

箱の中に入れられたゴキブリは、箱の縁に沿って歩き回る。ビデオに取ったゴキブリの動きをパソコンで取り込み、一秒毎にゴキブリの位置を表示して、ゴキブリの動いた軌跡を10分毎に描くと図1(a)のようになる。コントロール実験でのこのゴキブリは、縁に沿って歩き回るが、四隅の部分に居ることが多い。始めの30~40

分は、絶えず動き回っていたが、時間と共に移動は少なくなり、箱の半分くらいのところの縁に居ることも多くなり、2時間後には、完全に静止してはいないが、移動距離は半分まで落ちていた(図2)。ゴキブリ駆除器を片側にセットした箱に入れたゴキブリは、やはり箱の縁を動くが、動きは少なく、ゴキブリ駆除器のある側及び箱の半分くらいの位置に居ることが多かった。30分~40分ぐらいではゴキブリ駆除器の側に居ることが多く、やがて80分~120分では箱の中央付近で殆ど動かなくなっていた(図1(b))。移動距離もコントロールに比べ少なかった(図2)。

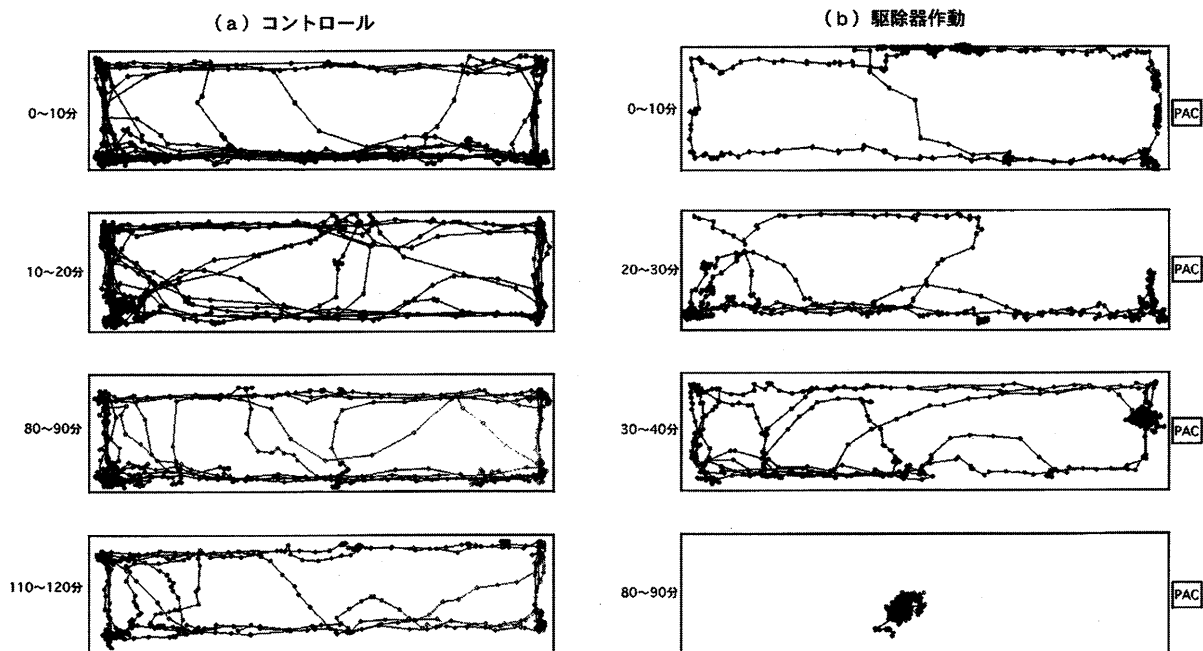


図1 電磁波に短期暴露中の実験箱の中のゴキブリの軌跡

(a) コントロールの軌跡, (b) 駆除器作動は実験箱の右側にゴキブリ駆除器 (PAC) をセットしたときの軌跡, 各欄の左側に示してある 10 分間の 1 秒毎のゴキブリの位置とその移動軌跡を示している。実験箱は 20 cm × 75 cm。

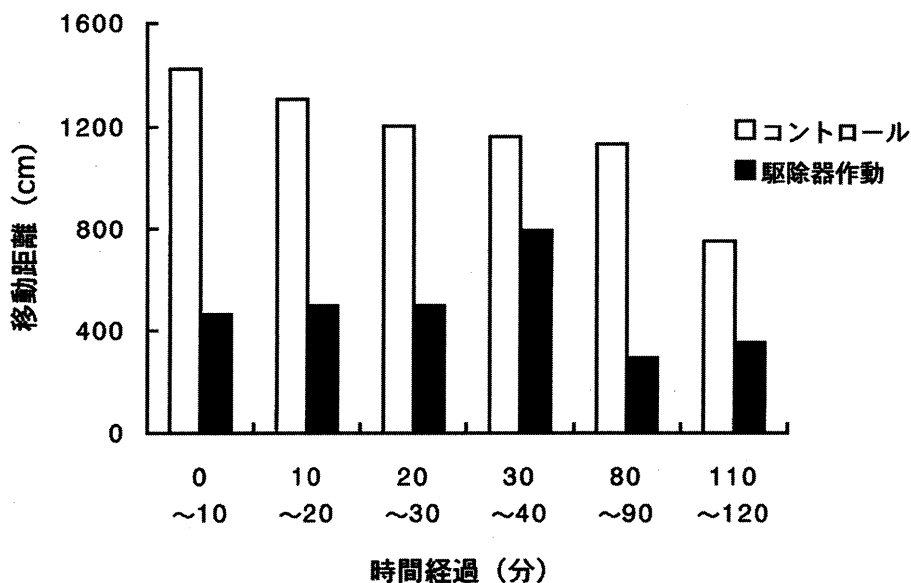


図2 電磁波に短期暴露中のゴキブリの移動距離の時間経過

図1の実験の10分ごとの軌跡の距離を移動距離として、その時間経過を示している。

6時間にわたって、30分毎のゴキブリの位置の記録を取り、その時のゴキブリの位置を簡単に表すため、箱の底を長辺に沿って12.5 cm毎に6区画に区切り、便宜的に端から、A~Fと名付け、どの区画に居るかで表した。ゴキブリ駆除器あるいはその配線を箱の片側につけたときは、そちら側の端からA~Fと分けした。始めのうちはゴキブリが動き回っている時の1断面での位置であるが、多くの標本を採れば平均の分布を表すと思われる。コントロールでは始めの1.5~2時間に片側の端に居ることが多いが、その後も端ではないが、その片側の方に居ることが多かった(図3(a))。これは実験室の照明などが完全に均一ではなかったためと思われる。にもかかわらず、ゴキブリ駆除器を片側にセットすると、30分で駆除器の側の区画に集まり、その傾向は続いた(図3(b))。また反対側の隅の区画も目立った。30分毎の記録で、個体によりある程度同じところに居たり、その度に位置が変わっていたり様々であるが、1匹が移動していた区画の範囲は駆除器をセットした方がやや少なく(図4)、30分毎に移動した区画数-移動頻度-も駆除器をセットした方が少なく(図5: $p < 0.05$)、また、同じ区画にとどまっていた時間-最大静止時間-もコントロールの2倍となり(図6: $p < 0.005$)、駆除器をセットした方がゴキブリの活動性が低下していた。配線をセットした箱では、コントロールのような偏りは見られず、配線側とその反対側の端にも多く存在しており(図3(c))、1匹の移動範囲はコントロールより少なく(図4: $p = 0.05$)、移動区画数はコントロールよりやや少なく(図5)、同じ区画にとどまっていた時間もコントロールよりは多かった(図6: $p < 0.05$)。駆除器をセットした側を3時間後に反対側に変えた箱では、駆除器側及びその反対側に多かったゴキブリは、交代した後少し乱れるが、また駆除器の側と反対側に多く居た(図3(d))。しかし、1個体の移動した区画の範囲や移動区画数、同じ区画にとどまっていた時間はコントロールと同じで、駆除器あるいは配線を片側に6時間セットしたときに比べ、1個体の移動した区画の範囲や移動区画数は多く(それぞれ $p < 0.05$ か $p < 0.005$ のどちらか)、同じ区画にとどまっていた時間は少なく(それぞれ $p < 0.05$ か $p < 0.005$ のどちらか)、活動性が高いことを示している(図4、図5、図6)。しかし、どの時間に動いたかを見ると、駆除器の位置を変えた後の3.5時間のところで大きな移動を生じていた(図7)。このことは、分布は同じでも駆除器の位置が反対側に移ると、各個体はそれに合わせて反対側に移動したことを意味している。各個体の動きを見ると、3.5時間のところで反対側に移りそこに静止している個体が7匹見られ、このような3.5時間を境にした安定した位置を保つ個体は、コントロールや片側に6時間ずっと駆除器をセットし続けた時には1匹も見られなかった。配線を片側から反対側に変えたときは、配線側の好みが見られた後反対側に多くいるようになった(図3(e))。このときも駆除器を途中で交代したときと同様、1個体の移動した区画の範囲や移動区画数、同じ区画にとどまっていた時間はコントロールと同じで、駆除器あるいは配線を片側に6時間セットしたときに比べ、1個体の移動した区画の範囲や移動区画数は多く(それぞれ $p < 0.05$ か $p < 0.005$ のどちらか)、同じ区画にとどまっていた時間は少なく(それぞれ $p < 0.05$ か $p < 0.005$ のどちらか)、活動性が高いことを示している(図4、図5、図6)。また、どの時間に動いたかを見ると、配線の位置を変えた後の3.5時間のところで大きな移動を生じている(図7)。さらに、3.5時間のところで反対側に移りそこに静止している個体が4匹見られ、配線の位置の移動に反応している個体がいることを示している。

情動に対する電磁波の影響

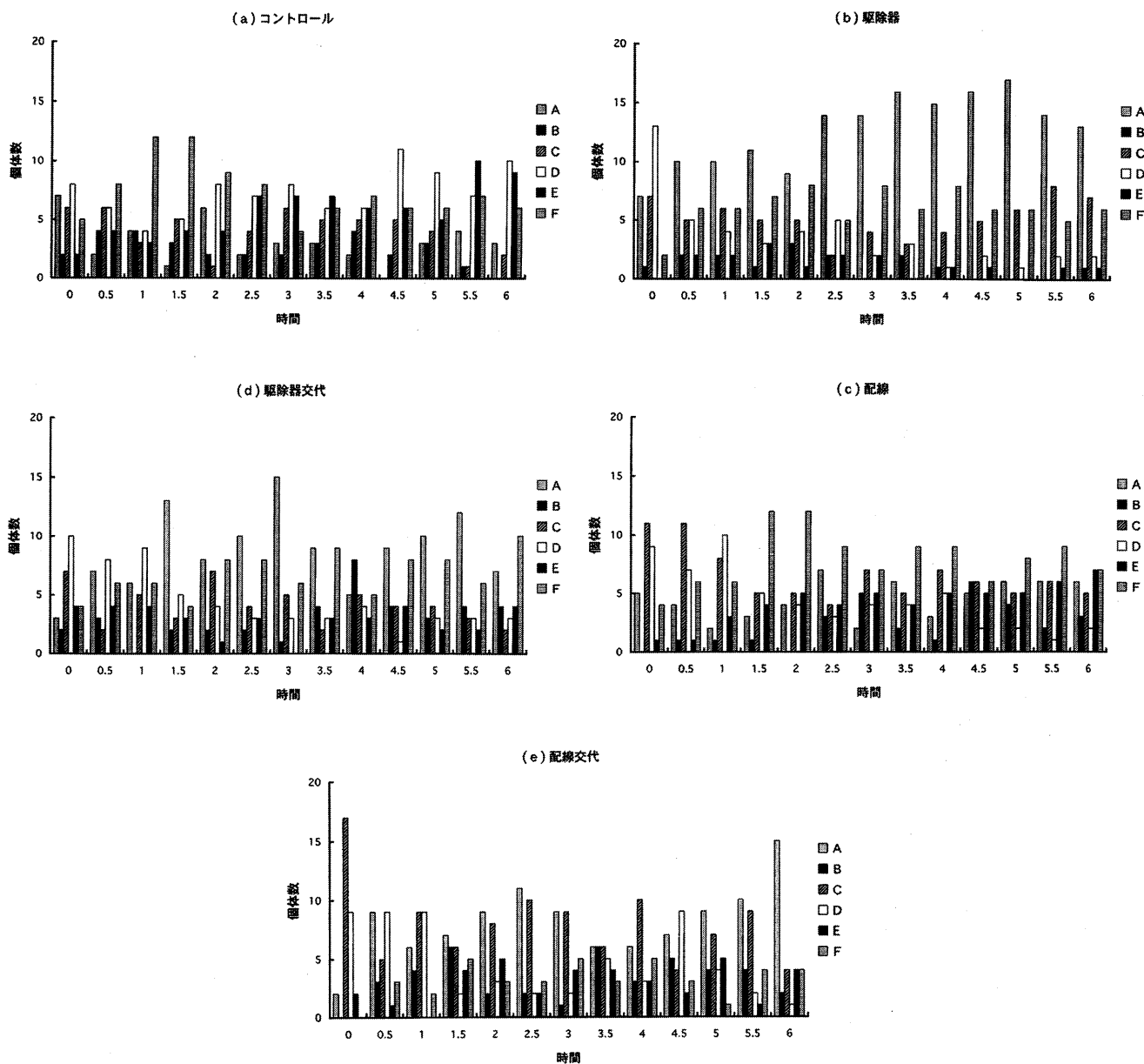


図3 電磁波に短期暴露中のゴキブリの居場所

実験箱を端から A~F の 6 区画に分け、6 時間の暴露の間、30 分毎にゴキブリの居場所を数えた総計を表したもの。駆除器をつけない (a) コントロール、A 区画側に駆除器をつけた (b) 駆除器、A 区画側に駆除器につながる配線をつけた (c) 配線、始めの 3 時間は A 側に、後の 3 時間は F 側に駆除器をつけた (d) 駆除器交代、始めの 3 時間は A 側に、後の 3 時間は F 側に配線をつけた (e) 配線交代の 5 つの条件で測定した。

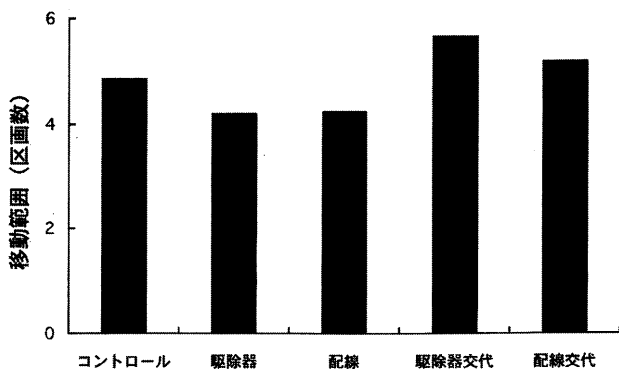


図4 電磁波に短期暴露中のゴキブリの移動範囲

6時間の間に各ゴキブリが移動していた箱の中の区画の範囲の平均を表している。駆除器をつけない〈コントロール〉、片側に駆除器をつけた〈駆除器〉、片側に駆除器につながる配線をつけた〈配線〉、始めの3時間と後の3時間で駆除器をつけた側を交代した〈駆除器交代〉、始めの3時間と後の3時間で配線をつけた側を交代した〈配線交代〉の5つの条件で測定した。

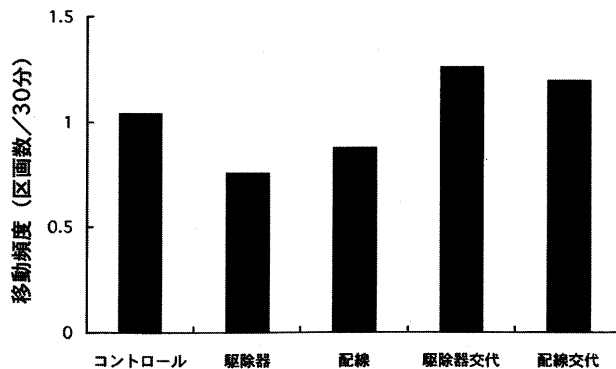


図5 電磁波に短期暴露中のゴキブリの移動頻度

30分毎に各ゴキブリが移動していた箱の中の区画数の平均を表している。駆除器をつけない〈コントロール〉、片側に駆除器をつけた〈駆除器〉、片側に駆除器につながる配線をつけた〈配線〉、始めの3時間と後の3時間で駆除器をつけた側を交代した〈駆除器交代〉、始めの3時間と後の3時間で配線をつけた側を交代した〈配線交代〉の5つの条件で測定した。

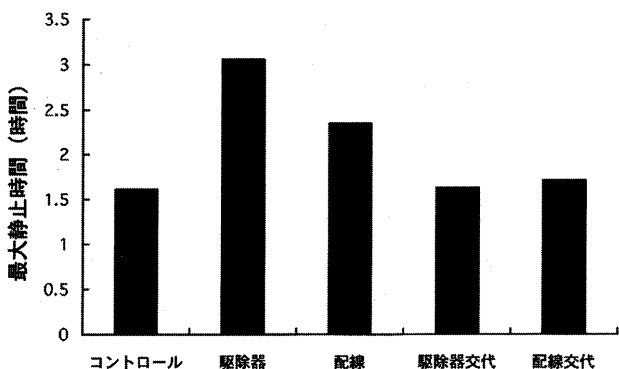


図6 電磁波に短期暴露中のゴキブリの最大静止時間

30分毎の観測時に各ゴキブリが前と同じ区画にいた最大連続時間の平均を表している。駆除器をつけない〈コントロール〉、片側に駆除器をつけた〈駆除器〉、片側に駆除器につながる配線をつけた〈配線〉、始めの3時間と後の3時間で駆除器をつけた側を交代した〈駆除器交代〉、始めの3時間と後の3時間で配線をつけた側を交代した〈配線交代〉の5つの条件で測定した。

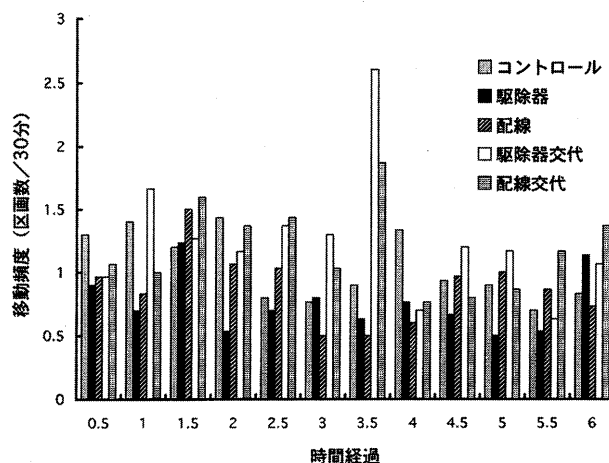


図7 電磁波に短期暴露中のゴキブリの移動頻度の時間経過

30分毎に各ゴキブリが移動していた箱の中の区画数の時間経過を表している。駆除器をつけない〈コントロール〉、片側に駆除器をつけた〈駆除器〉、片側に駆除器につながる配線をつけた〈配線〉、始めの3時間と後の3時間で駆除器をつけた側を交代した〈駆除器交代〉、始めの3時間と後の3時間で配線をつけた側を交代した〈配線交代〉の5つの条件で測定した。

実験II 長期にわたる暴露

最初の観察では、駆除器をセットしても活動性、摂水・摂餌の量、交尾の様子などにかわったところがみられなかったが、産卵した卵鞘の中身を雌が産卵直後に食べてしまう例がみられた。そこで2回目の観察では、卵鞘に注目して観察した。1週間毎に産卵された卵鞘の数は、駆除器の側のゴキブリが多かった(図8)。9週間の総計で、コントロールでは40個、駆除器の側で59個、駆除器から離れたところで32個であった。駆除器の側のゴキブリは6個の卵鞘を、離れたところのゴキブリは1個、コントロールでは2個食べた。ただこの卵鞘を食べる

行動は最初の2週間でしか見られず、後には観察されなかった。残った卵鞘の孵化率は駆除器の側で11.3%、離れたところで16%、コントロールで18%と電磁波が強いときが若干低いものの、卵鞘当たりの幼虫の孵化数は変化がなく(19~21匹)、あまり電磁波の影響がないようであった。

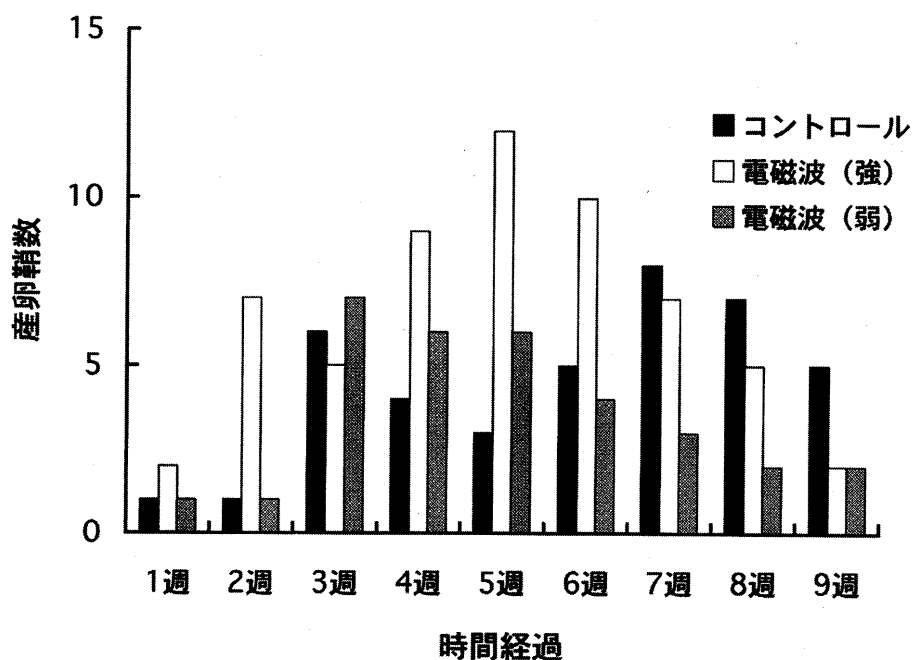


図8 電磁波に長期間暴露中のゴキブリの産卵鞘数の時間経過

9週間の電磁波暴露中、1週間毎の産卵鞘数を表した。〈コントロール〉駆除器なし、〈電磁波(強)〉駆除器をすぐ横につけたもの、〈電磁波(弱)〉駆除器から45cm離れたもの

考 察

このネズミ・ゴキブリ駆除器に添えられていた実験結果では、室内実験では装置に電源を入れ3日目に隠れていたゴキブリが見られるようになり、5日目によそへ移ったとされており、捕獲実験では2週目から捕獲数が減りだし、5週をすぎるとほとんど捕獲されなくなり逃げ出してしまった述べている(Glover 1998)。

本実験の、短時間の一定状態の暴露では、全体的に活動性の低下が見られた。また、暴露直後から駆除器の近くに興味を持ちその近くに停止する様子が見られたが、その後個体により、装置(あるいは配線)のそばかその反対側を好むような行動が見られた。駆除器(あるいは配線)を途中で反対側に付け替えた実験では、全体の活動性は低下しなかったが、これは、位置の交代によりゴキブリの安定性が再度乱されたためであり、このことは位置交代後の移動率が一番高くなったことである。この移動したゴキブリの中には、交代前の駆除器(あるいは配線)と同じ距離を保つために移ったものが見立つ。ここで使われている電磁波は透過率が高く、方向を感知する機構は考えられないので、方向変化ではなく、電磁波の強さの変化を感知したためと考えられる。何らかの形である強さの電磁波を好むあるいは避けるという行動は、快不快という情動が存在している可能性を示唆する。また、短時間の暴露では、駆除器(あるいは配線)のそばに集まるものも多く、逆効果的な傾向も見られたが、箱の大きさが75cmなので(電磁波が不快として作用するのが1.5m位と説明されているので、確実な作用範囲はその半分と考えて75cmにした)、電磁波がもっと弱くなる所へ逃げるかどうかは分からない。

逃避できない箱の中での9週間に渡る長期の電磁波への暴露でも大きな変化は見られなかった。駆除器に添えられていた実験結果では、ネズミでは3日目には動きが活発となり、脱水症状を呈し、4日目には餌も殆ど採らず衰弱したとなっている(Glover 1998)が、ゴキブリはそのような摂食・摂水の変化はなく、衰弱もせず、孵化

した幼虫も普通に育った。活動性、交尾にも変化が見られなかった。普段見られない、産卵直後に卵鞘を雌が食べるという行動が電磁波を強く当てたゴキブリで多く見られたが、おそらくストレスによるためと思われる。ただ、この行動も見られたのがはじめての2週間だけであり、慣れが生じたと考えられる。

電磁波の神経への作用機序は不明であるが、数十 MHz の高周波が直接作用するのではなく変調した 100Hz 以下の低周波が作用するとされている。マウスでは海馬に働くとされているが (Sudakov 1998)、人では海馬に磁性体が発見されている (Schultheiss-grassi et al. 1999)。このような磁性体はミツバチ、マウスを始め 10 種以上の動物で発見されており (Chin-Yuan and Chia-Wei 1994: Kuterbach et al. 1982: Walker et al. 1997)、磁気受容に関与するとされている。神経応答が得られている、ミツバチやマスでは、磁気応答は変動磁場によく応答することが知られており (Lohman and Willows 1991: Schiff 1991: Walker et al. 1997)、低周波の電磁波の作用は、このような磁性体を媒介する可能性が考えられる。

ゴキブリの脳の発生や構造は脊椎動物のそれとかなり異なる。高等脊椎動物の海馬を含む大脳辺縁系は、新皮質の発達しない下等脊椎動物では大脳の大部分を占め、本能行動・情動行動の中枢である。ゴキブリの脳は頭部体節の神経節に頭部の眼、触角などの感覚中枢が融合しており、様々な感覚の統合される場所として、キノコ体があり、中心体で遠心性情報に統合される (Mizunami et al. 1997)。ある意味で脳自体が本能行動の中枢であり、情動行動の中枢であるといえる。しかし、どの部分で情動を生じるか不明である。少なくとも、行動から判断すると、ストレス刺激に反応し、快不快情動を引き起こすことは確かである。

参考文献

- Chin-Yuan Hsu and Chia-Wei Li (1994) Magnetoreception in honeybees. **Science**, 265, 95-97.
- Kuterbach D.A., B. Walcott, R.J. Reeder and R.B. Frankel (1982) Iron-containing cells in the honey bee (*Apis mellifera*). **Science**, 218 (12), 695-697.
- Lacy-Hulbert A., J.C. Metcalfe and R. Hesketh (1998) Biological responses to electromagnetic fields. **FASEB J.**, 12, 395-420.
- Lohmann K.J. and A.O.D. Willows (1991) An identifiable molluscan neuron responds to changes in earth-strength magnetic fields. **J.exp.Biol.**, 161, 1-24.
- Mizunami M., M. Iwasaki, M. Nishizawa and R. Okada (1997) Modular structure in the mushroom body of the cockroach. **Neurosci.Letters**, 229, 153-156.
- Munro U., J.A. Munro and J.B. Phillips (1997) Evidence for a magnetite-based navigational "map" in birds. **Naturwissenschaften**, 84, 26-28.
- Rittweger J., M. Lambertz, W. Kluge, K. Kramer and P. Langhorst (1995) Influence of modulated high-frequency electromagnetic fields on the functional organization and dynamics of the common brainstem system. **Bioelectrochem. Bioenerg.**, 37, 31-37.
- Schiff H. (1991) Modulation of spike frequencies by varying the ambient magnetic field and magnetite candidates in bees (*Apis mellifera*). **Comp. Biochem. Physiol.**, 100A, 975-985.
- Schultheiss-Grassi P.P., R. Wessiken and J. Dobson (1999) TEM investigations of biogenic magnetite extracted from the human hippocampus. **Biochem. Biophys. Acta**, 1426, 212-216.
- Sudakov K.V. (1998) Action of modulated electromagnetic fields on the emotional component of the systems organization of behavioral acts in rats. **Neurosci. Behav. Physiol.**, 28, 686-693.
- Walker M.M., C.E. Diebel, C.V. Haugh, P.M. Pankhurst, J.C. Montgomery and C.R. Green (1997) Structure and function of the vertebrate magnetic sense. **Nature**, 390, 371-376.