

When robots go wild

野に出る ロボットたち

Nature Vol.434(954-955)/21 April 2005

Jonathan Knight



交尾ゲーム:アオアズマヤドリの求愛行動の研究にロボットが使われた。

G. PATRICELLI

ロボットが研究室を抜け出て野生動物の世界に入り込もうとしている。動物行動を動物型ロボットを使って調べる研究が盛んになってきたのだ。生物の振る舞いを決めているのは何なのか。この問題の解明に、動物ロボットがどのように役立っているかを Jonathan Knight が取材した。

米国ワイオミング州の大草原では、今春もキジオリイチョウ (*Centrocerus urophasianus*) が交尾相手を見つけようと集まっているはずだ。しかし、メスを意識しながら誇らしげに気取って歩くオスのうち何羽かはきっと面喰うことになるだろう。オスたちが交尾に誘おうとするメスのうちの1羽は機械仕掛けのにせもので、鉄道模型の線路の上を走り回っているのだ。

行動生物学者 Gail Patricelli は10メートルほど離れたやぶの中にうずくまって、鳥ロボットの動きを遠隔操作で操っている予定だ。事態が手におえなくなった場合に備えて、彼女はロボットを救う準備もしている。「最悪のシナリオは、ロボットが脱線してしまってオスに引き裂かれるか、ワシが舞い降りて襲いかかり、持って行ってしまうこと」と Patricelli は言う。そうになってしまえば彼女が数カ月を費やして準備した実験が突然終わってしまうことになる。

Patricelli はカリフォルニア大学デー

ビス校の助教授で、機械工学に明るく、行動生物学にロボット工学を応用する手法をいち早く取り入れた生物学者のひとりだ。無線送信機やコンピューターチップ、デジタルカメラ、音声録音機が小さく、安くなったおかげで、研究費が乏しい若手研究者でも自作ロボットに手が届くようになった。

その結果、以前は検証が難しかった動物行動学の仮説を試す実験に、リスからロボスターにまでいたるロボットが使われるようになった。マクォーリー大学 (オーストラリア・シドニー) の動物行動学者 Christopher Evans は「ロボットは動物行動学研究に新しい手法をもたらした。私たちはこのようなテクノロジーに飛びついて、『この実験ができるようになるのを20年間待っていたんだ。それがとうとう可能になった』と喜ぶことがよくあるが、まさにそういった雰囲気がある」と話す。

動物ロボットの可能性を初めて探った研究者の中に、デンマークのオーデ

ンセにある南デンマーク大学の Axel Michelsen がいた。Michelsen は1990年代初め、ミツバチのダンスの解読に使うため、機械で制御され、ろうでコーティングされた真ちゅう製のミツバチを製作した。ミツバチのダンスは、巣にいるほかのミツバチに食料の在りかを教えるためのものだ。真ちゅう製ミツバチは、通常のミツバチよりも少し大きく、折れたかみそりの刃で作られた羽根を1枚だけ備えていた。このミツバチは本物のミツバチによく似ているわけではない。だが都合のよいことに、ミツバチの巣は真っ暗なのでそれがばれることはない。

ミツバチはダンサーを見ることができないため、主にダンサーが作り出すパルス状の空気の流れによってその動きを感じとる。Michelsen は、本物のミツバチが演じるダンスの一部分を人工ミツバチに演じさせてみて、食料への方向とそこまで距離をダンスでどうやって伝えるのかを見出した¹。

セクシーボーズの研究

Patricelli は動物ロボットを使う研究手法に夢中になり、アオアズマヤドリ (*Ptilonorhynchus violaceus*) の求愛に関するポストドク研究のために鳥型ロボットを作った。それはかなり単純なものだった。メスのぬいぐるみで、操作レバーをひねると、うずくまったり、頭を回したり、羽根をふくらませたりすることができた。それでも本物のオス鳥にとっては、まったくにせものには思えない出来だったようだ。Patricelli は、オスはディスプレイ (誘示行動) の激しさをメスの合図に応じて加減することを発見した。メスが受け入れるように見えると大きさにディスプレイを行い、メスが冷淡だとディスプレイをトーンダウンさせるのだ²。

このアオアズマヤドリロボットは、Patricelli がもっと精巧なキジオリチョウロボットを製作したため、今は引退して段ボール箱におさまっている。新型ロボットは無線操縦で方向を変え、オスにとって挑発的なうずくまる動きをするだけでなく、オスの反応をとらえるためビデオ撮影と録音を行う装置も備えている。

実験のポイントは、キジオリチョウの交尾のシグナルを監視することだ。「外部から単に観察しているだけの場合、鳥どうしの会話をときほぐすのは難しい。しかし、鳥の一方を操縦している場合は、そこで何が起きているかがよりよく分かる」と Patricelli は話す。キジオリチョウはレックの中で交尾する。レックはオスが求愛のために集まる開けた場所で、そこでオスは誇らしげに歩き回り、羽根をディスプレイし、胸の喉嚨から太鼓をたたくような大きな音を出す。ロボットは本物のメスのようにレックを歩き回り、さまざまなオ

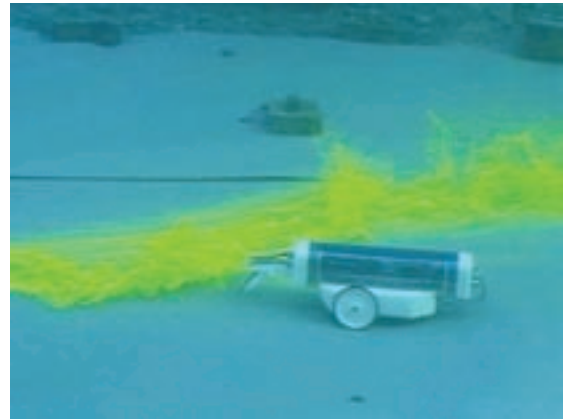
スを「観察」し、体の後ろの部分動かすことによってオスへの興味を表す。Patricelli は、オスにとってメスのどの動きがもっとも刺激的で、それにオスがどう反応するかを知りたいと考えている。

鳥の場合、ロボットに自然な動きをさせるのはわりと簡単だ。鳥の動きはもともと少し

ぎくしゃくしていて、元々がロボットのようなからだ。Patricelli の作ったキジオリチョウはかなりスムーズな動きをするが、それが必ずしもポイントとなるわけではない。というのも、動物は同じ種の動物を見分けるとき、きわめて限られた刺激に反応するらしいからだ。たとえば、Evans とマクオーリー大学の同僚 Ann Goth は昨年、卵からかえったばかりのヤブツカツクリ (*Alectura lathamii*) が同じ巣の仲間を見つけるのにどんな手がかりを探すのかを見つけるため、ひなのロボットのシリーズを作った。ロボットはみな同じように見えるが、注目を一手に集めたのは、狩猟鳥によくみられる、ぎくしゃくしたついでにむく動作をするものだった³。

ロボットは、異なる種の間でのコミュニケーション研究にも役立つことが分かってきた。Patricelli の研究室から大学のキャンパスを横切ったところに、数十匹のガラガラヘビ (*Crotalus viridis*) を飼育している部屋があり、このヘビは大学院生 Aaron Rundus がつくったロボットリスと定期的に遭遇することになっている。

カリフォルニアジリス (*Spermo-*



鼻を使って：ロブスターロボットは獲物へ近づくために、においのブルームを追いかける。

philus beecheyi) はガラガラヘビの好物だが、いつでも簡単に捕らえられるというわけではない。おとなのリスはヘビの毒に抵抗力を持つのできわめて大胆で、尻尾をフロントガラスのワイパーのように振るなどの攻撃的なディスプレイをしてヘビを追い払うこともよくある。

このディスプレイがユニークなのは、視覚と赤外線両方の刺激を使っているらしいことだ。ガラガラヘビは熱に非常に敏感なので、リスは尾を振るとき、尾の温度を 2°C も上げる。Rundus は昨年 6 月、メキシコのアオハカでの動物行動学会年会で、同じリスが熱に鈍感なゴファーヘビ (*Pituophis melanoleucus*) に尾を振るときには、尾の温度を上げないらしいことを報告した。

ガラガラヘビの反応が熱のシグナルにどれだけ影響されるかを調べるため、Rundus はデービス校の機械工学者 Sanjay Joshi と協力し、ぬいぐるみのリスを作った。このリスの尾はモーターで動き、温度を上げ下げできる。Rundus はこの未発表の研究成果について詳しくは話したがらなかったが、実験はうまくいっていることをほめか

している。Rundusによると、重要なのは野生では行えなかった制御された実験がロボット工学で可能になったことだ。ガラガラヘビに出会っても尾の温度を上げないようにリスを説得するのは不可能である。「これは行動生物学で長い間、待ち望まれていたことだ」とRundusは話す。

ロブスターやゴキブリも

動物の行動をまねるロボットを作れば、そのロボットが実際の生き物とのやりとりをしなくても分かることは多い。たとえば、ニューヨーク市立大学ブルックリン校生体模倣技術・認識ロボット工学研究室のFrank Grasso 室長は、水の中のおいをついたブルームを追いかけるロブスター（ウミザリガニ）ロボットを作り、ロブスターが獲物をどうやって見つけ出すのかを研究した。「このロボットのおかげで、以前からあった仮説をより正確なものにすることが可能になった」とGrassoは話す。

ロブスターは、においの濃度の高い方向へ泳ぐことで獲物を探し出すと考えられていた。しかし、室内での実験では、この原則だけで動くロブスターロボットは、特に獲物から離れているとき、うまく獲物を探し出すことができなかった。Grassoらは、これは水中のおいの勾配を乱流があいまいにするためかもしれないと考え、ロボットに流れを感知することができるセンサーをつけ、においは上流から来ると仮定させることにした。この改良ロボットは、本物のロブスターとよく似た動きをした⁴。

しかし、それでもロブスターロボットが自然界のロブスターとまったく同じように振る舞うわけではない。Grassoは、たとえばにおいのブルームを見失ったときのために記憶アルゴリズムをつ

け加えるなど、ロボットの改良を続けた。「ロボットのおかげで、ロブスターの脳の中で何が起きているかのモデルを一步步組み立てることが可能になった」とGrassoは話す。

この研究方法には限界もある。本物とにせもののロブスターが同じような動きをしたとしても、そのロボットのアルゴリズムとロブスターの脳が同じように意思決定していることを実験で直接確かめることはできない。しかし、心理学者のJeffrey Schankは「ロボットを使った研究では少なくとも、『最低限の行動原理』を探ることはできる」と話す。SchankはJoshiとともに単純な行動規則に従うラットロボットを作る研究を行っている。「ラットの行動をまねるロボットを作ることができたら、それはラットを理解する第一歩となる」とJoshiは説明する。

このラットロボットは完全に自律的に行動し、脳であるコンピューターにプログラムされた確率アルゴリズムと、どのセンサーが活性化されているかにもとづいて、行き先の意思決定をする⁵。Schankにとって重要な問題は、「脳がしなければならないことは最低限どれだけか？」ということだ。「私たちは、特定の行動にとって必要な認識能力の最低レベルを明らかにしようとしているのです」とSchankは話す。それが分かれば、動物が自然界でどのように行動しているかの仮説にフィードバック



尻尾で威嚇：このジリスのロボットは、尾の温度を上げ、左右に振ることができる。このロボットを使って、リスがどうやって本物のガラガラヘビを追いかけるのかという仮説が検証されている。

A. RUNDUS

することができる。

ロボットを使った研究はまだ始まったばかりだ。1対1の相互作用だけでなく、集団行動を調べている研究者もいる。ブリュッセル自由大学のJean-Louis Deneubourgら欧州の研究者チームは、生きているゴキブリの集団と相互作用できるゴキブリロボットを作った。彼らはゴキブリロボットを使って、安全な隠れ場所を選ぶなどの集団の意思決定の仕組みを解明しようとしている。

本能的に集団で働くという行動は、どうやらさらに多くの動物行動学研究者にロボットを使わせることになるかもしれない。Patricelliは「この方法は流行しているみたいで、会議に行くたびに、ロボットを使う研究者が増えているのを耳にします」と話した。■

Jonathan Knight (サンフランシスコ)

1. Michelsen, A., Andersen, B. B., Storm, J., Kirchner, W. H. & Lindauer, M. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **30**, 143–150 (1992).
2. Patricelli, G. L., Uy, J. A. C., Walsh, G. & Borgia, G. *Nature* **415**, 279–280 (2002).
3. Göth, A. & Evans, C. S. *J. Exp. Biol.* **207**, 2199–2208 (2004).
4. Grasso, F. W. *Biol. Bull.* **200**, 160–168 (2001).
5. Schank, J. C., May, C. J., Tran, J. T. & Joshi, S. S. *Adap. Behav.* **12**, 161–173 (2004).