

道具を使う—— 心と言語とヒトが生まれるとき

入来篤史

脳科学総合研究センター
知的脳機能研究グループ
グループディレクター
象徴概念発達研究チーム
チームリーダー

いりき 入来篤史チームリーダーいわく、「ヒトの一番の特徴は、“いいかげんさ”かな」。

会話をしているとき、相手の心の中は分からない。けれども、とりあえず“自分と同じ”として話を進めてしまうことがあるだろう。「他者と自分は同じという

“概念”をつくり、“いいかげんさ”、“あいまいさ”を認めること。

それが、ヒトの知性の源だと思っています」

では、ヒトの知性は、どのようにして生まれたのだろうか。

入来チームリーダーは、道具の使用がきっかけになったと考えている。

これまでに、ニホンザルやネズミの一種デグーが、訓練によって

道具を使えるようになることを実証。ヒトの知性へとつながる

脳機能の変化が見えてきた。

ニホンザル



デグー

ニホンザルとデグー

入来TLは、訓練することでニホンザルとデグー（ネズミの一種）が道具を使用できるようになることを示した。道具を使うといった高次機能を担う脳の仕組みはヒトや一部の霊長類以外にももともと備わっており、道具を扱える器用な手と高機能な目を持つニホンザルとデグーは、訓練することでその機能を使えるようになったと考えられる。デグーの手には親指のような突起があり、細い棒などを握ることができる。



IRIKI Atsushi

1957年、東京都生まれ。歯学博士、医学博士。東京医科歯科大学大学院歯学研究科博士課程修了。ロックフェラー大学助手、東邦大学医学部生理学第一講座助教授、東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科認知神経生物学分野教授などを経て、2004年より現職。専門は神経生理学。



ヒトとは何かを知りたい

「ヒトとは何か。ヒトをヒトたらしめているのは何か。それを知りたいと思ったのです」。これが、入来篤史チームリーダー（TL）が研究の道に入った動機である。高校生の時のことだ。「いろいろ考えた結果、ヒトをヒトたらしめているのは“言葉”だと思い、言葉を話す脳のメカニズムを知りたい、と思うようになりました」。しかし、まだ1970年代後半。言語が脳科学の対象となったのは、それからずいぶんたってからだ。言語を科学的に研究するために入来TLが選んだのが、歯学部。「だって、口でしゃべるでしょう。みんな笑うけれど、まじめに考えた結果なんです」

それから20数年。入来TLは、理研脳科学総合研究センター（BSI）で象徴概念発達研究チームを率いている。研究チームのホームページを訪れると、ゾウがウインクしている。「象徴概念だからね。シャレですよ。外国人に説明するのは難しいんだ」と笑い、研究チームのコンセプトをこう説明する。「ヒトは抽象的なことを考えるとき、いろいろな概念をつくります。サルとヒトの脳の基本的な設計図はそれほど変わりませんが、できることはずいぶん違います。概念の形成を可能にする脳の高次機能の基盤は、サルからヒトへ進化する過程でどのようにつくられたのか。その解明を目指しています」

歯学部で学ぶのは、口腔疾患の予防や診断、治療が中心だ。言語とはつながりそうもないのだが、入来TLはど

う感じていたのだろうか。「一度決めたら、その環境での最善のことをやるだけです。一生懸命にやっていると、必ず次の分岐点がやって来ます。そのとき人は、やりたいことにつながる道を自然と選ぶものです」。学部では口の知覚を、大学院では口の運動を研究した。赤ちゃんがおっぱいを吸う行動は本能的なものだが、咀嚼になると、学習が必要になる。入来TLは、咀嚼にかかわる口の運動学習のメカニズムについて研究を進めた。

そして1987年、米国のロックフェラー大学へ渡り、手の運動学習のメカニズム解明に取り組み、大きな発見をした。「手の運動学習には触覚の情報を処理する体性感覚野からの情報が重要で、運動野に“長期増強”があることをネコを用いた研究で発見したのです」と、入来TL。長期増強とは、特定の神経細胞に繰り返し刺激が与えられると、隣の神経細胞に情報を伝えるシナプスでの情報伝達効率が増強される現象だ。長期増強は視覚野と記憶をつかさどる海馬で発見され、その領域特有の現象だと考えられていた。「今では多くの領域で長期増強が見つっていますが、当時は、運動野にあるはずがない、と誰も相手にしてくれませんでした」と振り返る。「手の運動学習には体性感覚野が大事。それならばと、サルを用いた体性感覚野の研究を、日本に帰って本格的に始めました」

入来TLが体性感覚野を選んだ理由が、実はほかにもある。「視覚野を研究している人は、世界中にたくさんいます。視覚野の機能を調べる場合、別室にいるサルにスクリーンの映像を見せたりすればよいのですが、体性感覚野の機能を調べようとしたら、サルと同じ部屋に入って直接接触する必要があります。引っかき傷や打ち身もできて、大変なんですよ。だから、体性感覚野を研究しているグループは世界で10くらいしかなかった。しめた！と思ったのです」

ニホンザルが道具を使う

1993年の正月、入来TLは大きな契機をつかむ。沖縄で休暇を過ごしていた入来TLは、家族と一緒にホテルにあるカジノを模した施設でルーレットをしていた。ディーラーが、レーキと呼ばれるくま手のような道具を使い、テーブルに積み上げられたチップの山を移動させていく。その動きを何げなく見ていた入来TLに、あるアイデアが浮かんだ。——サルにくま手を使って餌を取らせてみよう。道具を使えるようになったときの脳機能を調べれば、ヒトの脳へとつながる変化が見つかるのではないか。

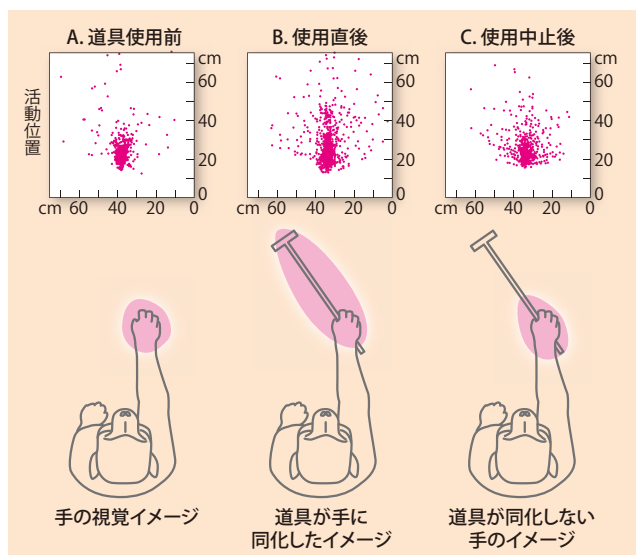


図1 ニホンザルの道具使用時における神経細胞の活動

ニホンザルにくま手を使って餌を取る訓練を行った。体性感覚野のすぐ後ろの頭頂連合野には、体性感覚を視覚情報とすり合わせ、自分の身体を認識したときに活動する神経細胞がある。くま手を持っていないとき (A)、くま手を道具として使っていないとき (C) には、その神経細胞は手だけを認識するように活動する。くま手を道具として使っているとき (B) には、その神経細胞はくま手があたかも手の延長になったと認識しているかのように活動するようになる。

しかし、「ニホンザルに道具が使えるはずはないと、長期増強のときのように、さんざん非難されました。でも、自分の直感を信じました」

入来TLは、ニホンザルを相手に、手が届かないところに置いた餌をくま手を使って取らせる訓練を始めた。最初はできなかったが、数ヶ月訓練を続けると、それができるようになった。そこで、神経細胞の活動を調べてみると、興味深いことが分かった。脳の頭頂連合野という領域の神経細胞の活動様式が、道具の使用訓練の前後で変化したのだ。「頭頂連合野には、体性感覚を視覚情報とすり合わせ、自分の身体を認識したときに活動する神経細胞があります。普通のサルにとってくま手はただの異物ですから、その神経細胞は活動しません。しかし、訓練によってくま手を道具として使えるようになると、くま手があたかも自分の身体の一部になったかのように、その神経細胞が活動するようになるのです (図1)」

入来TLは続ける。「くま手は自分の身体ではないけれども、身体の一部ということにしまおう。手という概念にとりあえず含めてしまおう。神経細胞の活動を見ると、ニホンザルはそう認知していると解釈するのが一番自然だと思いました」。道具を使っているとき、道具が自分の身体の一部のように感じたことがあるだろう。その状態だ。

自然界ではほとんど道具を使わないニホンザルも、訓練によって道具を使うという高次機能を発揮できること、さらに道具使用の前後で脳機能が変化することを示

したこの成果は、大きな注目を集めた。

道具を理解し使えるネズミ、デグー

入来TLがBSIにきたのは2004年。「最近、短期間で成果が出て、しかも直ちに世の中の役に立ちそうな応用研究に予算が付きやすい傾向があります。でも、BSIはすぐには応用できなくても本当に意味があって究極の役に立つ研究ならばやらせてくれる。ヒトとは何か。このような研究はここでしかできません」

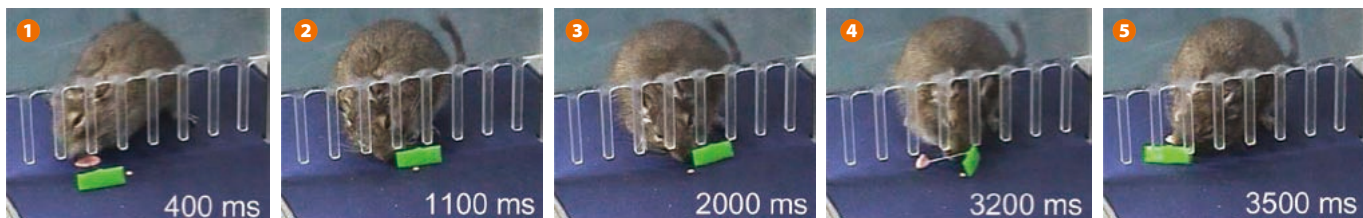
2008年3月、入来TLはBSI生物言語研究チームの岡ノ谷一夫TLとの共同研究の成果をプレスリリースした。翌日、「ネズミも道具使えまチュー くま手で餌をキャッチ」(中国新聞)、「ネズミ:道具使った! くま手で餌」(毎日新聞)といった見出しが、新聞各紙を飾った。「今回の成果の要点は、ネズミの一種のデグーを訓練して道具の機能を理解させることができた、というものです。海外でも『The New York Times』や『Scientific American』など一般向けのメディアが取り上げてくれました」

デグーは、南米のアンデス山中に生息する、体長約12cm、体重約200gの齧歯類だ。なぜ実験にデグーを用いたのか。「そこにいたからですよ」。入来TLは笑って答える。デグーは、岡ノ谷TLたちが以前から飼っていたのだ。「歌うネズミ」とも呼ばれ、いろいろな声で鳴いてコミュニケーションを取ることから、言語の研究に使えるのではないかと考えていたのだという。デグーは、大きさの異なる容器を順番に重ねる“入れ子操作”を器用に行う。そんなデグーの姿を眺めていた入来TLは、再びひらめいた。——デグーは道具が使えるんじゃないか?

ニホンザルのときと同じように、デグーに対してまずは、くま手の手前に餌を置いて、くま手を真つすぐ引いて餌を取る訓練をした (図2)。これは、約1週間でできた。その後、餌がくま手より遠くにある場合には、くま手を餌より奥に押し出してから引くという高度な技術も習得した。さらに、歯が欠けたくま手と、きちんと使えるくま手を並べておくと、使える方を選んだ。これらのことから、デグーは、くま手を手の届かない場所にある餌を引き寄せる道具として認識しており、外見からその機能を推測して機能的なものを選べることが分かった。

道具使用に特別な脳機能は要らない

これまで、ネズミが道具を使うとは考えられていなかった。では、なぜデグーは道具を使えたのか。入来TLは、



PLoS ONE 提供

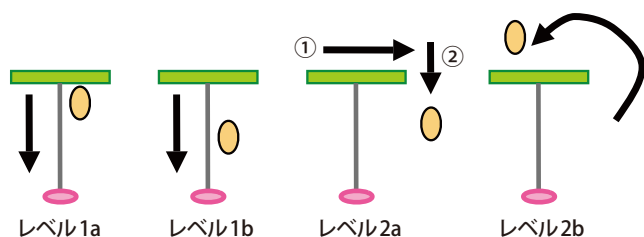


図2 デグーの道具使用訓練の様子

6匹のデグーにくま手を使って餌を取る訓練を60日間行った。くま手を真つすぐに引くだけで餌を取ることができるレベル1a、1bは、約1週間でできるようになった。最終的には、くま手を横方向に移動させたり、前に押し出す必要があるレベル2a、2bも、6匹すべてができるようになった。写真は、レベル2bの課題を行っている様子。一度失敗したが(2)、すぐにくま手を餌より奥に押し出し、くま手の位置と角度を調整して(3④)、餌を取ることに成功した(5)。1ms(ミリ秒)は1000分の1秒。

「外界に働き掛けることができる器用な手と、その結果を確かめることができる高機能の目という、霊長類が持っている特徴が、たまたまデグーにもあった。手や目からの情報を処理できる脳があれば、道具を使えるのです」と解説する。「道具を使うという高次機能には、ヒトや一部の霊長類だけが持つ特別な脳機能が必要だと考えられていました。しかし、そうではなかった。道具の使用などの高次機能を担うことができる脳の仕組みは、ネズミにもサルにも、もともと備わっている。訓練することで、その機能を使えるようになったのです」。自然界におけるサルからヒトへの進化の過程でも、実験室での訓練に相当するような何らかのきっかけがあったのだろう。

今回の成果は、ヒトの脳を知るための大きなステップとなる。「分子生物学的な手法をサルに使うのは、大変です。生命科学の実験でマウスを使うように、私たちも分子生物学的な手法が使える実験系が欲しかったのです」。象徴概念発達研究チームでは、すでにデグーを使い、道具の使用を習得する前後で遺伝子の働き方や神経細胞の活動にどのような変化があるか、分子レベルでの解析に着手している。

心と言語が生まれるとき

「道具の使用に伴って起きた脳機能の変化は、心を生み出した」と入来TLは考えている。道具を使うという行為は、「主体」である身体が「客体」である道具を動かすことだ。ニホンザルの例で紹介したように、道具を使うとき、道具は主体である身体の一部として認識されている。それは同時に、身体は道具と同じ客体として認識されていることにもなる。すると、客体である身体と道具を動かす主体を想定しなければならなくなる。それが「心」だ。

ニホンザルの実験では、興味深いことがもう一つ起きていた。くま手で餌を取る訓練を進めていくと、餌が欲しいときと、餌を取るくま手が欲しいときで、異なる新

しい鳴き声を出すようになったのだ。「道具の使用と言語がつながっているのではないかな。そう感じますよね」と入来TL。「道具の使用と言語は並行して進化したと考えています。象徴概念の操作、複雑な運動の制御など、道具と言語を操ることにはいろいろな共通要素があります。道具の使用で起きた脳機能の変化によって、どのように言語が生まれ進化してきたのかを探っていききたい。20年以上かかりましたが、ようやく出発点に戻ってきました」

神経細胞には、自分がある動作をしたときに活動し、他者が同じ動作をするのを見たときにも活動するものがある。このミラーニューロンはさまざまな脳機能にかかわっており、よくいわれる心や言語の誕生と進化に加えて、世界観や文化文明の形成、さらにももの考え方や感じ方の特徴や構造などの人間知性の根源もその特性で説明できると、入来TLは考えている。「近い将来、心や言語、そして知情意までも神経細胞レベル、分子レベルで解き明かすことができるようになるでしょう」

ヒトとは何か——その答えは見えてきたのだろうか。「まだまだです。私は、そこにある問い掛けを一つ一つ解いていくだけ。自然の中に真実があるのだから、自然に謙虚にならなければいけません」。“Study nature, not book(書を捨て自然を観察しよう)”。これは、入来TLが生物学者だった祖父から教えられ、今も心に刻み込んでいる言葉だ。「単位や法則などに自分の名前を残したいですね。既存の科学観を書き換え、新しい時代をつくりたいんです」。そう語る入来TLの表情には、好奇心と自信があふれている。

R

(取材・執筆：鈴木志乃)

関連情報

- 2008年3月26日プレスリリース「ネズミの一種“デグー”を訓練して道具機能を理解させることに成功」
- 『道具を使うサル』(入来篤史著、医学書院、2004年)
- 象徴概念発達研究チームのホームページ
<http://www.brain.riken.jp/labs/scd/index.html>