

# 人間と環境の数理科学的記述と解析

## —ロボットの理解と人間の理解—

岡田 昌史(東京大学)

### Mathematical Scientific Expression and Analysis of the Human and Human Environment

\*Masafumi OKADA(Univ. of Tokyo)

**Abstract**— In this paper, I will give an answer to the question which is why we work on the robotics. Recently, the robots are coming to be diversify and having complex dynamics, and sharing the environment with human. To get the understanding of robots is equal to analyze the human in the robot's environment, to express the robot mathematically is equal to get the human model. The purpose of the robotics is to understand the humanbeings.

**Key Words:** Robotics, mathematical model, humanbeings

#### 1. はじめに

人間を支援することを目的として作られたロボットは、いまや複雑系としてその姿を変え、人間の環境の中に入ろうとしている。従来は「機械」として運動方程式で記述されていたロボットは、多様化・多自由度化によってその表現が困難になりつつある。さらに、ロボットの脳型情報処理系を実現するといった研究も加わり、ロボット研究者の分野は大きく広がっている。いまやロボットは単なる物理機械の枠を越え、身体を備えた知能機械として認識されようとしている。なぜ我々はロボット工学を学問とし、研究し、ロボットを作り出しているのか。その答えは「ロボットを理解すること＝人間を理解すること」にあると思われる。本稿では、人間と環境をロボットという形で数理モデルで記述することにより、これが人間の理解につながることを議論する。

#### 2. ロボティクス論の立場から

##### 2.1 研究としてのロボティクス

ロボティクスをロボティクス論の立場からとらえると、次の3つに大別される。

- (1) 工学的な立場 ロボットを機械としてとらえると、どのようなロボットがどのように役に立つのかが議論の中心となる。目的と状況、動作環境に応じてロボットの設計論や制御理論が展開され、新たな機構やアクチュエータの開発、制御系設計の最適化手法などが議論される。
- (2) 数理科学的な立場 ロボットの記述法やその運動解析が話題の中心となる。ロボットやそれを取り巻く環境は力学系として扱われ、これを数式で表現することやその解析、制御系設計論を通じて自然現象の不思議やおもしろさの謎を解くことに焦点が当てられる。
- (3) 対象としてのロボット メカトロニクス教育の対象や制御理論の検証、新たな装置・アクチュエータ

の応用例としてのロボティクスがある。ロボットは物理機械として扱われ、運動方程式に従って動くことが前提となる。

これらは全てロボティクスの中心となるものであり、従来から今日まで幅広い分野での研究がなされてきている。ここで「ロボットの記述」をキーワードに述べる。(1)、(3)ではロボットは機械システムとして扱われるため、運動方程式での記述が主体となる。一方、(2)の分野では記述そのものが研究の対象であり、どう記述すべきか、どのような記述が妥当であるかが論点となるものである。では、なぜ我々は対象としてロボットを扱い、その記述・解析を行うのであろうか。

##### 2.2 機械から複雑系・力学系へ

従来、ロボットは危険な作業、単調で苦痛を伴う作業、大きな力を必要とする作業において人間を支援する機械として開発された。人間は労働を減少させるため、生産効率を向上させるため、微細作業や繰り返し作業を行うのに優れたロボットを開発してきた。このとき、ロボットは剛体リンクと駆動力を持つ関節の統合体であり、運動方程式で記述される。運動方程式で表されたロボットは「物理機械」として数式に当てはめられ、運動学や動力学、制御理論での解析に適した形で表現された。人間の指示通りに安定に素早く正確に動くことを目的として制御系が設計され、ロボット工学は機構開発と解析論、制御論を中心に発達してきた。

一方、近年ロボットは多様化・多自由度化しヒューマノイドロボットやペットロボットに代表されるように人間社会にとけ込みつつある。人間とコミュニケーションをとる機能を備え、複雑系としてその存在位置を確立しようとしている。ロボットはもはや単なる機械ではなく、運動方程式での記述は困難になるようになっている。そのため、これまでに発達してきた理論を用いた制御も困難となり、新たな制御理論が必要となる。特に、ロボットに脳型情報処理系を組み込もうとする

研究も多く見られ、非線形力学系を構成して記憶や連想、創発といった機能を実現することが大きな主題となっている。

### 3. ロボットの記述と理解

いまや、ロボットは人間社会に存在しつつある。人間と環境を共有し、ロボットから見た環境には人間が存在している。これより、以下のことが言えるであろう。ロボットを知ることは人間を知ることに等しい。ロボットに人間と同じ機構を持たせ、人間の作業を代行させる場合を考える。制御系の構成や行動パターンを得るためには複雑な力学系の数学モデルや制御アルゴリズムを必要とする。このとき、人間はどのように動くか、どのようなアルゴリズムで行動を選択するかを参考としロボットの数理科学的な表現とその制御理論を構築する。すなわち、ロボットのモデルの記述は人間モデルを記述することに相当している。我々はロボットという鏡に我々を映し、この鏡像に対して数理科学的記述と解析を行っている。

上の例では人間と同じ機構を例にしたが、人間の代行をするロボット、人間に似た機能を持つロボットに対しても同様の議論が行える。特に、脳型情報処理系の実現では全くモデルの存在しないものに対して数学的記述を定義し、これが人間に似た動作をとることで人間の情報処理システムの1つのモデルを与えていると言える。

ロボットが知ることは人間が知ることに等しい。ロボットが環境の中で動作するときも同様のことが言える。ロボットが行動するとき、ロボットは環境を理解しなければならない。物がどこにあるのか、どう動くのか、どのくらい柔らかいのか、近くに人間はどのように動くか、それらの数学的モデルを与える必要がある。環境の数学的モデルを与えるためには我々人間が環境を理解しなければならない。これらより、ロボットが環境を理解することは、人間が環境や環境の中の我々自身を理解しその数理科学的なモデルを記述することにある。

上記のことを例を挙げて考える。

1. ヒューマノイドロボット 本来、ヒューマノイドロボットは人間に近いロボットを作り出すことを目的としているため、人間理解との結び付きが強いことは明らかであろう。

**機構の開発** ヒューマノイドロボットの機構開発には人間の骨格・筋肉モデルが必要となる。歩くときにどの関節にどのくらいの力を必要としているのか、肩関節や背骨のような複雑な関節はどのように動くかといった考察をもとにして設計論が展開される。

**行動パターンの生成** ヒューマノイドロボットが歩くとき、何のセンサ情報を利用して安定化するのか、何かの最適化問題になっていないかなどの考察が必要となる。我々は歩くときに「安定化」「最適化」を意識しているわけではないが無意識下で何を考え行動しているのか、これが正しく記述されればロボットは適切な

歩行を行う。逆に、ヒューマノイドロボットが正しく歩行できれば、その歩行アルゴリズムが人間の無意識の表現としてふさわしいことの証明でもある。

**技量の実現** 人間の熟練の過程で取得する技量がロボットに実現できれば、人間が何を観察して習熟するのかが解明できる。この技量は人間の無意識下で行う過程を数学的に表現することを目的としたもので多くの研究者が取り組む課題である。

**脳型情報処理** ロボットは何を見て何を判断し、どう行動すべきか。この情報処理系ではその数学的モデルの構築が困難である。そのため、人間の情報処理系を元に設計を行うことがこの問題を解く鍵となる。これはボトムアップ的な設計論であり、先に非線形力学構造を定義し、これに人間と同じ機能をさせるトップダウン的な設計論もある。ここでもロボットの研究が人間の理解につながっている。

2. ペットロボット ペットロボットの環境には必ず人間が存在する。人間と共有する環境を理解するだけでなく、環境としての人間を理解する必要がある。

**人間とのコミュニケーション** ペットロボットは人間とのコミュニケーションが大きな目的である。ロボットの行動に対して人間はどう感じるのか、人間の行動に対してどう反応すべきか、動物という生体の機能が必要なだけでなく、人間の感情をどう表現すべきでこれをどう解析すべきかという点で、人間の記述が必要である。

### 4. ロボティクス研究者の立場から

ここまで、ロボットの記述と解析が人間の記述解析につながることを述べた。では、我々研究者は何をするべきであろうか。多くの企業が作り出した美しいロボットは我々を魅惑し、場合によっては我々研究者はロボティクスの目的を見失いがちになる。「売れるロボット」「社会に受け入れられるロボット」を作ることはロボティクスの普及という面で必要なことであるが、人間の理解を前提とした研究・開発の目的がその根底にあることを意識しなければならないであろう。いま、ロボットはIT革命の追い風を受けてブームの波が訪れている。将来を見据えた目的意識を持ってロボットや我々を理解していかなければその波に足下をすくわれる結果を招きかねない。

### 5. おわりに

本稿では、ロボティクス論といった立場からロボティクスとは何か、ロボティクスの目的は何かという問題について考えた。ロボティクスの分野が大きく広がるにつれて研究やその目的も多様になっているが、私は「ロボティクスとは何か」という問いに対して「人間や環境の自然現象をロボットの数理科学的記述・解析という鏡に映しだし、理解することである」と答える。