

公開講演会『ロボットでさぐる生物の世界』

平成14年度文部科学省科学研究費補助金「研究成果公開促進費」補助事業として開催

主催：日本比較生理生化学会

後援：つくば市教育委員会

『ロボットでさぐる生物の世界』2002年8月7日 つくば国際会議場エポカール

関連HP：<http://bombyx.biol.tsukuba.ac.jp>

「ロボットを通してみる生き物の不思議」

下山勲（東京大学・大学院情報理工学系研究科）

「ヘビとクモに学ぶ新しいロボットの開発」

広瀬茂男（東京工業大学・大学院理工学研究科）

・司会：神崎亮平 筑波大学生物科学系

司会：（神崎先生）

私は、この講演会の司会をさせていただきます神崎です。よろしく申し上げます。

これから非常に面白い、世界でもなかなか見られないような講演を始めます。ぜひ楽しんで頂きたいと思います。

講演の内容を簡単に紹介します。会場の入り口に非常に大きなカブトムシに似たロボットがありました。300キロの重さがあります。私と私の研究室の学生10人位でフラフラになりながら、2時間かけて1階から2階に持ってきました。とても面白いロボットなのでぜひ見て行ってください。

ロボットと生き物 - 私たちのような生物 - を並べて考えてみますと、実に面白い、いろいろな関係があります。ロボットから生物のこと、生物からロボットのことを改めて知っていただきたい。また、このような非常に不思議な関係をこの会を通してぜひ見て行ってください。そして、そのような関係を改めて探ってみてください。

さて、今日は二人の先生をお招きしています。お一人は東京大学の下山勲先生です。もうお一人は東京工業大学の広瀬茂男先生です。

最初に下山先生に「ロボットを通してみる生き物の不思議」というタイトルでお話をさせていただきます。そして、もう一人の広瀬先生には「ヘビとクモに学ぶ新しいロボットの開発」というタイトルで、ヘビとクモ、あまり好きな人はいないかもしれませんが、ヘビとクモからいろいろなことを学び、そしてロボットに役立てよう、そういうお話をさせていただきます。

このお二人の先生のお話の後、この壇の上に並んだたくさんのロボットを実際

に動かして、皆さんに見ていただこうと思います。また、先程のカブトムシに似たロボットの特別出演もあります。竹中工務店の星野春夫先生が見せてくださいます。

このような順番でこの会を進めていきたいと思っております。ロボットと生物の関係、どのようにしてロボットが作られるのか、逆にそこから生物とはどういうものかがわかるだろうか、ということをしつくり目を開いて見ていってください。最初に下山先生にお話をさせていただきます。ではよろしく申し上げます。

「ロボットを通してみる生き物の不思議」

下山 勲教授 東京大学・大学院情報理工学系研究科・知能機械情報専攻
こんにちは、下山といいます。小学生の小さなお子さんがたくさんいらっしゃいますので、できるだけ写真や映画でお話したいと思っております。

<映像：産業用ロボットが動いている。クレーン車型。根元は旋回し、中間の接続部分が曲がるアーム型になっている。先端に椅子がついている。>

これは、産業用ロボットで、ドイツ製の非常に大きなものですが、人間が端の椅子にジェットコースターに乗るように座っています。工場で使われるロボットで、例えば傍に車を置いて、工員の代わりに溶接をしたり、あるいはネジを締めたりします。

もう一度これを見てください。このようにまっ逆さまになったりしますので、乗ってみようと思ったのですが、とても怖くて私は乗れませんでした。このように大きなロボットが工場では働いています。

また、これは将来こんなロボットがあればいいなというアニメーションです。

<映像：脚部分がローラーで動き、手は自由自在に動くロボットのアニメ。>

男性がロボットに台所にある飲み物を持って来てくれるように言っています。すると、まずグラスを取って冷蔵庫から飲み物をコップに入れてくれる。それを男性に渡します。お手伝いさんの代わりになるロボットです。家にも1台欲しいところですが、実際のロボットはまだここまで来ていません。

このように工場働くロボットや、うちでお手伝いさんとして働いてくれるロボットはこれまでもよく研究されていて、そろそろ家でも買うことができるようになってきそうです。

しかし、ここではロボットと生き物の関係を考えるというお話をしますので、大きなロボットではなく、少し小さなロボットとか、生き物の形をしたロボットでお話します。

<映像：つがいの蚕蛾（カイコガ）。片方の蚕蛾がグルグルその場で回っている。>

これは蚕蛾のオスで、こちらはメスの蚕蛾です。メスの蚕蛾のお尻からフェロモンという化学的物質が空気中に出てきて、それがオスの蚕蛾の触角に当たると、メスの蚕蛾の方に寄っていきます。これを行動といいます。

蚕蛾は、羽化して成虫になり死んでしまうまでに、1週間から2週間と非常に

短い時間しか生きていられません。その間、フェロモンが来ないときはじっとして、フェロモンが来るとメスのほうに近寄っていく、オスの蚕蛾はそういう動きをします。

こういった動きをロボットで作ってみると、生き物の脳の仕組み、神経の仕組みがわかるのではないかと考えました。

<映像：丸型で底が平らなネズミ型ロボット。車輪が本体左右に付いて動くようになっている。>

ネズミの形をしたロボットを幾つか作ってみました。これは、売っているネズミ型のおもちゃのロボットにコンピュータを積んで、赤外線が当たるとその方向に動いて行くように改造したものです。赤外線が当たらないときはグルグルと回っているだけです。そして赤外線をみつけると寄っていきます。さっきの蚕蛾のオスにとってのフェロモンとこのネズミ型ロボットにとっての赤外線が同じ役目をしています。

<映像：耳、目、鼻、舌、手など、身体の各部位の神経図映像。>

ここで脳の仕組みを復習してみます。人間にはいわゆる五感、五つの感覚が有るといわれています。聴覚、視覚、嗅覚、味覚そして触覚です。

例えば音は耳を伝わって神経を刺激し、脳に伝わります。目ですと、花などの形をレンズを通して網膜に像を映し、神経を刺激して脳に行きます。嗅覚は、花の匂い、花が出す化学物質が空気中を漂い、鼻の細胞に当たって神経を刺激し脳に伝わります。

こういったものをセンサー、あるいは感覚器といいますが、このようなセンサーをロボットは持っているのです。

今日ここに有るロボットは、ちょうどその目に相当するセンサーを持っています。人間の目はいろいろなものの色や形がわかるけれども、このロボットに付いているセンサーは明かりが来たか来なかったかしかわからないセンサーです。ですから色も人の形もわかりません。ただ明るいところが有るかないかのみがわかるセンサーが付いています。

この目、あるいは鼻の役割をするセンサーから信号が入って、

<映像：腕の筋肉の図。> 次に人間の筋肉に相当するものを動かします。

人間は神経が筋肉を刺激することにより、それが収縮して手足が曲がるのですが、ロボットの場合はモーターが回転して動くことになります。このネズミのロボットもまったく同じ仕組みで、赤外線に反応するセンサーが付いています。脳に当たる部分にはコンピュータを使っています。コンピュータで信号が来たかどうかを判断し、来たらこうする、来なかったらこうするとモーターに命令します。

このように生き物の脳の仕組みと、ロボットの動く仕組みは非常に似ています。

<映像：円柱型の水槽に魚が入っている図。その周りを縦じま模様の紙で囲っている。>

生き物のいろいろな特徴を調べるとき、これは金魚やめだかの場合の調べ方で

すが、それらを水槽に入れてグルグルと水を掻き回し、どちらの方向に動くかという調べ方があります。教科書には、小さな円筒形の中に白と黒のまだらの模様を付け、その模様を水槽の外で回してやるとどうなるか、という実験が載っています。

こういうものを行動の実験といいます。

金魚やめだかは目を使って縞がどちらに動いているのかがわかり、魚にも脳はありますから、その脳を使ってどちらに行けば良いのかを判断して、筋肉を動かして泳いでいます。先程のオスの蚕蛾が、メスが出すフェロモンに向かって動くのも同じ仕組みになっています。

余談ですが、やかんを持って熱いと手をひっこめるような仕組みは、指からの情報が脳まで行かず、途中の脊椎のところで跳ね返って筋肉を動かす、反射という運動です。

いずれにしても、センサーからの信号が神経を伝わり、筋肉を動かしていることに変わりはありません。

<映像：ネズミ型ロボットを分解する様子。左右に車輪がついており、それぞれにモーターがついている。電池が数本入っている。>

では、実際のロボットはどのようにになっているのか。ロボットの中を開けてみました。

二つの車輪とそれぞれの車輪を動かすモーターがあります。この車輪は二つ同時に動いてまっすぐ進むことができます。また、一つのモーターが一つの車輪を回せと言えば、一つだけ車輪を回すこともできます。この他に電池が数個付いています。

赤外線がセンサー部分に来ると、赤外線が来たことが線を通してコンピュータに伝わります。そしてコンピュータからの命令がモーターに来るという仕組みになっています。電池は人間でいうと、ちょうど、食べたご飯を貯めてあるような役割にあたります。センサーは目に相当し、人間の目のようにしっかりと見えなくても、赤外線が来たかどうかだけはわかり、コンピュータは脳と同じ働きをする。コンピュータはモーターをどのように動かせばいいか判断し、筋肉に相当するモーターが動いてロボットが前に進んだり右に行ったりすることになります。

<映像：ネズミ型ロボットの中に数センチの黒い四角いものが有る。>

もう少し拡大してみると、小さなコンピュータが有ります。昔のコンピュータは非常に大きかったのですが最近では技術が非常に進み、こんな数センチのものでもひとつのコンピュータになっています。また、二つのモーターのあたりにギアが見えています。このギアが車輪を動かしています。

蚕蛾の触角は二つありますが、それと同じように赤外線を受けるところも右と左の二つあります。さらに電子回路を拡大すると赤外線センサーが見えます。この面に赤外線が当たると赤外線が当たったぞという信号が出ます。それがコンピュータに伝わってモーターを動かします。

<映像：集積回路の映像。数センチの黒く細長い四角形のものの左右に、片側

につき9本の高さ数ミリの金属で出来た脚のようなものがついている。>
コンピュータを拡大すると、小さなチップの両側に脚が各9本ぐらい付いています。こんな小さな中にコンピュータが入っていて、人間の脳とはぜんぜん比べものにならないけれども、ロボットを動かせるくらいの機能を持っています。これをIC（アイシー）（Integrated Circuit インテグレートド・サーキット）といいます。

そのICを作っているところでもロボットが働いています。ICの心臓部分だけ特別に作って、外の基盤と金の線で結んでいきます。布に当て布をする感じで基盤に付けることになります。付ける作業はちょうどミシンで縫い付けているように見えます。非常に巧みに動いているので見ていると楽しいです。

<映像：先ほどと同じネズミ型ロボットの分解映像>

ネズミロボットを見ると電池があります。目に相当する赤外線センサーがあります。筋肉に相当するモーターがあります。そしてコンピュータがあります。外からの赤外線がセンサーに当たると赤外線が来たという信号がコンピュータに送られます。そうするとコンピュータはその信号が右から来たのか左から来たのか、両方とも一緒に来たのか、右と左でどれだけ時間の差が有るのか。そういうことを計算して、右や左に上手く回転して赤外線の元のほうにたどり着いていく仕組みになっています。

<映像：蚕蛾の脳神経の写真。植物の根のように、太い1本の線に細かくヒゲ根が出ているようなもの。>

今日の司会の神崎さんと私、下山は、実際の脳はどうなっているのかという研究をしています。蚕蛾の脳では、神経が右側の脳と左側の脳の橋渡しをしている位置にあります。脳の中の神経をひとつずつ丁寧に調べると、フェロモンが来たときに脳の働きがどのように神経を使って情報を処理するかが徐々にわかってきます。

<映像：ネズミ型ロボットが赤外線発生源を探して同じ場所でグルグルしている。赤外線を感知するとそちらに近寄っていく。>

では、それと同じような神経の組み合わせを、実際のロボットの中で作るとどうということになるでしょう。このロボットは赤外線をみつけないとき、グルグル回っていて、赤外線をみつけるとそちらに近づいていきます。

例えば人間の場合、どこかで道に迷ったら、その周りをぐるりと回ってどちらに行けばいいのかを調べ、それでもみつからなければさらにグルグル回って調べるのがよさそうだと思います。

ロボットも赤外線がみつからないときには回ってしまうのです。そうして一旦みつかりとそちらの方向に寄っていきます。赤外線は一定の範囲でしか出ていないのでわからなくなると、また同じように赤外線をみつけたし、そちらのほうに近寄っていきます。

同じような仕組みで、蚕蛾もフェロモンを出すメスのほうに近づいていくのではないかなということがロボットを作ってみてわかってきました。

<映像：動物園のキリン、象、白熊の歩く様子。>

ロボットを作ってみてわかることは他にもたくさんあります。

例えば動物園の白熊です。歩いているのを観察すると面白いのですが、4本足で歩く動物には、その歩き方の特徴に2本の足が同時に浮いている瞬間があります。

昔、まだコンピュータがそれほど使えない時期に、ロボットでこの特徴的な歩き方をさせようと、3本脚を床について残りの1本の脚だけを次に何処に置くか、という非常にゆっくりとした歩き方をさせていました。しかし生き物を見ると、2本の足を一気にずんずんと動かして歩いています。ではこういう歩き方ができるロボットは出来ないだろうかと作ってみると、2つ利点がありました。一つは速く歩けるロボットができる。もう一つは生き物がどのように歩いているのかが分かったことです。

このような研究が十数年前から日本のいろいろなところで行われて、最近ではホンダの2足歩行ロボットのように製品になって出てくるようになってきています。

<映像：アリが方向転換する様子のスローモーション。胴体中央部を中心にして方向転換をしている。それと同じ動きをするロボットの映像。>

同じようにアリの歩いている様子も見てみます。アリは足を非常に巧みに動かしながら、ほとんど一定のところを旋回しています。これと同じように旋回するロボットは、一体どうやって作ったらいいのだろうかと考えました。それを作れば、生き物は非常に巧みに足を動かして、重心の位置を常に気にしながら歩くのではなく、もっと動きの激しい歩き方をすることがわかってきます。

<映像：アゲハチョウが飛ぶ様子のスローモーション。>

もうひとつ面白いのは空を飛ぶことです。アゲハチョウは非常に優雅に空を飛んでいます。

<映像：アゲハチョウと同じ形をした紙飛行機のようなものが飛ぶ様子。ふわっ、ふわっと、リズムカルに上下を繰り返しながら長い時間をかけて下降していく。>

それと同じような飛び方ができるような、まだロボットとはいえませんが、そういった飛ぶおもちゃを作ってみると、生き物は巧みに空気を使って空を飛んでいるのがわかります。また面白いことに小さくなればなるほど非常に楽に空を飛んでいけるようになります。

生き物は、わたしたちが思っているより、もっとずっとずっと面白い、わたしたちが気づかなかった仕組みを使って動いたり、飛んだり、歩いたり、あるいはメスのところにちかづいたりしているのです。そういうことにロボットを作ることによって初めて気がつき、生き物は不思議だということがわかる。そういうロボットの使い方もあります。産業ロボットのように大きなロボットも確かにロボットですが、それとは違う、ロボットを通して見える生物の不思議ということが私のお話でした。

司会：神崎先生

ありがとうございました。この後、下山先生が持ってきてくださったネズミのようなロボットを実際に動かしてくれませんが、その前に下山先生のお話でぜひ聞いてみたいことがあれば手を上げてください。

子供

センサーはどのような仕組みになっているのですか。

下山先生

それは大変難しいことです。半導体という言葉聞いたことがありますか。コンピュータなどに使われている材料です。シリコンという材料があります。ちょうどその辺の石ころのようなものです。そのシリコンという材料は、温度が上がったり光が来たりすると中の電気の伝え易さ、これを抵抗といいます。その抵抗の値が変わります。光によって抵抗の値が大きくなったり小さくなったりしますので、その値を読むと光が来ているか、来ていないかがわかります。ですからデジタルカメラや、あるいはビデオカメラにも、シリコンで作られた光を受けるところがあります。いろいろな光が当たることによって、光がたくさん来たか、あまり来ていないかということが抵抗の値でわかるのです。それを使っています。

司会：神崎先生

ここに来るときに乗ってきたエスカレーターは普段止まっているけれど、人が通ると急に動き出しました。あれがセンサーです。人が来ると、来たなというのがわかって動くのです。

下山先生

あのエスカレーターは、片側から光を出してもう片側で光を受けていて、光に反応するセンサーが光を受ける側にあります。センサーは常に光が来るはずだと思っていますが、人が通ると光が遮られてしまい反応するのです。他にも方法があります。人間には体温があるので身体から赤外線が出ています。赤外線に反応するセンサーは、人が来るとその赤外線に反応します。最近トイレなどにそういうセンサーがよくあります。ただトイレのセンサーは赤外線を出している人間が動いていないといけないようです。赤外線センサーによって明かりが点いたり消えたりする省エネのトイレは、トイレの中でじっと止まっていると明かりがふっと消えてしまったりします。そうするとまた動かないと明かりが点きません。

大人

最後の飛ぶロボットは、飛んでいる状態によっていろいろ羽の動かし方を変えたりしているのでしょうか。

下山先生

それはありませんし、おそらく生き物もそういったことはしていないのでは

ないかと思います。これは私自身あまり考察をしたことではないのですが、小さな生き物は脳が小さいので人間が考えているような高度なことはできないと思います。しかし飛ぶことは、周りの空気との力のやり取りで、羽を羽ばたかせているだけで飛べるような身体の仕組みになっているようです。

大人

では紙飛行機と同じと思っていいですか。

下山先生

そうです。

司会：神崎先生

次は広瀬先生にお願いすることにします。下山先生ありがとうございました。拍手をお願いします。

「ヘビとクモに学ぶ新しいロボットの開発」

広瀬 茂男教授 東京工業大学・大学院理工学研究科・機械宇宙システム専攻

それでは今度はヘビとクモのロボットの話をしたいと思います。私は東京工業大学の機械宇宙システムに所属しております。

ヘビには昔足がありました。それが他の動物に追われて岩の割れ目に入って生活するようになったことから、足が退化してなくなった動物です。ですから今のヘビを見ても足の痕跡が残っています。つまり、普通の魚が地上に出てきて歩き出し、足を使って身体を動かしてパタンパタンと倒れるような形でうまく動いていたものが、今度は無理やり足を無くして潜っていったのです。なぜそんなことをしたのかというと、足を無くしてしまうと非常にいいことがあったからです。

<映像：ヘビの骨格図。>

ヘビの身体は普通のシマヘビで2、3百個の背骨から出来ています。筋肉で身体を曲げることによっていろいろな面白い動きをします。

<映像：外国の大型ヘビ、ボアの映像。身体はほとんど直線に伸びている。移動するとき真横から見ると、胴体上面が先に前方へずれ、次に下面が前へずれる形で動く。尺取虫の動きをヘビの胴体内部で行なっているように見える。>

これが直線型走行推進と呼ばれるものです。尺取虫的な運動をするものです。日本にいるヘビはこれをしません。ボアなどの非常に大型のヘビに見られる動きです。

<映像：蛇行という文字のごとくS字線上を滑るように移動する映像。岩の隙間など狭いところを移動するときは、波状に身体を縮め尾部を地面に固定して頭部を前方に伸ばすことにより前へ進んでいく様子。>

また、日本でよく見られるシマヘビやアオダイショウは身体をくねらせて前に

進みます。それがほふく推進です。狭いところに入るとアコーディオン式滑走といわれる、波を細かく作ってまた前に行くような形をとります。

<映像：砂漠で身体をS字型に固定し、斜めにはずむように移動する映像。移動中は身体の一部が浮いている。水面に平行に平たい石を投げたときに水面を横滑りする石と似た動き。>

これがサイドワインダーという動きです。これはなかなか見ることのできない動きなのですが、身体を斜めに動かします。砂の上で動くときに身体を砂で滑らせないようにするために横に動いていきます。それから木を登ることや空を飛ぶこともあります。滑空していくのです。こうして地上から土の中の岩の割れ目とか、あるいは水中などを移動できるようになりました。ウミヘビになりますと身体が薄く平らになっています。水をうまく掻けるような形に変形してきています。地上ではかまぼこのような形をしていますが、水中ですと特に尾のほうが平らになってきます。非常に巧みな動きをしていることがわかります。

こういったヘビになぜ興味を持ったかといえますと、一本の細長いヒモが、移動するときには足になり、物を掴もうとすると全体で絡みつく指になり、枝から枝に移るときには足や腕、指などいろいろな仕事をするところから、ヒモ型に多くの用途、可能性が考えられたからです。

例えば、物に自から絡みつくロープができるのではないかと、小型化すればどんどん身体に入っていく胃カメラができるかもしれない。それから南極のようなクレバスが有るところでも、どんどん進んでいく車ができるかもしれない。消防ホースも。

消防ホースは、中に高圧の水が入っています。その水をうまく使うと火事の火のついているところ、燃えているところにどんどん自から進んでいくようなものもできるかもしれない。今日は時間がないので見せられませんが、そういうタイプのロボットも今実際に作っています。

それから地上も動けるし水中も動ける、水陸両用のロボットもできてプラントの水の中にある装置の修理をするようになるかもしれない。

こういうことを考えて30年前くらい前にヘビのロボットの研究を大学院の学生として始めました。それ以来いろんな研究をしてきています。

このようにヘビには4つの動きがあります。S字上をなぞるように蛇行するほふく推進、身体を折りたたむアコーディオン推進、ボアの直線型の推進、砂漠でのサイドワインダー。サイドワインダーは砂漠の毒蛇に多い動きです。このようなヘビの動きは実はまだあまり理解されていないところがあります。ごく最近のアメリカで出版された本には、シマヘビが鱗を引っ掛けて進むと説明してあります。皆さんの中にもそう信じている方がいらっしゃるかもしれませんが、しかし、ヘビは鱗を立てて後ろに滑らないようにすることにより、前へ進むと説明されているのは間違いです。ヘビは身体の推進方向の滑りやすさと横方向の滑りやすさの違いによって前に進むことができるのです。

いろいろ実験もしました。ちょっとかわいそうでしたが、ドライアイスで凍

らせてスライスして筋肉の大きさなどを調べました。ヘビのお腹にはエッジがあります。シマヘビなどを触るとグニャッとしていますがぐっと力をいれるとエッジが出てきます。

タイへ行って大蛇を触りましたが大蛇はまったくエッジがわかりませんでした。シマヘビならわかります。そのエッジを使って進んでいきます。

面白かったのは、実験をしたときにヘビの身体の一部が浮き上がることがみつかったことです。なぜヘビは身体を浮き上げるのか。サイドワインダーでも浮きあげています。そのことを調べようと、シマヘビに電極を差して身体の力を測るセンサーをつけたりして実験しました。ヘビは一番うまく進もうとするとき、地面を押すのです。地面を押す部分の身体を押し付けて、他のところも動かすことで身体を前に進めていることがわかりました。ヘビの曲線は実は川の流れの蛇行と非常によく似ています。これも数学的に相似性、同じような性質が有ると後からわかりました。

そのような実際の動物を使った実験をした後に、ヘビと同じような動きをするようなロボットを作りました。

<映像：ヘビ型ロボットの映像。電車のようにたくさんの車両が連結している。箱一つに車輪が左右各一つずつ付いている形。>

これがそのヘビ型ロボットです。タイヤが付いていますが、このタイヤは前にも後ろにも回転します。ですからこのロボットは鱗を立てるという動きではありません。タイヤが何をしているかということ、身体の進行方向には滑りやすく横方向には滑りにくいことを実現しています。では実際にヘビの蛇行運動を実現してみましょう。このようにこのロボットは実際のヘビと同じように動くことが出来ます。どういう仕組みかといいますと、コンピュータから一番前に身体を曲げる角度の指令を伝えて、それを順に後ろに伝えているのです。前に行けるとともに後ろにも行けるといことは鱗を立てて進んでいるのではないことの証明にもなります。屋外も自由自在に動き回れます。

<映像：氷上を、地上とまったく同じように進むヘビ型ロボットの様子。>

アイススケートもしています。原理的に車輪で動けるのならスケートの刃を付ければ氷の上でもいけるだろうとやってみました。

先程、南極探検をする車両を作る話をしましたが、私が20何年前の1976年に、ドクター論文の公聴会のときに書いて出したものを、今実際に作っているのです。

ヘビが坂道を登ろうとすると波型が小さいと登れませんが、大きく蛇行すると登れます。急な山道に行くと道が曲がっています。それと同じに真っ直ぐだと急でかなり大変なのですが波型を大きくすると登ることができるのです。

<映像：ヘビ型ロボットが斜面を登って行く様子。登り斜面を感知すると左右に大きく振れる動きに変わる。>

このヘビは、先程あったように身体に伝わる力を検出して、斜面に来たら波の形を変える実際のヘビと同じように適応して動いていきます。ちょっとした知能を持った動きができるようになっていきます。後で実際の動きを見てください

い。また、このヘビのロボットをもう少し進化させたのが3次元的に動くものです。

<映像：電車型のヘビ型ロボット。車輪の形は平らなディスク型。本体部分よりやや大きめの薄い車輪が付いている。車輪が上下、左右の全面に付いる。左右の車輪は普通に電車のように付け、上下の車輪はその隙間に付ける形になっているので、お互いにぶつかり合うことはないようになっている。>

これは移動もでき、鎌首をもたげる動作もできます。これはここに置いてありますから後で実際に見てください。中には模型飛行機などで使うRCサーボという非常に小さいモーターが付いていて、バッテリーと小型の計算機も全部入っていて独立して動き回ることが出来ます。

こういうヘビロボットを実際にどのように使えるのかということを考えます。

1995年の阪神淡路大震災のときに6,000人の方が亡くなっているのですが、そういう時には瓦礫の中に入って行って人を見つけることが非常に重要です。あのとき実際に瓦礫の下にいた人の話では、一生懸命叫んでも聞こえない。外はヘリコプターが飛んでいたりして人はいっぱいいますがわかってもらえない。そういうときに中に入って行って、もちろんカメラで見ると同時にマイクも使って音を集める。そうすると人を見つけやすいだろう、あるいは人は呼吸をすると炭酸ガスが出ますから、その二酸化炭素(CO₂)をみつける、そんなロボットを考えていくと、やはり細長いロボットが欲しくなるのです。

また、2001年9月11日のワールドトレードセンターの事故でも実際にロボットが活躍しています。おもちゃの戦車のようなものの中にカメラが付いたロボットを入れて、全部遺体でしたが10体くらいの被災者を見つけ出すことができました。

これは実際に使われたロボットです。現在、今年の秋からこういったレスキュー救助用ロボットを開発する開発センターが、川崎の日本鋼管の体育館 日本鋼管株式会社京浜製鉄所体育館内 に作られています。このように我々の技術も現場で本当に使えるロボットを作るために使えるだろうと思っています。

実際使われたものも、ただの戦車のおもちゃのようなものですし、非常にシンプルなものでないと塵がとても多く、ガスマスクをするようなところでは機械も動かなくなってしまうので、そういうところでもちゃんと動くようなものを作ろうと思い、我々は瓦礫の中に動いていくことができる蛟龍(こうりゅう)というヘビ型ロボットを作っています。

<映像：瓦礫の中で人を探すように作られたロボット。頭部、胴体部、尾部の3車体から出来ていて、それぞれ左右にキャタピラがついており、計6本のキャタピラによって動く。各部位の連結部が上下、左右に動くことが可能。それにより全方向に方向を変えることができる。頭部、尾部は細長い三角形で隙間に潜りやすい形になっている。>

これも実物がここにありますから後で動きを見てください。

蛟龍は、全体が三つの部分から出来ていて、三つの車両の間をモーターで調節することで姿勢を変えることができ、その動きを使って大きな障害物があっても乗り越えてしまいます。モーターの数は、最初に作ったヘビロボットでは20個あったのですが、これには3個しかありません。身体を前後対称的に動かすのに二つ使って、もう一つはキャタピラを動かすのに使っています。三つだけですが、うまく動かせば階段も簡単に登っていくことができます。前を上げると尻尾のほうも上がってしまうのですが、これはモーターの数を減らすために仕方なく、機能にはそれほど影響しません。

また、機械を設計するときには、いろいろな問題があります。難しいのは悪いところと良いところのちょうど中間点を見つけることです。そうやって上手く設計すると、大きな障害物があっても乗り越えることができるのです。

一番先端に非常に小さいカメラとマイクがついており、瓦礫の中に入って中の映像も見られます。新聞にも出ていますが、実際瓦礫の中で作業もしています。

次は歩くロボットの話をしたと思います。ヘビロボットを作成した後に、山を歩いていて座頭蜘蛛（ざとうぐも）という非常に足の長いクモを見つけました。

そのクモを手の上にとってみると非常に上手く動くのです。障害物を作ってやると自分の身体の10倍くらいある障害物も簡単に乗り越えてしまいました。では、そういうロボットを作ってやろうというわけで、いろいろなロボットを作ってきました。

歩くロボットができると何がいいのかといいますが、いろいろな作業をする場合に非常に安定した足場ができます。例えば古い家を壊すとき、狭い敷地で壊すのはとても難しいです。そういう作業もこのようなロボットなら楽にできます。スイカを収穫するとき、車輪で動くロボットが畑の中に入っていくとその車輪でツルをみんな切ってしまいますが、脚があればよけながら歩いていくことができます。

ひとつの例を挙げます。ある建設会社が崖を削る作業をする時の話です。日本は山が多いですから高速道路を作るとなると崖を削って作ります。そういうところは、土砂崩れをしないように格子状のコンクリートでカバーするのですが、今人間がしているその作業を機械化しようとしています。ワイヤーで吊るして、ロックボルトというドリルで穴を開けて棒を差し、下のほうから土を掴んでいきます。そうすると雨が降って土砂が崩れて来るのを防ぐことができます。今この作業はキャタピラのついた装置でやっていますが、なかなか動き回るのが大変で、しかもこのコンクリートの格子が有ると動けなくなってしまう。そういうときにもっといい方法がないかと考えると、歩くロボットがいいということになります。そこで我々が開発したものがタイタンセブンです。

<映像：ほとんど垂直な急斜面を4本脚を使いクモのように登っていく映像。

前脚の一本を進行方向に着地させ、バランスを確かめてから体重を前に移動する。その後、対角線側の脚を前方に引き寄せる動き。>

これは4本脚で歩くロボットです。脚でバランスをとりながら、急な斜面も脚を置く位置はきちんと計算して一番良いところを見つけ、安定してどんな方向へも動き回ることができます。斜面がでこぼこしていても関係無く動き回ることができます。

このロボットにはドリルがついていますので穴を開けることもできます。これはまだモデルの段階ですが、大型の油圧建機を使った本当の装置を今作っています。ですから後数年したら現物をお見せできるかもしれません。

今度は吸盤を使って歩くロボットを紹介しましょう。忍者ロボットです。

<映像：ほとんど垂直のコンクリートブロック斜面を4本脚ロボットが登っていく様子。>

<ナレーション：「壁を歩く様子はまさにクモ。スパイダーといった感じです。体重は45キロ。4本の脚はモーターによって上下、前後左右と自由自在に動かすことができる優れものです。壁を登るときに欠かせないのがこの吸盤。18の区画に区切られています。」>

<映像：ロボットの脚の裏の様子。各脚の接地面に吸盤が18個ずつ付いている。>

これは、平らではないタイルのような溝の有る壁でも吸着できるように小さい吸盤が付いていて、何処か空気が漏れると、付いている弁によって自動的に閉まるようになっています。ですからタイルとかレンガといった壁でも実際に動き回ることが出来ます。東京工業大学の本館の時計台はタイルが貼ってありますが、実際にこの装置を使ったロボットが動いたこともあります。これから床から壁に移ります。

<映像・ナレーション：「まずは前脚を出して壁に貼りつきます。スポッ、スポッという音は吸盤の空気を出し入れする弁の音です。吸盤も順調に働いているようです。ロボットは自分の重さで壁から離れることも無く、一步一步壁に脚を踏み出しながら見事に登っていきます。このロボット、こんな技も見せてくれます。隣の壁にいと簡単に移ることができるのです。床から壁へ、さらに壁から壁へ。これだけのスピードで歩き回れるロボットは世界に二つとありません。」>

これは2番目に作ったものです。

<映像・ナレーション：「広瀬研究室では、これまで10年間、4本の脚で歩くロボットを作り続けてきました。これらのロボットは様々な障害物があっても乗り越えて歩くことが出来ます。原発の修理など人間が入るのが難しい場所に入り込み、作業をすることが目的です。」>

<映像：片脚で前方の段差を探るような動作をする4本脚のロボット>

これは3号機で、脚の先にひげがついていて、ひげで階段を探って歩いていく仕組みです。

<映像：馬がゆっくり歩く状態をスローモーションにしたような動きで進む口

ポット。><ナレーション：「しかし地上を歩くだけでは、もし目の前に壁が現れたとき身動きがとれなくなります。」>

これは85年の筑波の科学博で出した4号機。

<映像：吸盤の忍者ロボットの映像に戻る>

<ナレーション：「それで開発されたのが忍者ロボット。しかし開発は簡単には進みませんでした。壁を昇るとき地上と同じ歩き方では上手く行かないという問題が持ち上がったのです。ロボットの歩き方は、普通、赤ちゃんのハイハイが参考になっています。右足、右手、左足、左手。つまり、右後ろ足を出し、次に右前足を出します。そのとき同時に左足が前へ動きます。」>

歩き方というのはとても面白いです。先程の下山先生の映像でありましたが、人間でも動物でも、一番普通の歩き方は対角線に有る足がペアになって一緒に動きます。最も普通なのが後ろ足、前足、後ろ足、前足という順番に歩を進める歩き方です。後ろ足を先に引き付け、次に同じ側の手を前に出すのです。そのとき同時に対角線側の足が浮き、前方に向かいます。これをクロール歩行といいます。我々がゆっくり歩くと、あるいは四つん這いになって歩くとこのクロール歩行を行います。平らなところを歩くときはクロールがいいのです。ところがクロールを壁で使うと上手くいきません。クロールで歩こうとすると吸盤が上手く付かないで、付こうとすると取れてしまいます。自然界にこれくらいの大さで壁を動き回る動物は一匹もいないので、自然を参考に出来ないから自らの頭で考える以外にありません。

吸盤は押し付けてから空気を吸って真空にして吸着するのですが、吸い付いたら少し押し付けなければならないのです。ところが押し付けようとするにもかかわらず、反対側の脚を動かしてしまうから外れてしまうのです。それがそうならないような歩き方を考えてみつけたのがこれです。

ペース歩容(歩き方)といって、同じ側の前脚と後ろ脚を同時に進めるものです。

<ナレーション：「研究室では様々な脚の運び方を試してみました。同じ側の前脚と後ろ脚を同時に進める方法です。しかしちょっと不安定な感じですが。これでは、風が吹いたりすると危ないのです。」>

このような試行錯誤を繰り返しまして、下側の二つの脚を広げて順序を右前、右後と運んでいくと、うまく壁で歩き続けられることがわかってきました。通常の動物の動きである後ろ足から先に出すことをやめてみたのです。我々は自然界からいろいろなことを学びますが、自然から学んでそのままロボットが作れるかということ、だんだん違ったものになっていってしまいます。こうなると、自らが神様になってまったく新しい動物を作っていく研究をせざるを得ないのです。

<映像：外見は赤ちゃんが四つん這いになっている形。普段は足の甲の部分のローラーが倒れて足の甲の役目をし、ハイハイのように4本足で歩く。ローラーとして使う場合は甲を立てて使い、高速移動が可能な仕組みになっている。

>

今度はローラーウォーカーといって、ここにありますが後で現物の動きを見てください。これも歩くロボットなのですが、ただ歩くだけではありません。では動きを見てください。いままでにお話した歩くロボットは、でこぼこしたところでとても効率がよかったです。しかし、もしも床が平らだったら車の方がはるかに効率良く移動できます。車は人間が発明したもので、自然では唯一非常に小さいバクテリアがする以外は無限回転するものではありません。自然が発明した足と、人間が発明した車を上手く組み合わせるというのがこのロボットです。

今、脚の裏が倒れています。こうして倒れるとローラースケートを始めます。すると平らなところでは、はるかに速く動けます。山で作業をして道路に戻ってきたら、ローラースケートで進みます。普通考えると脚の先にモーターを付けて、あるいはエンジンを付けて車輪を回したくなるのですが、そうすると脚の先が重くて実用的には使いものになりません。これは脚の裏をただ倒すだけでそれが車輪になってしまうので、脚はとても軽くてすみます。これは坂を登っていく様子です。今私のいる建物の入り口に有る坂ですが、この動かし方を大きくすると坂も登れます。秒速2メートルくらいのスピードで走ることができます。これも生物から学んだ足と、我々が発想したタイプのものとでまったく新しいタイプの生き物を作ってしまうおうという話でした。

また、別の生物が参考になります。それは絶滅してしまった恐竜です。元は我々も4本足で歩いていたのですが、2本の手を使うことで立ち上がり、今2本足で歩いています。ところがこうやって立つのはあまり効率のいいものではありません。なぜかといいますと、バランスをとるために結構大変なことをしています。

ところが恐竜のように頭と尻尾が有ると非常に簡単にバランスがとれます。また、我々は立って作業をするのがなかなか大変です。ですから座って作業するのですが、恐竜は尻尾が第三の足になるので、安定して立っていられるという面白い性能があります。これも後で動きをお見せします。

お台場に毛利衛さんが館長をしている日本科学未来館があります。そこにロボットを3台出しているのですが、これと新しいヘビのロボットが夏休み中に出ますから見に行ってください。どんな動きになるのか少し見てみましょう。
<映像：肉食恐竜型ロボット。高速で移動するときは激しく頭と尾を左右に振りバランスをとっている。>

モーターが頭のところに2個乗っています。こんな動きをするわけです。これは座っています。尻尾を三つ目の足とすればとても安定して動けます。これらは非常にコンパクトに作っており、モーターとバッテリー、尻尾に乾電池がついています。頭と尻尾には、ある程度重さがないとダメです。振り回すことによってバランスをとっていますから、バッテリーを尻尾におもりとして使っているのです。これには通信用の装置が載っていて動きます。こういう類の新しい歩くロボットもできています。

ヘビともクモとも関係ないのですが、小さい子もいるので座布団ロボットを

持ってきました。この座布団ロボットは、これもまた非常に面白い原理を使っていますが、現物を見ながら説明します。

<映像：座布団型ロボット。全方向に動くことができ、同じ場所で方向転換もできる。>

これは昨年のロボフェスタでデモをしたものですが、前にも横にも、その場で回ることも出来ます。車椅子を使っている人などが狭い家の中で台所の仕事をするときには結構大変です。横に動けないからです。そういうときにこんな装置で動き回ることができるのととても便利です。実際、今そういう装置も開発しています。これは落語にも使われています。

<映像：前後左右に動く座布団型ロボット。落語の中で声色を変えて二人の会話を表現することがあるが、人物が入れ変わるときに声色とともに座布団の向きも左右に変わるので観客が非常に楽しんでいる様子。>

原理も変わっていて後で見せますが、かなり変わった機構で全方向に動くものができています。

このように我々は新しいロボットをどんどん作ろうとしています。最終的にどんなロボットを作りたいかと言いますと、

<映像：車型から人型になり歩き出すロボットの映像。子供のアニメのように銃や盾を持ち大げさなポーズをとったりしている。>

本物のように見えますが、実はまったくの嘘です。興味のある人はHPをご覧ください。この映像があります。本題にまったく関係ないのですが、面白いのでお子さんの皆さんに見てもらいました。

要するに変幻自在な、仕事に応じて形がどんどん変わっていくロボットを作りたいのです。今、レスキューのロボットもありますけれど、アフガニスタンの地雷除去ロボットの開発もしています。この7月にアフガニスタンのカブールに行って、どういう状況で地雷を除去しているのかを調査してきたのですが、実際に除去作業している人が何十人も死んでいます。街を歩くと、なにしろそこら中に片足の人が歩いている。なにかやらせじゃないかと思えるほどそこらじゅうにいます。

そういうところで我々の技術をできるだけ使っていこうと考えています。

小さい諸君は、これからものすごく面白い研究がロボットの分野でたくさん出てきます。そういうことをするためには、やはり自然をよく観察することが重要です。それから最近はなかなか機械を分解するチャンスがないのですが、ぜひ機械をぼんぼん分解してください。よく観察してみましよう。それからものを作って遊んでください。

私は日本機械学会のロボットグランプリという競技会をやっています。興味のある方は連絡してくればいくらでも情報をさしあげます。競技会は今度の11月に東京工業大学であります。一台3千円ですがキットを買って、家で紙やボール紙、木などを使ってピンポン玉を集めるとか、ものを使って動かすとか、かなり面白いロボットの競技が出来ます。そういうものに参加してもの作りに遊びながら親しんでもらいたい。そうすると将来大きくなってものすごく

いいロボットが作れるようになると思います。以上です。

司会：神崎先生

広瀬先生のロボットはドラえもんのポケットから出て来るようなのがありましたか何か質問はありますか。

子供

普通、ロボットを作るのに何日間くらいかかるのですか。

広瀬先生

普通は1年くらいかかります。まず、具体的に何を作りたいかをまとめること自体に時間がかかります。そして、それについてのいろいろな形を検討し、設計していきます。次に、外の工場で作ってもらっておいた部品で組み立てます。メカが出来たら今度はコンピュータやセンサーなどの制御系を動かすためのソフトの開発をします。その開発に数ヶ月かかり、だいたい1年弱くらいで実際に動き出していくのが普通です。もっとも、もっと早くできるのもありますし、何年もかけて開発しているのもあります。今、タイタンという歩行ロボットの10号機を設計しようとしています。それらをずっと積み上げていく研究をしています。

司会：神崎先生

広瀬先生、ありがとうございました。これからロボットのデモンストレーションをしますので、見たい人は前にどうぞ。まず下山先生からです。

以下、会場にて講演者と子供達が実際にロボットを動かす映像

<映像：6本脚の昆虫型ロボットの映像>

下山先生

これは脚が6本有る6足歩行ロボットです。昆虫、特に蟻の歩く様子を研究してロボットに応用しました。ロボットは脚が6本もあると脚が絡まったりしてなかなか上手い具合に歩くことができません。ですからこれは、6本脚の蟻などが実際にはどういう動きをしているのだろうと研究し、それを実践してみたロボットです。

このロボットは蟻のいろいろな動作の中でも、急に曲がるという動作をします。今、ロボットがグルグルとその場で回っています。これがその急に曲がるという動作です。

<映像：2メートル四方の囲みの端に小型カメラの形をした赤外線発信源が置いてあり、4匹（青、白、黄、緑）のネズミ型ロボットが囲みの中にいる。>

下山先生

今、ネズミ型ロボットが4匹います。まだ赤外線は出ていません。このスイッチを入れると反応します。赤外線は連続して出ているのではなく、チカチ

力と点滅しています。ですから赤外線を見つけるのに結構時間がかかりますが、見つけると近寄っていきます。今、この白いネズミは赤外線を見つけたようで近寄っていきます。上手く見つけるとこのように赤外線に向かって進んでいきます。他の3匹のネズミはまだ見つけられず動かないでいます。ネズミを開けてみます。

<映像：ネズミ型ロボットの分解。赤外線感知センサー、コンピュータ、モーター、電池が入っている。>

外型は市販のプラモデルを改良しました。元々のネズミロボットにはコンピュータは入っておらず、モーターと電池で動くようになっていたのですが、その中にコンピュータを入れて実際に動くようにしてみました。カバーをかけると赤外線が届きにくくなり、なかなか赤外線を発信する場所までたどり着くことができません。

このような仕組みで赤外線のほうに向かって来るロボットが出来ます。全部一気に動くと本当の生き物のようですね。大学でもこういうものを作って喜んでいきます。皆さんも、大学に入って遊んでみてください。大学生でも、君達のように小学生、中学生でも、本で勉強するだけでなくこうして実際に手で作ってみると、意外にたくさん知らないことがあるのだとわかって勉強になります。

中にはうまく動かないものもあるようです。君達人間からも赤外線が出ているので、そちらに寄って行くのかもしれない。

司会：神崎先生

では次に広瀬先生お願いします。

広瀬先生

<映像：小学生が座布団型ロボットに乗り、同じ位置で方向を変えている。>
こちらは座布団ロボットです。段が有るとなかなか上手く動きません。

<映像：ヘビ型ロボット。電車の形と同じ。10個くらいの箱の下にそれぞれ車輪がついてる。先頭の車両が通った軌道を、後ろの車両がなぞる形で動き蛇行している。>

ヘビロボットです。車輪がついていて、前にも後ろにも動きます。平面しか動けませんがヘビと同じように動きます。

<映像：瓦礫の中で人を探すように作られたロボット。頭部、胴体部、尾部の3車体から出来ていて、それぞれ左右にキャタピラがついており、計6本のキャタピラによって動く。各部位の連結部が上下、左右に動くことが可能。それにより全方向に向きを変えることができる。頭部、尾部は細長い三角形で隙間に潜りやすい形になっている。>

瓦礫の中に入って行って人命救助をするロボットです。瓦礫の中で倒れても起き上がることが出来ます。イモムシをひっくり返したときのように、身体全体

をうまく使って戻ります。瓦礫の中で倒れても問題ありません。前後が細いのは、瓦礫の中に入りやすいようにです。アンテナもついていますし、前部にカメラがついています。

<映像：先程のヘビ型ロボットと同じように電車型。車輪の形は平らなディスク型。本体部分よりやや大きめの薄い車輪が付いている。車輪が上下、左右の全面にある。左右の車輪は普通に電車のように付け、上下の車輪はその隙間に付ける形になっているので、お互いにぶつかり合うことはないようになっている。>

これが3次元に動くことができるロボットです。横に倒れても、どの方向に倒れても車輪で走ることができます。鎌首をもたげることができます。

<映像：肉食恐竜型ロボット。頭と尾の高さはほとんど同じの前傾姿勢。身体中央部分に頭部と尻尾部の重心の中心がきている。進むときは、頭部と尻尾部分を同方向に振ることでバランスをとっている。>

タイタラスといいます。今は重心を右と左の脚に乗せながら歩く静的歩行、ゆっくりと歩いている状態です。旋回は動的に、頭と尾を振っておこないます。速く歩くときは、頭と尻尾を振ってバランスをとります。脚の裏は、常に地面と平行になるように設計されています。首関節はどの方向にも動けるようにしてあります。

<映像：4本脚のロボット。アメンボのようにやや平たい形。左後ろ、左前、右後ろ、右前の順番に脚を動かし歩行を進めている。>

これはクロール歩行です。ハイハイと同じです。基本的な4足歩行動物の歩き方です。今、足の甲が爪先立ちのようになりローラーとして使えるようになりました。それをつかって、アメンボのようにすいすい動きます。

司会：神崎先生

何か質問はありますか

大人

その瓦礫ロボットは無線でコントロールされているようですが、実際に瓦礫の中に入ると電波が弱くなると思います。どれくらいの範囲でコントロールできるのですか。

広瀬先生

これは普通の模型用なので2、300メートルですが、現在瓦礫用に有線タイプを検討しています。鉄筋などがあり、非常に状況が悪いところではかえって有線でリールを手繰り出す形のほうが現実的だと考えています。無線でいい場合もあります。

今回のこれは初期タイプですが、未来館に納めたものは分離できるようになっ

ています。状況に応じていろいろな組み合わせで操作できるようにすることも考えています。

大人

ラジコンのような模型の場合ですと、無線の制御がきかなくなってどこかに飛んで行ってしまうこともあると思うのですが、もし災害のときに使うならば、そのようなことが起きない必要があると思います。そういういったことに対する対策はどうなっているのですか。

広瀬先生

そうなりそうな場合は有線です。しかし、基本的に我々のコンセプトは安くて多量に使えることです。何千万円もする貴重なものを使うのではなく、数十万円くらいのを、失敗したら次々に投入するというコンセプトを現実的だとみています。

司会：神崎先生

では、これで講演会を終わります。下山先生と広瀬先生、補佐して下さった学生さん達に拍手をお願いします。