

H-4 コオロギの逃避行動に見られる定型運動パターンの検出 Detection of patterned Movements in cricket escaping

大歳 純司† 中園 嘉巳† 野澤 昭雄† 井出 英人†
Junji Otoshi Yoshimi Nakazono Akio Nozawa Hideto Ide

1. はじめに

神経回路の研究では行動そのものより、むしろその行動の基礎となる神経系の働きの研究(神経生理学)に重点が置かれることが多かった。しかし、ある種の行動については、自然状態で動物が繰り返す動作を注意深く観察することによって、そのコントロール様式の重要な特徴を明らかにすることができる。

2. コオロギの逃避行動について

コオロギが捕食者の攻撃から逃れることを可能にしている感覚受容器を尾葉(cercus)という。尾葉は体の後部にある2本の感覚性付属肢で、尾葉にある感覚毛が刺激されることでコオロギの逃避行動を引き起こす。

尾葉に瞬間的な空気流を当てると、多くの感覚毛が基部で曲がる。尾葉の感覚ニューロンが興奮すると、それらは巨大介在ニューロンと呼ばれる一群の神経細胞を興奮させる。介在ニューロンは中枢神経系を構成し、感覚ニューロンと運動ニューロンとを機能的に連絡する役割をもつ。

3. 介在ニューロンと行動

無脊椎動物の中枢神経系は、神経節というひとかたまりの細胞体群と、それらの短い枝である樹状突起と軸索の3者からなる。神経節の興奮は軸索によって伝達される。巨大介在ニューロンの興奮は軸索を上行し、胸部神経節に伝達される。胸部神経節には肢の動きをコントロールする運動ニューロンが存在する。逃避行動のような定型行動では、感覚ニューロンからの興奮が中枢介在ニューロン群に伝達され、そこでパターン化された興奮が引き起こされる。これが運動指令として末梢の運動ニューロンへ伝達されると行動が生じる[1]。ここで発生するパターン化されたニューロン興奮の詳細は未だ不明だが、出力である運動パターンからその様相を推定することが可能である。

本研究では尾葉の感覚刺激によって誘発される逃避行動において、カメラ撮影を用いた肢運動解析を行い、行動の定量化を試みた。結果から、行動の中にパターン化された運動要素を検出し、それらの運動要素から成る全体の行動の構成を考察した。

4. 実験方法

フタホシコオロギ(*Gryllus bimaculatus*)を用い、尾葉に8段階の強さの空気流刺激を一方(後方)から与えた。

胸部上面に体支持棒を接着し、コオロギを図1のように固定した。コオロギを油をひいた透明なガラス板上に設置し、設置感覚を保った状態で肢を自由に動かせるよう

にした。後方からコオロギの尾葉に空気流刺激を当て、それに対応するコオロギの左右後肢の動きをカメラで下方から撮影した。左右後肢の thoraco-coxal joint の周りには目印を4点つけた(図2)。

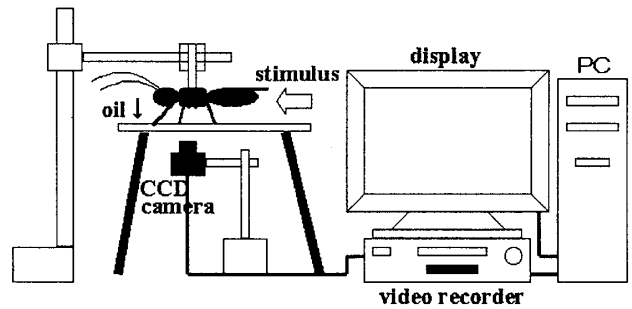


図1 実験概要図

Fig.1 Experimental setup.

<空気流刺激の与え方>

空気流刺激には 10ml の注射器(シリンジ)を用いた。シリンジの先にバルブを付け、さらに先端に細チューブでつくったノズル(径 0.05mm)を付け、ノズルの開口をコオロギ両尾葉の後方中心より 10mm 離して設置した。刺激時にはシリンジ内の空気を 9~2ml に圧縮し、バルブを開いてノズルから空気流を噴出させた。以下、空気流刺激の強度は圧縮圧(1.1, 1.3, 1.4, 1.7, 2.0, 2.5, 3.3, 5.0 atm)によって示す。

5. 解析方法

撮影した画像をコンピュータに取り込み、動体解析ソフト(Move-tr32/2D, ライブラリー(株))を用いて左右後肢の thoraco-coxal joint の角度(TC角)を測定した。TC角は右後肢が 1-2-3, 左後肢が 4-3-2 で定義し, protraction 方向を正方向とし, retraction 方向を負方向とした(図2)。

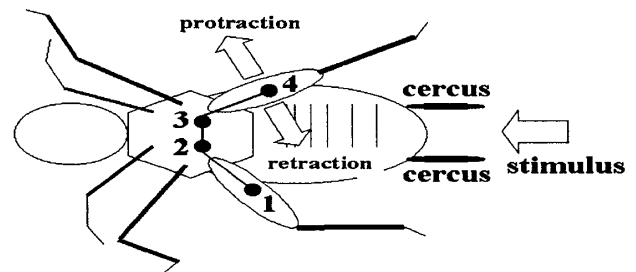


図2 コオロギ腹側

Fig.2. Ventral view.

† 青山学院大学, 東京都

6. 実験結果

空気流刺激に対する応答は刺激直後の retraction として検出された。

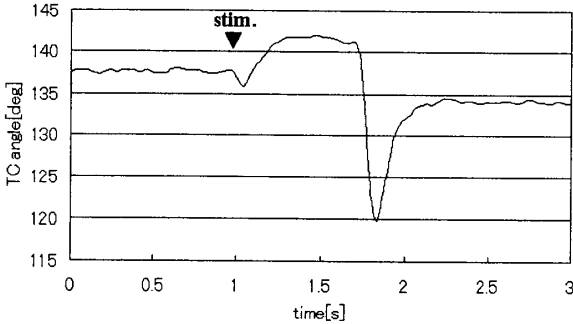


図3 弱い刺激時の典型例

Fig3. Response of TC angle to 1.4atm stimulus.

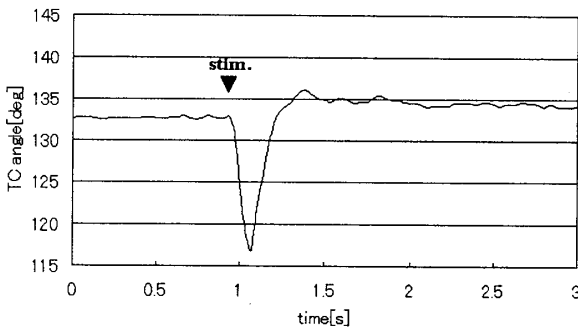


図4 強い刺激時の典型例

Fig4. Response of TC angle to 5.0atm stimulus.

圧縮圧が比較的小さい 1.4atm で刺激した場合、コントロール時 137 度の TC 角が刺激直後に retraction 方向に変化し 135 度に減少した。その後、TC 角は protraction 方向に上昇し 142 度まで増加し、刺激から潜時 0.7s 後 retraction 方向に 119 度まで減少した。その後、protraction 方向に 134 度まで増加した後停止した (図 3)。ここに見られた 2 つの retraction 波形において、刺激直後の波形を fast component と呼び、潜時をともなう波形を delayed component と定義する。

一方、強い空気流刺激時では fast component のみが検出された (図 4)。5atm で刺激した場合、コントロール時の 132 度の TC 角が刺激直後に retraction 方向に 116 度まで減少し、その後 136 度に回復した。

次に刺激の強弱による fast component と delayed component の発生頻度を統計的に示す。

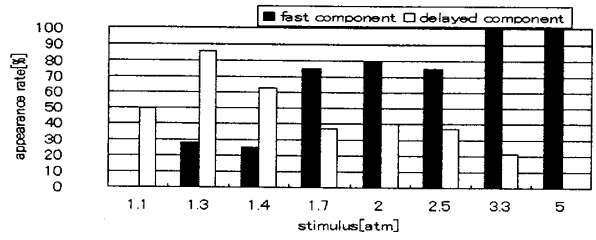


図5 左右後肢の fast/delayed component の発生率
Fig.5 Appearance rates of fast and delayed components.

刺激強度 1.1atm では delayed component が発生した。delayed component は 1.3atm で発生頻度最大となり刺激が強くなるにつれて減少した。ここで発生する delayed component の潜時は刺激頻度に関わらずほぼ一定(0.62 ± 0.21s, n=16)であった。逆に fast component は 1.1atm では 0%、刺激が強くなるにつれて発生率は上昇し 3.3atm 以上では 100%であった。このことは各 component 毎に空気流による最適刺激強度が存在することを示唆する。

発生した fast component, delayed component の大きさ (後肢運動角度: TC 角の変化分) を計測し、各刺激強度での値を比較した (図 6)。

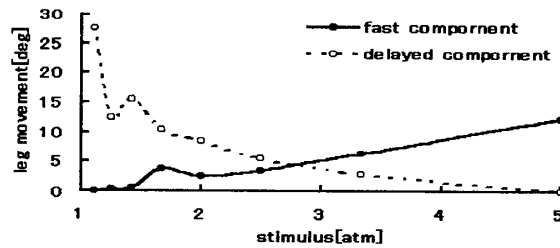


図6 左右後肢の fast/delayed component の TC 角の大きさ
Fig6. Value of fast and delayed components.

fast component は 1.4atm までは 0、1.7atm でピークがあってその後は刺激強度に比例して増加し 5atm では 12.5 度であった。一方、delayed component は 1.1atm で 27.5 度の最大値を示し、刺激強度にほぼ反比例して減少し、5atm では見られなかった。

7. まとめ

以上の結果より空気流刺激により誘発される行動は 2 つの運動の要素により構成されることが示唆された。すなわち強い刺激を適刺激とする fast component と比較的弱い刺激にて発生する delayed component である。各 component の発生率と刺激強度、大きさとの関係から 2 つの component を弁別し、それらを誘発する刺激閾値を実験条件の範囲内に想定することができる。また、delayed component のもつ潜時が刺激強度に関わらずほぼ一定であったことはこの潜時を生じる介在ニューロンネットワークに特定の時間遅れを生じる神経回路の存在を示唆する。

参考文献

[1] R.F.Chapman, "The insects, Structure and function," Cambridge Univ.Press, 1998