

2. エッセイ集

11 Deep Evolution

池上高志 (東京大学)

人工知能ブーム

Jeffery Hinton が PDP (Parallel Distributed Processing) のブームが去った後も頑張つて研究を続け、多層型の人工神経細胞ネットワークでも学習が可能であることを示してきた結果、第3次ニューラルネットワークのブームが到来している。Hinton の手法は深層学習 (Deep Learning) と呼ばれ、今では多くの企業や研究所が躍起となって研究するようになっていることは周知の通りだ。このブームもいつまで続くか図り知れないが、PDP の時代はというと Hopfield 型の神経細胞の学習モデルや、カオスを生成するニューラルネットが話題となり、カオスニューラルを用いた高速アルゴリズムなどが開発された。

このようにかつて人気を博し、しかしながらいまだ爆発に至っていない人工知能の研究は、Deep Learning 以外にもいくつも眠っているだろう。僕が専門とする人工生命 (ALIFE) の研究もまた、その1つである。1990年代にブームが来て、東京・初台の ICC (NTT InterCommunication Center) では Tom Ray と Karl Sims が一般向けに話し、京都の ATR に ALIFE 研究所ができたり、奈良で ALIFE 国際会議をやって Minsky が大批判しに來たりと華やかだった。その後そうした派手なブームは去ったが、ALIFE の研究は世界的に続いているし、国際会議も精力的に行われている。そもそも ALIFE とは、「生命とは何か?」という大問題を通奏低音として、具体的には、「脳と進化の新しい理論」を目指して発展してきた研究分野である。生物学としてではなくダイナミカルシステムズの問題として、生物の数学的記述ではなく実験数学の新しいパラダイムとして生命を解き明かそうというアプローチである。

ALIFE と人工知能

人工知能に対する現在の ALIFE の意義が何かと

言えば、それは人工知能システムにモチベーションを与えることができることであろう。昔、人工知能と ALIFE の違いは、デザインされたものか、自己組織化するものか、の違いであった。たとえば、複雑な IC 回路は自然に生まれるわけではない。コンピュータや飛行機も自生しない。一方で人の脳は、1つの細胞から増殖と分化で生まれてきた構造であるし、鳥の飛翔や魚の遊泳もそうだ。さらに IC 回路には出現しなくて、脳システムや鳥や魚にはあるもの、それが「モチベーション」である。何を計算しようかとか、どんな入力データを好むか、そうした問題は IC 回路の「外」にある問題である。生物には好き嫌いがあり、自分で行動し、自分で探索していく秘密が隠されている。

非常に典型的な例を自動掃除機の Roomba に見ることができる。自動掃除機は作れないと、昔のシンボル操作 (記号とその論理演算) ゴチゴチの人工知能は考えた。なぜならば、そもそもゴミという定義ができないからだ。ゴミが定義できないのならば、ゴミ掃除もできない。それを逆転させたのが Rodney Brooks である。ゴミとは掃除機マシンが片付けられるものである、そう定義をひっくり返したところに成功があった。Roomba は、表象なき知性だ。だから Roomba は ALIFE 的な知性だと言われる。まだ Roomba にはモチベーションと呼ばれるものはないが、掃除行動の動作はシンボル操作で書けるものではなく、身体性の中に埋め込まれている、と考えたところがそれまでの人工知能とは異なっていた。

ALIFE にあって人工知能にはないものとはなにか。Andy Clark によって著された "Being There : Putting Brain, Body, and World Together Again" (1996) という本の一節に次のフレーズがある。「生命の 90 パーセントはただそこにいただけなんだ」と。これこそ

ALIFE が志向するところにはあって人工知能にはないものだろう。では具体的に ALIFE の作り出す Being there 感とは何か。それをエンジニアリングの問題に投影して、大阪大学の石黒研究室と協力して行ったのが、「Alter」というアンドロイドの実験（日本科学未来館、2016年7月29日～8月6日）である（図-1）。これは視覚的に「生き生きした感じ」ではなくて、運動として「生き生きした感じ」を作ろうという試みである。

生命を模倣しようとする、かえって生命性を見失うことがある。前に Google のヘッドクォータに伺って、トークさせてもらったことがある。「意識を持つマシン」の話をしたが、その技術者はあまりそれには興味を持っていなかった。一方で、彼らのやっていることは24時間365日、メールシステムがダウンしないようにシステムを作り上げることであった。なんでもありのオープンな実世界で、正常に動き続けるための仕組みを作る。Messy な技術の寄せ集め。バッドノウハウの塊。しかし、その巨大で複雑だがロバスタな Google のシステムこそ生きているのではないか。そんな気がしてきたのだ。逆に、生命の機能や見かけを模倣して作ったシステムは、どこかで「負けているところ」がある。複雑な実世界で長い時間へたらないシステムには、一定以上の複雑さがあるということは否めない。Google は結果として、生命システムを作っているのではないか。そういう疑問が頭をもたげた瞬間であった。それでは Google が深く関与するインターネットは、すでに生命なのだろうか。

Web は生命か

インターネット・Web は、人類が作り出した恐らくは最も複雑な人工システムである。Web を ALIFE として見たとき、その圧倒的な進化可能性と複雑さが人工的なシステムの上に成立していることが分かる。特にハイパーテキストをベースに Tim Bernard Lee が構築した WWW は、インターネットを画期的な情報網 Web へと進化させた。この Web は、現在テキストにとどまらず映像、音声、各種

データストリームを毎秒数ギガでやりとりする。特にこの Web を生活必需品のレベルにまで格上げしたのは、Google の検索エンジンの貢献が大きいのは言うまでもない。しかし2004年の Facebook、2006年の Twitter と相次いで発表された social network service は、

検索から対話する媒体へと Web を変化させ、それが現在 Web の主要な情報流となっている。Twitter の COE である Erick Schonfeld は2009年に、「Twitter は十億のパルスをやりとりする地球の神経システムだ」といっているが、それはあながち嘘でもない。Web を流れる情報の管理というのは、最初から徹底して並列分散非同期である。そしてこれもまた生命システムの特徴の1つでもある。細胞から脳にいたるまで、生命システムは分散的に情報をやりとりする並列システムである。またスケールするために、それは非同期的でなければならない。

Google がベースとする主要なアーキテクチャは（少し前の用語でいえば）i) PageRank, ii) Web Crawlers, iii) Big table, vi) GFS, v) MapReduce と見ることができた。これは脳のモジュールと考えるのであれば、それぞれ i) 記憶を思い出す順番, ii) 記憶のメンテナンス, iii) 記憶の格納, vi) 記憶の読み出し, v) 記憶の処理、と対応付けることができる。この仕組みは、Web での情報のやりとりを実効的かつ最適に使用とした結果にすぎなくて、脳を真似たわけではない。

インターネットの Web サービスは、結果として色々生命に似たところが生まれてくるのだ。たとえば Twitter を用いて、あるツイートがどのくらいシステムに残存するか、その拡散スピードはどのく



図-1 7月末より東京・日本科学未来館で展示しているアンドロイド「Alter」

らいか、といった計算も初期に行われている。これは、生命システムの学習効果、あるいは記憶効果を類推させるものがあるし、また、YouTube にアップロードされた動画の閲覧回数の時間変化を分析し、そこに2つのタイプ、口承で伝わって皆が見にくいタイプ (endogenous) と、告知されたときに大量に見にくいタイプ (exogenous) があるという。そうしたタイプ分けは、生命システムにも同じものがあると期待されるし、内外の情報の流れが交じり合う様は、生命システムがセンサを通じて外部情報を取り込み、それが内部的に処理されていくプロセスと対峙して考えることができる。

ALIFE の未解決問題

では Web を研究することで、生命の問題は解かれるのだろうか。ここに1つの未解決問題がある。それは ALIFE では多段式の進化が生まれえないという問題だ。たとえば、化学反応のモデルから細胞的な隔壁を作り出すというモデルはできる。しかしそれが集まって多細胞のシステムへと自発的に進化していくことはない。エージェントのモデルを作る。それがコミュニティを作るというモデルはたやすい。しかし、そのコミュニティが進化して、さらに上位の構造 (たとえば、会社のようなものが生まれ、といった構造) が進化してくるということは稀である。進化は起きるが、その進化が放っておくと自動的に進んで、生物進化のように「7つの大遷移」を通り抜けて、さらなる構造を作った例はない。すぐに定常状態に陥ってしまう。これはなぜだろう。なぜ、次々と進化が更新し続けられないのだろうか。「長い時間シミュレーションする」と多段階の進化が生じることを Deep Evolution と呼ぶことにしよう。ALIFE は、Deep Evolution が可能かどうか。この問題は毎回 ALIFE 会議のどこかで議論されている問題である。

最近、RoomClip という Web サービス会社の全データを扱わせてもらって、そのサービスの中の「進

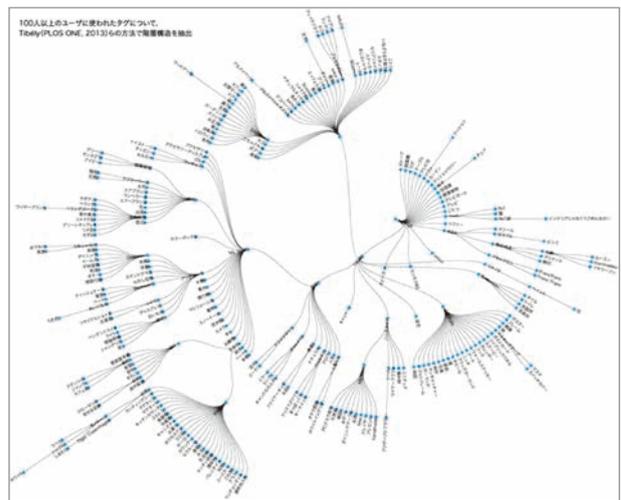


図-2 RoomClip という Web サービスのタグの進化を、共起性をベースに結びつけ、系統樹的に表したもの

化」を解析している。親子関係や明示的な遺伝子がないにもかかわらず、その進化プロセスは、まるで生物進化のような様相を呈する (図-2 を参照のこと)。興味深いのは、この Web サービスの進化には、相転移のような転移現象が観測されることである。この Web サービスに多段階の Deep Evolution が起きるのか、それは今後明らかになるはずだ。

ALIFE からのメッセージ

ALIFE の目下の問題は Deep Evolution であり、それは、ダーウィン進化への挑戦でもある。ダーウィンは進化のある1スナップショットから、全体の進化の運動に関する理論を打ち立てた。今、爆発的な全データをもとに、我々は人工的な進化システムの全時間発展を見ることが出来る。このとき果たしてダーウィンの進化論は150年ぶりに更新できるのだろうか。ALIFE は次の第4次人工知能ブームを見据えて、そういうことを模索している。

(2016年7月23日受付)

池上高志 ikeg@sacral.c.u-tokyo.ac.jp

理学博士 (物理学, 1989)。現在は東京大学大学院総合文化研究科・教授。専門は複雑系の科学・ALIFE。現在の興味は、生命らしさを化学反応やロボット, Web, あるいは巨大な群のシミュレーションに見ることにある。