



ロボットと人間の眼

森田 雅 範*

産業用ロボットが初めてわが国に紹介されて以来、労働力不足の解決、職業病の防止、労働災害、労働環境の改善、高齢化社会への対応手段として、その後コンピュータの進歩とあいまって、めざましく普及、発展してきた。

初期の産業用ロボットは、教示された動作をただ繰返すだけで、作業環境、作業対象が変わると、その適応性、柔軟性に欠ける欠点があった。産業用ロボットに作業環境や作業対象を認識することができる機能を持たせることにより適応性と柔軟性に富んだ機能にすることができる。このような機能を備えたロボットを適応ロボット、あるいは知能ロボットと呼んでいる。

我々溶接分野での作業環境も、他の分野の作業環境に比べて決して良好といえるものではない。作業者は強い紫外光線、熱、騒音、ヒューム等にさらされて作業を進めなければならないのである。特に造船、海洋、陸上工作物等のBOX構造の中での作業は近年空調などの設備が進んできているが、しかしまだ十分に恵まれた環境にあるとはいえない。

我々の研究室においても、これらの問題に自動制御の立場から取り組んできた。検出対象は主に溶接線の抽出、溶接始端・終端の検出、溶着金属量などである。溶接中でのアーク直下の検出対象の情報は、プラズマアークによる副射熱のためにメカニカルなセンサーを用いることができない。したがって我々は視覚情報に基づく（主としてTVカメラ）情報を利用するパターン認識の方法を応用している。

一般に入力の情報として利用されるものは、明度情報、色情報、距離情報である。明度情報はA/D変換器によって、4～10ビット程度にデジタル化され、 $64 \times 64 \sim 1024 \times 1024$ 程度の画

素からなるデジタル画像として計算機に取り込まれる。いずれにしても入力情報は莫大になる。入力された画素は雑音を含み、その一つ一つが有用な意味をもつものではない。対象となる線画を抽出するために入力情報の明るさの空間微分を行ったり、ノイズを除去したり、不必要な画素は対象から除去し、必要な直線が抽出される。リアルタイムでこのように莫大な入力データを計算機で処理しようとする大変であるが、その能力は、人間の視覚機能に比べるとその比ではないのである。

瞬時にして光、色、形、大きさ、方向、動きをとらえ、知覚、認識する目のすぐれた機能や働きに、大きい関心が各方面から寄せられている。

ところで我々人間の視覚系も三億年の昔は、身体についての感光性の斑点にすぎなかったそうである。生物の目は同じような基本型から出発しているがその形態は種々雑多で、人間のように昼間だけ見える目、猫のように昼も夜もみえる目、またこうもりのように夜だけしか見えない目もある。

人間は五感（視、触、聴、嗅、味覚）によって外界からさまざまな情報を受け取って生活を営んでいるが、そのうち90%以上が視覚による情報であるといわれている。目はいったいどんな働きをするのだろうかという疑問は何世紀にもわたって多くの人々の心をとらえ、そしてさまざまな説が生まれた。三百年ほど前までは、目が像をとらえる機能を有するものであるという事実すらはっきりしていなかったのである。

ものがみえるということはそれほど単純でなく、大変複雑な機構になっているということが近年になって知られてきた。昔から目と脳の深いつながりは、脳に大傷をすると目に何の故障がなくても盲人になるという事実から知られ

*森田雅範 (Masanori MORITA), 大阪大学, 工学部, 溶接工学科, 丸尾研究室, 文部技官

ている。人間の視覚系は、目と脳が一体となって外界から入ってくる膨大なデータを瞬時に分析、処理しているのである。

人間あるいは高等動物の視覚系の構造とその働きについては組織解剖学、生理学（とくに神経生理学）のほうで主に研究が行なわれており視覚の感覚、つまり知覚に相当する部分についてはある程度わかってきているが、高次中枢の働きになると細かいことはいさかいわかっていないというのが現実である。視覚系の末端、たとえば光受容と網膜内の情報処理についてもなお不明な点が多いのである。事実色を感じずるメカニズムについての知見がやっとここ数年の間におぼろげながらわかってきたというほどの程度である。

網膜は脳の一部が突出したものといわれ、その中の神経回路はきわめて複雑である。瞳孔からはいつてきた光は水晶体を通して眼球内に入り、この網膜上に結像される。カメラにたとえるとフィルムに相当する部分であるが、この網膜のいちばん外側に光の受容器である視細胞が並んでいる。この視細胞に二種類のものがある。一つは錐状体といわれるもので、もう一つの種類は柱状体（または杆体ともいう）といわれるものである。錐状体は明るい所で働き、色感に鋭敏な機能をもっている。とりわけ黄緑のスペクトル部分に最も良く反応するといわれている。一方の柱状体は暗いときに高感度で機能するが、色には感じないといわれている。ただし青緑のスペクトルには反応するそうである。その例として、昼間は赤い花も青い花も同じように明るくみえるが、暗くなると青い花の方がずっと明るく感じ、赤い花は黒色に見えるというのもそのためである。そこでこの錐状体と柱状体が網膜上にどのように分布しているかということになるのであるが、網膜の中心に中心窩といって小さな窪があり、錐状体はその部分に集中しており、網膜の周辺部分にも存在するが鮮明な像を作るほど十分ではなく、網膜の周辺部分は柱状体で覆われているそうである。人間の

明るいところでの物体の認識は中心窩にその像が結像するように目を動かしているということになる。ところがこの中心窩には錐状体しか存在しないので暗くなると物体の認識ができなくなるのである。暗いところでは周囲の柱状体で像を認識することになる。つまり人間の目は中心にカラーフィルムと、周辺に高感度の白黒フィルムを併せもっていて、昼間の明るいときにはカラーフィルムで、夜暗くなると白黒フィルムで物体の像を作っていることになる。

網膜上の二次元に配置された視細胞からの情報は、視神経となって同時に並列に上位にはこぼれてゆくが、網膜から脳に向う視神経の数は視細胞の全数よりはるかに少なく、両者間に一対一の対応はなく、しかも各視神経自体伝速度が異なるそうである。このようにして知覚された像は幾層もの処理フィルターを通して、学習、記憶の機能と深くかかわりあって認識されることになるが、このあたりの事柄になると脳の働きとの関係でよく分からないそうである。

今、目のほんの一部の働きについて触れてきたが、身体の極めて小さなこの感覚器のすぐれた能力と複雑な機能に神秘を感じると同時に、改めて生体機能のきわめてすぐれた能力とそのメカニズムに驚きを感じる次第である。

人間が動物と異なる点は、人間の能力の不足を補うための道具を作り、それを使うことであるといわれている。視聴覚機能の拡大をはかるための伝送技術や記録技術、手や足の機能不足を補うための工具や機械、これらは人間の能力を補うべく発明、発達してきたのであるが、人間の機能の代行をさせるためのものではない。ところが今、物体や音の認識といった人間がもっている機能を機械に代行させようとする要求が生まれたのである。

知能ロボットの研究は現在スタートしたばかりであるが、あらゆる分野で精力的に研究がされ、将来生体情報工学の集大成として、高度なものへと発展してゆく可能性を秘めると同時に未来社会の大きな夢の分野でもある。