

物質の潜在的能力を人工知能に

生命体工学研究科人間知能システム工学専攻 専攻長・教授

田中 啓文



本年度より生命体工学研究科人間知能システム工学専攻・専攻長を仰せつかっております田中啓文です。2015年以来3年ぶりに執筆の機会をいただき大変光栄に存じます。

人工知能ハードウェアの基礎研究

この度、小生を含む本学のグループと、阪大、北大との共同研究「カーボンナノチューブ／ポリオキソメタレート分子複合高密度ネットワークが創るニューロモルフィック素子」が英国ネイチャーパブリックシャリヤの「ネイチャーコミュニケーションズ誌」に掲載されました^[1]。本学から同社刊行誌の中で「ネイチャー」と名前の付くトップジャーナルに主著者として研究論文が掲載されるの

は、データベース上では本論文が初めてとのことで、本学内外で非常に強いインパクトを持って受け止められています^[2,3]。特に、完全に欧米先行の脳型ハードウェアの基礎研究分野で、日本のプレゼンスを本学から示すことができたことは誠に幸いなことで、出口志向を強めている文部行政の荒波の中、自由な研究環境を提供してくださっている本学の関係各位にただただ感謝あるのみです。ただし、小生が思うに、科学技術は「ところてん」と似たところがあります。そのココロは、出し切ってしまうと後ろから基礎研究による新技術を詰めない限り、さらに新しいものは出てこない。つまり、本邦の科学技術の永続的進歩は、基礎研究なしには考えられない。小生はそういう信念のもとに、基礎研究からブレないことを軸として研究を進めています。

人工知能ロボットの夢

さて、この研究を発表してしばらくしてからの、とある研究科の懇親

会の場で、

田中「今回の研究内容は基礎研究で一般の方には分かりにくいから、最近ではターミネーターの脳の一部をパーツを試作したって冗談ながらに説明してるんです。」

S教授「えー、ただでさえ人工知能(Artificial Intelligence, AI)ロボットを怖がっている人がいるんだから、ターミネーターはやめた方がいいんじゃないですか?」

田中「だってターミネーター²では人間を守ろうとしていたじゃないですか。要はプログラミングなど利用者の運用面の問題では…。ドラえもんにしたほうがいいですかね?」

S教授「うーん、とにかくイメージも大事ですからね。」

とまあ、雲をつかむようなSFチック(?)な内容で談笑をしました。しかし、一方で最近のAI技術の進歩に目を向けると、ロボットの進歩はめざましく、本学内でも小生の所属する人間知能システム工学専攻を中心にAIロボットが何台もトップレベルで活躍し^[4]、日々着々と進歩しております。ターミネーターやドラえもんの共通点はコミュニケーション

シジョンをとりながら多様な要求に対し自分で判断して瞬時に行動することです。このあたりは、すぐには実現できないでしょうが、人間の英知を結集すると我々の生きている間に、ある程度それに近いものができるのではないかと感じています。本稿は冒頭に示した論文の研究内容を紹介する場ですが、ざっくりとした方向性(=小生の夢の向かうところ)は上述の談笑の通りであることをどこか頭の中にとどめおいてからお読みいただけると、分野外の方々にも中身が判りいただけるかと思えます。

人工知能ハードウェア研究の現状

さて、以下本題の研究紹介に移ります。AIとは明確な定義がありませんが、一般的には人間の脳が行っている知的な作業をコンピュータで模倣させるためのソフトウェアやシステムのことをそう呼んでいます。具体的には、人間の使う自然言語を理解したり、論理的な推論を行ったり、経験から学習したりするコンピュータシステムのことがあります。小生の研究室ではAIのための究極のアプリケーションと言える脳型コンピュータインテリゲンシステムのAIへの応用を目指し、その基礎となる電

子デバイスを開発しています。人間の脳を模倣した、特に最近爆発的に発展している人工ニューラルネットワーク⁽⁵⁾や深層学習⁽⁶⁾などの演算を、ソフトウェアではなく、デバイスや電気回路自身が自律的に行う脳型ハードウェアの構築が最も重要な次世代AI技術の一つとして考えられています。現状のコンピュータを用いたAIでは、逐一デジタル演算を行うため莫大な消費電力及び膨大な演算を必要としています。その理由の一つは、現状のAI技術はコンピュータハードウェアが進歩したおかげで成り立っていることが大きいのです。つまり、AI技術は成熟した既存のハードウェア上で利用するソフトウェア技術を工夫して発展したもので、ハードウェア自体が進歩したわけではないのです。このままいくとAI技術はソフトウェアの成熟を以て、その成長が終了してしまうことになり、その後は今のPCハードウェアと同じように性能が停滞してしまうこととなります。AIの永遠なる進歩はソフトとハードの両面から同時に進めないとい、成り立たないといことなのです。

AI用ハードウェアの進歩に必要な技術の一つはマテリアル科学を

ベースとした脳型デバイス（脳のよきな挙動をするデバイス）の開発研究です。物質の持つ潜在的な演算能力を顕にさせることで、AIソフトウェアが担っている演算をハードウェアに低消費電力を持つてなさせることを目指しています。この分野の研究は欧米では非常に盛んであるにも関わらず、本邦ではほぼ皆無であり黎明期と言えます。現状を放置すれば本邦の脳型デバイスに関する知的財産が皆無となり、脳型コンピュータの分野ではこの先何十年も欧米に隷属せざるを得なくなる可能性を秘めた非常に危機的状況と言えます。即座に活発な研究を遂行する必要性に迫られているわけです。グーグル、アマゾン、フェイスブック、アップル、マイクロソフト、ツイッター…本邦に技術力がなかったわけではなく、指をくわえている間にあつという間に情報インフラを米国企業に席卷されてしまっています。一方、中国では情報インフラ整備を国家的至上命題として推し進めており、その浸透力は日本の遥か上を行っていて日本企業が入り込む余地がありません。我々の分野でこういことが起きてはいけないと強く感じるところです。

物質の潜在的能力を活用した脳機能再現

小生のプロジェクトグループでは、共同研究先とともに、脳機能のうちニューロン活動の再現を狙って実験を行いました。まず導電性原子間力顕微鏡（AFM）を用いた単層カーボンナノチューブ（SWNT）に吸着した様々な分子や微粒子の接合点（ジャンクション）における電流の整流性制御の研究を通じ、SWNTに吸着したケギン型ポリ酸（polyoxometalate, POM）分子（図1右）に、酸化還元反応に伴う大きな負性抵抗⁽⁷⁾が発生することを発見しました。この結果は分子ジャンクションにおいて、電気的に不安定なダイナミクスを有する非平衡状態が発生することを示唆しています。さらに、これらSWNTとPOMを高密度でランダムにネットワーク化したデバイス（図1左）を作製し、その間に高バイアスを印加することにより、ニューロンなど神経細胞のスパイク発火に似たインパルス状の信号（以下スパイク信号）を発生させることに成功しました。このパルス発生は酸化還元反応に起因しており、デバイス周辺の湿度を変化させ

ると、スパイク信号の発生様式も変化することがわかりました。POM分子は金属と酸素が結びついた直径1ナノメートル程度の三次元粒子形状をしています。一般的な有機分子とは異なり、一分子の中に多くの電荷を溜め込めることが知られており、電子スポンジとも呼ばれています。今回観測された負性抵抗やネットワークからのスパイク信号発生は、ネットワーク内の各分子ジャンクションにおける、スポンジ内への電荷蓄積と、極限まで蓄積した際の電子の一斉放出という非平衡状態が原

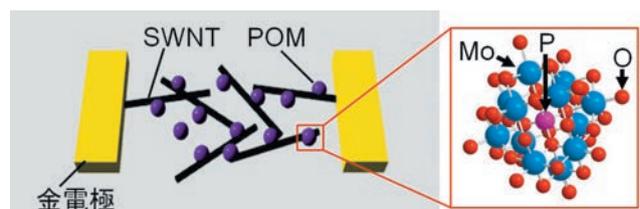


図1：(左) SWNT/POM ランダムネットワークの模式図。黄色は近電極、黒いチューブがSWNT、紫の丸がPOM分子を示す。
(右) 用いたケギンPOMの分子構造。

因であると考えられています。実際、その仮定に基づいてモデル計算を行ない、得られた提案モデルではランダム分子ネットワークから発生するスパイク信号を再現しました。さらにこの分子モデルが次世代人工知能と期待されている、人工ニューラルネットワークの応用系であるリザーバ演算^{【8】}デバイスとして用いると時系列メモリとして動作できる可能性を示しました。つまり、このデバイスが脳型デバイスとして動作できることがわかったわけです。

本研究の意義

我々のテクノロジが「脳」を創りうる日はいつか来るのでしょうか。2016年に革新的なニューロモルフイックチップとしてIBMのトゥルーノース (TrueNorth) が発表されました。トゥルーノースは高い情報処理能力と低消費電力を実現した素晴らしいプラットフォームですが、既存コンピュータと同様の半導体集積回路技術を用いている等、「脳」の一部を模倣してはいるものの、「脳」そのものではない^{【1】}と言えます。一方、本研究の意義は、有機物にも転用可能なナノ分子材料を用いた脳機能の一部を再現したことです。

脳のよう高密度に集積され、低消費電力で自律的に動くハードウェアを目指した時、現在のコンピュータを構成しているシリコン電子回路素子とは異なる、全く新しい技術や材料を模索すべき時期がきています。本研究が見出した分子ネットワークからのスパイク信号発生は、現在のテクノロジではまだ利用できない「単分子の電子状態変化」を利用しており、未来の「小型分子ニューロモルフイックチップ」実現が強く期待できます。小生は本研究のように脳機能を示すいろんなパーツを用意することにより、脳の機能がどんどんと新しい材料で代替されると考えています。一説には2045年にAIが人間の脳の能力を超える、いわゆるシンギュラリティに達すると言われています。そうなるとどんどん自分で考え行動するAIロボットが誕生することでしょう。その時に今回我々が開発したデバイスが使われていたとしたら「ターミネーターの脳のパーツを試作した」という話もまんざら冗談ではないかもしれませぬ。さて、人類がターミネーターやドラえもんを手にするのはいつの日のことなんでしょうか？

今後、自分達の開発したデバイスが

AIロボットで使われることを夢見て、ワクワクしながら研究を進めていきたいと思っています。

注釈

- 【1】 H. Tanaka et al. Nature Communications 9, 2693 (2018).
- 【2】 日経産業新聞 平成30年7月18日6面「脳の信号に似た電気信号 炭素材料使い再現」、科学新聞 平成30年8月3日11面「神経細胞スパイク発火に類似、CNTとPOMのネットワークで発生成功」
- 【3】 Web掲載多数。例えばFabross エンジニア「九工大ら、ナノ材料で脳機能の一部を再現」カーボンナノチューブと分子の乱雑ネットワークが神経様スパイク発火を可能に」平成30年7月13日掲載 http://engineer.fabross.jp/archive/180713_kyutech.html 他。
- 【4】 例えば、AIロボット世界大会三連覇。2017年ロボカップ世界大会名古屋大会、2018年ロボカップ世界大会モントリオール大会、2018年ワールドロボットサミットの世界大会で三連勝し、九州工大のAIロボットの技術力が世界レベルに高いことが認知されています。明専会報平成30年11月15号(89号)、田向准教授の記事参照。
- そのほかにも着衣介助ロボットや、トマト自動収穫ロボット、自動サッカーロボットなど色とりどりのロボットが専攻内で活躍中です。
- 【5】 脳の構成要素(神経細胞とそれらを結ぶシナプス、およびネットワーク)を数理解析できるように単純化したモデルをニューラルネットワークと呼びます。本来は脳の神経回路網を意味する言葉でもあります。
- 【6】 ニューラルネットワークは一般には複数の層により構成されますが、その高機能化のために層数を増やすとエラーが全層に伝わらず、学習が困難になるという問題がありました。近年、この問題を解決する学習(深層学習・ディープラーニング)アルゴリズムが発見され、高い機能・豊かな表現力を持つ「深層ニューラルネットワーク」の学習が可能となりました。この技術が、現在の第三次人工知能ブームの火付け役となりました。
- 【7】 一般的には電圧増加に応じて電流は増加するため、電気抵抗は正の値しかとりません。しかしある領域のみ電圧増加に対し電流が減少するような状態が現れることがあり、これを負性抵抗と呼びます。電流電圧特性の中ではピーク形状となり、その領域では一つの電圧に対して系が複数の状態を取りうることを示しています。一例として半導体素子等で実現され、自励発振の発生源として利用されています。
- 【8】 次世代の情報処理形態として最近注目を集めているニューラルネットワークの一種です。リザーバとは貯水池という意味を持ち、中心部のネットワークで情報がさざ波のように干渉し合う様子からこの名前がつけました。小脳の中の神経回路網構造を模倣しています。