

小林 亮

広島大学大学院理学研究科
教授

環境を友とする制御法の創成

§ 1. 研究実施体制

(1) 「小林」グループ

- ① 研究代表者: 小林 亮 (広島大学大学院理学研究科, 教授)
- ② 研究項目
 - ・ コウモリのエコーロケーションにおける行動決定の数理モデルとロボットによる検証
 - ・ 真正粘菌変形体の探索行動に関する実験的・数理的研究
 - ・ ムカデの運動の数理モデル
 - ・ 外野手の捕球に関する実験的, 数理的研究 (不完全情報下での行動決定)
 - ・ 4脚走行における速度・エネルギー効率に関する物理的考察

(2) 「石黒」グループ

- ① 主たる共同研究者: 石黒 章夫 (東北大学電気通信研究所, 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 頭部の運動を活用したロータリーギャロップの発現
 - ・ ムカデやヤスデなどの多足類に内在する脚間協調メカニズムの数理モデル構築
 - ・ フナムシなどの等脚目が示す特異な歩容遷移現象の考察
 - ・ ウツボやゴカイなどが示す遊泳行動に内在する手応え制御の数理モデル化
 - ・ 昆虫が示す6脚ロコモーション行動学的考察と脚内・脚間協調メカニズムの再考
 - ・ 手応え制御に基づくクモヒトデの腕内・腕間協調メカニズムの有機的連関
 - ・ 腹足類の這行運動に内在する自律分散的制御原理の考察
 - ・ ミミズ等の蠕動運動に内在する手応え制御則の考察とロボット実機による実験的検証

(3)「青沼」グループ

① 主たる共同研究者:青沼 仁志 (北海道大学電子科学研究所, 准教授)

② 研究項目

- ・ X線マイクロCTで取得した画像のセグメンテーションの自動化法の開発
- ・ X線マイクロCTを用いた節足動物の筋骨格系の無破壊イメージングによる詳細な構造観察とその3次元デジタルデータの収集から得られた知見に基づいた動物の運動生成メカニズムの考察
- ・ 昆虫や多足類などの歩容遷移の基盤となる神経生理機構についての実験的解析
- ・ クモヒトデの適応的なロコモーションの基盤となる神経生理機構の実験的解析
- ・ 昆虫の高速運動の制御基盤となる神経系と筋骨格系のはたらきについての実験的解析
- ・ 経験に基づいて状況に応じた行動を発現する神経生理機構についての実験的解析

(4)「大須賀」グループ

① 主たる共同研究者:大須賀公一 (大阪大学大学院工学研究科, 教授)

② 研究項目

- ・ 陰的制御主導ロボット i-CentiPot の開発
- ・ 音場の制御に基づく群ロボットの陰的ナビゲーション
- ・ 障害物と音の回折を積極的に活用した陰的ナビゲーション
- ・ スナガニの運動解析
- ・ スナヘビロボットの試作

§ 2. 研究実施の概要

「本質的に予測不可能に変化する環境の中を、生き物のようにしなやかに動き回ることができる、実時間環境適応能力をもった人工物はどうすれば造れるのか？」本プロジェクトは、このまだ解かれていない問題への挑戦である。進化の結果として動物たちは、高等下等問わず、その能力を持っている。そこで我々は動物たちに学ぶことにより、制御の視座から次の3つの基本コンセプトを提案した。

- (1) 手応え制御: 環境との相互作用をリアルタイムに評価しながら、利用できるものは積極的に利用する。
- (2) 陰陽制御: 陽的制御(明示的な制御則)と陰的制御(身体と環境のダイナミクスから表出する制御則)の適切な結合により、環境適応的な制御を実現する。
- (3) 階層制御: 自律分散制御と中枢制御が適切に組み合わせられていて、大自由度を持つ身体を無理なくリアルタイムで制御できる。

我々はこれらを統合した制御方策を「環境を友とする制御法」と名付け、その創成を通して動物のように複雑な環境の中をしなやかに動き回ることのできるロボットを創ることを目指している。

本年度の大きな成果として、陰的制御の概念とその有効性を端的に示すムカデ型ロボット **i-CentiPot (Implicit controlled Centipede robot)** の開発がある。このロボットでは、一切の陽的な制御を行っていない。にもかかわらず、無限定環境(屋外環境)において実時間適応的に移動することが可能である。実際、林の中などで路面に凹凸や岩などがあつたり、落ち葉などが多数散乱していたりしても、自身が移動可能な方向を探り、路面の形状に倣うことで、無理をせずに進むことができるのである。何よりも、この i-CentiPot の動きを見たときの多くの人の第一声が「キモ!」「気色悪い!」であったことは特筆すべきであろう(このロボットに生物らしさを感じてもらえたということ、そしてそれは我々の目標にとって本質的に重要なことである)。このロボットを通して我々が伝えたいことは、複雑な環境の中を動き回る能力は決して「脳的なもの」のみで実現されるのではなく、「身体と環境の相互作用(=陰的制御)」の中にこそ、そのベースがあるということである。



昨年度に引き続き、節足動物・棘皮動物などの運動、4脚歩行における歩容生成を、手応え制御の観点からの研究を行なった。また、コウモリのエコーロケーションを通して、階層制御の上位に当たる運動方針決定に関する研究を開始した。特に、節足動物・棘皮動物の運動の詳細を調べるための基盤技術として、マイクロ CT のセグメンテーション技法の開発を行った。

代表的な論文

1. 大須賀公一, 衣笠哲也, 林良太, 吉田浩治, 大脇大, 石黒章夫:陰的制御によるムカデ型ロボット(i-CentiPot)の実現について, 第 29 回自律分散システム・シンポジウム(計測自動制御学会), pp.18-23, 2017
2. D. Owaki and A. Ishiguro, “A Quadruped Robot Exhibiting Spontaneous Gait Transitions from Walking to Trotting to Galloping”, *Scientific Reports*, 7:277, DOI:10.1038/s41598-017-00348-9 (2017)
3. Shimoji H., Aonuma H. Miura T., Tsuji K., Sasaki K. and Okada Y. (2017) Queen contact and among-worker interactions dually suppress worker brain dopamine as a potential regulator of reproduction in an ant. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 71:35