

レザバー部の役割は入力情報を非線形変換し、高次元の特徴空間に写像することであるから必ずしも再帰型ニューラルネットワークを用いる必要はない。物理系の動作(ダイナミクス)をレザバー部として活用するのがPhysical Reservoir Computingである。バケツに入った水を用いてパターン認識を行う研究^{*61}に始まり、レーザー、ナノマテリアル、さらには量子多体系をレザバー部として活用する研究が行われている。物理的なものを計算資源として活用できることから、エネルギー効率の向上や計算労力の削減が期待される。ロボットの実現にも大きく寄与すると思われる。

前述のソフトロボットは、操作に対して極めて多様なダイナミクスを生成する。これをレザバー部として活用すれば、きわめて高い計算能力を発揮できると期待されている。中嶋らは、シリコンでできたソフトロボティクスアームを用いて、その計算能力が再帰型ニューラルネットワークと同程度の計算能力を持つことを示した^{*62}。さらにフィードバックループを導入することにより、“自らの動き”を計算資源として活用し、“自らの動き”を制御できることを示した。これは、ソフトロボティクスを用いれば、ロボット自体(身体)に制御機構を埋め込むことができること、すなわち、ソフトロボットの制御の難点を、そのまま長所として活用できることを示している。

レザバーコンピューティングは前述のように時系列パターン処理の実用化に向けてさらなる発展が見込まれ、ソフトロボティクスへの適用や、脳科学における、時系列＝文脈に依存した脳の情報処理原理の解明が、レザバーコンピューティングの研究を通じて進む可能性もある。

人工意識に関する認知神経科学的考察

認知発達ロボティクスの研究においては、ロボットの持つ身体性や社会的相互作用の能力が、AIの一つの究極的課題である人工意識に結実されるのではないかという期待がある。人工意識を実現しようとするとき、まずは、人間の意識の機構的な構造の解明は設計指針のみならず、検証の意味でも重要である。ここでは、認知神経科学者のDehaeneの著書[8]や彼らの論文[9]における議論を紹介する。

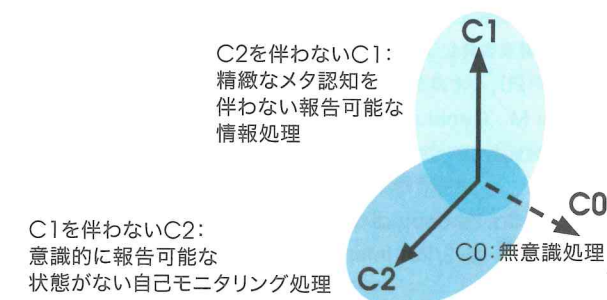
Dehaeneら[9]は、機械の意識を検討するうえで、明確に意識を所有していると思われるヒトの脳について再考し、機械が創発する意識のありさまを議論している。脳の中には、2つの情報処理計算が存在すると主張する(図2-2-29)。

1. 大局的情報伝達のための情報選択 → それを計算と報告に柔軟に利用可能にすること(第一センスの意味でC1意識と呼ぶ)。
2. 上記の計算の自己モニタリング → 確信かエラーかの主観的感覚への導入(第二センスの意味でC2意識と呼ぶ)。

※61 Fernando Cほか,"Pattern recognition in a bucket",Lecture Notes in Computer Science 2801 pp.588-597 (Springer, 2003).

※62 Nakajima Kほか,"Ex-ploiting short-term memory in soft body dynamics as a computational resource",J. R.Soc.Interface 11,20140432(2014).

■ 図2-2-29 直行する二種の意識(C1、2)と無意識(C0)の関係



出典: M. Merleau-Ponty, The Visible and the Invisible: Followed by Working Notes (Studies in phenomenology and existential philosophy). Northwestern University Press., 1968.の図3より作成

現状の多くの機械システムがC0であり、心ない自動的な応答により、精練された情報処理を行っている。顔や音声の認識、チェスのゲーム評価、構文解析などを無意識に、すなわち大域情報伝達や自己モニタリングなしに行っている。それらは、独立したモジュールであり、個々の深層学習ネットワークに対応する。C1は大局的に情報収集し、単一モジュールでは解決できなかった課題に対して、柔軟に対応可能であり、Baars[10]が提案した大局的作業空間理論(GW理論)がこれに対応する。

C2については、Dehaeneらは、一つの有力なメカニズムとして、敵対的生成ネットワーク(Generative Adversarial Networks、略称: GAN)を挙げた。これは、生成ネットワーク(generator)と識別ネットワーク(discriminator)の2つのネットワークから構成され、前者の出力を後者がその正否を判定する。生成側は識別側を欺こうと学習し、識別側はより正確に識別しようと学習する。これは、自己モニタリングの機能に相当すると考えられたからである。結論として、意識は情報計算の産物であり、C1とC2の能力を持つ機械であれば、何かを見、それに対する自信を表明し、他者に報告できることを知っている。そのため、モニタリング機構が故障すると幻覚状態に陥り、人間と同じような錯覚を経験するとしている。

今後の方向性

1. 現在のディープラーニングを徹底的に突き詰め、ビッグデータをベースにEnd-to-Endの学習機構により、意味をグラウンド(接地化)することなく、使えるシステムをどんどん社会に出していき、有用なツールとして磨きをかける。
2. 本節で論じた身体性、ソフトロボティクス、MNSを通じた共感行動生成、さらには、倫理観の創出など、人間自身の認知発達過程のミステリーを構成的に解きほぐすことで、よりグラウンドした人工システムの設計から実証実験を繰り返す。

前者がやや工学的、後者がやや科学的アプローチと言えなくもないが、現実や将来は、互いに影響を及ぼし合いながら、突き進んでいくものと察せられる。未来共生社会を描くとき、これらが新たな社会創造の価値観につながると期待する。