

柔らかいからこそできる特性を 数学的手法から探る

東京大学 大学院情報理工学系研究科
先端人工知能学教育寄附講座 特任准教授

中嶋 浩平

研究課題「やわらかいデバイスのための力学系に基づいた新規情報処理技術の開発」



近年、柔らかい素材を利用したソフトロボットが注目を集めており、産業界での実証実験も行われている。東京大学の中嶋浩平特任准教授はこうしたソフトロボティクス研究の第一人者で、「さきかけ」ではレザバーコンピューティングとの融合で大きな成果を残した。

柔らかい身体の 複雑な動きを研究

道路や駅でスマートフォンを落としてしまった経験があるという方は多いだろう。モニターにヒビが入るなどして使い勝手が悪くなったり、機種変更せざるを得なくなったりといった場合もある。しかし、もしスマートフォンが柔らかい材質でできていたら、落としても軽微な傷で済む可能性が高い。

このように、硬いものが柔らかくなることには大きなメリットがある。ロボットがその好例だ。医療用のロボットであれば、硬い素材だと患者の体に傷をつける恐れがある。災害救助用のロボットだと、柔らかい材質なら瓦礫の下など狭い場所にも入りやすい。こうした理由から、近年は柔らかい素材を使用したソフトロボットの研究が急速に進んでいる。そして、その最先端を走っているのが東京大学の中嶋浩平特任准教授である。

中嶋が学生時代に関心を持っていたのは、認知とか意識とかいった分野だった。こうした言葉を聞くと、我々はまず脳を連想するだろう。しかし、博士課程で中嶋が所属していた研究室では、認知システムを正確に理解するために脳、身体、環境という3つの要素の相互作用として捉えるべきだという考えのもとに研究を行っていた。そのアプローチとして非線形力学系を利用することになるので、高度な数学を身につける必要があった。それで博士課程に入ってから数学を勉強したという。

その中嶋がソフトロボットと出会ったのは、ポストドク時代に留学したスイスでのことだ。当時、EUでは大きなプロジェクトが動き出していて、その中でソフトロボットについて研究するチームの募集があった。ソフトロボットに関心があったわけではない。しかし、それまでの非線

形力学系などの研究の蓄積を活用でき、認知における身体の役割の研究を続けるうえで有益だと感じたため、応募することにしたのである。

スイスで中嶋が配属されたのは「OCTOPUS」というプロジェクトだった。行動制御において身体が重要だということはわかってきた。では、タコのように身体の自由度が極めて高いとどうなるのか。このプロジェクトではそれを調べようとしていた。

「興味があったんじゃないなくて、やらざるを得ないから始めたんです。でも、結果的にはこれが良かったのではないかと思います」

中嶋は笑う。現在に至るまで続くソフトロボットの研究は、ここに端を発する。

ソフトロボットを 制御するために

タコの動きは非常に複雑だ。足を1本動かすだけで、それと連動してさまざまな部位に動きが生じる。したがってタコ型ロボットにおいても、動作を入力して足を振らせると、それに伴って複雑なダイナミクス（力学）が発現する。

では、このようなロボットを制御するにはどうすれば良いのだろうか。動きが複雑なため、これまでロボットで用いられてきた制御方法だと膨大な計算量が必要になってしまう。スイスで制御方法の開発に苦戦していた中嶋は、そこでレザバーコンピューティング（図1）の活用を思い立った。

レザバーコンピューティングはリカレントニューラルネットワークの学習法の一種である。通常の学習法はシステム全体をターゲットの関数に近づけていくので時間がかかるし操作も煩雑だ。一方、レザバーコンピューティ

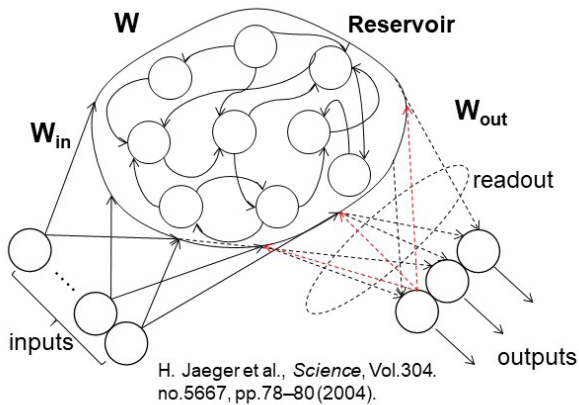


図1 レザバコンピュティングの概念図。中央の極めて複雑な Reservoirについては学習させない。readoutの部分だけで重要な要素をアウトプットさせる。細部をあえて無視することで、学習の難度が下がり、処理のスピードが上がる。

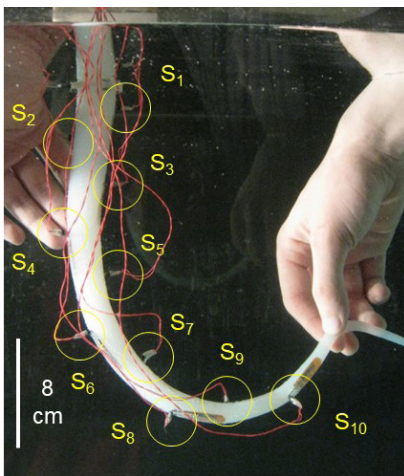


図2 タコ足状の柔らかい物体のあちこちにセンサーを埋め込み、計算を実装させる。赤い線はセンサーの読み出し口で、センサーで入手した情報を出力装置に伝える役割を担う。

Physical Reservoir Computing

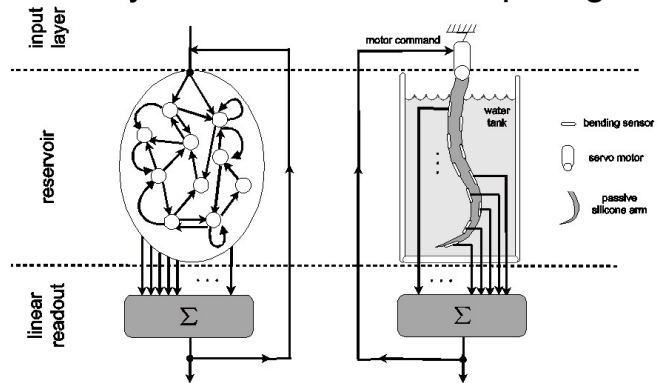


図3 フィジカルレザバコンピュティングの考え方。ソフトロボットのダイナミクスをレザバとみなし、読み取り部分から計算結果を入手する。

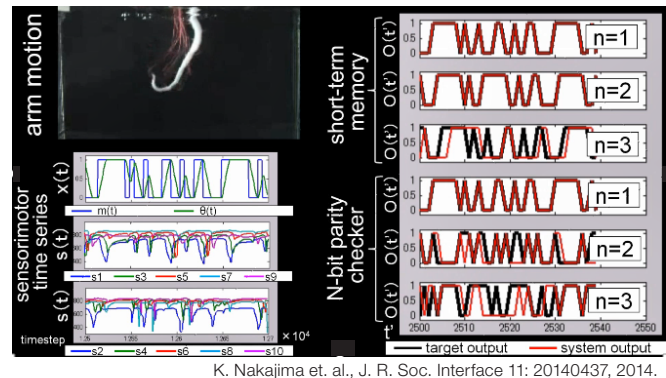


図4 フィジカルレザバコンピュティング (グラフの赤線) と既存の手法 (グラフの黒線) の計算結果を比較したもの。nはタスクの難易度で、低いものであれば両者の差はほとんどない。

ングは中間層のレザバと呼ばれる部分を非常に複雑にしておいて、リードアウトの部分だけで重要な要素を引き出す。これがうまくいくことは、先行研究によって明らかにされていた。

ソフトロボットの制御における難点は、そのままレザバコンピュティングの計算の利点にあたる。つまりソフトロボットのダイナミクス自体をレザバとして使えば、レザバ部分をチューニングする必要はない。あちこちにセンサーを埋め込んでおいて、読み取り部分のみをチューニングすれば計算を実装できるはずだ (図2)。

フィジカル (物理的) レザバコンピュティング (図3) と呼ばれるこの手法を実際に試したところ、完璧とまではいかないが、ある程度のレベルであれば既存の手法と遜色ない結果が出た (図4)。使用するメモリやエネルギーが既存の手法よりはるかに少ないのは言うまでもない。こうしてソフトロボットとレザバコンピュティングを結びつけたことで、中嶋は大きな成果を持って日本へ帰国したのである。

帰国した翌年、中嶋は「さきがけ」の数学協働領域に応募した。先述のように、ソフトロボットの応用範囲はかなり広い。ボディが柔らかいというだけでも、医療や介

護、災害救助などさまざまな可能性が考えられる。社会課題の解決に結びつけられるのは間違いない。

しかし、そのためにはソフトロボットにタスクを実装させなければならない。既存の制御方法のみだと間違いなく限界がくる。ゆえに、柔らかいものだからこそ使える情報処理技術が必要となる。

フィジカルレザバコンピュティングはその有力な手法だが、現実の実装するうえで大切なのは、学習ではなく入力である。簡潔に言うと、非線形力学系への深い理解がなければ使いこなせないシステムなのだ。ゆえに非線形力学系がわかっている人間がフィジカルレザバコンピュティングを深めていく必要がある。それゆえ中嶋は「さきがけ」で自らの手法を応用可能な基盤技術にするべく研究に励んだ。

中嶋が「さきがけ」の研究課題を「やわらかいデバイス」としているように、これは何もロボットに限った話ではない。さまざまなインターフェースも柔らかくできるだろう。冒頭で述べたスマートフォンのように、これまで硬かったものが柔らかくなればそれだけ可能性が広がる。柔らかいデバイスが実用化されれば、あらゆる分野において飛躍的な技術革新が起こり得るのだ。

無限の可能性を信じ、 研究のさらなる深化を目指す

中嶋の研究はより普遍的な方向にも進んでいる。レザバーコンピューティングを活用できるのはソフトデバイスなどの機械だけにとどまらない。ある種の性質をもつダイナミクスであれば、等しく計算に利用できるはずだと彼は考えている。「さきがけ」の数学協働領域においても、流体や振動を専門とする研究者と共同研究を行い、可能性を模索してきた。

ここで重要なのは「ある種の性質をもつ」という部分で、ソフトロボットはその性質を有していた。これは中嶋の意図したものではなく、「OCTOPUS」で研究に励む中で気づいた偶然の産物である。では、その性質とはいかなるものか。中嶋は数学的な手法を用いてそれを解明し、より広範に応用できる基盤技術を構築していこうとしている。

さらに、どういった物理系がどういった計算を実装できるのかというようなことも理解できるのではないかと中嶋は考えている。何事においても必ず何らかの物理的な現象が起きているから、レザバーコンピューティングで解釈できる可能性がある。物理系による計算の得手不得手といった、誰もまだ着手していない根源的な分野に踏み込めるかもしれない。

「さきがけ」をステップに、中嶋は研究者としてのより大きな成果を求めて突き進んでいく。