3 種のアクトグラフによる手術され活動量の低下した ゴキブリの活動の記録

金 児 靖 二*・井 野 正 興**¹⁾・高 見 澤 雄 一 郎**

* 早稲田大学高等学院生物科

** 早稲田大学理工学部

Three Sensitive Actographs for Cockroaches. Seiji KANEKO (Waseda University Senior High School, 3-31-1, Kamishakujii, Nerima-ku, Tokyo 177, Japan), Masaaki INO²⁾ and Yûichirô TAKAMIZAWA (School of Science and Engineering, Waseda University, Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169, Japan). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* **39**: 65-73 (1995)

Three sensitive actographs were constructed for monitoring the activities of cockroaches. Type 1 was a floating-tire type consisting of a hanging circular corridor. The locomotion of the insect was detected by an infrared beam. Type 2 was a vibration type having a circular floor of aluminum foil as the track. The floor vibration was picked up by a small speaker. Type 3 was a new running wheel type having six photointerrupters to detect slight rotation of the wheel. The signals from these devices were analyzed automatically and quantitatively by personal computer. Each actograph gave satisfactory recordings of the activities of normal and operated (or decapitated) cockroaches. Type 1 had the highest sensitivity of the three types, but the results were sometimes noisy. Type 2 could record locomotive activity without positive feedback caused by movement of the apparatus. Type 3 had the highest S/N ratio. It could collect quantitative data for comparing the activities of normal and operated cockroaches.

Key words: Operated cockroaches, actographs, personal computer

緒 言

ゴキブリの活動の記録には、回転輪アクトグラフや、赤外線ビームを用いた光電型アクトグラフが使用されている。ところが、アクトグラフの構造により、記録されたリズムの明瞭さなどが違う事は、BRADY (1967a) によって指摘されている。千葉(1975)はアクトグラフの種類を、それが昆虫に影響を与えるか否かで、回転輪型等の「ストレス型」と、光電型等の「非ストレス型」に分けており、生物にとってのアクトグラフの意味を十分に考慮すべき事を述べている。

ゴキブリにおいてもアクトグラフの種類とその特性によってピックアップされる行動が影響を受け、得られたアクトグラムが微妙に変化する事は十分に考えられる。まして全般に活動量が低下し、しかもノイズが増加する手術個体の研究においては、それが手術後のリズムの存否の研究であっても、例えば特定の活動が強調されやす

いタイプ、自然な動きが記録されるタイプなど、特性の異なった複数のアクトグラフを用いて研究を進めなければ、誤った結論を下す危険性が大きい。

ゴキブリ手術個体用のアクトグラフとしては、従来から次の様なものが考案されている。例えば BRADY (1967b) は、光電型アクトグラフのサイズを小さくした装置や、小さな箱の壁面にスイッチをつけ、昆虫が押すと記録される装置、更に回転輪装置の変形で、ごく狭い断面の回転輪を備えた装置を開発し、実験を行っているし、円形の通路をもつシーソー型のアクトグラフも考案されている (CYMBOROWSKI and BRADY, 1972)。

しかし、光電型は触覚の動き等の歩行活動以外の動きも検知して雑音が多く、二番目の装置は手術された個体はうまく方向転換ができず、壁に当たるといつまでもこれを押し続けるので、自然な動きより“もがき”に近い不自然な動きを原理的に記録してしまう。回転輪の改良型は、水銀接点を8個備えていて、細かな体動を記録で

1) 現在 三菱電機

2) Present address: Development Division, Mitsubishi Denki Co., Ltd., 937-1, Ikeda, Shizuoka-shi
1994 年 4 月 23 日受領 (Received 23 April 1994)

1994 年 9 月 28 日登載決定 (Accepted 28 September 1994)

きる利点はあるが、接点のバウンド等の影響でカウントが不確実になる。BRADY (1967b) はこれをチェックするため、回転に伴って糸を巻かせる等の工夫をしているが、簡便な方法とは言いがたい。筆者らは接点を2つ備えた円形通路のシーソー型の装置を試作、使用してみたが、動きの悪い個体では十分な記録を得る事はできなかった。そこで筆者らは、上述のアクトグラフの欠点をふまえて、手術によって活動量の低下したゴキブリ用のアクトグラフ3種を開発した。いずれも昆虫が壁面にぶつからず、無限に歩き続けられるように工夫し、その活動記録の処理にはパソコンを用いて自動的かつ定量的に行えるようにした。

本論に先立ち、統計処理法を御教示下さった早稲田大学教育学部の石居 進先生に、本稿を校閲して下さい。神戸大学農学部竹田真木先生に、いつも暖かくお励まし下さる宇尾淳子先生に深くお礼申し上げます。

材料および方法

1. 供 試 虫

実験はすべて継代飼育しているワモンゴキブリ (*Periplaneta americana*) を用いて行った。

2. アクトグラフおよび処理回路の構成方法

(1) 浮き輪型アクトグラフ

Fig. 1 のように、浮き輪状の塩化ビニール製の軽い容器 (6.1 g) をつるし、昆虫の活動による揺れを光で検出するようにした。

浮き輪部分は直径 130 mm、深さ 18 mm、幅 25 mm で、断面がU型の、薄い (0.26 mm) 環状の樹脂容器 (半径の違う菓子ケースを中心を合せてはりあわせ、重なった不要な内側部分を円盤状にくりぬいて作った) で、上面を水切り用のメッシュ (ポリエチレン製、メッシュの目は幅約 1.5 mm) で覆い、この中を昆虫が歩くトラックとした。この容器の上面には中心を通る細い棒をとりつけ、これをしなやかなビニールチューブ (径 2.3 mm、長さ 35 mm) により腕木からつるした。棒の中心部の裏側には小さなフォト・トランジスタ (TPS606) をはりつけ、容器の揺れを妨げることのないごく細い (0.07 mm) エナメル線で信号処理回路に接続した。容器の下面より 35 mm 下の台には、図に見るとおり 8 個の赤外発光ダイオード (TLN107) を環状に配置した。昆虫の動きによってフォト・トランジスタに入射する光量が変化するので、この入射光量を増幅して、レコーダで記録する他に、コンピュータで定量的に処理できるようにした。すなわち増幅された信号を絶対値回路で整流し、コンパ

Fig. 1. Floating-tire actograph (Type 1). a: Floating tire (circular track for insect), b: Flexible vinyl tube, c: Small phototransistor, d: Eight infrared LEDs. The light from the LEDs was received by a phototransistor at the center of the floating tire. Slight changes in the output current of the phototransistor caused by movement of the insect in the tire were recorded by personal computer and pen recorder (Fig. 4).

レータ IC に入力する。揺れがあるレベル以上になると、コンパレータからの出力信号がパソコンに送られてカウントされるようにした。コンパレータはアクトグラフ 1 台あたり 2 個用意し、その比較電圧の閾値を低と高との 2 種類設定して細かい動きと比較的荒い動きとが別々に検出できるようにした。コンパレータ出力はモノマルチバイブレータで一定の長さ (50 ミリ秒) のパルスに伸ばされ、パラレル入出力 (I/O) ポート (LSI 8255 により構成) を介して、パソコン (NEC PC-8801mk2) 入力された (Fig. 4)。パソコンは各アクトグラフに接続された I/O ポートの値を連続的に読み続け、コンパレータが動作してポートの各端子の値がハイからロウに変化するのをとらえてプログラム上でカウントした。20 分に 1 回、活動量をプリントアウトするとともにフロッピーディスクにセーブした。このサンプリング時間はプログラムによって変更可能であるが、手術によって活動量の低下したゴキブリにたいしては 20 分で十分である。データ収集や簡単な処理は、このパソコンで行い、より高度な処理は NEC PC-9801VX にデータを転送して行った。

この型のアククグラフは 6 台作成した。

(2) 振動型アクトグラフ

これは昆虫の歩行によるアルミ箔の振動をマイク代わりに設置されたスピーカでとらえる型のアクトグラフである。同じ原理のものが CHIBA (1961, 1971, 1972) により、蚊の活動を記録するために作成されている。

装置 (Fig. 2) は内径 130 mm、厚さ 4.5 mm の塩化ビニール製の円筒 (水道管用パイプを使用。外円筒と呼ぶ)

Fig. 2. Vibration actograph (Type 2). A: Plan, B: Cross section, a: Top cover, b: Inner pipe fixed to cover, c: Outer pipe, d: Floor of aluminum foil, e: Insect pin, f: Speaker, g: Bottle for water supply, h: Food. The insect moved along the circular track between the outer and inner pipe. The vibration of the aluminum foil was transmitted to a small speaker and recorded by personal computer.

Fig. 3. New running wheel actograph (Type 3). A: Photograph, a: LEDs of 6 sets of photointerrupters, b: Paper disk, B: Illustration of paper disk, a: Holes for detecting fine movements, b: Holes for data latching, c: 4-bit holes for detecting 1/16 rotation. The paper disk with holes was inserted between 6 sets of photointerrupters consisting of LEDs and phototransistors. Fine movements of the wheel detected by these photointerrupters were recorded by personal computer.

を上下から合わせた形をしており、合わせた面にアルミ箔(家庭用アルミホイル)がはってある。アクリル板製の装置底面には小さなスピーカーを置き、細い昆虫ピンを立てて箔を貫通し、スピーカーのコーン表面と箔とを接続した。外円筒にかぶせる上ぶたには、内径 67 mm の塩化ビニールパイプ(内円筒と呼ぶ)をはりつけ、上ぶたをかぶせた状態で外円筒と内円筒の間が、昆虫の歩行するアルミ箔を床面とする通路を形成するようにした。なお内円筒の下端はアルミ箔の振動をさまたげないよう

に、箔の面より 1 mm ほど上にうかせた。水や餌は適当に補給した。昆虫の歩行によるアルミ箔のたわみ、振動をスピーカーでピックアップし、差動増幅して、箔の振動以外の周波数成分をバンドパス・フィルタ(レティコン社製 RM5604A 通過帯域幅 1/3 オクターブフィルタを遮断中心周波数 368 Hz で使用)で減衰させ、整流、平滑した箔の振動周波数成分のみをコンパレータに入力した(Fig. 4)。コンパレータはアクトグラフ 1 台につき 3 個用意し、その比較電圧を 3 段階に調節して、わずかな動きから大きな動きまでの動きの強度を 3 段階に分けてピックアップ出来るようにした。コンパレータ出力は前述のアクトグラフと全く同じ方法でパソコンにより記録処理された。なお、外部の振動や音響から絶縁するために装置全体を厚さ 10 mm のアクリル製の方形容器(高さ 110 mm, 幅 145 mm, 奥行き 205 mm)に入れ、それを更に 5 mm 厚のアクリル容器(高さ 195 mm, 幅 175 mm, 奥行き 250 mm)に入れた。装置底面とそれぞれの容器の間には、スポンジや雑布を敷き入れた。このアクトグラフは 4 台作成した。

(3) 新回転輪型アクトグラフ

これは筆者が使用している従来型の回転輪型アクトグラフ(金児, 1986)の、回転検出機構部分に工夫をこらし、細かな動きをも定量的に検出できるように改良したものである。従来型のものはリードスイッチを用いており、回転輪が 1 回転すると 1 回信号が発生するが、これでは活動量の低下した個体を用いた場合には十分な記録が得られない。そこで筆者らは、回転検出機構部分を改良して、昆虫の細かな動きでも検出出来るようにした。新型の回転検出部分は回転軸に穴をあけた薄いボール紙製の円盤(半径 50 mm)を取り付け、これをはさみ型で 6 対のフォト・インタラプタ(TLN108 と TPS601 で構成)を設置し構成した。特にボール紙にあけた穴は、その数と配列で、回転輪のごく細かい動き(細動)と比較的荒い動き(粗動)がそこを通る赤外光の ON-OFF

Fig. 4. Block diagram of data processing. A: Type 1, B: Type 2, C: Type 3.

で検出出来るように設計してある (Fig. 3)。

細動の検出のために、円盤の縁にそって 64 個の穴をあけた。その内側には粗動を検出するために、円盤の 1/16 回転ごとの位置に、軸中心に向けて一列に 7 mm 間隔で最大 4 個の穴をあけた。この 1 列の穴を通る光により 1/16 の各回転位置が、0 (0000)~15 (1111) までの 4 ビットの 2 進符号として識別される。更にこれらの粗動検出用の 4 ビット分の穴と細動検出用の穴の間には、1/16 回転ごとの全ての位置に 1 つずつ穴をあけた。この穴を通る光の信号によりラッチ IC が動作して、円盤が回転を続けてもしばらくの間 (50 ミリ秒)、回転位置を示す 4 ビット信号が保持 (ラッチ) されることで、パソコンによる位置の読み取りが不正確にならない。これらの信号はコンパレータ IC でデジタル信号に整形され、パソコンに入力された (Fig. 4)。

細動を検出するコンパレータの方は、同じ場所でのごく細かい体動により ON-OFF が繰り返され、意味のないカウントが増えるのを防ぐために比較電圧の閾値に大幅にヒステリシスを持たせ、前 2 例と同じ様にアクトグラフが接続されたポートの値の変化を捉えてコンピュータでカウントした。粗動については、コンパレータを通して 1/16 回転位置が 4 ビット分まとめて読み込まれると、各回転位置が 0~15 までの数値で変換され、数値が変わるたびにコンピュータでカウントした。これにより回転輪がその場でブランコ状に揺れる動きによるカウントはほぼ排除され、単に接点の数を増やしただけでは得られない定量性を確保することができた。水や餌は従来の回転輪装置と同じ方法で補給した。

この型のアクトグラフは 8 台作成した。

3. アクトグラフの入換え実験

まずアクトグラフの性能を比較検討するために、手術を施していない正常な個体を用いて、アクトグラフの入換え実験を行った。標準使用する新回転輪型から、同一個体を振動型そして浮き輪型へと順次移しかえ、各々で約一週間ずつ記録を行った。ワモンゴキブリの雄成虫の中で、あらかじめ従来型の回転輪装置で得た活動記録を定量的に処理した(金兎ら, 1991)データをもとに、全般的に活動量が多く、また点灯時の活動の盛んな個体を選び出して用いた。アクトグラフは、 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ のインキュベータ内に置いた。照明条件は 12L-12D (6:00 点灯, 18:00 消灯。点灯時約 20 Lux) とした。

4. 手術(断頭)個体での性能の比較

活動量が最も低下すると思われる断頭個体を用いて各アクトグラフの性能を比較した。供試虫並びに記録条件は正常個体の場合と同じである。まず手術前の活動を各アクトグラフで記録した。その後断頭手術を二酸化炭素ガス麻酔下で行い、傷口をパラフィンで封じて、再びアクトグラフに戻して記録を行った。なお新回転輪装置は従来型の改良型であるので、断頭前、後の個体について新、旧アクトグラフの交換実験も行なった。

結果並びに考察

1. 正常な個体での性能の検討

アクトグラフの入れ替え実験の結果を Fig. 5 に示した。Fig. 5 A~C に記録開始後約 1 日経ってから、同一 3 個体の各アクトグラフにおける活動量(20 分間のカウント数)の平均値及び標準誤差を 3 日分、1 日を各 20 分ごとの時間帯に区切って集計し、24 時間表示で示した。しかしそれぞれのアクトグラフの活動量のスケールが違っているので、いずれも活動量の平均の最大値が 1 になるように規格化した。また 3 例とも細動のチャンネルによって得られたデータを処理した。なお、Fig. 5-D に、これら 3 個体の、入れ替え実験に先立つ従来型の回転輪装置による記録を同様に処理して示した。

Fig. 5-A に見る通り「新回転輪型」では、非活動時間帯でのノイズの活動の少ない、明瞭なリズムを示す記録が得られたが、これは従来型の回転輪装置の特徴をそのまま受け継いでいる (Fig. 5-D, 従来型の記録参照)。BRADY (1967a) は、アクトグラフからゴキブリを取り出して指で 1~2 分追ひ、活動を強制すると、その後しばらく活動性が高まること、また光電型でリズムがぼやけた個体を回転輪型に入れるとリズムが明確になることから、回転輪型では昆虫の動きによる装置の回転が正帰還

Fig. 5. Activities recorded by three actographs. The activity of the same, non-operated cockroach was recorded by the three actographs sequentially (Type 3→Type 2→Type 1). The activities of three animals were recorded for 3 days at 20-minute intervals and the mean and S.E. were calculated. The maximum values of the mean were normalized as 1. All measurements were made at $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ under 12L-12D light conditions (6:00 L-ON, 18:00 L-OFF). A: Record of Type 3, B: Record of Type 2, C: Record of Type 1, D: Record of old running wheel.

され、活動性が高く保たれることを述べている。床の動かない振動型に比べて、点灯時の活動が量的にも持続時間のいずれの点でも回転輪型で大きい事実は、この正帰還作用の結果と考えられる。

「振動型」は、外来音をピックアップする弱点を持つが、前項で述べたように遮音に注意し処理回路構成に工夫を凝らした結果、電磁的ノイズはもとより、インキュベータの窓を相当激しくたたいても音ノイズを拾う事なく、歩行活動を選択的に良好に記録することができた (Fig. 5-B)。回転輪型アクトグラフに比べるとリズムはややばやける傾向があるが、正帰還作用の働かない、より自然に近い活動のリズムを記録できるように思われた。なお現在、音響をピックアップするには、コンデンサマイクが一般的に使用されるので試作段階で用いてみたが、インピーダンスが高く、電磁ノイズを抑える事ができず、この目的には向かなかった。

「浮き輪型」は3つの型のアクトグラフ中一番鋭敏な感度を持つため、全般に主活動帯以外のノイズも多く拾った (ただし、触覚や口器の動きは拾わない) (Fig. 5-C)。また、やはり点灯時に鋭いピークが見えるが、これも昆虫の歩行に伴って装置の持つ構造上の特性によりトラックが揺れ、回転輪ほど強くはないが正帰還作用が働いたためと思われる。このピークの値が回転輪型のそれより大きいのは、微細な体動でも検出するからである。比較電圧を大きくして微動を切り捨ててデータ処理すると、活動ピークの値がもう少し下がり、ノイズや標準誤差も小さくなった。浮き輪型では記録を取った3個体のうちの1個体が終了後間もなく死亡した。この例で標準誤差が大きいのは、期間中のこの個体の衰弱度合が活動記録に影響した可能性が考えられる。通常は標準誤差はこれほど大きくならず、他の2つの型とはほぼ同じかやや大きい程度である。このアクトグラフは、水や餌を補給出来ないという欠点を持つが、通常10~14日程度は給餌の影響を受けず、活動リズムは乱れることなく記録できる。

2. 手術個体での性能の検討

断頭個体は手術後1時間ほどあまり動かないが、それを過ぎると手で触るなど刺激を与えると、2~3 cm ずばやく動くようになった。2日目ぐらいから時折ゆっくりであるが自発的に、前進するようになったが、壁面や容器の隅にぶつかると、これを押し続けて方向転換はあまり見られなかった。手術前にくらべて全体的に歩行活動に結び付かない足の動きや細かな体動が増加した。通常断頭をしても5~10日程度は生存した。記録は浮き輪

Fig. 6. Example of change in activity of decapitated cockroach recorded by Type 1 actograph. After decapitation, the daily rhythm disappeared and fine random movements increased. The cockroach was decapitated at ↑ on day 0. The three different outputs are shown in three rows. Upper row: Fine movements, Middle: Coarse movements, Bottom: Pen recorder. The solid bar at the bottom shows the dark period of the LD cycle and the open bar shows the light period.

型、振動型アクトグラフについては手術前3日と手術後からそれぞれ4日および5日分を示した。

(1) 浮き輪型アクトグラフ

Fig. 6にアクトグラムを示した。各日とも上2列がパソコンによる記録(上段が細動, 下段が粗動)であり, 3列目がアクトグラフのアナログ出力をペンレコーダで描

かせたものである。レコーダ記録では上から下へペンが大きく振れている所(断頭後では基線が大きく上から下へ変化している所)が、昆虫がトラック(浮き輪)をひとまわりした事を示している。手術前には消灯の18時から明瞭なリズムが出現しているが、矢印で示した手術後はリズムが乱れ、はっきりした動きが少なくなる一方で、レコーダ記録上では、細かいギザギザした部分(例えば下線矢印)が目立ち、細かい不規則な体動が多くなっているのがわかる。この浮き輪型は3タイプの中でも一番細かい動きを検出するために作成されたので、パソコンによる記録ではコンパレータの比較電圧の閾値を極端に下げている。したがって正常個体が大きくトラックを回するような動きはほとんど「飽和」してしまい、動きの量を正確に反映していない(特に上段の細動の記録)。一方粗動のチャンネルの方が閾値を上げて計測しているので、実際の歩行活動を比較的良く反映している。また、この型でなくては活動記録がとれないような重い手術を受けた個体は、水や餌をとらないので、随時給餌ができないという本装置の欠点が手術個体に関しては問題にはならないと思われた。

試作の段階で環状の“浮き輪”を使わず、円形の薄い容器と四角い容器をつるして比較してみた。四角い容器の中では断頭個体は角に胴体を突き込んで動けなくなり、円形容器でも方向転換がうまくいかず、壁を押し続けるのでノイズの多い記録となった。浮き輪型や振動型アクトグラフで通路をゴキブリの体の幅程度の広さの円環状として、無限に歩き続けられるように設計した事はノイズ低減のために、極めて大事なことであった。

なお、この浮き輪型の装置は、直流安定性の良い、ドリフトの少ないストレインゲージ用アンプまたは専用ICが入手出来れば、浮き輪をつっているビニールチューブに小さなストレインゲージを取り付けて、光学的手段によらずに振動を検出することもできる。

(2) 振動型アクトグラフ

これもコンパレータの閾値を変えて、アクトグラフ1台につき3段階の記録をとったが、ほとんどの例で閾値を変えての記録の間で良い並行性が認められたので、一番細かい動きのチャンネルの記録のみを示した。たまに細動と粗動の記録の並行性がくずれる現象が見られるので、3段階の記録方式は有用である。

Fig. 7のように、やはり手術後のリズムの乱れと細かい動きの増加が記録された。感度は浮き輪型と回転輪型の中間であった。光電型の場合は、昆虫が光束を横切らない限り記録されないが、この型はどこを動いても活動

Fig. 7. Example of activity changes caused by decapitation of cockroach recorded by Type 2 actograph. The decapitation was performed at ↑ on day 0.

が記録される利点がある。

(3) 新回転輪型アクトグラフ

Fig. 5D の従来型のアクトグラフと Fig. 5A の新型装置の交換実験を、正常個体、断頭個体両方について行った (Fig. 8)。

まず正常個体を使用し、従来型の通常のアクトグラフによって7日目まで実験を行い、金児ら (1991) に従って5分間をサンプリング時間とし、この時間内のカウント数(回転輪の1回転につき1カウント)を活動量として、活動記録のデータを処理した(記録A)。その後麻醉下で昆虫を取り出し、新回転輪装置に移し(矢印)、7日目より12日目まで新方式で記録を行った。この場合には20分間のカウント数(回転輪の1/16回転につき1カウント)を同様に活動量として処理した(記録B)。

12日目に再び麻醉下で新回転輪装置より昆虫を取り出して断頭手術を施して(▲印)、同日午後、従来の装置に移し(矢印)、金児ら (1991) の方法によって16日目まで、この断頭個体の記録を取った(記録A')。16日目に記録を中断し、新回転輪装置に昆虫を移して(矢印)、20日目に死亡するまで記録を行った(記録B')。

正常個体については従来型、新型のいずれの装置を用いた場合もノイズの少ない明瞭な記録が得られた(記録A, B および Fig. 5 の A, D 参照)。また活動量の最大値はいずれの場合も次に述べる断頭個体に比べ20倍以上の開きがみられた。断頭個体については、12日から16日目までのアクトグラム(記録A')上のマークはすべて1カウントである。この場合回転輪の位置がスイッチが閉じるか閉じないかの微妙な所にあり、昆虫の微かな

Fig. 8. Actogram of normal and decapitated cockroach recorded by old running wheel actograph (KANEKO, 1986) and new running wheel actograph (Type 3). The locomotor activity of a non-operated cockroach was recorded with the old running wheel actograph from Day 1 to Day 7 (A). On Day 7, the cockroach was moved to the new running wheel actograph (→) and its activity was recorded for 5 days (B). On Day 12, the cockroach was decapitated (▲) and put in the old running wheel actograph (→). Its activity was recorded until Day 16 (A'). On Day 16, it was moved again to the new running wheel actograph (→) and its activity was recorded until Day 20 (B').

体動によって回転輪が揺れカウントされたのか、現実には歩行活動を行っているのか判断は出来ない。また接点の位置によって、ほんのわずかに回転輪が動いても1カウントを与えるし、2回転近く回転しても1カウントの場

合がある。しかし新回転輪装置(記録B')によれば、回転輪の揺れによる誤カウントを除去して、少なくとも歩行活動を1/16回転の精度で検出できる。この様に手術個体についても新回転輪装置は優れた性能を示した。また、粗動(1/16回転)のチャンネルでは回転が定量的に測定できるので、手術前後の活動量を比較できる。

この装置でもまた正常個体で起こる正帰還作用は手術個体でも働くようで、リズムがある場合には増幅されて検出され易いように思われた。しかし、ノイズ的な突発的行動もまた増幅される可能性があり、この点については注意を払う必要があるかも知れない。

なお、検出回転角が1/16回転では細かすぎる場合には、ラッチ信号を送る穴をふさげば、その回転位置はパソコンに読み込まれないので、たやすく感度を変更する事ができる。

(4) アクトグラフの比較

以上、各アクトグラフの性能を述べてきたが、ここで総合的にそれぞれの比較を行う。それぞれのアクトグラフで手術後につき手術前の何%の活動量が記録されているかを算出した。浮き輪型、振動型については細動の記録を処理し、新回転輪型では1/16回転の記録を処理した。いずれも5個体を用い活動量の最大値を目安として比べた。浮き輪型(97.2 ± 10.8) (平均値 $\pm$ 標準偏差)、振動型(64.5 ± 18.1)、新回転輪型(1.2 ± 0.74)となった。(3)で述べた様に定量的な比較が可能な新回転輪型によると、活動量は平均で約1%程度に落ちるが、浮き輪型は微細動を拾いすぎて飽和してしまうため、手術前とほぼ同じ活動量を与えてしまい、手術前後の活動量の比較にはむかないことが確認された。振動型も同じく微細動をひろって活動量の比較にはむかなかった。これに対して定性的な面では、一番鋭敏な動きを検出するために設計された浮き輪型は、断頭個体で歩行活動に結び付かない細かな体動の増加という行動の質の変化を確実にとらえた。この型の特徴である。このような動きは歩行活動をしなくては記録できない新回転輪型では検出できない。振動型は両者の間で、歩行活動と微細動を区別する事なく記録している。浮き輪型の装置でコンパレータによらず、レコーダへのアナログ出力をA/D変換して記録すれば活動量の手術前後の比較のみならず微細動の増加という行動の質の変化も検出できる可能性がある。このように今回検討した3つの型のアクトグラフはそれぞれ特徴が違うので、実験目的に合わせて選択あるいは併用すればよい。

摘 要

手術を施して活動量の低下したゴキブリ用のアクトグラフを3種類考案した。つるした円環状の容器中を昆虫が歩くトラックとし、歩行による揺れを検出する「浮き輪型」、昆虫の歩行により生じるアルミ箔の振動を検出する「振動型」、そして従来の回転輪装置を改良して微少な回転をも検出する「新回転輪型」の性能を比較した。記録方式はイベントレコーダによらず、アクトグラフ出力を電子回路を介してパーソナルコンピュータに直接入力し、自動的かつ定量的にデータ処理ができるようにした。

いずれも正常個体、手術個体(断頭個体)に対して感度の高い、良好な記録が得られた。「浮き輪型」は一番感度が高かった。そのためノイズの活動もピックアップするが、手術後の活動の特徴を捉える事ができた。「振動型」ではゴキブリに正帰還作用によるストレスの働かない、比較的自然な活動が記録できると思われた。「新回転輪型」はノイズが少なくリズムを明瞭に記録できた。またこれは3タイプのうちで測定の定量性が一番保証されるので、手術前後の活動量が比較できるという長所をもっていた。

これらのアクトグラフは、他の昆虫の活動記録にも利用できるであろう。

引 用 文 献

- BRADY, J. (1967a) Control of the circadian rhythm of activity in the cockroach. I. The role of the corpora cardiaca, brain and stress. *J. Exp. Biol.* **47**: 153-163.
- BRADY, J. (1967b) Control of the circadian rhythm of activity in the cockroach. II. The role of the sub-oesophageal ganglion and ventral nerve cord. *J. Exp. Biol.* **47**: 165-178.
- CHIBA, Y. (1961) Actograph for recording the movement of such small insect as mosquito. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. IV (Biol.)* **27**: 113-120.
- CHIBA, Y. (1971) Species specificity in the circadian pattern of mosquitoes. *Jap. J. Ecol.* **20**: 237-243.
- 千葉喜彦 (1972) アクトグラフ. 生物科学 **24** (1): 21-29.
- 千葉喜彦 (1975) 生物時計. 東京: 岩波書店, 244 p.
- CYMBOROWSKI, B. and J. BRADY (1972) Insect circadian rhythms transmitted by parabioses—A re-examination. *Nature, New Biol.* **236**: 221-222.
- 金児靖二 (1986) *Periplaneta* 属ゴキブリの活動記録装置. 応動昆 **30**: 233-238.
- 金児靖二・井野正興・新倉多久磨 (1991) パーソナルコンピュータによる昆虫の活動のデータ収集・処理システムについて. 応動昆 **35**: 1-6.