

柔らかいロボットが掴む人の心と未来

下田 真吾*

*名古屋大学大学院医学系研究科 愛知県名古屋市昭和区鶴舞町 65 番地
*Graduate School of Medicine, Nagoya University, 65 Tsurumai-cho,
Showa-ku, Nagoya, Aichi, Japan
*E-mail: sshimoda@ieee.org

キーワード：ムーンショット型研究開発事業 目標 3 (Moonshot Goal 3), 気づき (Awareness), 無意識の知性 (Unconscious Intelligence).

JL 0005/24/6305-0255 ©2024 SICE

1. はじめに

わが国発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長ではない、大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発を推進する国の大型研究プログラム・ムーンショット型研究開発事業は、現在9つの目標に分かれて推進されている¹⁾。その9つの目標の一つ、目標3では「自ら学習・行動し、人と共生するAIロボット」を目指し、研究が進められている²⁾。各目標は複数のプロジェクトにより構成されているが、本特集号では、目標3の中の2つプロジェクト、東北大学の平田泰久教授がプロジェクトマネージャー (PM) を務める「活力ある社会を創る適応自在AIロボット群」(以下、平田PJ³⁾)と、筆者(名古屋大学 下田)がPMを務める「主体的な行動変容を促す Awareness AIロボットシステム開発」(以下、下田PJ⁴⁾)の話題を中心に、「柔らかいロボットが掴む人の心と未来」と題して、これからの新しいロボティクスが起こしうるイノベーションとはどのようなものかについて、特にロボットがもつべき「柔らかさ」を話題の中心として議論してみたい。

イノベーションを起こすロボットがもつべき柔らかさとはいかなるものか。近年盛んに研究されているソフトロボット^{5), 6)}のような、物理的粘弾性特徴に基づくアクチュエータやセンサ、ボディの柔らかさは非常に重要な要素ではある。また、ロボットがヒトと生活を共にする上で欠かせない、認知判断の柔軟さや行動選択の融通性などの機能は、ロボットがもつべき柔らかさの一つとして、当然議論の範疇に含まれるべきである。しかしながらそれだけでは、ロボットによる画期的なイノベーションがもたらされるとは考えにくい。目標3が掲げる「ヒトとロボットが共生する社会」では、われわれと同じ空間でロボットが自由自在に振る舞うのは当然のこととし、その上でロボットとの共生がヒトを「進化」させ、その結果として人々の Well-being の向上に貢献することが望まれる。すなわちロボットを介してヒトを制御し、よりよい状態に遷移させることを目指して議論していく必要があると考える。ただし、それは「ヒトを操る」という考えではなく、よりヒトが主体的に生きて行けるように補助するものであり、制御という概念を、従来の「計画通りに対象物を動かす」というものから発展させる必

要も出てくる。

本特集号は、そのような新しい制御概念の下で、ヒトを制御するために必要なメカニズムから制御手法、さらには「制御対象としてのヒト」をより深く理解するための、脳神経科学・認知心理学などの側面も踏まえた構成となっている。平田PJからは、PMを務める平田先生はじめ7名の先生方に、プロジェクト全体の目標とともに、柔らかい支援がもたらすヒトの心の変化やその認知心理パラメータを用いた評価、安心や快適性の創出や行動変容を促す支援などについて解説いただく。下田PJからは6名の先生方に、ヒトに適切に介入するための「気づきの創発」に対象を絞り、その脳神経科学的な背景や機械学習を利用した気づき同定のための生体信号処理、気づきをもたらす心理学的な背景やその応用について議論を進めていく。

特に本稿では、平田PJと下田PJの2つのプロジェクトが協力して目指す方向性と、ロボットによる制御対象として「ヒト」ととらえたときの特徴や制御の在り方などを検討し、ヒトとロボットの共進化の方向性の確立を試みたい。

2. ロボットを利用したイノベーション

ロボットに操られるのではなく、ヒトが主体的に動くようにロボットが介入するにはどうしたらよいのか。手軽に使える情報機器が生活の細部にまで入り込み、いつでもどこでも世界中の情報にアクセスできるようになった現代社会では、われわれは常に情報に踊らされているきらいもある。物理的接触や直接のコミュニケーションが可能なロボットが同じように生活に入り込んできたら、われわれの生活はロボットに踊らされるようなものになってしまうのであろうか。

さまざまな脳神経科学・認知心理学の研究成果を紐解いてみると、物事はそう単純ではないようにも思われる。ロボットではなくとも、「勉強しなさい」と言われたからやる気がなくなった、という例を挙げるまでもなく、他者から強制されるとやる気がなくなる、というのはわれわれが日常よく経験することである。Reactance Theory⁷⁾として知られるこの現象は、頭ごなしの介入には反発したくなる特性がヒトの脳神経系には備わっていることを示唆しており、反抗性反応 (Reactance) を示

す際の脳活動部位の同定なども進んでいる⁸⁾。

すなわち、たとえヒトと同じ空間で、ロボットが自在に振る舞うことができたとしても、生活に直接介入してきた場合、われわれは大きな反抗を示す可能性が高い。ヒトがロボットからの介入に反抗性を示すことなく、また操られる・踊らされているという感覚をもつこともなく、より主体的な行動をとれるようにするには、どのような介入が優れているのか。この問いが2つのプロジェクトが目指す大きな方向性であり、それに対する解こそが、本特集号で目指すロボットのもつべき「柔らかさ」になると考えている。

3. ヒトの気づきの定義

ヒトが行動を起こす際に、脳が反抗性を示さず主体的な行動をとる方法の一つは、みずから気づくこと、すなわち「気づき」に基づいてみずからの取るべき行動を決めることである⁹⁾。そして気づきに基づいて取られる行動は、主体性をもって行われることもよく知られている¹⁰⁾。

気づき (Awareness) とはいったい何なのであろうか。気づきは、さまざまな文脈で使える便利な言葉であるがゆえ、これまでにさまざまな定義・議論がなされている。たとえば、自己を客観視し、社会性のなかに現れるものを認識することで自己の気づきを定量化するもの¹¹⁾や、覚醒 Level と神経活動の相関関係をもとに気づき Level の定量化を試みたもの¹²⁾ などがあり、いずれの場合も、みずからの主体的な意思決定に欠かせないものであるとされている。

ロボットの介入によりヒトの主体的な行動創発を誘発するには、ロボットが介入しているにもかかわらず、あたかも「自分で気づいた」と感じさせることが一つの手段であろう。下田 PJ では、ヒトの気づきを科学する“Science of Awareness”を主眼とし、ロボットにより適切な気づきを生み出すシステム開発を目指し研究を進めている。

気づきを科学するにあたり、下田 PJ では脳神経科学に基づく4つの成果に基づき、気づきを定義し、ロボットによる介入による気づきの創発・主体的な行動生成の議論を進めている。4つの成果とは以下のものである。

- I. 巨視的な視点からの脳活動状態の分類
- II. 無意識下での活動を司る脳深部領域のネットワーク活動
- III. 内受容感覚と脳深部の神経系の結合
- IV. 脳深部の可塑性の特徴

3.1 巨視的な視点からの脳活動状態の分類

まず脳神経系の活動状態から「気づき」を考えてみたい。D. van der Linden らは、巨視的な視点から脳活動を観察した場合、脳活動は次の3つの状態に分けられると考えている¹³⁾。

1. Default Mode Network (待機状態)
2. Salience Network (顕在化処理)
3. Central Executive Network (意識的処理状態)

Default Mode Network は、近年の磁気共鳴機能画像法 (fMRI) や脳波 (EEG) を利用した脳機能解析で注目を集めている脳状態であり、どのタスクも与えられていないときの脳状態と言われている。それに対し、Central Executive Network は何らかの意識的な処理を施している脳状態を指している。もちろん脳活動の詳細はどんなタスクをしているのかで異なるが、巨視的なネットワークとして共通するものがあると主張されている。Salience Network は、Default Mode Network から、意識的なものを顕在化させる過程の状態と考えられる。それぞれの状態の活動部位の詳細は、文献 13) を参照されたい。

Default Mode Network は、何もしていない際の脳活動と述べたが、実際脳が何もしない状態というのは存在しない。心拍や血圧、呼吸などの生命維持活動、姿勢維持や環境状態のモニタリングなどの処理は常時行われており、これら意識に上らない無意識下のタスクを担っている状態である。しかも、意識的な処理をした場合との脳活動の代謝度合いから導かれる結果によれば、脳活動の90%以上は、この無意識下の処理に費やされていることがわかっている¹⁴⁾。

それに対し、Central Executive Network で処理される意識的な処理は、状況の理解と過去の記憶や経験をもとにした論理的を進めることができる。ただし、ヒトが意識して物事を進めることができるのはただ一つの事柄であり、どのタスクに対し意識を向けるかが非常に需要であり、無意識はさまざまな状況をモニタリングしながら最も重要なものを選び意識に上げていると言える。

一つ例を挙げてみよう。われわれは普段衣服を身に着け生活をしているが、衣服が肌に接触していることを意識することはほとんどない。しかし、衣服が水で濡れたとき、すぐに気づきなんか状況に応じた対処をする。われわれの感覚器は環境変化に対して、敏感に反応するように設計されているが、その中でも意識による論理的な処理が求められる変化が、選択的に意識に上るように設計されているといえる。もちろんスポーツの試合中のように、別のことに極度に集中している場合は、衣服が濡れるどころか、骨折したことにも気づかない、などということもあるが、今論理的に処理すべきタスクはどれかを決定し、意識に挙げて処理するかを制御している状態が、Salience Network であるといえる。

すなわち脳は、無意識下で処理するタスク・意識的に処理するタスク・どれを意識に上げるかを処理するタスクの3つの状態で成り立っているといえ、意識を用いた処理が求められるものを選択結果こそが、気づきの瞬間であるということができ、気づきに基づき過去の記憶や

別の機会に深く議論することにした。

5. おわりに

本特集号は、ムーンショット型研究開発事業・目標3の中の2つのプロジェクト、平田PJと下田PJの研究内容を紹介するとともに、2つのプロジェクトが協力して目指す方向性の解説を主眼とした。これらのPJは、ロボットを用いて人に介入し、ヒトにより良い生活を提供することが目的であり、その際ヒトがロボットに操られている・踊らされていると感じることなく、主体的な生活を送れることが、ロボットを用いた画期的なイノベーションにつながると考えている。

前節までに述べたとおり、下田PJでは、ヒトの無意識下に存在する知性を、ロボット補助により強化することで、意識的なロボット介入の認識がない状態で、意識と無意識のバランスをとることを、ヒトとロボットの共進化と考えて研究を進めている。このような介入認識のないヒトの進化のアシストは、ある種の危険性を伴うのではないかと指摘もあろう。現に、2023年9月に行われた日本ロボット学会学術講演会のオープンフォーラムでは、目標3の別プロジェクトのPMを務める原田香奈子先生より、同様の質問をいただいている。その問いに対し筆者は、前節でも述べた慢性疼痛のような、脳深部活動のネットワークが原因で起きている疾患治療から研究を始め、確かな技術の確立を図ると同時に、倫理的・社会的な問題もあわせて議論していかなければならない、と回答した。ヒトに介入するロボットの研究を進める上では、個人情報管理等も含め、社会に受け入れられるロボティクスというものも真剣に検討していかなければならない。

下田PJでは、2023年度の研究成果として、平田PJの多田隈PIに協力いただき、目標3のプログラムディレクターである福田敏男先生の腰痛治療を行うというデモを行った(図2)。技術的な詳細に関しては現在論文文化を行っているところであるが、本特集号の川上英良PI、安琪PIの解説記事にその一端を見ることができるのでぜひ参照されたい。

本特集号ではロボットのもつべき「柔らかさ」として、ロボットが介入することで、ヒトをより主体的に行動できるようにするものと考えている。またそのための手段の一つとして考えている意識・無意識は、これまでもさまざまな形で議論されてきた。Daniel Kernemanの提唱する「ファスト&スローシステム」なども、ヒトの行動様式と意識・無意識を関連付けて考察している²¹⁾、Ezequiel Morsellaの言うPassive Frame Theory²²⁾では、意識の主な役割を無意識の知性の傍観であると考えられるなど、さまざまなアプローチがあることも事実である。ムーンショット型研究開発事業では、社会実装も重要なターゲットと考えられており、理論構築にとどまら



図2 福田PD (Moonshot 目標3) への介入デモのようす

ず実際の人のWell-beingに貢献するシステム開発までを見据え、今後も進めていきたい。

謝辞 本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業「主体的な行動変容を促す Awareness AI ロボットシステム開発」(Grant 番号 JPMJMS2239) の支援を受けたものです。手厚い支援に心より感謝申し上げます。

(2024年1月18日受付)

参考文献

- 1) ムーンショット型研究開発事業に関する HP, <https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/index.html>
- 2) ムーンショット型研究開発事業目標3に関する HP, <https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/sub3.html>
- 3) 平田PJ 紹介ページ, <https://srd.mech.tohoku.ac.jp/moonshot/>
- 4) 下田PJ 紹介ページ, https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/gaiyo/ms3_shimoda.pdf
- 5) 新学術ソフトロボット学 HP, <https://softrobot.jp/>
- 6) IEEE SoftRobot Technical Committee HP, <http://softrobotics.org/>
- 7) C. Steindl, E. Jonas, S. Sittenthaler, E. Traut-Mattausch, and J. Greenberg: Understanding Psychological Reactance: New Developments and Findings, *Z Psychol.*, **223**-4, 205/214 (2015)
- 8) C. Prevost, H. Lau, and D. Mobbs: Reactance to Deterrence: How Discouragement Impels Success, *Conference Abstract: XII International Conference on Cognitive Neuroscience (ICON-XII)* (2015)
- 9) S. C. Carver and M. F. Scheier: Self-Consciousness and Reactance, *Journal of Research in Personality*, **15**-1, 16/29 (1981)
- 10) S. Duval and R. A. Wicklund: A Theory of Objective Self-Awareness, Academic Press (1972)
- 11) B. G. Glaser and A. L. Strauss: Awareness Contexts and Social Interaction, *American Sociological Review*, **29**-5, 669/679 (1964)
- 12) S. Wiens, A. Andersson, and J. Gravenfors: Neural Electrophysiological Correlates of Detection and Identification Awareness, *Cogn Affect Behav Neurosci.*, **23**-5, 1303/1321 (2023)
- 13) D. van der Linden, et al.: Go with the Flow: A Neuroscientific View on Being Fully Engaged, *EJN*, **53**-4, 947/963 (2020)
- 14) J. A. Bargh and T. L. Chartrand: The Unbearable Automaticity of Being, *American Psychologist*, **54**, 462/479 (1999)
- 15) L. S. Tracey: A Common Neurobiology for Pain and Pleasure, *Nat. Rev Neuroscience*, **9**, 314/320 (2008)

- 16) A. D. Craig: How Do You Feel–Now?: The Anterior Insula and Human Awareness, *Nat. Rev Neuroscience*, **10**, 50/70 (2009)
- 17) A. D. Craig: How Do You Feel?: An Interoceptive Moment with Your Neurobiological Self, Princeton University Press (2014)
- 18) L. Löken, J. Wessberg, I. Morrison, et al.: Coding of Pleasant Touch by Unmyelinated Afferents in Humans, *Nat Neurosci.*, **12**, 547/548 (2009)
- 19) K. Tatu, et al.: How Do Morphological Alterations Caused by Chronic Pain Distribute across the Brain? A Meta-Analytic Co-Alteration Study, *NeuroImage Clinical*, **18**, 15/30 (2017)
- 20) A. Koestler: The Ghost in the Machine, Lightning Source Inc (1982)
- 21) D. Kerneman: Thinking, Fast and Slow, Farrar, Straus and Giroux, Penguin (2013)
- 22) E. Morsella, C. A. Godwin, T. K. Jantz, S. C. Krieger, and A. Gazzaley: Homing in on Consciousness in the Nervous System: An Action-Based Synthesis, *Behavioral and Brain Sciences*, e168 (2015)

「著者紹介」

しも だ しん ごと
下 田 真 吾 君 (正会員)



1999年東京大学機械情報工学科卒業。2001年東京大学新領域創成科学研究科環境学専攻修士課程。2005年東京大学電子工学専攻博士課程修了。博士(工学)。理化学研究所ユニットリーダーを経て、2023年4月より名古屋大学医学系研究科特任教授。IEEE RAS Technical Committee of Cognitive Robotics 代表、日本ロボット学会理事を歴任。IROS/CoTeSys Cognitive Robotics Best Paper Award, ICNR Best Paper Award 等を受賞。宇宙ロボットの研究を通して、柔軟な人工知能の必要性を痛感し、生物制御原理をもとにした未知環境へ適応可能な人工知能の開発に従事。