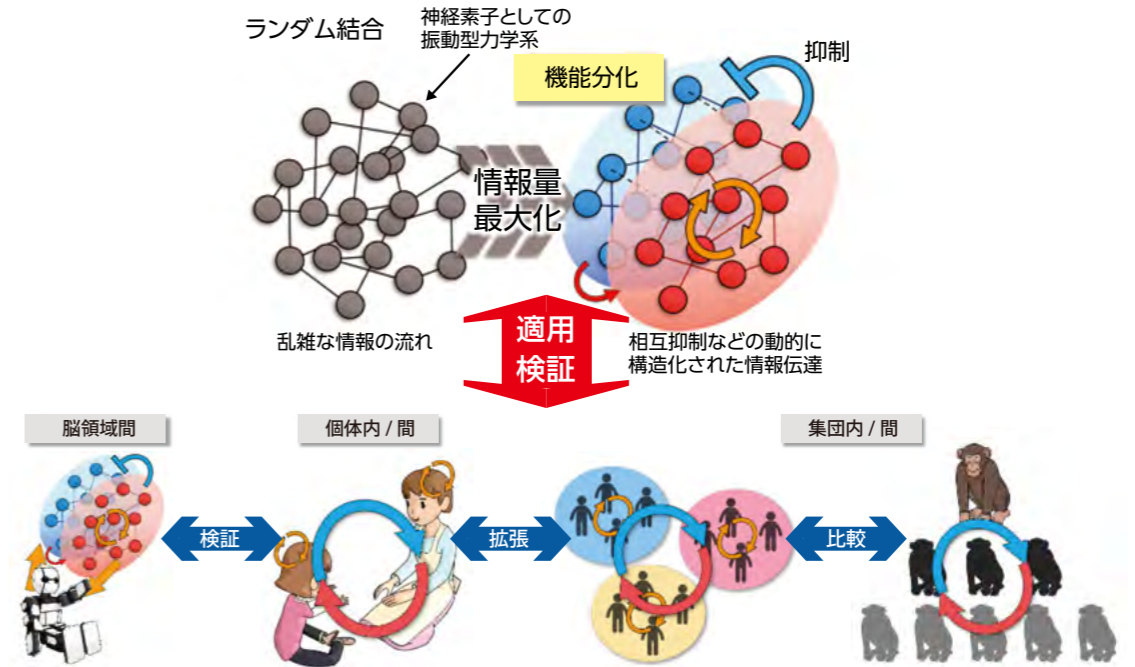


心を数学で解き明かし 人工知能との共生社会をつくる

ロボットや自動運転車など、人工知能と共生する社会の実現が迫っている。通信技術の発達によって急速に複雑化する環境から、人間や人工知能はいかに情報を認識し、機能を発揮していけるだろうか。より高度な人工システムを構築するため、中部大学創発学術院の津田一郎教授は、人間の脳活動や集団行動から機能分化の原理を見いだそうと、2017年10月にCRESTの研究をスタートした。同大の松田一希准教授も研究チームに加わり、解析対象を霊長類の集団行動へと広げ、多様な環境で適応可能な共通原理の探索に挑む。



■図1 脳領域の活動や、個体および集団レベルで人間や霊長類に見られる行動から、複雑な環境に適応して機能分化する原理を探っていく。

脳の機能分化を数理モデル化 複雑な環境に適応するロボットへ

人間の心は数学であると、中部大学創発学術院の津田一郎教授は語る。「古代エジプトやギリシャでは、自分の土地の区画を決めたいという人々の思いを実現するため、土地測量が発達し、図形を調べる幾何学の起源となりました。さらに、土地の広さを知らうとする心から、面積を測る解析学が生まれました。物を分類する心の動きを形にしたのが、1つ、2つと数える代数学です」。

数理科学者である津田さんは、心

をつくる脳の活動を数学で解明することに長年取り組み、その複雑な神経ネットワークの数理モデルを構築してきた。

脳の構成部品である神経細胞は、単独ではその動きに意味がなく、脳というシステムに入って初めて機能する。自転車は、ハンドル、ブレーキ、タイヤなどの部品で成り立つが、部品だけでは機能しない。組み立てられ、自転車というシステムを構成することで、部品の動きが意味を持つ。

脳はシステムとしての目的や条件に応じて部品になるものがすぐさま変わるという点で、自転車と異なる。システム全体に環境からの拘束条件がかかると、部品間の相互作用により、部品レベルで、あるいは、部品システムレベルで、新たな機能が発現(機能分化)する。

「神経細胞同士の自律的な相互作用の結果、部品だけでは持ちえなかった高度な情報処理機能を獲得します。脳が機能分化する条件を明らかにし、数理モデル化すれば、人間との相互作用で瞬時に学習し、適切に振る舞いを変えるロボットの実現にもつながるでしょう」と津田さんは言う。

脳神経細胞の結合を模倣したニューラルネットワークは、深層学習の基盤となり、人工知能を飛躍的に発達させてきた。津田さんは機能分化の数理モデルを導き出し、多様な環境にも適応できる人工システムの設計原理にしたいと考えている。

優れた集合知を生み出す 相互作用を探る

機能分化の鍵を握るのが、相互作用だ。生物は多様なレベルの相互作用を繰り返して、複雑な環境の変化にも柔軟に適応し、生き延びてきた。

「脳の活動変化の他、個人や集団における相互作用を解析します。人間や霊長類の行動から、多種多様な相互作用に共通する適応原理を見だし、数理モデル化していく予定です」と、津田さんは研究の目的を語る(図1)。

その一例として、親子を同時に計測可能な脳磁図を用いて、対面時の脳活動の変化を計測している。子供の脳の発達段階において、他者と接した際の相互作用による機能分化の原理に迫ることが狙いだ。

「三人寄れば文殊の知恵」といわれ

るように、複数の人間が集まることで、個人の能力を上回る知恵が得られることがある。これを「集合知」と呼ぶ。多くの生物は、いわば部品である個体同士の相互作用により、集団としての機能を持つ。しかし、集団内の相互作用がうまく働かず、「烏合の衆」と化することもある。その境目はどこにあるのか。

「通信技術の発達によって、人間を取り巻く環境は複雑化し、相互作用は質的にも量的にも変わりました。うまく相互作用しないと情報を取得できず、生きていけません。個人よりも機能の優れた集合知を生み出し、複雑な環境に適応して能力を拡大できるような相互作用の条件を探りたい」と津田さんは意気込む。

まつだ いっき 松田一希

中部大学
創発学術院 准教授

北海道大学大学院地球環境科学研究科博士課程修了。博士(地球環境科学)。京都大学霊長類研究所特定助教などを経て、16年より現職。専門分野は霊長類学で、東南アジア、アマゾン、アフリカの熱帯林で野生霊長類の生態観察に取り組む。

$$\delta \int_0^T \left\{ C(x, t) + \mu \left(x, \frac{dx}{dt}, t \right) \left(\frac{dx}{dt} - f(x, \lambda) - G(x, t) \right) \right\} dt = 0$$

オスの鼻が大きいほど 群れのメスが増えるテングザル

霊長類学を専門とする中部大学創発学術院の松田一希准教授は、霊長類の集団内、集団間の相互作用の解析を担当している。

10年以上にわたって観察し続けているのが、テングザルだ。東南アジアのボルネオ島に生息し、オスはその名の通り、天狗のように長く大きな鼻を持つ(図2)。

「テングザルは1頭のオスが複数のメスと子で、ハーレム型の群れを形成します。しかも、テングザルは人間と同じ重層社会で、複数のハーレムが集まり、さらに大きな集団を形成しています。人間の社会の成立要因を探るた

めのモデル生物になります」。

通常、天敵の数や餌の量などが拘束条件となって群れを形成する。拘束条件が過酷な環境であるほど、集団を作りやすい。しかし、ボルネオ島は餌が豊富だ。テングザルを襲う捕食動物はいるものの、熱帯の森には身を隠す場所が多く、他にも標的になる動物がたくさんいる。小さな集団でも生きていける環境にもかかわらず、重層社会という大きな群れを作る機能が発現するのは、進化の過程でどのような拘束条件がかかっているのか。

遺伝的にヒトに近いチンパンジーなどの大型類人猿は単層社会で、最小単位の集団である群れは縄張りを持ち、群れ同士は排他的である。ヒトから遠く離れた系統であるテングザ

ルの社会形成メカニズムが、人間の社会の重層化をひも解くモデルになると期待がかかる。

鼻が大きくなった謎を 生態や形態データで解明

テングザルのオスはなぜ大きな鼻を持つのか。チャールズ・ダーウィンは、動物の世界でオスが派手で装飾的な形態を持つのは、メスをめぐってオス同士が争った結果であると、「性選択による進化」を唱えた。松田さんはこの進化のシナリオを霊長類で初めて実証し、謎の一端を解明した。

2011年から15年にかけて、野生のオス18頭の鼻の長さや幅、体重、睾丸の容量を測定した。また生態調査のデータから、ハーレムを持つオスの鼻の大きさと、所属するメスの数を割り出した(図3)。その結果、鼻の大きなオスほど体重が重く、睾丸の容量が大きく、そしてハーレムのメスが多いことがわかった(図4)。

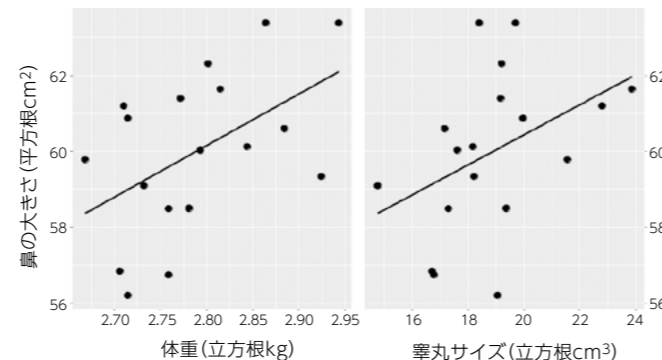
また国内外の動物園で飼育されている7頭の鳴き声を録音し、体重と鼻それぞれの影響を受けている音域を

■図2

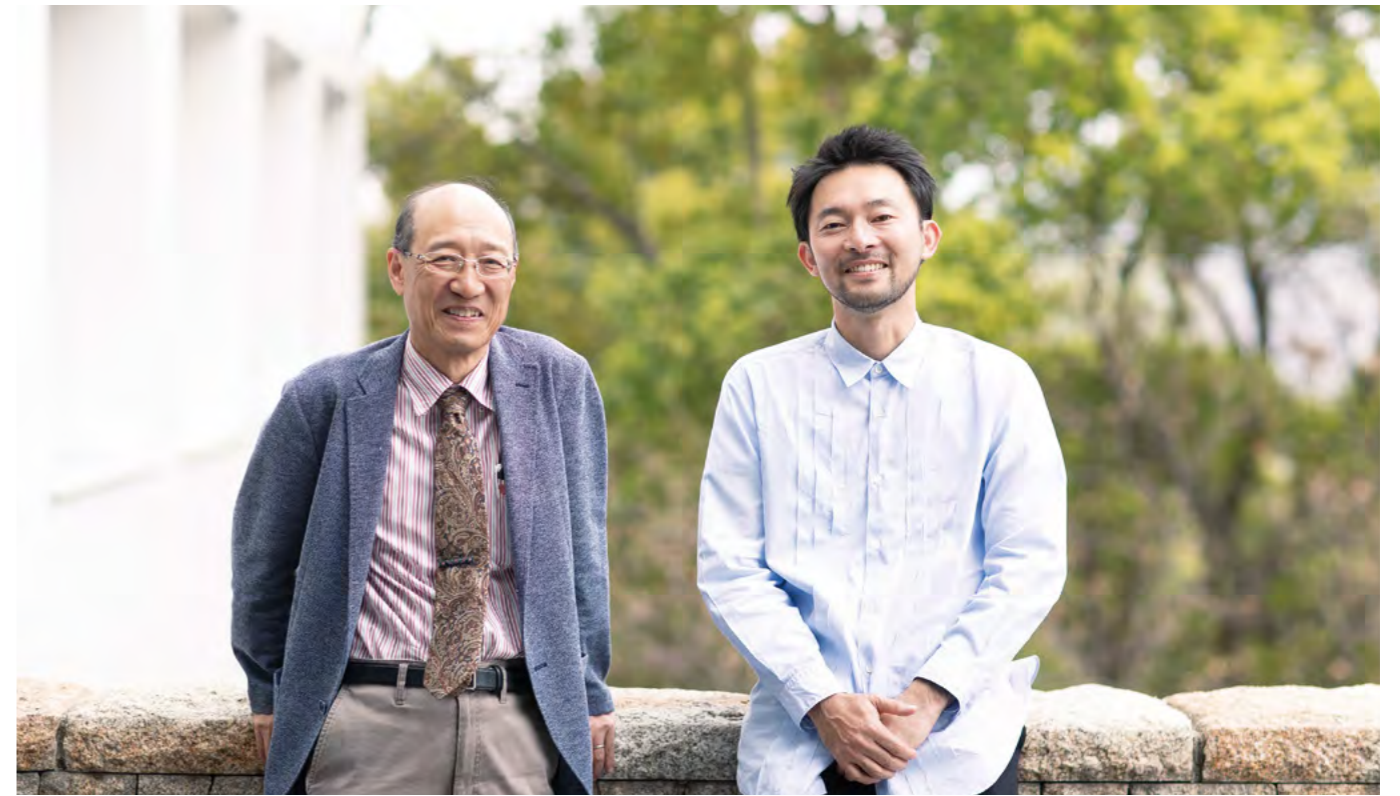
後ろから2番目がハーレムのオス。長く大きな鼻を持つのはオスだけの特徴だ。オスの体重は約20キログラム。メスはその半分くらいの重さしかない。



■図3 テングザルは絶滅危惧種なので捕獲はせず、正面から撮影した顔写真を用いて、パソコンの画像解析で顔に対する鼻の比率を計測した。



■図4 オスの鼻の大きさと、その体重と睾丸の容量を調べたところ、オスの鼻が大きいほど体重が重く、睾丸が大きいことが明らかになった。



松田さん(右)が集めた霊長類の形態や生態データを、津田さん(左)が数理モデル化する。

解析したところ、鼻が大きいほど声が低くなるという相関関係が判明した。すなわち、オスの声の低さは肉体的に強く繁殖能力が高いことの証で、密林で顔が見えない状況でも、オスの鼻の大きさは聴覚的にメスを魅了する指標となっている。

複数のハーレムが集まった重層社会は、外敵から身を守るために非常に有利だ。一方で、必然的にオス同士の距離が近くなり、オス同士の競合は高まるはずだが、鼻という視覚的にわかりやすい強さの指標があるおかげで、無駄な争いをせずに済む。

松田さんはこれまで一方向的な進化モデルを描いていたが、CRESTに参画したことで、形態や社会、音声など全ての生物学的要素が相互作用し、それぞれの要素に機能をもたらしていることに気付いたという。「鼻の形が特殊化し、重層する大きな集団の形成を可能にしたのは、集合知がうまく機能した良い例ではないか」と思い至った。重層社会を作るからこそ、肉体的な強さや繁殖能力の高さを鼻の大きさや声の低さで示すように進化していると、新たなモデルを提案した。

さまざまな生物学的要素がどう相互作用し、テングザルの性選択や群れの形成に影響を与えているのか。鼻の大きさ以外の要因も視野に入れ、松田さんがフィールドワークでデータを集め、津田さんが数理モデル化していく予定だ。

環境に即時適応する原理を 医療の高度化に役立てる

画像診断で明らかになった脳の神経ネットワーク構造を参考に、津田さんは機能分化の数理モデルを構築し、どのように環境と相互作用するのか解析を始めている。

「コンピューター上に再現したヘビ型ロボットに数理モデルを組み込み、数値シミュレーションで検証しています。ヘビが移動する地面の滑らかさを変化させると、体のくねらせ方がどう変わるのかを調べています。これを基に、機能分化の数理モデルをロボットの学習に展開します」。

ヘビ型ロボットが地面の状態に最適な動きを速やかに獲得できれば、その数理モデルは環境に適応する原理と

して有効だといえる。

複雑な環境に即時適応する原理は、こうした人工システムの開発にとどまらず、多様な用途に活用できると、津田さんは説明する。

「数理モデル化の延長として、体内の複雑な環境と、そこで起こるさまざまな生命現象を規定する要因も見いだせると期待されます。例えば、全国の病院の診断と治療行為、さらには治療結果のデータを集めれば、体内の代謝ネットワークに影響を及ぼす拘束条件を解明できるはずで、未病状態の推測や治療効果の予測もできるようになるでしょう」。

約30年前、津田さんは脳の連想記憶メカニズムに関連する2つの数理モデルを提案した。それぞれのモデルが正確であることが、昨年に引き続き今年3月、海外の数学者らのコンピューターを用いた数理解析によって厳密に証明された。津田さんは脳科学における数学的分析の先鞭をつけてきた。次はどのような数式で人間の心が表現されるのだろうか。新たな数理モデルがまた、生まれようとしている。