

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
 - ・ さまざまな動物の運動に見られる「手応え制御」と「陰陽制御」の本質を、数理の立場から明らかにする
 - ・ スナガニの歩行・走行における粘性-慣性領域遷移と脚数遷移の数理モデル
 - ・ コウモリのエコーロケーションのメカニズムの数理的研究
 - ・ ダイナミックフローグラフの構築
 - ・ 低速 4 脚歩行の分類と力学的解析
 - ・ アウトドアスポーツにおいて「環境を友とする」ための条件に関する考察

(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
 - ・ 手応え制御の数理構造に関する考察
 - ・ ヘビが示すコンセルティーナロコモーションに内在する自律分散制御則の数理モデル構築
 - ・ ミズなどの蠕動運動に内在する自律分散の手応え制御則の数理モデル構築
 - ・ ムカデなどの超多脚歩行に内在する脚間協調メカニズムの数理モデル構築, ならびに検証用のロボットプラットフォームの設計・製作
 - ・ 手応え制御に基づく 4 脚動物の CPG モデルの再考
 - ・ 手応え制御に基づく 2 脚歩行の CPG モデルの再考

- ・ 6脚ロコモーションの脚内協調メカニズムの手応え制御に基づいた再考
- ・ クモやサソリなどが示す8脚ロコモーションに関する行動学的考察
- ・ 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則の抽出
- ・ 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再考

(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を用いた動物の無破壊イメージング法の開発
- ・ 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神経系・筋骨格系の詳細な構造観察とその3次元デジタルデータの収集と得られた知見に基づいたモデル動物の適応的なロコモーション生成メカニズムの考察
- ・ 昆虫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
- ・ 多足類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

(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

- ・ 陰陽制御の本質を理解するシンプルモデルの構築
- ・ 手応え制御の本質を理解するシンプルモデルの考察
- ・ コオロギと闘争させるロボットコオロギの試作とコオロギとの闘争実験
- ・ microCT用小型トレッドミルの試作
- ・ 三脚ロボット **Martian IIIs** の試作とその手応え制御による歩行実験および力学的解析
- ・ スナガニの歩行・走行実験の行動学的考察
- ・ スナヘビロボットの試作と砂上実験による環境を友とする制御方策の基礎検討

§ 2. 研究実施の概要

工場で働くロボットアームが高速で正確な動きを達成している一方で、動物のように未知の環境下をタフに動き回ることができる移動ロボットは、現在のところ存在しない。それは何故か？ 我々は、伝統的なロボットの「制御法」にいくつかの根本的な問題があることが原因だと考えている。それは、環境との相互作用を望ましくないものとする思想、陽的制御への過度の依存、中枢制御への偏向である。これらはすべて、制御理論のセントラルドグマとも言うべき枠組みを、そのまま移動ロボットの制御に導入したことに起因しており、いわば制御理論における「成功体験の呪縛」が困難な状況をもたらしているとも言える。本プロジェクトでは、これまでの我々の研究に立脚して、現在の閉塞状況を打破するために目指すべき制御法の指針を、次の3つに集約した。

- (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(書かれた制御則)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法を「環境を友とする制御法」と名付け、その創成を目指す。動物たちは進化の果てに、未知で複雑な環境下を動き回る術を獲得しているので、まず我々は動物に学ぶことから始める。そのために、動物たちの運動と制御のしくみを数理モデルによって記述し、上記の3つの視座を通して解釈する。その知見をもとに、新しい制御理論と、動物並みに動き回ることのできる移動ロボットを創出することを最終的な目標とする。

平成27年度の大きな成果としては、「手応え制御」の実現法として一つの型を提案できたことがある。すなわち、「手応え」を「制御系の意図とそれを実行した際に環境から受けるレスポンスとの整合性」と考え、これを定量化する「手応え関数」を導入することにより、制御則を構築するという手法である(ちなみに、英語では端的に表現できる適切な単語が見当たらないため、「手応え」を“TEGOTAE”と表記して世界に向けて発信していくことを考えている)。この手法を用いて6脚ロボットに、昆虫の典型的歩容であるテトラポッド歩容やトライポッド歩容を自発的に発現させることに成功した(図1)。

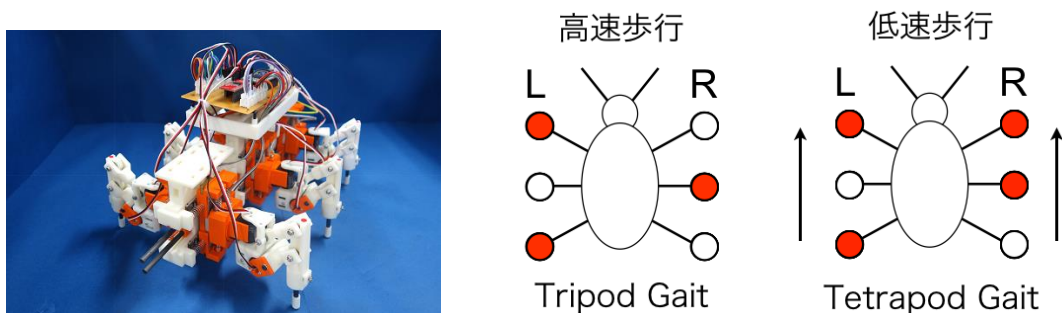


図1: 6脚ロボット、および手応え関数を用いた制御則で発現した昆虫の典型的な歩容

X 線マイクロ CT の観察技術を進展させたことで、節足動物や棘皮動物などの筋肉や神経系の配置や構造を詳細に観察することが可能になった(図 2)。これにより、動物の適応的な運動生成に関わる身体の構造的な拘束条件やそこから生まれる陰的な制御構造の仕組みについて考察を進めていく予定である。

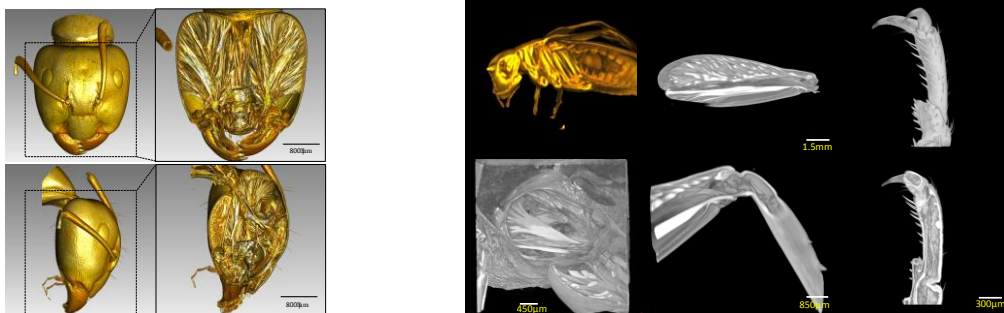


図 2: アリの頭部、およびコオロギの CT 画像