

バイオリボティクスによる知能へのアプローチ



研究室紹介

細田 耕*

Bio-robotics Approach toward Understanding Intelligence

Key Words : robotics, biorobotics, artificial intelligence,
human intelligence, human interface

はじめに

われわれヒトを含めた動物の適応性は、どのようにして生み出されているのでしょうか？環境が変化しても、同じような振る舞いを生み出すことができる背景には、われわれがなぜ生き残ることができたのか、その知能の原理を読み解くカギが存在していると考えられます。

知能的な振る舞いを生み出すためには、脳を中心とした情報処理が行われていることは事実ですが、例えば、歩く、走る、跳ぶ、あるいはものを掴む、操るなどの行動を生み出すために、われわれの身体の構造もまた、重要な役割を果たしているといえます。情報科学研究科マルチメディア工学専攻ヒューマンインタフェース研究室（細田研究室）では、生物の知能的情報処理の謎を、生物を規範としたロボットを作成することにより明らかにし、既存のパフォーマンスを超えるロボットを製作すると同時に、その知能の原理に迫ることを目的としています。本稿ではそのうちいくつかを取りあげて、簡単に紹介させていただきます。

ヒトの適応的ロコモーションの解明と実現

歩く、走る、跳ぶなどの二足ロコモーションは、生物の中でもヒトにのみ日常的に認められる特異的な行動であり、その解明はヒト知能の解明に大きく

寄与すると考えられます。このような行動をすべてプログラム（＝脳）に記述し、実現するのは、計算速度、メモリ容量などを考慮してもかなり難しいと考えられます。一方で、生存に有利なように進化的に獲得されてきた身体は、脳での計算量を節約し、かつ適応的な行動を生み出すことができる構造を本質的に持っていると考えられます。われわれの身体のどこに、そのような構造が含まれているのか、それぞれの構造の持つ情報処理的な意味は何なのかは、まだよくわかっていません。

われわれの研究アプローチは、身体の構造について、情報処理的に重要な部位に関する仮説を立て、ロボットで実現することにより検証することです。例えば、ヒトの下肢構造は、随所に張りめぐらされた腱や、多関節筋と呼ばれる複数の関節を同時に駆動することができる筋肉を含む、非常に複雑な構造をしています。このような構造は、地面から受ける力に対して異方性のある応答を生み出すことができます。このような異方性を利用すると、脳からの信号を待たないで、地面からの力にうまく応答し、速い跳躍や走行を実現する一方で、地面の変化に対しても適当に応答し、安定な振る舞いを生み出すことができます。このような知見に基づいて、ヒトの筋骨格構造をロボットによって模倣し、実際の環境内で歩行、走行などを実現することによって、各構造の機能を明らかにします。また、ヒトや動物では倫理上できないような損傷のシミュレーションを、ロボットの一部の筋、腱の機能を停止することによって実現し、病態を再現することによって、さまざまな歩行疾患に対してその損傷部位の特定と治療法を提供できる可能性もあります。

四足動物の適応的ロコモーションの解明と実現

四足動物は、二足に比較して歩容（歩き方、走り



*Koh HOSODA

1965年11月生
京都大学大学院機械工学専攻博士後期課程修了（1993年）
現在、大阪大学 大学院情報科学研究科
マルチメディア工学専攻 教授
博士（工学） ロボティクス
TEL：06-6879-7750
FAX：06-6879-7743
E-mail：koh.hosoda@ist.osaka-u.ac.jp

方のパターン)のバリエーションが広く、地形や負荷の変化などに応じて大きく変わります。また、大型の哺乳類からイヌやラットなどの小型の四足動物に至るまで、その筋の構成や脚の長さ、体重などが異なっており、状況によって発現する歩容もさまざまです。おそらく、四足歩行や走行は、二足のそれらに比較して安定性を確保することが容易であるため、安定な範囲内でさまざまな歩容を作り出すことができるのではないのでしょうか。四足動物の歩容の、特にさまざまなロコモーションが状況に応じて発現する背景に存在する原理、原則を調べるために、筋骨格構造がどのように役に立つのかはまだよくわかっていません。四足動物もまた、淘汰圧の下で進化してきたことを考えると、筋骨格の構造自体が、このような歩容の変化に大きくかかわっているはずです。

ここでも、われわれの研究アプローチは、創ることによって理解する、すなわち、四足動物の身体構造(特に筋骨格構造)について、その役割に関する仮説を立て、それを再現できるような筋骨格構造を持つロボットを試作、実際の環境内で運用することによって、その仮説を検証する方法をとります。現在は、小型四足動物の足先軌道を実現することができる最小限の筋骨格系を持つロボットによる、極めて速いロコモーションの実現や、ネコ科の四足動物の下肢構造を模したロボットによる、各筋肉の機能と反射の役割などについて研究を進めています。

ヒト型上肢の運動制御

ロボットがヒトと同等筋骨格構造を持つとき、筋にランダムなパターンを入力しても、ロボット全体の動きは、その構造による拘束を受けるため、ヒトの行動パターンに類似します。ヒト類似の筋骨格構造を持つロボットは、この意味で使用者との親和性が高くなり、ロボットの動きを、使用者が理解しやすかったり、われわれが使う道具を、ロボットが自然に使うことができたり、というメリットがあります。また、ヒトの上肢についても、ダイナミックな動きを生み出している源は、弾性を持つ筋肉や腱であることは最近の研究でも注目されている点です。このようにヒトと似た筋骨格を持つ上肢ロボットは、ヒトと関わるロボットとして非常に興味深い研究対象です。

ヒトと同等の筋骨格構造を持つシステムを作ることによって、ヒトの「知能的」な動きのどの程度を構造から生み出すことができるか、またそのような複雑なシステムを工学的にどのように運用するかが、ここでの研究テーマとなります。特に最近では、このようなロボットを、ブレイン・マシン・インタフェースによって操作する場合に、直感的に、あるいは身体を計測した信号をそのまま利用することができるという考えに基づいて研究を進めています。筋骨格構造をうまく活用すれば、ヒトに似た腕の動きを直接プログラムしなくても自然に実現でき、結果的にシンプルな制御則となる可能性があります。このロボットの運用を通して、ヒトの知能的な振る舞いのどの部分が、身体構造に由来しているかを示すことができると考えられます。

柔軟なロボットハンドによる物体操作と認識

器用な操りを実現するために、ヒトの手は非常に重要な役割を果たしています。未知の物体を安定に把持するために、皮膚の柔軟性と、筋骨格構造の持つ適応性が大きく役立っていることが知られています。これらの性質を理解し、これまでのハンドを超える操作性を実現することは、ロボティクスの重要な目標の一つです。

ヒトの手に存在する知能を理解し、運動を再現するために、柔軟な皮膚を持ち、またヒトの腱や筋と同等の構造や、機能を持つロボットハンドを開発、その制御方法を提案しています。また、手は柔軟な皮膚の内部に非常にたくさんの感覚器を備えており、物体の認識にも大きな役割を果たしています。認識の問題は、物体操作とは分離して議論されがちですが、操作した経験、その時に得られる感覚が認識に重要な役割を果たすことは疑うべくもありません。このような経験を通した物体の認識や記憶についても研究を進めています。一方で、生体内で行われているような、ノイズに強く信頼性が高いセンサ信号処理にも注目しており、特に、生体が利用しているといわれている確率共鳴現象を参考にした、ロボストな情報処理を実現するための理論の展開と、これを用いた微小な刺激の観測や、分散型筋の駆動方式などについても研究しています。

ウェットロボットの開発と作動原理の解明

工学的に実現可能な筋や骨格について研究を進めるだけではなく、生体の組織や筋肉を用いて、そこに存在する適応性の謎を解くために、ウェットロボットを開発し、その作動原理についての研究を進めています。

ヒトの足部は、多くの骨と腱、筋からなる複合体であり、そのダイナミクスが、歩行の適応性に大きく関与していると考えられています。ヒトの足部をロボットによって駆動するハイブリッドシステムを運用することによって、歩行時の複合体の振る舞いを観測し、ヒト歩行の適応性を解明する研究を行っています。また、骨と腱などの受動的な要素だけではなく、実際の生物の筋組織を培養することによっ

て、さまざまな構造体を創り、その形態と機能の関係の謎や、新しいタイプのウェットロボットの開発などを目指しています。また、生物から摘出した筋肉を、コンピュータから制御するための基礎的な実験も行っています。

おわりに

生物の構造は、その知能的行動の生成に大きく関与していますが、その機能や適応性については思った以上に解明されていません。われわれはロボティクスの技術を駆使し、生物の適応性の謎を解き、同時にこれまで実現できなかったようなパフォーマンスをみせることができるロボットの開発を目指しています。

