



# ロボットを工場から引きずり出そう

—— 広瀬研究室～機械宇宙学科 ——



広瀬 茂男 教授



## 歩行型ロボットの夢

子どもにロボットの絵を描かせたら多くの子は人型のロボットを描くだろう。人型ロボットをはじめとする歩行型ロボットもここ広瀬研究室では研究をされている。歩行型ロボットと言ってもメインに研究されているのは、二足型ではなく多脚型のものである。

歩行による移動装置というのは機械には不得手だとされている。事実、現在の機械に用いられている移動装置のほとんどは、車輪やキャタピラを利用した駆動装置である。その理由は、現在の機械の動力の大半が回転運動の形で取り出される所にある。車輪であれば回転をそのまま車輪に伝えればよいが、歩行機械では一度直線的な運動に変換する必要がある。また、後にいった足をふたたび前にださなければならないので、機構は複雑かつ非効率的になってしまう。すなわち、車輪で進めるような平坦なところであれば車輪の方が簡単かつ効率的な移動が実現できるのだ。

しかし、その難点の多い歩行ロボットをあえて研究する理由はいろいろとある。

まず、走破性の高さが上げられる。自転車と歩行者を思い浮かべて欲しい。平地であれば自転車

従来のロボットの活躍場所は工場内だけにとどまっている。しかし、作業が早く正確で、しかも危険なところでも作業ができるロボットを工場の中だけで使うのはもったいない。SF小説の例を持ち出すまでもなくロボットの需要はありとあらゆるところにある。

しかしながら、その実現には、たくさんの困難が待ち受けている。移動手段・動力源・周りの状況を判断するためのセンサーなどなど...。そのような問題を解決すべく研究している広瀬研究室を訪問した。

の方が圧倒的に早く、効率的に移動できる。一方で、歩行者は凸凹の道を移動できたり、急に止まる事ができたり、その場で回転できるなど運動の自由度が高い。

また、脚は単なる移動装置としてだけでなく静止時には確実な足場を形作る。クレーン車などが作業時に支持脚を出しているところを見たことはあるだろう。静止して作業するときには移動のための脚がそのまま支持脚となるのだ。そしてこれらの支持脚は可動式なため、可動テーブルとして上体部に装備されている装置の動作を補助することができるのだ。

そして接地点が不連続であるがゆえに、地上の障害物をまたぐ事ができる。又、砂漠のような砂地では連続的にわだちを残す車輪よりも歩行の方が少ない抵抗で効率よく動けるのだ。このように非効率的なものに思える歩行ロボットも、用途によっては非常に効率的なのである。

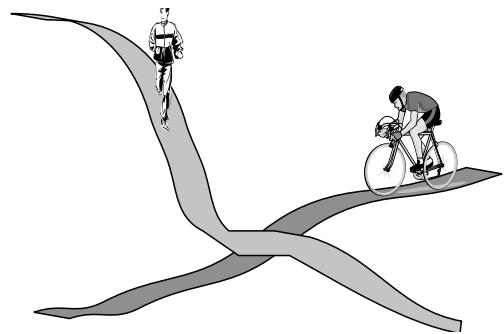
では具体的にはどのような困難があるのでだろうか。この場ではそのすべてを記述することはできないが、代表的なものをあげてみよう。

普通の自動車であれば、タイヤの速度調節機構

とハンドル、この二つの自由度があればよい。しかし、多脚ロボットでは一本の足に付き、それぞれ足を上下させる・前後に出す・左右に出すという3つの自由度が求められる。従って4脚ロボットであれば、合計12軸の自由度が必要になる。確かにおもちゃではもっと少ない自由度で歩行を可能としているものもある。しかしそれでは多脚ロボットの利点である、動きの柔軟性が十分に生かされない。さまざまな地形を移動するには凹凸に対応したり、不安定な場所を避けて足を動かさなければならない。そこで3次元的に自由に動かせる足がどうしても必要になる。

広瀬研究室ではロボットの足の本数は4本の物が中心に研究されている。しかし4本足である理由はなんだろう。脚の本数が少ないとモーターの台数が減り、機構も単純化されてこれは望ましい。先にも述べたように一つの脚につき3つもの自由度が求められるので、脚は少ない方が制御が楽になるのである。しかしながら、検査・点検作業のようなときに求められる、ゆっくりとした安定的な動きを実現するためには、一つの脚を動かしている間にも残りの脚で体を支えるようにする必要がある。安定的に物を支えるためには、最低でも3つの支持点が必要である事は分かるだろう。つまり3つの脚で胴体を支えながら一つの脚が動かせるように、最低4つの脚が不可欠になる。そこで4本の足を持ったロボットの登場となるのだ。

これら多脚ロボットにはどのような用途が考え



られるのだろうか。その不整地走破性と、静止時の安定性を生かすのなら、歩くパワーシャベルが考えられる。がれきの山を楽々と登り、作業が終わったら自分でトラックの荷台に登るのだ。あるいは、接地点が不連続であるという特徴を生かそうというのなら、農業用の収穫ロボットというのが考えられる。スイカのように地面をつたが這い回っていても、歩行ロボットならばつたをまたぐことで農作物を傷つけずに作業ができる。

先生が考えられているものの中には地雷探査ロボットもあるという。密林の中に置き忘れた地雷を探し出していくのだ。車輪による駆動のように地形の制限を受けることなく行動ができ、万一地雷を踏んでも、脚を一本壊されるだけですむ。そして残りの脚で戻ってこられるようにしておけば、高価な本体を失うことなく、脚の交換だけですむようになるというのだ。

このように歩くロボットの夢は広がるばかりである。



## 奇想天外なヘビ型ロボット

ここで研究されているロボットの中には他にもユニークな外観を持つものがある。ヘビ型ロボットである。

みなさんはヘビが脚もないのになぜ前に進んでいくか知っているだろうか。多少知識のある人なら、ウロコを立てたり寝かせたりすることで前に進むのだと答えるだろう(図1)。確かに、そのような説明を載せてている図鑑が多い。しかしながらそれだけが理由なのだろうか。それならばヘビは蛇行する必要などない。本当の答えはヘビの蛇行運動にあるのではないか。先生は若かりし日、このような疑問を抱いた。

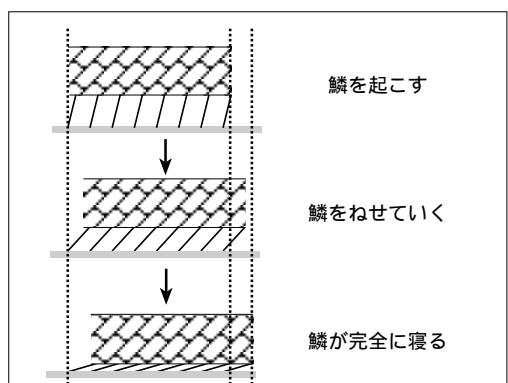


図1 ウロコによるヘビの前進

そして研究の結果、ヘビの胴体は横方向には滑りにくい構造になっており、ヘビは「陸を泳いでいる」のだということが判明した。図2を参考にして欲しい。ヘビが前進するときは、ヘビの胴体は頭から尻尾に波が伝わっていくのと同じ動きをする。ここでヘビの胴体は横には滑らないためヘビの胴体の延長をなす正弦波状の曲線から外れることはない。その為、ヘビが胴体の山を後ろに送るようにするとヘビは前に進むのである。

一方、ヘビと同じように細長い体を持ち、水中を泳ぐ生物としてウナギを考えてみる。みなさんはウナギが泳いでいるところを見たことがあるだろうか。実はウナギもヘビとほぼ同じような動きをして泳いでいくのだ。ウナギの胴体がうける抵抗は当然進行方向に少なく、横方向には大きいため、ヘビと同じような理屈で前に進んでいく。

この、ヘビは蛇行することで進むという理論に基づいて製作されたのがACM-IIIである。これは、全長2mで20個の節を持っている。各節には左右に屈曲運動をすることができるようモーターがとりつけられている。また、各節の接地面には左右一対のキャスターが取り付けられており、ヘビの体と同様に、縦方向に滑りやすく横には滑りにくい構造になっている。先頭の節を左右に正弦波的に屈曲させるように指令を送り、さらにその指令が順次後ろに送られていくようにする。こうするとロボット全体としては前から後ろに波を送るのと同じ動きをすることなる。するとキャスターには何の動力もつないのでロボットは前進していく。ACM-IIIはこうして40cm/secの速度で進むことができる。

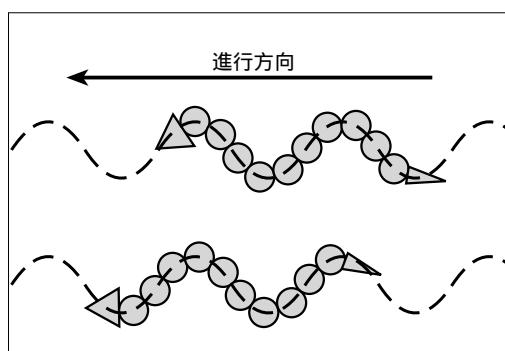


図2 蛇行によるヘビの前進

さて、みなさんの中にはヘビの動きをまねしたロボットを作ったからといって、それがどうしたと思う人も多いだろう。実際このロボット単体には、ヘビの運動のメカニズムを解明した以上の意味はあまりないそうだ。しかし、ヘビのような動きを可能としたロボットには、さまざまな可能性が与えられている。

たとえば、先程ヘビは地上を泳いでいる表現した。つまり水上でも地上でも、同じ動きをすることで前に進むことができる。この事は、ロボットを水に浮くようにしておけば水陸両用に使えるということだ。それだけではなく、ヘビの胴体というのは移動装置であると同時に一種の腕の役割をする。このようなヘビを真似したロボットを応用していくれば素晴らしいロボットができるのではないか。こうして生まれたのが次に紹介していくロボット達だ。

大きいものを運ぶにはロボットを大きくすればよい。大きなロボットであればそれだけ積み荷を積むスペースも大きくなるし、重いものを運べるようになる。しかし、ロボットを大きくすれば狭いところが通りにくくなってしまう。そこで考えつくのはロボットを細長くするということだ。こうすることで、狭いところでも通れる。しかし、そのようなロボットを作ったのでは、曲がり角を回れないでのそれはそれで不便である。

そこで先程のヘビ型ロボットの登場となる。ヘビはしなやかに曲がる細長い胴体を持っている。列車のように、小さなロボットの単位を長くつなげることでしなやかに曲がるロボットの胴体を作れば、曲がりくねった道にも対応できるようになると考へたのである。そして、各々の関節を上下方向にも動かせるようにしておけば凸凹の道にも対応することができるようになる。

このタイプのロボットの利点は先に述べたように、本物のヘビが持つ特徴のほとんどを持つことができることだ。各ユニットのつなぎ目が自由に動かせるので、あたかもヘビが鎌首を持ち上げるようにすることで、胴体そのものが一種の腕の役割を果たすことができるようになる。又、歩行ロボットと同様に障害物に接触しないように乗り越えることも可能である。

さらに、ユニット化された多数の小さなロボットで構成されているので故障したときには故障し

た個所のみを交換すればよい。又、用途に応じて長さを自由にかえたり、一つの大きなロボットにしたり、沢山の小さなロボットにすることができる。



## それでも難問は続く

歩行型ロボットとヘビ型ロボット、二つのタイプのロボットを見てきた、しかし移動するだけのロボットでは役に立たない。実用になるロボットは作業をするための装置が必要になる。しかし、現在の産業用ロボットをそのまま移動装置に搭載すればいいのだろうか。

産業用ロボットは、現在自動車の製造、電気製品の組み立てなどの多くの分野で欠かせない存在となっている。しかしこれらのロボットがこのままの姿で進化していくても移動型ロボットの作業用装置には向かない。工場の外にてて作業するというところに大きな障害があるからである。

工場の中であれば、ベルトコンベアなどを使って部品をつかみやすいように次々に運んでくるとか、工作機械などもロボットに都合にいいように配置することができる。これならロボットはただ初めに与えられた指令通りに手を動かせばよい。手を動かしているうちに部品をつかんでいて、知らないうちに所定の場所に置いていたとか、手を動かしているうちに自動車が入り込んで、溶接をしてしまうというのが現在の産業用ロボットの実体なのだ。もちろん産業用ロボットは仕事によって、作業の手順を変えられる点で従来の工作機械とは大きく異なるが、その機能は限定されたものである。

しかしながら、いったん工場の外にでると、問題が山積みになる。例えば、部屋を掃除するという日常的な仕事を考えてみよう。ロボットはまず部屋を見回し、どこに何があるかを調べなければ

新しい機械を作るときに小さな模型を使うことはよくある。しかし、模型で成功したからといって、そのまま大きくすればよいわけではない。よく知られているように材料の強度は断面積に比例する。つまり大きさの自乗に比例して強くなる。ところが重量は、大きさの三乗に比例して重くなるのだ。つまり小さな模型をそのまま大きくした

同じ理屈で、作業現場に運ぶときにはバラバラの状態で運べば運搬も非常に楽になる。

ならない。そのためには、広い範囲を調べる事のできるセンサーが必要となる。しかも掃除をするためには、本やゴミ箱のように部屋にあるものが何であるかまで知る必要がある。これが厄介な仕事である。たとえセンサーからは一方向からの部分的な情報しか送られてこなくても、その情報を過去のデータと比較してそれが何であるかを判断するという高度な機能が要求されるのだ。さらに、本は本棚にしまう、ゴミ箱の中身は捨てるなどという膨大な量の常識を持たせる必要がある。

ところがこれでもまだ問題が残る。工場の中では、ロボットの作業場に予定外の他のロボットや人が入って来ることはない。ところが、工場の外ではちがう。同じ作業場に他のロボットや人がいることは当然起こり得る。そこで他の個体との衝突を避ける機能が必要となる。すべての個体が自分の作業性だけを考えていたのでは、全体としての作業性が落ちてしまう。そこで自分の作業性を多少落としてでも、全体としての作業性を上げようとする、いわば人間の良識にあたる道徳とでもいうような考えを持つロボットであることが求められるのだ。

この様に移動型ロボットは、移動するための駆動装置・作業をするための装置・周りの状況を調べるためのセンサー・状況を的確に判断し、行動に移すための制御装置・動力源といったものをすべて搭載する必要がある。そして、それらすべてを搭載して動くためにはすべての面で軽量化が求められるのである。

---

のでは、自分の重量を支えきれずにつぶれてしまうようなことが起こってしまうのだ。

この様な面白い話をたくさんしていただけた。紙面の都合上掲載することができなかつた事をこの場を借りてお詫びするとともに、先生のご研究のますますのご発展を祈ってやまない。

(大坪 誠)