

ミミズの蠕動運動に関する研究

A Study on the Peristalsis of Earthworm.

菊地 吉郎・山口 和春*

KIKUCHI Kichiro・YAMAGUCHI Kazuharu*

An earthworm moves in the ground, underground, and a narrow crevice using many lots of segments. This movement is called peristalsis, and differs from movement of other animals. And this movement is very simple operation compared with movement of other animals. It is thought that a peristalsis is useful in the calamity spot. However, an author does not know the reference seen about the peristalsis. In case equipment will be developed from now on, it is thought that the elucidation of the move mechanism of an earthworm that used the peristalsis is very important. In this research, a camera and equipment are used and it aims at solving the detailed movement mechanism of an earthworm.

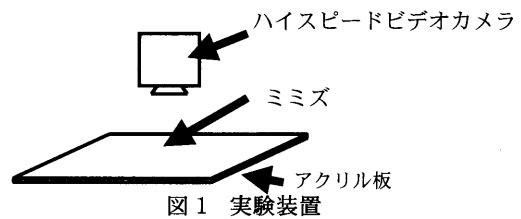
1. はじめに

ミミズは、その体を構成する多数の環節の伸縮を利用して、地上、地中、狭い隙間を移動する^{1) 2)}。この運動は、「蠕動運動(ぜんどううんどう)」と呼ばれ、多くの動物に見られる脚を使った移動方法に比べ、非常に単純な動作で移動を実現する運動方式であり、その運動の特性上、災害現場などの狭く、乱雑な場所での移動に非常に有用であると推察される。しかし、ミミズの蠕動運動の詳細な運動メカニズムに関する文献は著者の知る限り非常に少ない。今後、蠕動運動型移動装置が開発される際のことを考えると、蠕動運動を用いたミミズの移動メカニズムの解明は非常に重要であると考えられる。

本研究では、ハイスピードビデオカメラと動画解析装置を利用して、ミミズの各環節の詳細な動作メカニズムや、移動運動の際の詳細な動作メカニズムを解明し、ミミズの蠕動運動の特性の一端を明らかにすることを目的とする。

2. 実験装置及び方法

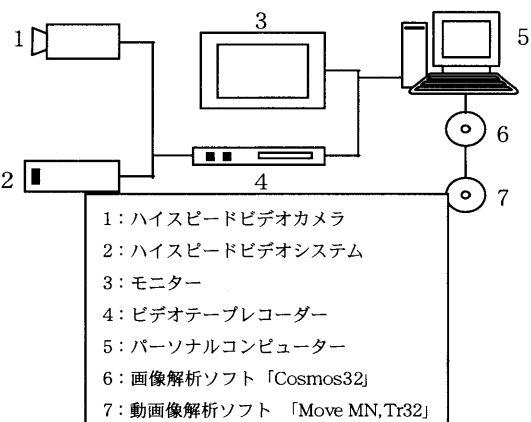
図1に実験装置を示す。撮影の目的に応じて、アクリル板上、または内径4mmの円管内にミミズを設置した。撮影はハイスピードビデオカメラ(フォトルンFASTCAM-hvc-1)を用いて行い、移動するミミズの様子を上方から撮影した。撮影の際は、解析に必要とする画像の大きさを考慮して、適当なレンズ、取り込み速度を決め、最も適した映像が得られるように撮影を行なった。



3. 解析装置及び方法

3.1 解析装置

図2に動画画像解析装置を示す。



ハイスピードビデオカメラで撮影した映像をビデオテープレコーダーで録画し、その映像をパーソナルコンピューターの画像入力ボード(ライブラリー製 ひまわりPCI)に取り込み、画像処理ソフト「cosmos32」

を用いて連続した静止画を作成し、動画解析ソフト「Move MN」と「Move Tr32」を用いて設定したターゲットの解析を行なった。

3.2 解析方法

今回での研究では、以下4つの動作に的を絞って実験・解析を行った。

1. 移動動作解析・・・アクリル板上に設置したミミズの最後尾をターゲットとして、経過時間・移動距離について解析し、結果をもとに移動動作を解析した。
2. 移動時における各部位での体調距離の解析・・・アクリル板上に設置したミミズの全長方向に等間隔の9つのターゲットを設け、直進運動時の各ポイント間の距離変化を解析し、移動運動時の各ターゲット間での最大体長距離を解析した。
3. 移動時における全幅距離の解析・・・アクリル板上に設置したミミズの全長方向に8つ、幅方向に2つずつの計16のターゲットを設け、直進運動時の各点での最大幅・最小幅を解析した。
4. 管内移動時の移動動作解析・・・管内に設置したミミズの最後尾をターゲットとして、経過時間・移動距離について解析し、結果をもとに移動動作を解析した。

ここで、本稿における各種定義について示す。

伸長・収縮行程・・・ミミズが全長方向に体を伸ばす動作を伸長、幅方向に体を細くする動作を収縮とし、伸長・収縮を同時に行なう動作を伸長・収縮行程とする。

短縮・膨張行程・・・ミミズが全長方向に体を縮める動作を短縮、幅方向に体を太くする動作を膨張とし、伸縮・膨張を同時に行なう動作を短縮・膨張行程とする。

1サイクル・・・ミミズの移動運動の際に、ミミズの最先端部が伸長・収縮行程を開始したときより、最後部が短縮・膨張行程を終えたときを1サイクルとする。

ここに、解析方法の1と4における「移動動作解析」の方法を示す。図3は、解析によって明らかになった、ミミズの直進運動時の移動距離と経過時間との関係を示した図の一例である。図中に示すように、ターゲットを設定したミミズの尾の動作が停止している時間を静止時間 T_s 、動作している時間を進行時間 T_p 、また、静止時間 T_s +進行時間 T_p を1サイクル、静止時間中にミミズの尾が進行方向と逆の方向に滑った距離を滑り距離 L_s 、進行時間での移動距離を進行距離 L_p とし、1サイクルの移動速度を移動速度 S 、すべりを無視した1サイクルの移動速度 St 、周波数 T

を算出した。解析、算出は1サイクルごとに行なった。

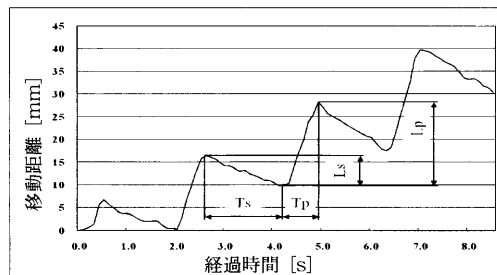


図3 移動動作解析例

ここに、算出に用いる式を示す。

$$S=(L_p-L_s)/(T_s+T_p) \quad [\text{mm/s}] \quad (1)$$

$$St=L_p/(T_s+T_p) \quad [\text{mm/s}] \quad (2)$$

$$T=1/(T_s+T_p) \quad [\text{Hz}] \quad (3)$$

ここで、 T_s [s]; 静止時間 T_p [s]; 進行時間
 L_s [mm]; 滑り距離 L_p [mm]; 進行距離

4. 動作解析結果および考察

4.1 基礎データ

表1に、今回の実験で用いた供試体であるミミズの基礎データを示す。ミミズは伸縮を繰り返し全長が不確定なため、活動停止状態時(最短全長)の長さを全長とし、蠕動運動中最長の長さを、最大全長と記した。

表1 ミミズの基礎データ

	ミミズ
全長 [mm]	93.0
最大全長 [mm]	112.3
幅 [mm]	3.5

4.2 移動のメカニズム

4.2.1 各環節の動作メカニズム

図4に、ミミズの各環節の動作メカニズムを示す。

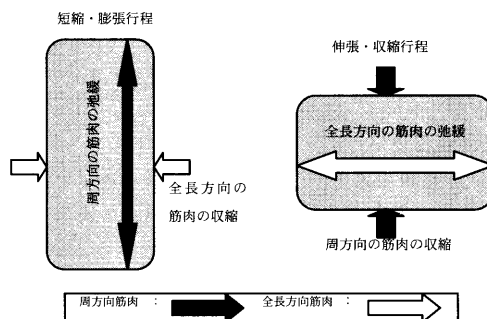


図4 ミミズの各環節の動作メカニズム

ミミズの体を構成している多数の環節はそれぞれ一定の容積ごとに、ほぼ水密性をもって区切られており、容積一定であると考えられることができる。また、それぞれの環節には、全長方向にのびる筋肉と周方

向のびる筋肉の2種類の筋肉がある。ミミズの各環節は、この2種類の筋肉の運動と容積一定であることを利用して動作を行っている。^{1) 2)}

4.2.2移動メカニズム

図5に、ミミズの移動メカニズムのモデル図を示す。ミミズはその体を構成する多数の環節を順に伸長収縮・短縮膨張させることにより移動を実現している。今回の供試体での解析で明らかになった移動メカニズムを示す。

まずミミズの停止状態での各環節は、短縮・膨張状態にあることがわかった。移動運動では、第一段階として、体の前方の環節が伸長・収縮行程を行なう。この際ミミズの体は、進行方向へ押し出される形で移動する。以降、この動作を「押し出し動作」として示す。第二段階としては、各環節の伸長収縮・短縮膨張行程を後方へと順に伝えていく。この際、ミミズの最頭部、最後尾ともに移動が行われない静止状態が起こる。以降、この動作を「静止動作」として示す。そしてさらに第三段階として短縮・膨張行程が最後部へと伝えられ、ミミズの最後尾は前方に引っ張られる形で移動する。以降、この動作を「引っ張り動作」として示す。

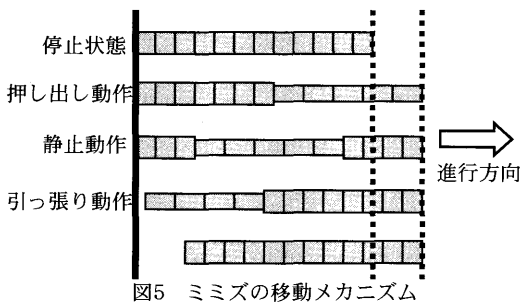


図5 ミミズの移動メカニズム

4.3同時に動作させている関節の割合

図6は、移動時における各部位での体長距離の解析結果により明らかになった、移動時におけるミミズの各環節の収縮率である。

収縮率の計算方法として次式を用いた。

$$\text{収縮率} = \frac{b_{\min}}{b_{\max}} \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

ここで、 b_{\max} [mm]; 最大幅、 b_{\min} [mm]; 最小幅

また、ミミズ的全環節が伸長・収縮を行なったと仮定した、理論最長全長 L_t の式は

$$L_t = \left(\frac{b_{\max}}{b_{\min}} \right)^2 L \quad (5)$$

ここで、 L [mm]; 全長

以上の(4)、(5)式を用いることによって同時に動作させている関節の割合を求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{同時に動作させている関節の割合} \\ &= \frac{(L_{\max} - L)}{(L_t - L)} \times 100 \quad (6) \\ &= 36.9 \quad [\%] \end{aligned}$$

ここで、 L [mm]; 全長、 L_{\max} [mm]; 最長全長、 L_t [mm]; 理論最長全長

これにより、ミミズが同時に動作させている関節の割合は、35~40%であると考えられる。

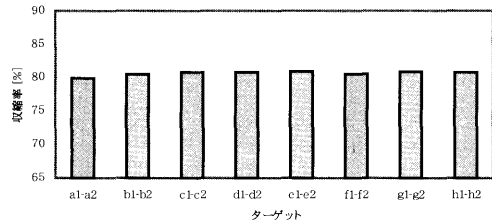


図6 ミミズの移動時における各環節の収縮率

4.4 移動運動と摩擦の関係

図7に押し出し動作・静止動作・引っ張り動作時のミミズの体と接地面との摩擦の関係を示す。

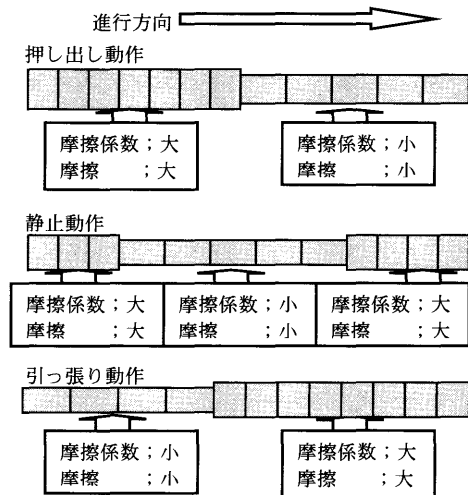


図7 各動作時のミミズの体と接地面との摩擦の関係

ミミズの各動作中に同時に動作する関節は最大で、全長の約40%であることが4.3よりわかっているため、各動作中に静止している関節は、全長の約60%であると言える。また、伸長・収縮により細く・長くなった関節の摩擦係数は、関節の直径が小さくなることに加え、静止している関節の影響により多少の浮きが発生すると考えられるため、伸長・収縮動作前よりも小さくになると考えられる。

以上のことより、各動作時の伸長・収縮動作を行なう関節の接地面との摩擦は、静止している関節に比べ小さいことがわかる。また、ミミズの腹部には多数の剛毛が尾に向かうようにはえており、進行方向と逆の方向には滑りにくい構造になっている。¹⁾ このことにより、ミミズは各動作時の滑りを最小限に抑え、移動動作を実現していると考えられる。

移動時における各部位での体長距離の解析で明らかになった、ミミズの移動時における各部位での最大体長距離を図8に示す

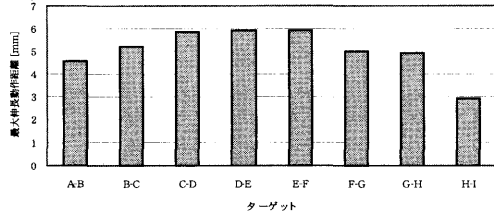


図8 ミミズの移動時における各部位での最大体長距離

この結果より、ミミズの各部位での最大体長距離は体の中心に近づくにつれて大きくなっていくことがわかる。さらに各環節の収縮率が約80%で一定であることから、ミミズの各環節の構造は中心に近づくにつれて太く・長くなっていると考えられる。この構造の利点として、中心付近の環節が太くなることによって中心付近での摩擦を大きくすることができ、押し出し動作・引っ張り動作時の滑りを最小限に抑えることができること、また、中心付近の環節が太く・長くなることによって静止動作の動作時間を短縮でき、全体の移動速度を上げることができるとわかった。

4.5 移動動作

4.5.1 走行面との摩擦の関係

図9に移動動作解析・管内移動時の移動動作解析で明らかになった、各移動形式におけるミミズの移動距離と経過時間の関係を示す。

ここで、アクリル板上と管内ではミミズの移動速度が大きく違うが、滑りを無視した移動速度の平均値はアクリル板上9.2[mm/s]、管内11.4[mm/s]と大きな違いは無い。すなわちミミズの移動速度を決定する要素の一つ目は、走行面と摩擦の関係であると考えられる。

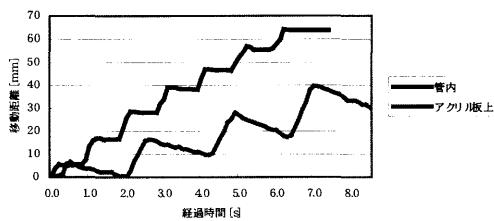


図9 各移動形式におけるミミズの移動距離と経過時間の関係

4.5.2 周波数・進行距離と移動速度の関係

図10・11・12に周波数・進行距離・移動速度の関係を表した図を示す。

図10に示すように、周波数が大きくなるにつれ滑りを無視した移動速度は大きくなるが、図11に示すように、進行距離が大きくなるほど滑りを無視した移動速度は小さくなる。図12に示すように進行距離が大きくなるほど周波数は小さくなるため、進行距離が大きくなっても滑りを無視した移動速度が小さくなることは説明できる。これは、ミミズの各環節の運動特性の限界によるものであると考えられ、ミミズの各環節は進行距離が大きくなるほど周波数を下げなければならない、逆に周波数が大きくなるほど進行距離は小さくしなければならない。すなわちミミズの移動速度を決定する要素の二つ目は、進行距離と周波数の関係によると考えられる。

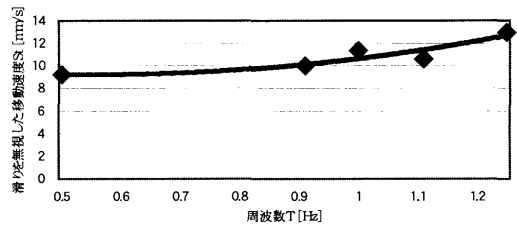


図10 周波数と滑りを無視した移動速度の関係

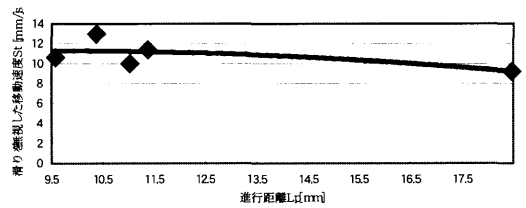


図11 進行距離と滑りを無視した移動速度の関係

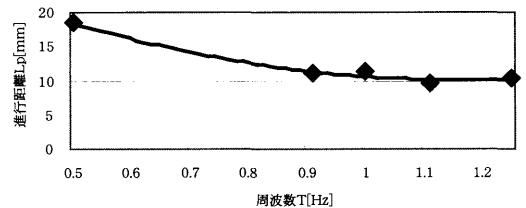


図12 周波数と進行距離の関係

5. 参考文献

- 1) 「生物と運動」 R.Mc・Neill・Alexander著
東 昭 訳 日経サイエンス社
- 2) 「生物の動きの事典」 東 昭 著 朝倉書店

小山工業高等専門学校・機械工学科

E-mail:kikuchi@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 2005年9月27日」