

# 目標達成を目指し、学習して経験を積むシステム

ロボットに原稿のコピーを頼んだとする。するとロボットは原稿をコピー機まで持って行き、コピーして、元原稿と複写原稿をセットにして頼んだ人の元へ届けることになる……。この簡単な作業でも100以上の動作を必要とすることを、脳科学総合研究センター(BSI)脳型デバイス・ブレインウェイ研究グループ/脳創成デバイス研究チームの市川道教チームリーダーたちは調べあげた。現在の技術では、あらかじめロボットに対してすべての動作を入口から出口まで、順番にプログラムしてやらねばならない。

「紙詰まりでも起こしたら、そのプロセスは膨大なものになります。現実にはすべての状況を予測しプログラムすることは不可能でしょう。一方、そばにいる人に『コピーをお願いします』と頼んだ場合には、頼んだ人も頼まれた人も頭に描くのは、

各動作ではなく、複写したものを手に入れる、あるいは複写したものを手元に届けるということなのです」

一連のプロセスの出口となる「目標」をまず定め、それに対応した動作を組み立てるのが人間だ。

「脳というのは、現在のコンピュータとはまったく異なり、目標を定め、その遂行のためのアルゴリズムを学習によって獲得していくシステムです。私たちはそのような人工のシステムを作ろうとしているのです」

## 学習する模型自動車

市川チームリーダーたちが目指しているのは、冒頭のロボットなら、コピー機のところに行こうと廊下を歩いている時、清掃員に「掃除中だから、ここを通ってはダメよ」と言われても、解決法を見出すことのできるロボットだ。



市川チームリーダー

「最初は混乱して、おそらく振り出しに戻るでしょうが、『コピーをして届ける』という目標がはっきりしていれば、いずれは別の廊下を通ろうということになるでしょう。そのうち清掃員が掃除をしている姿を見ると、何も言われなくても別の行き方をするようになります」

大きな目標達成のために必要な一連の小さな目標とそれに対応する動作を考え出し、各々の動作に対して小さな目標達成の確認を行いながら進む、これが学習である。

「うまく行かなかった場合は、駄目であることを学習するわけです」

このようなロボットをすぐに開発することには無理がある。したがって市川チームリーダーたちも大きな目標達成のために、より小さな目標を設定し、研究開発を進めている。そのひとつがサーキットの中を学習によってフェンスにぶつからずにスムーズに走行する模型自動車だ(図1)。

この模型自動車はカメラを搭載し、車輪には回転センサーがついている。目標としては「長時間ぶつからずに走る」ということが与えられている。

「最初はぶつかりながらも走る。しかし、これだと長時間はもちません。そこ

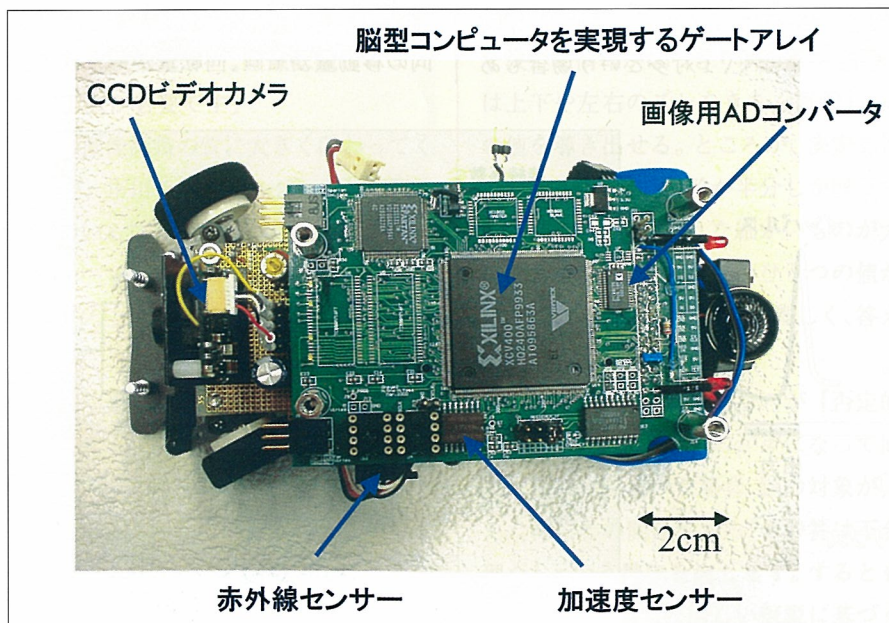


図1 運転方法を学習する模型自動車

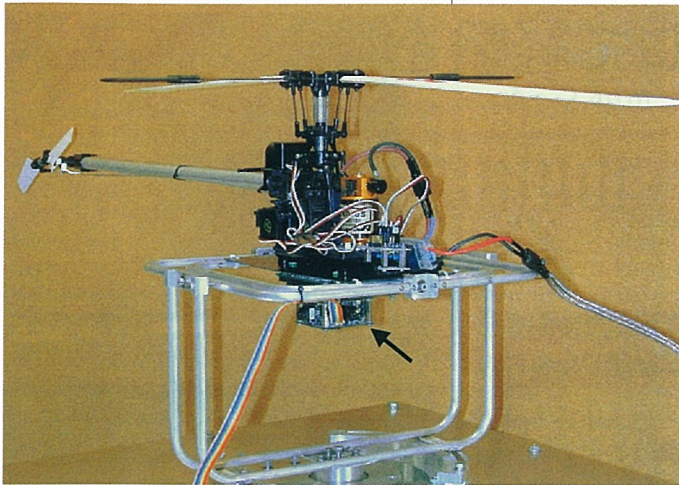


図2 画像情報から姿勢制御を行う模型ヘリコプター。矢印の部分が5台のCCDカメラ。(テスト用の台座に固定されている)

で車はなるべく長く走ることでできる方法を模索するわけです。模索してうまくいった方法があると固定していく。これを何回が繰り返すとうまくいくパターンというものを車は認識できるようになり、速いスピードでぶつからずに走れるようになります」

その学習時間はおよそ20分間。研究室の空いた床に設置されたコースをハイスピードで縦横無尽に走るその姿には思わず見とれてしまう。

車は「止まらずに走る」ということを車輪の回転センサーでまず確認する。またカメラによる画像でも確かめる。画像はフェンスと道路との位置関係を示すようになっている。

「回転センサーのみだと、フェンスに乗り上げ、車輪だけが回っている場合も、車は進んでいると勘違いしてしまいます。画像があれば絵が全然変わらない

ので、そのうちこれはおかしいということになります。反対に画像だけだと、例えば直線コースではまったく変化しないの

で進んでいることが認識できません」

この模型自動車では、検索型の学習のなかでも初歩的な方法を使っている。カメラの映像で示される自動車の走行路からのズレを、ある評価基準を用いて16基準に分け、それに対するハンドルの切り方を16操作に分ける。16基準と16操作の間には最初は何の繋がりもなく、車は最初はフェンスにぶつかる。車は16基準と16操作を適当に繋いでいき、繋ぎ方が悪ければぶつかり、よいといううまく行くという経験を繰り返す。ある繋ぎ方が悪い結果をもたらせばこれを変え、よい結果であれば固定していく。そして最終的には16基準と16操作が全部繋がる。

「繋がり方は基準と操作の1対1の対応だけではなく、1対多という場合もあ

りますが、最も安定した繋がり方というものには存在します。いずれにしろ、この模型自動車の場合はあらかじめ学習の枠組みを設定しているプリミティブなものです」

枠組みを設定せずに学習させようとしているのが、模型ヘリコプターの空中静止の研究である(図2)。

### ヘリコプターの本能と学習の狭間

模型ヘリコプターには5台のカメラが搭載されており、その入力のプロセッサを介してサーボモーターへ出力される。このヘリコプターの目標は「空中での静止」である。

「鳥も親のまねをして飛ぶわけで、何も与えることなくヘリコプターに静止というものを学習させようとしても無理です。本能、遺伝子にすでに書き込まれているような最低限の情報は、あらかじめ設定しておく必要があります」

このヘリコプターの場合は、常に各方向の移動量がゼロ、回転量がゼロになる

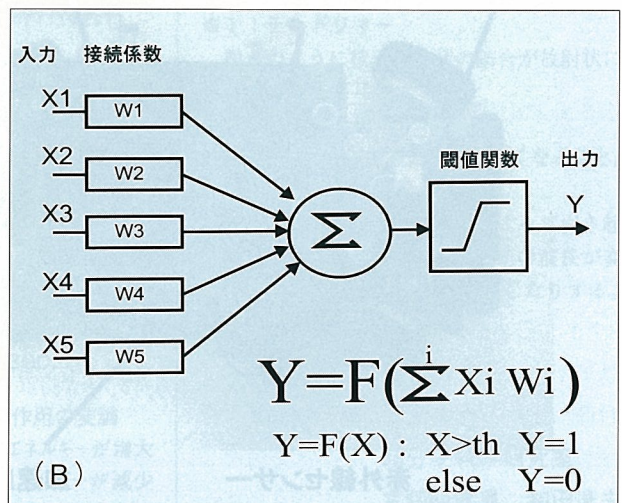
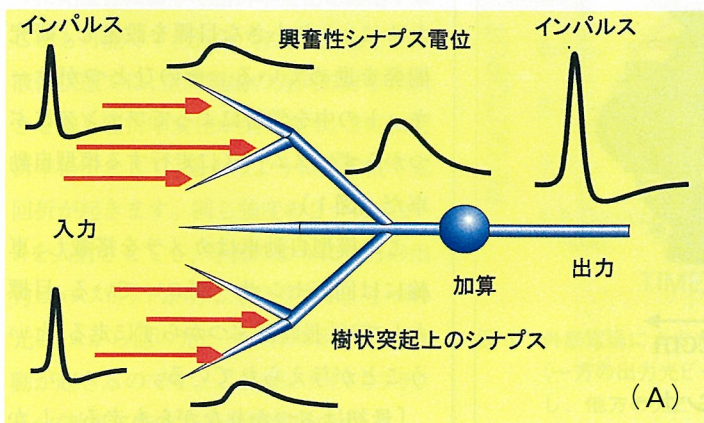


図3 神経細胞モデル

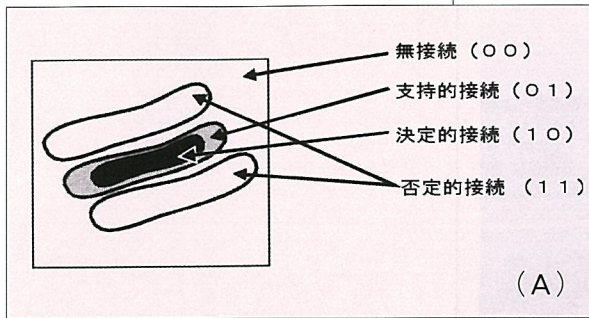
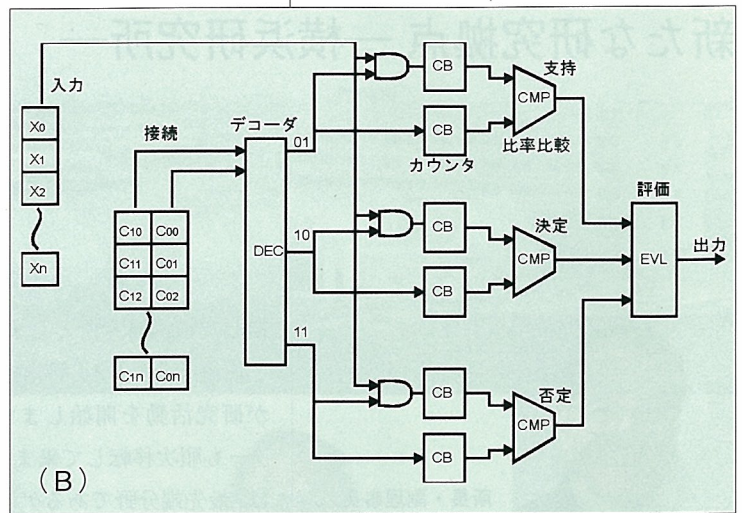


図4 さらに簡素化した神経モデルの概要  
(A) 4値モデルの概念  
(B) 電気回路での実装方法



ようにするということである。しかし、カメラの画像を使ってズレを修正し、移動量・回転量をゼロにしようとしても単純には実現しない。というのはローターで回転するヘリコプターの場合、コマの才差運動と同様に自身を横に動かし、移動量をゼロにしようとする前後にも少し動いてしまうからだ。また、空気抵抗やバッテリーの消耗なども大きな擾乱要素になる。

「これらの要素に関しては学習しなければなりません。操縦棒を右に切ると才差運動のために機体が少し後ろにズレることがわかれば、右斜め前に切ることを学ばなければなりません」

しかしこのようなヘリコプターの実現は容易ではない。

「問題はヘリコプターの振動ですね。時間的にズレのある2枚の画像から移動量を知ろうとしても、振動によるブレがあると比較しにくい。画像認識にはまだまだ工夫が必要です」

この画像認識の質に大きく関わってくるのが、市川チームリーダーたちが取り組んでいる神経細胞型素子の開発である。

### 4 値の素子ネットワーク

ひとつの神経細胞には多数のシナプスを介して多くの入力が入ってくるが、それぞれのシナプスは固有の接続の強さ(接続係数)をもっている。

「回路でいえば電気抵抗のようなものです。抵抗が小さければ入力が小さくても出力するし、抵抗が大きければ入力が

大きくないと出力しません(図3)」

これを一般化し、さらに時間成分も入れて、神経細胞の仕組みのモデルを試した。

「モデルをいろいろ検討した結果、ある条件下では、従来考えられてきたほど接続係数の多様性は必要ないという結論になりました。『重要な情報』『重要でないが支持的な情報』『重要で決定的な情報(コア)』『禁止すべき否定的情報(インヒビション)』の4値くらいで十分だということになったのです」

このようなモデルを使えば、重要な情報が10あれば出力するし、重要な情報が5で支持的情報が100であっても出力するといったシステムになる。

ヘリコプターでは、時間的にズレている2枚の画像において、木の幹等重要な決定的情報がはっきり映っている時には上下や左右のズレをきちんと認識し、その値を導き出せる。ところが、決定的情報から少しずれて、幹が半分しか映っておらず、葉っぱのような細かいものが大部分である時には、ひとつひとつの値が小さいためにズレの認識は難しく、答えが求めにくい。

「こういう場合に重要なのが『否定的情報』です。細かいものが束になって間違った答えを導いた場合、別の対象が見えた時にその関係性から『その答は不合理だ』という警告を出します。するともう一度元に戻って、新しい仮説に基づく計算が行われることになります」

つまり、コアが一致したら出力し、これが一致しない時は細部の一致をみて出力を図るが、誤った答えを引きづらないためにインヒビションで防護するという仕組みになっている(図4)。

「4値にして大幅に減らすことができたのがメモリです。4値なら接続の強さに2ビット割り当てただけで済みますから、処理回路も軽くすることができ、計算も早くなります。一方で多くの認識・計算における多値と4値のパフォーマンスの差はあまりありません」

いいことづくめだが、さらなる利点がある。ヘリコプターの場合は、答えが3種出てくることもあり、元の情報、入ってきた情報に戻って分析する必要が生じる。このとき4値の場合は元の情報を探るのが容易なのである。

「人工物に生物と同じシステムを導入する必要はなく、工学的には何が適切なかを考えるのも、脳型システムを作る上での大事なポイントですね」

人工物の利点を活かした柔軟で利口なシステムができる日は案外近いかも知れない。

文責：広報室

監修：脳科学総合研究センター  
脳型デバイス・ブレインウェイ  
研究グループ  
脳創成デバイス研究チーム  
チームリーダー 市川道教  
取材・構成：由利伸子