

修士学位論文要約（平成29年3月）

ムカデの適応的ロコモーションに内在する自律分散制御則に関する研究

安井 浩太郎

指導教員：石黒 章夫

Study on Decentralized Control Mechanism Underlying Adaptive Centipede Locomotion

Kotaro YASUI

Supervisor: Akio ISHIGURO

To elucidate decentralized control mechanisms underlying adaptive animal locomotion, we focused on centipedes. We conducted behavioral experiments using real centipedes and then found that the ground reaction force plays a significant role in generating rhythmic leg movement, and that the motion of each leg is likely affected by sensory input from its neighboring legs. On this basis, we proposed a decentralized control scheme wherein each leg exploits the ground reaction forces detected at itself and its anterior leg. We performed simulations and succeeded in reproducing adaptive centipede locomotion qualitatively.

1. はじめに

生物は、身体に有する膨大な自由度を巧みに協調させることで非構造的かつ予測不能的に変化する実世界環境下において適応的に動き回ることができる。また、身体の一部を損傷したとしてもパフォーマンスをあまり低下させることなく移動することが可能である。それゆえ、こうした生物のロコモーションには精妙な制御メカニズムが内在していると考えられる。もし、この制御のからくりを理解することができれば、生物学のみならず、生物を規範としたロボットの移動能力の向上に資することが期待される。

上記の制御メカニズムを解明するため、本研究ではムカデをモデル生物として採り上げる。ムカデは多数の脚を巧みに協調させること（脚間協調）により、不整地においても適応的に歩行することができる。このようなムカデのロコモーションは足並みの疎密波を体軸に沿って伝搬させることで実現されており¹⁾、足並みの疎密波は歩行速度の変化など状況に応じて適応的に変化する事が知られている²⁾。それゆえ、ムカデの脚間協調現象には、生物の適応的なロコモーションを実現する優れた自律分散制御メカニズムが内在していると考えられる。

筆者らは、ムカデの適応的なロコモーションに内在する制御則を抽出するにあたり、構成論的アプローチを採用する。まず、実際のムカデを用いて、歩行時に局所的に足場を失った際の振る舞いを観察した。その結果、ムカデは足場のある所では脚を周期的に動かし続ける一方で、足場の無い所では脚を持ち上

げて静止させることを発見した。本行動観察結果から得た知見に基づき自律分散制御則を構築したところ、シミュレーション実験により実際のムカデが示す振る舞いと定性的に同等な振る舞いを再現することに成功したので報告する。

2. 行動観察実験と提案制御則

脚の接地情報がロコモーションにどのような影響を与えるかを調べるため、ムカデが歩行している最中に地面の一部を取り除き、振る舞いの変化を観察した。実験結果のスナップショットを図1に示す。同図より、以下の定性的な傾向が見てとれる：

- (A) 地面の上をロコモーションする際、脚は周期的な運動を続けるが、足場の無い環境では脚は持ち上げられた状態で静止する。
- (B) 足場の無い環境下において静止している脚は、その前方の脚が接地すると動き始める。

上記の知見に基づき、本研究では各脚の自律分散制御則を次のように設計した：

- (1) 自脚およびその前脚の床反力情報に基づくセンサフィードバックにより振る舞いを決定する。
- (2) 自脚と前脚がともに非接地の場合、脚は持ち上げられて静止する。
- (3) 自脚または前脚が接地し十分な床反力を検知した場合、脚は周期的な運動を行う。

提案制御則の詳細については紙面の都合上割愛する。

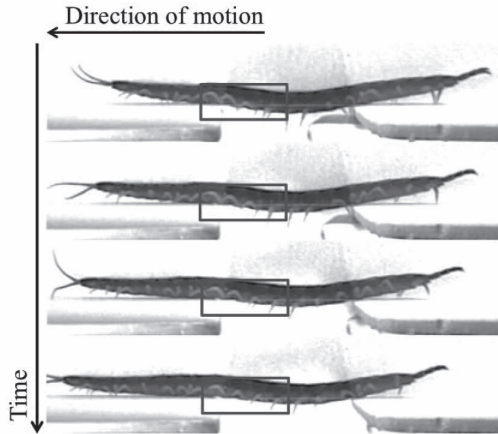


図1 歩行中に地面の一部を取り除かれたときのムカデのロコモーション。

3. 提案制御則の検証結果

提案制御則の妥当性を検証するため、シミュレーション実験を行った。まず、上記行動観察実験と同様に、歩行中に地面の一部を取り除き、間隙をまたいだ歩行の様子を検証した。図2にシミュレーション結果のスナップショットを示す。同図より、地面に間隙が生じると、間隙部分の脚は持ち上げられて静止する一方で、その他の脚は足並みの疎密波を形成し周期的な運動を継続する様子が確認できる。この振る舞いは上記行動観察結果と定性的に同等である。

さらに、中央部の脚を3対取り除いた条件において歩行をシミュレーションしたところ、図3に示すように残存脚を適切に協調させ、足並みの疎密波を頭側から尾側に伝搬させながら歩行する様子が確認された。これは、筆者らが実際のムカデを用いて脚切断実験を行った際に観察された振る舞いと定性的に同等である。

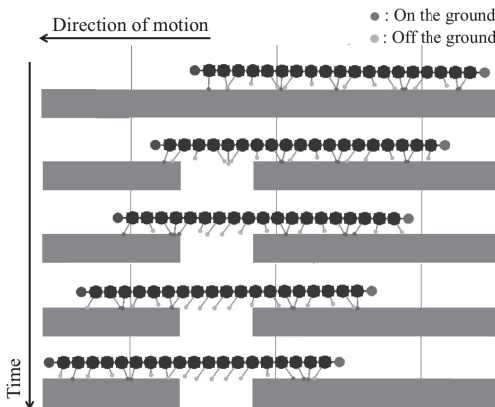


図2 間隙をまたいだ歩行のシミュレーション結果。

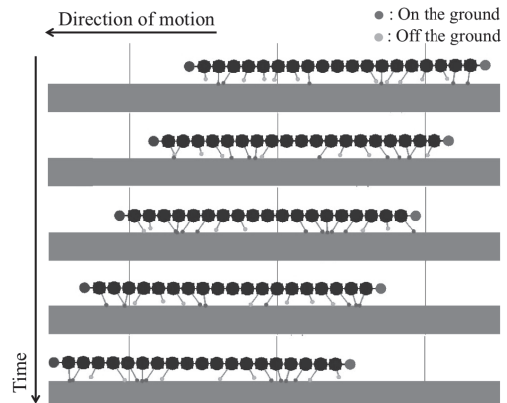


図3 一部の脚を取り除いた条件下における歩行のシミュレーション結果。

4. まとめと今後の展望

本研究では、生物の適応的なロコモーションに内在する精妙な制御メカニズムを解明するため、ムカデの脚間協調現象に着目した。そして、歩行中に一部の足場を失った際のムカデの振る舞いを観察し、その結果得られた知見にもとづき自律分散制御則を構築した。提案制御則に基づくシミュレーション実験では、間隙をまたいだ歩行の再現のみならず、一部の脚を切除した際のロコモーションをも再現することに成功した。今後は、提案制御則が実世界環境下においても機能するかを確認するため、ムカデ型ロボット実機による検証を行う予定である。

文献

- 1) S. Kuroda, I. Kunita, Y. Tanaka, A. Ishiguro, R. Kobayashi, and T. Nakagaki: Common mechanics of mode switching in locomotion of limbless and legged animals, *Journal of the Royal Society interface*, 11, 95 (2014).
- 2) S.M. Manton: The Arthropoda: Habits, Functional Morphology and Evolution, Clarendon Press (1977)