

バイオ・認知・ ロボティクスの融合で 人を支えるサイエンス

ナノから身体まで： マルチスケールで人を支える融合研究

東京理科大学 先進工学部 機能デザイン工学科 教授

よし だ えいいち
吉田 英一

1. はじめに

超高齢化社会を迎える日本では、医療費の削減や就労参加の促進などの社会課題の解決に、健康寿命の延伸が重要な鍵の一つと考えられます。健康や心身の状態は、人々の体の分子レベルからミクロな細胞、マクロな身体、さらに認知まで、様々なスケールに現れます。この特集では、スケールを横断して健康状態を観察し、良い方向に導くための働きかけを行う仕組みを目指し、バイオ・認知・ロボットの研究者が共同して行う研究について紹介します。

工学分野では、真理や理論の追求はもちろんですが、成果を人や社会に役立てたいという希望も研究のモチベーションとなっています。筆者も一介のロボティクス研究者として、自分が関わった研究が世の中に何かしら貢献したいと考えております。2023年4月号の本誌特集「東京理科大学のロボット研究」では、「人

の動きを再現するロボット」として、筆者が取り組んできたヒューマノイドロボットの研究が、人の代わりにパワースーツを装着してその性能を評価するロボットに应用されていることを紹介しました。人の負荷を軽減し腰痛などを予防するパワースーツの評価を通じて、間接的ですが人の健康に貢献する取り組みです。その後3年が経過し、ヒューマノイドロボットは目覚ましい発展を遂げ、高い運動能力を持つようになりました。3年前には想定が難しかった、より人に近いところで作業や介護で直接活躍することが期待されています。いずれにしろ、ヒューマノイドをはじめとするロボットは、「マクロ」の視点で人の身体を「物理的な相互作用（インタラクション）」で支えるシステムです。ロボティクスに基づく人の物理的インタラクションのモデル化については、参考文献1)でも詳しく解説しています。では、他のスケールではどのように健康に貢献できるのでしょうか。

2. スケールを横断した相互作用で人を支える

本学先進工学部機能デザイン工学科は、ナノメディシン、認知・知能、ロボティクスの分野の研究者が連携して「ヒトのカラダを助ける工学」を目指すユニークな学科です。先ほども述べた通り、「マクロ」の視点では、人は四肢を持つ一種のロボット構造としてモデル化できるため、ロボティクスの成果に基づき、力のやりとりを介した物理的な支援に役立てられます。

一方、「ミクロ」な視点から見ると、人は細胞からなる生命体であり、さらに細胞はより微細な分子から構成されています。細胞どうし、また分子と細胞の間には複雑なミクロ世界の物理的・化学的相互作用があり、我々の健康はその微妙なバランスのうえに保たれています。外部からの侵入や内部の不具合によりこのバランスが崩れると身体の不調や病気に陥ります。この原因を探り、改善するための生物・化学的治療や医療技術の研究が当学科でも盛んに行われています。

これらの背景から、多彩なバックグラウンドを持つ研究者を中心に踏み込んだ議論を行い、「ミクロ」と「マクロ」のスケールをまたぎ、さらに行動をつかさどる「認知」の知見も含めて人を支える融合技術に向けた挑戦的な研究の着想に至りました。大学の先導プロジェクトの制度に提案し、支援を得て実施することとなりました。

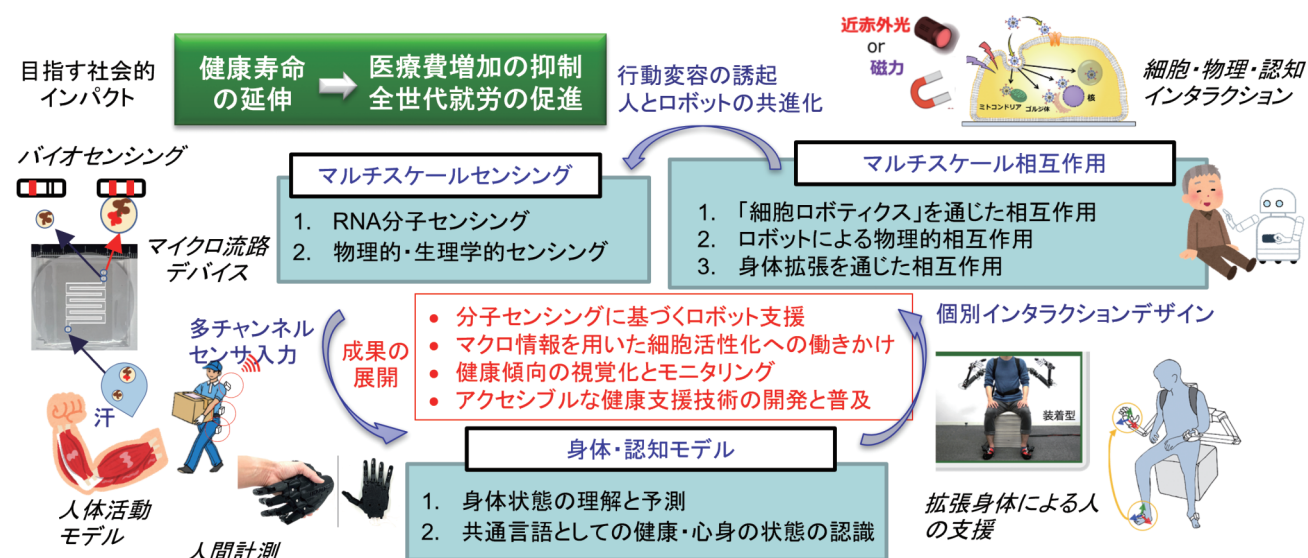
これまでの、投薬、リハビリ支援機器やコミュニケーションロボットのように、「ミクロからミクロへ」

「マクロからマクロへ」「認知から認知へ」という同じスケールどうし入出力の関係に基づいて人を支える研究が中心でした。これらは学問体系としては当然のアプローチですが、今回の融合研究では異なるスケールの入出力を「健康・心身状態」を介して結びつけることに挑み、スケールの枠を超えて人を支える技術の創出につなげたいと考えています【図】。図に示すように、マルチスケールセンシングとして、さまざまなスケールで得られた情報をもとに、細胞からロボット・拡張身体まで、スケール横断で人を支える相互作用を実現することを目指します。センシングと相互作用の間は、スケールをまたいだ身体・認知のモデルを構築して相互接続します。その結果として、ミクロの分子センシングに基づく力学的なロボットによる支援や、マクロな力触覚や生理学的な情報を用いた細胞活性化へのミクロな働きかけなど、新たな観点からの健康支援への展開が期待されます。

3. マルチスケールで人を支える研究へ

本特集では、このようなマルチスケールでの人の支援につながる野心的な研究テーマの解説と、研究に加わってくれている学生のフレッシュな経験談を揃えました。挑戦的な課題のため、発展途上の内容も多く含まれています。

まず石垣先生の「スケールを変えると、ヒトの見え方が変わる」は、本特集号の主要なキーワードである



【図】 マルチスケールで人の健康を支える融合研究

「スケール」について、分子や細胞・身体的な空間的な面だけでなく、反応や変化を伴う時間的な側面について皮膚を例にとって掘り下げています。これによって、同じ対象に対しても、スケールを超えた新たな見方を適用すること、そこから新たに見えてくるものに関心を持つことの重要性を示しています。

佐々木先生には、「ヒトのカラダを拡張する工学」と題して、例えば第3の腕など、人を「助ける」だけでなく、人の身体を「拡張する」ことにより、人の能力を広げる新しい研究領域について解説いただきます。身体拡張による相互作用という新たなスケールを加えることで、人を支える技術の幅が大きく広がることが期待されます。ここでは、「第3の腕」の足による操作や、自律的に移動するロボットハンドなど、未来のカラダにつながるユニークな研究が紹介されています。

ミクロスケールの研究として、上村先生には「細胞ロボティクス—ナノ材料で細胞を操る—」というタイトルで研究を紹介いただきます。細胞ロボティクスは、細胞が「力」を感じていることを解明するメカノバイオロジー研究をさらに発展させ、ナノスケールの材料を利用して、細胞の動きや機能を制御する挑戦的な取り組みです。磁性ナノ粒子の導入により外部から非接触で細胞スケールの相互作用を生み出すことができ、ドラッグデリバリーや細胞修復まで、健康・医療技術を大きく変える研究分野に発展する可能性を秘めています。

姜先生の「生体信号計測で皮膚下の状態を可視化する医療センシング」は、電気信号によるマクロな物理的センシングが、スケールを超えてどう人の健康・心身状態に関わるかについて問いかける独自の研究です。身体の電気的特性の代表例であるインピーダンスの空間的・時間的な計測・解析をさまざまな身体部位に展開することにより、普段は見えない皮膚の下で起きている生理反応やミクロな現象とマクロに観察される人の心身の状態とを関連付け、健康状態を良い方向に持っていく手法の開発に取り組めます。

次の二編は、梅澤先生の研究室で行われている、DNA や RNA など核酸に対するバイオセンシングを用いて、人の健康情報を得る研究に関する内容です。まず、梅澤先生には、「RNA をロボットに“見せる”一次世代バイオセンシングへの挑戦」のタイトルで、人の健康状態に関係する RNA を汗や血液から簡易に

検出するバイオマーカー計測について解説していただきます。タイトルにあるように、RNA を「見せる」にはどうすればよいか、という疑問に関して深い考察が加えられています。分子は直接見られないので、光や電機など、他の物理量に変換することで、異なるスケールである物理インタラクションや健康支援につながる斬新な着眼点が紹介されています。学生の桧崎さんには、「“まだ誰も知らないこと”を調べる仕事—卒業研究という挑戦—」と題して、金ナノ粒子による DNA の修飾とそれに基づく色変化を用いた検出法に関する研究経験を学生目線で語ってもらいました。

曾我先生には、融合研究ならではの難しさと挑戦について「分野の壁、ことばの壁、心の壁をのり越えて」というタイトルで述べていただきます。融合研究を進めるにあたり、議論の基盤となる共通の言語、表現の形成に1年くらい費やしました。それがマルチスケールを貫く共通言語としての「健康・心身状態」であり、そこから相互の専門分野の知識体系も理解していくという過程があり、これに関する経験が語られています。これまで研究グループでは、まさにこの文中にある通り「そこ、わかりません。教えてください!」とお互いに率直に言い合いながら研究に取り組んできました。少なくとも筆者は、分野の壁、ことばの壁は取り払われつつあり、融合研究のだいご味を実感し始めているところです。曾我先生の専門であるイメージングは、見える部分だけでなく、例えば肝臓内部の病変など、見えない部分を近赤外線で見える高い可能性を秘めた技術で、幅広いスケールの相互作用に適用が期待されます。

以上で示した挑戦的な取り組みを、冒頭に述べたように、長期的には健康寿命の延伸を通じた社会課題の解決につなげていきたいと考えております。まだ緒に就いたばかりの研究も多いですが、今後の発展への期待を想像しつつお読みいただければ幸いです。

参考文献

- 1) 吉田、鮎澤「物理的インタラクションと人間のモデル化—接触を伴う物理作用・運動・行動のモデリング—」, 吉田英一, 鮎澤光, 日本ロボット学会誌, 42 (10), 953-958, 2024.